



**UNIVERZITET U NIŠU  
EKONOMSKI FAKULTET**



**mr Dragan L. Radiš**

**UTICAJ TRANSPORTA I SKLADIŠTENJA GASA  
NA SNABDEVENOST TRŽIŠTA BALKANA**

**- doktorska disertacija -**

**Niš 2016.**



**UNIVERZITET U NIŠU  
EKONOMSKI FAKULTET**



mr Dragan L. Radiš

**UTICAJ TRANSPORTA I SKLADIŠTENJA GASA  
NA SNABDEVENOST TRŽIŠTA BALKANA**

- doktorska disertacija -

Niš 2016.



**UNIVERSITY OF NIŠ  
FACULTY OF ECONOMICS**



mr Dragan L. Radiš

**THE IMPACT OF GAS TRANSPORT AND STORAGE  
ON THE SUPPLY IN THE BALKAN MARKETS**

- doctoral dissertation -

Niš 2016.

***Roditeljima Cviti i Luki -***

*za bezgraničnu  
ljubav, požrtvovanje,  
razumevanje i sve  
pruženo u životu*



## IDENTIFIKACIONA STRANICA DOKTORSKE DISERTACIJE

### I. Autor

**Ime i prezime:** mr Dragan Radiš dip. ecc.

### II. Doktorska disertacija

**Naslov:** Uticaj transporta i skladištenja gasa na snabdevenost tržišta Balkana

**Broj stranica:** XX + 360

**Broj tabela:** 106

**Broj slika:** 244

**Broj formula:** 35

**Broj bibliografskih jedinica:** 389

**Naučna oblast (UDK):** 65.012.34, 658.8

**Ustanova i mesto gde je rad izrađen:** Ekonomski fakultet u Nišu, Univerzitet u Nišu

**Mentor:** dr Nada Barac, redovni profesor Ekonomskog fakulteta u Nišu

### III. Ocena i odbrana

Datum prijave teme: 15.5.2013.

Broj i datum odluke o dobijanju saglasnosti za temu doktorske disertacije:

04-2030, 09.07.2013. godine u Nišu

Komisija za ocenu i odbranu doktorske disertacije:

1. dr Nada Barac, redovni profesor Ekonomskog fakulteta u Nišu

.....

2. dr Sreten Ćuzović, redovni profesor Ekonomskog fakulteta u Nišu

.....

3. dr Stipe Lovreta, redovni profesor Ekonomskog fakulteta u Beogradu

.....

4.

.....

Datum odbrane doktorske disertacije: .....



## **IZJAVA MENTORA O SAGLASNOSTI ZA PREDAJU URAĐENE DOKTORSKE DISERTACIJE**

Ovim izjavljujem da sam saglasna da kandidat **Dragan Radiš** može da preda Referatu za posle diplomsko obrazovanje urađenu doktorsku disertaciju pod nazivom: **Uticaj transporta i skladištenja gasa na snabdevenost tržišta Balkana**, radi organizovanja njene ocene i odbrane.

-----  
(potpis mentora: prof. dr Nada Barac)

## **STATEMENT OF MENTOR'S CONSENT FOR SUBMISSION OF COMPLETED DOCTORAL DISSERTATION**

Hereby, I declare that I agree that the candidate **Dragan Radiš**, can submit completed doctoral dissertation to the officer for postgraduate education of the Faculty under the name of: **The impact of gas transport and storage on the supply in the Balkan markets**, for the purpose of its evaluation and defense.

-----  
(mentor's signature: Prof. dr Nada Barac)





## **IZJAVA**

Pod punom materijalnom i moralnom odgovornošću izjavljujem da je priložena doktorska disertacija rezultat sopstvenog naučnog istraživanja i da je korišćena literatura na adekvatan način citirana, bez preuzimanja ideja, rezultata i teksta drugih autora na način kojim se prikriva originalnost izvora. U potpunosti preuzimam odgovornost za sprovedeno istraživanje, analizu, interpretaciju podataka i zaključke.

U Nišu, januar, 2016.

-----  
(potpis)

## **STATEMENT**

With due material and moral responsibility, hereby I declare the doctoral dissertation is the result of personal scientific research and that the references used are cited adequately without use of ideas, results and texts of other authors in the way that hides the source's originality. I take the full responsibility for conducted research, analysis, data interpretation and conclusions.

Nis, january, 2016.

-----  
(signature)





## ZAHVALNICA

U prvom redu, posebnu zahvalnost, dugujem svom mentoru, prof. dr Nadi Barac, što mi je omogućila da se bavim ovom aktuelnom i značajnom tematikom. Zahvalan sam joj na svim pruženim sugestijama i savetima, što je u toku rada na doktorskoj disertaciji, usmeravala moje naučne ideje i pomogla mi da realizujem ovaj rad. U izradi doktorske disertacije, veliku podršku pružili su mi prof. dr Sreten Ćuzović i prof. dr Stipe Lovreta, na čemu sam im neizmerno zahvalan.

U pripremi, sagledavanju i realizaciji ovoga rada, konsultovao sam se sa nadležnim, stručnim i odgovornim osobama za određena pitanja na: Rudarskom fakultetu u Beogradu, Rudarskom Geološkom fakultetu u Zagrebu, Ekonomskom fakultetu u Nišu, Ekonomskom fakultetu u Beogradu, Saobraćajnom fakultetu u Beogradu, Agenciji za energetiku u Beogradu, Mašinskom fakultetu u Beogradu, Srbija gasu, Ekonomskom fakultetu u Subotici, Ministarstvu energetike i rudarstva SR Srbije, NIS Srbije, Tehnološkom fakultetu u Beogradu, YUGOROS GAZ, Institut Hrvoje Požarni u Zagrebu, Tehnološkom fakultetu u Novom Sadu, INI u Zagrebu, Ekonomskom fakultet u Rjeci, ECONGAS, Kriopremi, ... kojima se zahvaljujem na iskazanom razumevanju i pruženoj pomoći. Sugestije i savete pružili su mi: mr Davor Matić, dr Vladimir Mitrović, dr Vladan Božić, mr Dragan Jovičić, dr Božidar Roca, Aleksandr Popadić, mr Ljubiša Rašković, mr Antun Bauk, dr Ratko Zelenika, dr Steva Kolundžija, dr Mirko Zelić, dr Zdenko Segeltija, dr Iva Kolenković, dr Lidija Hrčić, dr Milorad Kilibarda, dr M. Vugrinec, Mila Božić, dr



D. Ljubaš, dr D. Pavlović, dr D. Dvornik, ...  
kojima dugujem veliku zavalnost.

Posebnu zahvalnost dugujem svom prijatelju i kolegi Marjanu Marčinku, njegovoj porodci, supruzi Tatjani i ćerki Luciji, koji su mi neizmerno puno pomogli u životu i izradi ove disertacije.

Velika zahvalnost pripada, mojim dragim prijateljima: Draženu Aleksiću, Danijelu Boljancu, Нагалия Квягковская i Goranu Joviću (Vasiću), ... Stojčić Radivoju, Stanču Jonelu, ... Anđelković Milenku, Spomenki Tripković, Živković Nenadu, Gluvakov Dušanu, Šašić Višnji; Đurici Savičiću, ... Takođe, zahvalan sam i svim svojim koleginicama i kolegama, koji su mi u toku mog obrazovanja nesebično pomogli: Živković Nataša, Savanović Novak, Saša i Siniša Đukić, Alisa Marić, Igor Petković, Vladimir Škorić, ... Papić Bojan, Robu Ljubica, ... Posebna zahvalnost profesorima: Balnožan Liviusu, Pavlović Branislavu, dr Ljubinki Joksimović, dr Milevi Žižić, dr Adreju Tarasjevu, ...

Hvala kolegama sa posla: Ivanu Lakoviću, Mariji Vuković, Zoranu Radibratoviću, Zoranu Juriću, Bogdanu Tešoviću, Nikoli Pavloviću, D. Danković, ... koji su mi pomogli u razmatranju određenih usko stručnih pitanja. U prikupljanju i obradi naučne građe, zahvalnost dugujem: Zdenki Štih, Davoru Šmitu, Vedranu Hlebu, Zoranu Joviću, Denisu Butiganu, ...

Posebna zahvalnost pripada: S. Pantić, Lj. Gros, D. Popović, S. Staletović, J. Savković, M. Živković, J. Subotin, K. Balan, V. Kosanović, M. Bilić, Z. Kandić, J. Vuković, D. Popov, S. Milošević, A. Flora, V. Popović, E. Malešić, D. Obradović, ... D. Čebzan, V. Racić, V. Zdravković,

B. Petrović, D. Radovanović, G. Grgić, D. Gajić,  
Z. Vrbljanac, M. Petrović, Lj. Repac, ...

Veliku i posebnu zahvalnost dugujem i: Željku Samardžiću, Saši Đorđeviću, Miroslavu Stolici, Preži Miladinoviću, Srbi Kabadajiću, Milošu Tanaskoviću, Zoranu Stojmenoviću, Saši Stamenkoviću, Momi Cvetkoviću, ...

Svesni njihovog doprinosa, a u nadi da će uspeti sami sebe da prepoznaju, i ako nisu posebno pomenuti, neizmerno se zahvaljujem, svim ljudima, prijateljima i kolegama koji su mi pomogli u životu, obrazovanju, radu i izradi ove disertacije.



Autor



## **„UTICAJ TRANSPORTA I SKLADIŠTENJA GASA NA SNABDEVENOST TRŽIŠTA BALKANA"**

**Rezime:** Razvojem svetske privrede i povećanjem broja stanovnika, tražnja i potrošnja energenata u svetu ima konstantan rast. Gas kao proizvod ima sve značajniju poziciju na tržištu. Svi komercijalni gasovi koji se plasiraju na tržištu uslovno se mogu svrstati u tri celine: 1. zemni (prirodni (metan)) gas, 2. industrijski (tehnički) gasovi i 3. naftni gasovi.

Marketing logistika kao savremeni koncept realizacije distributivnih procesa ima sve značajniju ulogu u savremenim tokovima privređivanja. Posebno mesto i ulogu u distribuciji gasa ima transport i skladištenje. U zavisnosti o kom je gasu reč, postoji mogućnost njegovog transportovanja i skladištenja u sva tri agregatna stanja. Danas, značajno mesto na svetskom tržištu energenata zauzima prirodni gas (metan) sa trendom sve izraženije i značajnije pozicije na osnovu svojih raspoloživih rezervi.

Do sada je najzastupljeniji vid transporta metana do potrošača na teritoriji zemalja Balkana bio je putem cevovoda u gasovitom stanju. U radu su pružene nove strategije snabdevanja zemnim gasom zemljama Balkana i srednje Evrope. Primenom jedne od ovih strategija, one mogu da budu dovedene u bolju poziciju kada je reč o snabdevanju gasom kao energentom. Prezentovaće se novi vidovi transporta gasa brodovima u gasovitom (komprimovanom), tečnom i čvrstom agregatnom stanju, kao i mogućnosti snabdevanja potrošača cevovodima sa drugih područja sa kojih do sada nisu bili snabdevani. Samim transportom i skladištenjem metana u tečnom stanju (na temperaturi od  $-160^{\circ}\text{C}$ ) smanjuje se zapremina aktivnog prostora 600 puta, što izuzetno doprinosi većoj efikasnosti marketing logistici i boljoj snabdevenosti tržišta. Novi pristupi u skladištenju metana omogućava sigurnije, pouzdanije, ekonomičnije i jeftinije snabdevanje krajnjeg potrošača ovim energentom. Ovim

---

---

konceptom se pruža mogućnost snabdevanja metanom zemalja Balkana iz više različitih zemalja, regiona ali i dopremanje sa drugih kontinenata.

U radu će su prezentovati novi pristupi, koji pruža mogućnost, da primenom adekvatnog načina: proizvodnje, skladištenja i potrošnje ugljen-dioksida u svetu, doprinese sve ukupnom smanjenju zagađenja, efekta staklene bašte i globalnog zagrevanja planete.

**Ključne reči:** snabdevanje, tržište, trgovina, distribucija, logistika, transport, skladištenje, zemni gas, tečni zemni gas, komprimovani gas, tehnički gas, propan butan,

**Naučna oblast:** Ekonomija

**Uža naučna oblast:** trgovina, marketing, distribucija, logistika

**UDK:** 65.012.34, 658.8



## **„THE IMPACT OF GAS TRANSPORT AND SORAGE ON THE SUPPLY IN THE BALKAN MARKETS"**

**Summary:** With the development of world economy and growing population as well, demand for energy in the world has a constant growth. Gases as the industrial product have a significant market position. All commercial gases, which are sold in the world market, can be conditionally divided into three parts: 1 natural (natural (methane)) gas, 2 industrial (technical) gas and 3 petroleum gases.

Marketing logistics is modern concept for the distribution process and have significant role in the latest developments of the trade economy. Also, important part in the distribution of gas is transportation and storage. Depending on specific gas and his aggregate state possibility for his transport and storage (in all three states) exist. Nowadays, a significant role in the global

---

---

energy market holds natural gas (methane), with a trend of growing and important position on the basis of their available reserves.

So far, the most common form of methane transport to the consumer in the territory of the Balkans was through a pipeline in gaseous state. This article shows the the new potential strategies for supplying natural gas to the Balkan countries, market of the Balkan region and Central Europe. By using one of these strategies, the countries could be in the better position in regards to use of natural gas as a source of energy. The new means of transportation of natural gas in compressed liquid and solid states by boats are presented as well as the possibilities of supplying the consumers with the natural gas by pipeline from the regions which did not supply the natural gas before. Therefore transport and storage of methane in the liquid state (at a temperature of -160C) reduces the volume of the active area 600 times as highly contributes to greater efficiency and better supply and distribution marketing logistics in the market. A new approach to the storage of methane provides a safer, more reliable, more efficient and cheaper supply the consumer with this fuel. This concept offers the possibility of supplying methane Balkan countries from different countries, regions and the delivery of other continents.

This paper present some new approaches, that provide opportunities to appropriate ways: production, storage and consumption of carbon-dioxide in the world, all contribute to the overall reduction of pollution, the greenhouse effect and global warming.

**Keywords:** supply, market, trade, distribution, logistics, transport, storage, natural gas, compressed gas, technical gas, propane butane,

**Scientific field:** Economics

**Special topics:** trade, marketing, distribution, logistics

**UDC:** 65.012.34, 658.8

## **Spisak jedinica i skraćenica**

oznaka	značenje
m <sup>3</sup>	kubni metar
t	tona
ten	tona ekvivaletne nafte
GWh	giga vat čas
J	džul
W	vat
°C	Celzijus
K	Kelvin
F	Fahrenheit
v	zapremina
p	pritisak
bar	bar
psi	psiga
Pa	Paskal
m <sup>3</sup> /kg	specifična zapremina
kg/m <sup>3</sup>	gustina gasne faze
kg/l	gustina tečne faze
L	litar
m <sup>2</sup>	kvadratni metar
kg	kilogram
T	tona
BTU	British Thermal Unit
MMBTU	Milion British Thermal Unit
LNG	Liquid Natural Gas
TZG	Tečni Zemni Gas
CNG	Compressed Natural Gas
KZG	Komprimovani Zemni Gas
NGH	Natural Gas Hidrat
GTL	Gas to Liquids
TNG	Tečni Naftni Gas
PPMRS	Primopredajna merno regulaciona stanica
Qr	Maksimalni protok u radnim uslovima
Qo	Maksimalni protok na normalnim uslovima
inh	Inč
sef	Standard Cubic Foot



---

---

## Tabele, ilustracije i formule u radu

<b>tabele:</b>		
I. glava .....		49 tabela (1.1.-1.49.)
II. glava .....		12 tabela (2.1.-2.12.)
III. glava .....		10 tabela (3.1.-3.10.)
IV. glava .....		29 tabela (3.1.-3.29.)
prilog .....		6 tabela (P.1.-P.6)
 <b>ilustracije:</b>		
I. glava .....		19 slika (1.1.-1.20.)
II. glava .....		44 slika (2.1.-2.44.)
III. glava .....		51 slika (3.1.-3.51.)
IV. glava .....		116 slika (4.1.-4.116.)
prilog .....		14 slika (P.1.-P.14.)
 <b>formule:</b>		
I. glava .....		8 formula (1.1.-1.7.)
II. glava .....		3 formula (2.1.-2.3.)
III. glava .....		1 formula (3.1.-3.1.)
IV. glava .....		23 formula (4.1.-4.23.)
prilog .....		0 formula (0.-0.)
 <b>ukupno:</b>		
TABELA .....		106
SLIKA .....		244
FORMULA .....		35



# SADRŽAJ RADA

---

## Uvod

### **I. Značaj, uloga i pozicija gasa kao proizvoda na tržištu energenata**

1. Analiza izvora, stanje i energetska potencijal na svetskom i domaćem tržištu
2. Karakteristike gasova, proizvodnja, plasman i njihov značaj za privredni sistem i energetiku
3. Dugoročni razvoj energetike u cilju zadovoljavanja zahteva i potreba tržišta za energijom

### **II. Uticaj, specifičnosti i mogućnosti unapređenja transporta gasa u cilju bolje snabdevenosti tržišta Balkana**

1. Savremeni pristup transportu zemnog gasa u snabdevanju tržišta energentima
2. Mogućnost i transport tehničkih gasova u tri agregatna stanja
3. Specifičnosti transporta nafni gasova u snabdevanju krajnjih potrošača
4. Formiranje novih strategija snabdevanja Balkanskog prostora i država srednje Evrope zemnim gasom sa aspekta transporta

### **III. Značaj i novi pristup skladištenju gasa u funkciji efikasnijeg snabdevanja potrošača na tržištu Balkana**

1. Savremeni pristup aktivnosti skladištenja zemnog gasa u funkciji realizacije efikasnijeg snabdevanja tržišta
2. Specifičnosti i karakteristike skladištenje tehničkih gasova kao proizvoda
3. Skladištenje nafni gasova u cilju bolje snabdevenosti potrošača
4. Novi pristup u proizvodnji, skladištenju i potrošnji ugljen dioksida u funkciji ekologije i mogućnosti doprinosa u rešavanju zaštite životne sredine u oblasti globalnog zagrevanja planete

### **IV. Unapređenje segmenata transporta i skladištenja u cilju bolje snabdevenosti potrošača gasovima na teritoriji Balkana**

1. Pravci unapređenja transporta gasa u cilju bolje snabdevenosti tržišta Balkana
2. Unapređenje skladištenja gasa u funkciji boljeg snabdevanja tržišta i potrošača

## **Zaključna razmatranja**

### **Spisak korišćene literature**

### **Prilozi**

### **Biografija autora**



**izjava autora**

**I. glava**

**Značaj, uloga i pozicija gasa kao proizvoda na tržištu energenata**

<b>1. Analiza izvora, stanje i energetski potencijal na svetskom i domaćem tržištu</b>	<b>1</b>
1.1. Energija i energetika kao osnova privrednog razvoja	1
1.2. Analiza izvora energije i njihov potencijal u funkciji svetske privrede	4
1.2.1. Klasifikovanje izvora energije i njihovo učešće u svetskoj potrošnji	4
1.2.2. Neobnovljivi svetski izvori energije i njihov potencijal u budućnosti	5
1.2.3. Obnovljivi izvori energije i njihov potencijal u svetu	7
1.3. Stanje i energetski potencijal domaćeg tržišta	9
<b>2. Karakteristike gasova, proizvodnja, plasman i njihov značaj za privredni sistem i energetiku</b>	<b>11</b>
2.1. Agregatno stanje materije i mogućnost njegove promene kao osnova za veću efikasnost logistike i pouzdanije snabdevanje tržišta gasom	12
2.2. Osnovni karakteristike gasova koji su značajne za efikasnu logistiku i formiranje različitih strategija snabdevanja tržišta u tri agregatna stanja	14
2.2.1. Najznačajniji zakoni, parametri i karakteristike gasova koji su u funkciji realizacije proizvodnih i distributivnih aktivnosti	15
2.2.2. Klasifikacija i podela gasova na osnovu različitih karakteristika	19
2.3. Zemni (prirodni) gas - metan i primese ugljovodonika	21
2.3.1. Nastanak, migracija i tipovi ležišta zemnog gasa	21
2.3.2. Istraživanje, proizvodnja, sabiranje i priprema zemnog gasa za dalji transport ovog energenta prema krajnjim potrošačima	24
2.4. Osnovne karakteristike i proizvodnja tehničkih gasova u tri agregatna stanja u funkciji efikasne logistike i pozdanog snabdevanja potrošača	30
2.4.1. Karakteristike i obeležja tehničkih gasova kao proizvoda	30
2.4.2. Postupci i načini proizvodnje azota, kiseonika i argona	33
2.4.3. Načini i metode proizvodnje i primene drugi tehnički gasova	39
2.5. Osnovne osobine, proizvodnja i karakteristike naftni gasova	41
2.5.1. Eksploatacija i tehnologija prerade nafte	41
2.5.2. Najvažnije karakteristike i osobine naftnih gasova	43
2.5.3. Postupci, načini i metode proizvodnje i dobijanja propana i butana	44
<b>3. Dugoročni razvoj energetike u cilju zadovoljavanja zahteva i potreba svetskog, Balkanskog i domaćeg tržišta za energijom</b>	<b>46</b>
3.1. Razvoj energetike i kretanje na svetskom tržištu energenata	46
3.2. Pokazatelji i obeležje tržišta Balkana	48
3.2.1. Definisane i osnovna obeležja tržišta Balkanskog poluostrva	48
3.2.2. Tržište energenata regiona Balkana	50
3.2.3. Proizvodnja i potrošnja energije u Srbiji	52
3.3. Rezerve, proizvodnja i plasman zemnog gasa u svetu	55
	55
	59
	61

3.3.1. Ukupne rezerve zemnog gasa u svetu .....	
3.3.2. Proizvodnja i plasman zemnog gasa u svetu .....	
3.4. Karakteristike tržišta zemnog gasa regiona Balkana .....	
3.4.1. Proizvodnja i potrošnja zemnog gasa u zemljama Balkana .....	61
3.4.2. Proizvodnja i plasman zemnog gasa u Srbiji .....	64
3.5. Karakteristike tržišta tehničkih (industrijski) gasova .....	67
3.5.1. Proizvodnja i plasman tehničkog gasa u svetu .....	68
3.5.2. Vodeće kompanije u proizvodnji i plasmanu tehnički gasova u Evropi i na Balkanu .....	73
3.6. Proizvodnja i potrošnja propan butana .....	75
3.7. Razvoj energetike, prognoza potrošnje zemnog gasa .....	77
3.8. Neka od značajni pitanja koja imaju uticaj na realizaciju segmenata transporta i skladištenja gasa u sklopu aktivnosti .....	80

## II. glava

### Uticaj, specifičnosti i mogućnosti unapređenja transporta gasu u cilju bolje snabdevenosti tržišta Balkana

<b>1. Savremeni pristup transportu zemnog gasa u snabdevanju tržišta energentima</b> ....	84
1.1. Tehnologije transformacije prirodnog gasa u funkciji transporta .....	84
1.2. Tehnologija transporta zemnog gasa u gasovitom stanju cevovodima .....	88
1.2.1. Proces dostave zemnog gasa cevovodom od izvorišta do potrošača .....	88
1.2.2. Transport zemnog gasa u fazi proizvodnje i prerade .....	90
1.2.3. Prenos zemnog gasa cevovodom od mesta njegove proizvodnje do sektora distribucije krajnjim potrošačima .....	92
1.2.4. Proces distribucije zemnog gasa cevovodima do potrošača .....	95
1.3. Tehnologija transporta zemnog gasa u tečnom stanju .....	96
1.3.1. Osnovne karakteristike tehnologije prevoza zemnog gasa u tečnom agregatnom stanju i lanac snabdevanja .....	97
1.3.2. Proces utičnjavanja zemnog gasa u funkciji transporta .....	99
1.3.3. Savremeni procesi isparavanja tečnog gasa u funkciji prevoza .....	100
1.4. Komprimovanje zemnog gasa u funkciji savremenog načina snabdevanja potrošača ovim energentom .....	101
1.5. Prevoza zemnog gasa u čvrstom agregatnom stanju i lanac snabdevanja tržišta .....	104
1.6. Tehnologija transporta zemnog gasa prevođenjem u tečna goriva (GtL) .....	106
<b>2. Mogućnost i transport tehničkih gasova u tri agregatna stanja</b> .....	107
2.1. Transport tehničkih gasova u gasovitom agregatnom stanju .....	108
2.2. Uticaj agregatnog stanja gasa na efikasnost prevoza tehničkih gasova u tečnom i čvrstom agregatnom stanju prilikom snabdevanja potrošača .....	111
2.3. Optimizacija dopreme tehnički gasova potrošačima u različitim agregatnim stanjima u cilju efikasnijeg i ekonomičnijeg snabdevanja .....	114
<b>3. Specifičnosti transporta nafni gasova u snabdevanju krajnjih potrošača</b> .....	118
	118
	119

3.1. Osnovna obeležja i mogućnosti snabdevana naftnim gasovima tržišta .....	
3.2. Osnovna obeležja i specifičnosti transporta naftnog gasa u zavisnosti od samoga vida prevoznog sredstva i posuda .....	
<b>4. Formiranje novih strategija snabdevanja Balkanskog prostora i država srednje Evrope zemnim gasom sa aspekta transporta .....</b>	<b>121</b>
4.1. Aktivnost i značaj transporta zemnog gasa u funkciji svetske trgovine i uloga gasni hubova u realizaciji njegovog prometa .....	121
4.2. Osnovne karakteristike Evropskog tržišta zemnog gasa .....	126
4.3. Značaj i uticaj Rusije na snabdevenost Evropskog tržišta zemnim gasom .....	131
4.4. Uticaj geopolitike na svetsko tržište gasa i njegova cena .....	134
4.5. Plasman zemnog gasa na prostoru Balkanskog poluostrva i potreba formiranje jedinstvenog tržišta .....	137
4.6. Novi mogući izvori, pravci i strategije snabdevanja zemnim gasom regiona Balkana i država srednje Evrope .....	141

### III. glava

#### Značaj i novi pristup skladištenju gasa u funkciji efikasnijeg snabdevanja potrošača na tržištu Balkana

<b>1. Savremeni pristup skladištenja zemnog gasa u funkciji realizacije efikasnijeg snabdevanja tržišta .....</b>	<b>149</b>
1.1. Mogući načini rešavanja problema nesklada između proizvodnje i potrošnje zemnog gasa .....	149
1.2. Metod skladištenja zemnog gasa u funkciji snabdevanja potrošača .....	151
1.3. Osnovna obeležja i karakteristike neki značajniji metoda skladištenja zemnog gasa u funkciji realizacije pouzdanog snabdevanja tržišta .....	155
1.3.1. Podzemno skladištenje zemnog gasa .....	155
1.3.2. Kriogeno skladištenje gasa u funkciji pouzdanog snabdevanja .....	163
1.4. Podzemna skladišta zemnog gasa u Evropi i njihove osnovne karakteristike u zemljama regiona Balkana .....	166
<b>2. Specifičnosti i karakteristike skladištenje tehničkih gasova kao proizvoda .....</b>	<b>172</b>
2.1. Načini i mogućnosti skladištenja tehnički gasova u zavisnosti od njihovog agregatnog stanja .....	172
2.2. Tehnika izolacije posuda za skladištenje kriogeni tehnički gasova .....	178
2.3. Komparativna analiza skladištenja tehničkih gasova .....	181
<b>3. Skladištenje nafni gasova u cilju bolje snabdevenosti potošača .....</b>	<b>183</b>
3.1. Rezervoari u funkciji skladišta za tečni naftni gas .....	183
3.2. Podzemna skladišta tečnog naftnog gasa .....	184
<b>4. Novi pristup u proizvodnji, skladištenju i potrošnji ugljen dioksida u funkciji ekologije i mogućnosti doprinosa u rešavanju zaštite životne sredine u oblasti globalnog zagrevanja planete .....</b>	<b>186</b>
4.1. Emisija i uticaj otpadnog ugljen dioksida na ekologiju .....	188

- 4. 2. Savremeni pristupi mogućem dugoročnom skladištenju otpadnog ugljen dioksida u funkciji zaštite životne sredine .....
- 4.3. Neki značajni elementi vezani za globalno i regionalno dugoročno geološkog skladištenje otpadnog ugljen dioksida u funkciji ekologije .....

## **IV. glava**

### **Unapređenje segmenata transporta i skladištenja u cilju bolje snabdevenosti potrošača gasovima na teritoriji Balkana**

<b>1. Pravci unapređenja transporta gasa u cilju bolje snabdevenosti tržišta Balkana ...</b>	<b>213</b>
1. 1. Osnovne karakteristike, tehnička rešenja i nove potencijalne strategije transporta zemnog gasa tranzitnim i magistralnim cevovodima u cilju boljeg i pouzdanijeg snabdevanja potrošača tržišta Balkana .....	215
1.1.1. Najznačajniji parametri vezani za tehnička rešenja u funkciji efikasnog prenosa gasa tranzitnim i magistralnim cevovodima .....	216
1.1.2. Optimalni parametri gasovoda u funkciji efikasnog transporta i snabdevanja tržišta zemnim gasom .....	222
1.1.3. Izori, pravci i tehničko-ekonomski parametri potencijalni gasovoda u funkciji formiranja novi strategija transporta zemnog gasa u cilju boljeg i pouzdanijeg snabdevanja tržišta regiona Balkana .....	225
1.1.4. Primer: Okvirno sagledavanje neki od elemenata vezani za realizaciju izgradnje tranzitnog gasovoda .....	237
1.2. Savremena rešenja prevoza gasa u tečnom stanju brodovima kao jedno od efikasni rešenje za bolju snabdevenost tržišta Balkana .....	239
1.2.1. Savremena tehnička rešenja utečnjavanja gasa u funkciji boljeg, pouzdanijeg i efikasnijeg snabdevanja tržišta gasom .....	239
1.2.1.1. Proces prečišćavanja zemnog gasa u funkciji njegovog utečnjavanja .....	240
1.2.1.2. Savremeni procesi utečnjavanja zemnog gasa u funkciji prevoza .....	242
1.2.1.3. Komparativna analiza najznačajnijih postrojenja za utečnjavanje zemnog gasa u funkciji snabdevanja tržišta .....	245
1.2.2. Transport tečnog zemnog gasa brodovima u funkciji pouzdanog i efikasnog snabdevanja tržišta i potrošača .....	247
1.2.2.1. Osnovne karakteristike posuda za smeštaj i skladištenje tečnog zemnog gasa na brodovima u funkciji njegovog transporta .....	248
1.2.2.2. Razvoj i karakteristike savremenih brodova namenjeni prevozu tečnog zemnog gasa u funkciji boljeg snabdevanja tržišta .....	252
1.2.3. Osnovne karakteristike i obeležja savremeni prihvatni terminala za brodove u funkciji snabdevanja tržišta tečnim zemnim gasom .....	258
1.2.3.1. Kopneni i odobalni prihvatni terminali za LNG brodove .....	258
1.2.3.2. Tehničko-tehnološke karakteristike savremeni procesa isparavanja tečnog gasa u funkciji njegovog prevoza .....	261
1.2.4. Transport tečnog zemnog gasa u cilju bolje snabdevenosti .....	263

potrošača na teritoriji Balkana i izgradnja novi terminala .....	
1.2.5. Primer: Okvirna ekonomska analiza isplativosti izgradnje pontencijalnog LNG terminala u cilju boljeg i sigurnijeg snabdevanja tržišta Balkana zemnim gasom .....	
1.3. Komprimovanje kao savremeno konceptualno rešenje dopreme velikih količina gasa brodovima u funkciji veće efikasnosti snabdevanja tržišta i realna mogućnost njegove primene u regionu Balkana .....	269
1.3.1. Razvoj savremeni tehničko-tehnološki rešenja u oblasti prevoza gasa brodovima procesom komprimovanja .....	270
1.3.2. Mogućnost primene koncepta prevoza komprimovanog zemnog gasa brodovima u cilju bolje snabdevenosti tržišta regiona Balkana .....	275
1.4. Transport gasa u čvrstom agregatnom stanju u formi metanski hidrata kao značajno potencijalno konceptualno rešenje prevoza u budućnosti .....	278
1.5. Troškovi transporta zemnog gasa u zavisnosti od načina prevoza .....	282
1.5.1. Okvirno sagledavanje troška transporta kod izbora načina prevoza .....	282
1.5.2. Sagledavanje uticaja agrgatnog stanja gasa na funkciju transporta u cilju veće efikasnosti logistike u svetu i ukazivanje na nove potencijalne mogućnosti prevoza radi boljeg snabdevanja tržišta .....	283
1.5.3. Agregatno stanje zemnog gasa u funkciji pouzdanog i efikasnog transporta, bolje snabdevenosti tržišta regiona Balkana i okvirni koncept njegovog prevoza u budućnosti .....	292
<b>2. Unapređenje skladištenja gasa u funkciji boljeg snabdevanja tržišta i potrošača</b>	
2.1. Osnovne karakteristike podzemni skladišta zemnog gasa i njihova izgradnja u cilju boljeg i pouzdanijeg snabdevanja tržišta Balkana .....	298
2.1.1. Karakteri. i kriterijumi za korišćenje iscrpljeni ležišta u funkciji efikasni i pouzdanog sezonskog skladištenja zemnog gasa i snabdevanja tržišta .....	299
2.1.2. Izgradnja i funkcionisanje sezonski skladišta u ležištima zemnog gasa u funkciji efikasnog snabdevanja tržišta .....	300
2.1.3. Iscrpljena ležišta zemnog gasa u funkciji efikasnog skladištenja i pouzdanog snabdevanja tržišta Balkana ovim energentom .....	305
2.1.4. Primer: Okvirni koncept izgradnje novog podzemnog skladišta u delimično iscrpljenom ležištu zemnog gasa na primeru gasnog polja Itebej u cilju bolje snabdevenosti Srbije .....	309
2.2. Primena savremenog načina skladištenja velikih količina tečnog zemnog gasa u funkciji pouzdanog snabdevanja tržišta Balkana .....	313
2.2.1. Stabilni kriogeni rezervoari za skladištenje tečnog zemnog gasa u funkciji pouzdanog snabdevanja tržišta ovim energetom .....	315
2.2.2. Neki od savremenih pristupa mogućnosti skladištenju tečnog zemnog gasu u podzemnim prirodnim i modifikovanim prostorima (pećinama) .....	317
2.3. Kriterijumi, ekonomski parametri i izbor sezonskog skladišta zemnog gasa u funkciji pouzdanog snabdevanja tržišta Balkana .....	322
2.3.1. Kriterijumi izbora sezonskog skladišta zemnog gasa .....	327
2.3.2. Iscrpljena ležišta zemnog gasa kao najefikasnijeg rešenja u funkciji sezonskog skladištenja zemnog gasa na teritoriji Balkana .....	329
	333
	339
	350
	358
	360

## sadržaj rada

---

<b>Zaključna razmatranja</b>	.....
<b>Spisak korišćene literature</b>	.....
<b>Prilozi</b>	.....
<b>Biografija autora</b>	.....
<b>Izjava autora</b>	.....

## UVOD

---

Razvojem svetske privrede i povećanjem broja stanovnika, tražnja i potrošnja energenata u svetu ima konstantan rast. Gas kao proizvod ima sve značajniju poziciju na tržištu. Svi komercijalni gasovi koji se plasiraju na tržištu, uslovno se mogu svrstati u tri celine: 1. zemni (prirodni) gas, 2. industrijski (tehnički) gasovi i 3. naftni gasovi.

Logistika kao savremeni koncept realizacije distributivnih procesa ima sve značajniju ulogu u savremenim tokovima privređivanja. Posebno mesto i ulogu u distribuciji gasa imaju aktivnosti transporta i skladištenja. U zavisnosti o kom je gasu reč, postoji mogućnost njegovog transportovanja i skladištenja u sva tri agregatna stanja. Danas, značajno mesto na svetskom tržištu obnovljivih energenata, zauzima prirodni gas (metan) sa trendom sve izraženije i značajnije njegove pozicije, na osnovu svojih karakteristika i raspoloživih rezervi.

Do sada je najzastupljeniji vid transporta metana do potrošača na teritoriji zemalja Balkana bio je putem cevovoda u gasovitom agregatnom stanju. U radu će se pružiti nove strategije snabdevanja zemnim gasom zemljama Balkana i srednje Evrope i na taj način ih direktno dovesti u bolju poziciju kad je reč o gasu kao energentu. Prezentovaće se novi vidove transporta gasa brodovima u gasovitom i tečnom stanju kao i mogućnosti snabdevanja potrošača cevovodima iz drugi regiona sa kojih se do sada nisu snabdevali. Prevođenjem metana, iz gasovitog u tečno agregatno stanje (na temperaturi od  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), smanjuje se potreban aktivni volumenski prostor šesto puta, za njegovo skladištenje i transport. Ova činjenica, omogućuje uspostavljanje drugačijeg načina dopreme gasa, što doprinosi većoj efikasnosti i pouzdanosti u realizaciji logistički aktivnosti transporta i skladištenja ovog energenta. Uspostavljanje ovakvog lanca snabdevanja, omogućuje se bolje i efikasnije snabdevanje tržišta. Novi pristup transportu i skladištenju metana omogućava sigurnije, pouzdanije, ekonomičnije i jeftinije snabdevanje krajnjeg potrošača ovim energentom. Ovim konceptom se pruža mogućnost snabdevanja metanom zemalja Balkana iz više različitih zemalja, regiona ali i dopremanje sa drugih kontinenata.

Pored ove dve mogućnosti transporta veliki količina zemnog gasa (cevovodima u gasovitom stanju i brodovima u tečnom stanju), kao savremeni način prenosa gasa, postoje i mogućnost prevoza brodovima u gasovitom (komprimovan) i čvrstom agregatnom stanju.

U radu će se prezentovati novi pristup, koji pruža mogućnost, da primenom adekvatnog načina: proizvodnje, skladištenja i potrošnje ugljen dioksida u svetu, doprinese sve ukupnom smanjenju zagađenja, efekta staklene bašte i globalnog zagrevanja planete.

**Značaj i potreba za istraživanjem** je uslovljena nedovoljnom istraženošću predmetne teme na prostorima šireg okruženja i njenom sve većom aktuelnošću. Marketing logistika, kao savremeni koncept realizacije distributivnih procesa, u okviru marketing koncepcije, ima sve značajniju ulogu u savremenim tokovima privređivanja. Distribucija, kao instrument marketing miksa, je dinamičan proces koji se neprestalno razvija, tako da su danas u svetu prisutne nove tendencije i logistički koncepti koje je neophodno sagledati, analizirati a u zavisnosti od mogućnosti, dati predloge i implementirati u praksi. Potrebno je adekvatno sagledati mesto i ulogu logistike, i opravdano na osnovu njenog značaja i uticaja, odrediti mesto i poziciju u cilju uspešnog nastupa preduzeća na tržištu. Razvojem svetske privrede i povećanjem broja

stanovnika, tražnja i potrošnja energenata u svetu ima značajan rast. Pored konstantnog povećanja količine utrošenih energenata, svake godine prisutan je izražen realan rast cene sa velikim oscilacijama. U svetu je sve manje tržišno raspoloživih neobnovljivih energenata (nafte i uglja), što predstavlja jedan od najizraženijih problema svetske privrede, jer direktno ima izrazit uticaj i značaj za celokupnu privredu i političko ekonomske odnose između zemalja.

Danas, značajno mesto na svetskom tržištu energenata zauzima prirodni gas (metan) sa trendom sve izraženije i značajnije pozicije na osnovu svojih celokupnih raspoloživih rezervi. Potrebno je pružiti adekvatno savremeno rešenje na polju logistike preduzeću proizvođaču i distributeru gasa koje će omogućiti efikasnije, bezbednije i produktivnije poslovanje i bolju snabdevenost tržišta. Adekvatnim pristupom logistici, omogućava se pružanje rešenja koja će obezbediti produktivniju i bolju proizvodnju svih gasova; prisutnost zemnog gasa i sa udaljenih tržišta (preko 2500km); prevazilaženje sezonskog karaktera metana kao robe; veću konkurenciju; bolju snabdevenost tržišta; sigurnije i bezbednije snabdevanje; niže cene; ...

Uticaj transporta i skladištenja gasa na snabdevenost tržišta ima značajanu i izraženu ulogu. Neophodno je ukazati na savremene tendencije u skladištenju i transportu gasa u svetskim okvirima koje nisu adekvatno primenjene na našem tržištu niti u zemljama okruženja a predstavljaju značajne činioce logistike. Do sada je najzastupljeniji vid transporta zemnog gasa do potrošača bio putem cevovoda u gasovitom stanju. Ovaj vid transporta je najmanje fleksibilan, dovodi potrošača u podređen položaj a proizvođaču najčešće omogućuje monopolsku poziciju u dužem vremenskom periodu. Potrebno je istražiti nove vidove transporta gasa brodovima u gasovitom i tečnom stanju što kupca dovodi u znatno bolji položaj. Pružiti nove strategije snabdevanja zemnim gasom zemljama Balkana i srednje Evrope i na taj način ih direktno dovesti u bolju poziciju kad je reč o gasu kao energentu. Novi pristupi u skladištenju metana omogućuju sigurnije, pouzdanije, ekonomičnije i jeftinije snabdevanje krajnjeg potrošača ovim energentom.

Potreba za istraživanjem se ogleda u specifičnosti i činjenici da se gasovi mogu transportovati i uskladištiti u sva tri agregatna stanja na različitim temperaturama (u rasponu od  $+50^{\circ}\text{C}$  do  $-270^{\circ}\text{C}$ ) i pritiscima od 1-500 bara, u zavisnosti od gasa i agregatnog stanja, što dodatno daje težinu, originalnost i značaj radu.

Čovečanstvo je poslednjih sto godina suočeno sa konstatnim rastom otpadnih gasova u atmosferi koji u znatnoj meri doprinose efektu „staklene bašte“. Ovo istraživanje će da prezentuje nove moguće pristupe rešavanju ovog problema. Novi pristup u proizvodnji, distribuciji i odlaganju ugljen dioksida, može značajno doprineti smanjenju emitovane količine ugljen dioksida u atmosferu.

**Cilj istraživanja** je shodno predmetu rada: sistematizovanje i analiza dosadašnjih teoretskih i empirijskih pristupa predmetnoj temi; definisanje savremenih razvojnih tendencija logistike u oblasti gasa; sagledavanje uloge transporta, skladištenja, manipulacije i zalihe gasa na efikasnost logistike i pružanje rešenja za bolju i veću efikasnost snabdevenosti tržišta Balkana gasom kao proizvodom. U radu će se nastojati da se ukaže na adekvatan konceptualni okvir i mogućnosti unapređenja poslovanja na području logistike. Sagledaće se uticaj i značaj transporta i skladištenja gasa na snabdevenost tržišta Balkana i efekat koji pruža savremeni pristup u realizaciji ovih logističkih aktivnosti. Nastojaće se da se ukaže i na mesto, ulogu i značaj povratne logistike u sistemu logistike proizvodnog preduzeća tehničkih gasova. Cilj je i da se, sagleda uticaj agregatnog stanja gasa kao proizvoda na logistiku i pruži rešenje u pravcu adekvatnog razvoja, formiranja i primene u segmentima transporta i skladištenja u sistemu logistike kod proizvođača, distribuciji i potrošača gasa.



Prezentovaće se jedan od mogućih celovitih načina smanjena emisije ugljen dioksida. Rad će celovito obuhvatiti područja proizvodnje, potrošnje i skladištenja ugljen dioksida i na taj način prezentovati pristup koji može značajno doprineti smanjenju efekta "staklene bašte". Danas u trenutku sve veće svetske energetske krize, s jedne strane, i sve izraženijeg globalnog problema vezanog za pitanja zagađenja vazduha, sa druge, otpadni ugljen dioksid predstavljaju problem i jedan od glavnih prioriteta ekologije. Cilj je i da se prezentuju nova dostignuća u segmentu logistike gasa koja do sada nisu primenjivanja niti adekvatno naučno sagledavana u našoj zemlji.

**Metode koje će se u istraživanju primenjivati.** Osnovne metode u radu koje će se koristiti: metod analize i sinteze, komparativni metod, apstrakcija, metod studije slučaja, metodi indukcije i dedukcije, posmatranja i zaključivanja uz kombinovanje sa različitim tehničkim prikazima (tabele, šeme, slike, grafikoni, ...) koji su uobičajeni u naučnoj metodologiji u ekonomskim naukama.

Metod analize i sinteze, kao osnovno metodološko sredstvo, koristiće se u celom radu u svrhu definisanja pojmova. Metod analize će poslužiti da rasčlanimo najvažnije delove logističkih aktivnosti na podsisteme. S druge strane sintezom ćemo se poslužiti kada bude trebalo izvesti generalne zaključke i imaće značajnu ulogu u definisanju pojedinih delova rada kao i definisanju sopstvenih stavova.

Komparativni metod koristio bi se u svrhu poređenja različitih parametara jer predstavlja efikasan način za uporedbu određenih elemenata u okviru određenih pod sistema logistike. Do izražaja bi došla primena klasifikovanja, bodovanja i metod ranga. Metod studije slučaja ima za cilj da rad obogati različitim praktičnim primerima i iskustvima iz prakse u cilju sve obuhvatnijeg i potpunijeg sagledavanja problematike. U radu će se koristiti i primenjivati i metode indukcije i dedukcije.

**Hipoteze** od kojih se polazi u istraživanju ovoga rada, predstavljaju prepostavke koji će se u disertaciji detaljno sagledati i analizirati kroz celokupno izlaganje. Sam predmet istraživanja, determinisao je polazne radne hipoteze koje će se u radu biti potvrđene ili oborene:

- 1). Može se formirati više strategija snabdevanja metanom (zemnim gasom) država Balkanskog poluostrva i Srednje Evrope u cilju boljeg i pouzdanijeg snabdevanja potrošača energentima;
- 2). Agregatno stanje gasa, kao proizvoda, ima uticaj na funkcije transporta i skladištenja gasa i time doprinosi većoj efikasnosti logistike
- 3). Primenom adekvatne strategije u proizvodnji, upotrebi i skladištenju ugljen dioksida u svetu može se značajno doprineti ekologiji.

**Opis sadržaja doktorske disertacije.** Jedan od preduslova razvoja celokupne materijalne proizvodnje i potrošnje svake zemlje i celokupnog čovečanstva predstavlja energija. Ona ima sve izraženiji i veći značaj u celome svetu a sama potražnja za njom ima tendenciju konstantnog rasta. Energija predstavlja strateški značaj svake zemlje, a energetski sektor, sa sobom nosi multiplikativni razvojni faktor i predstavlja osnovu savremenog tehničko-tehnološkog razvoja države i društva. Sigurno je da će značaj energije biti još veći i izraženiji u dvadeset prvom veku zbog tehničko tehnološkog razvoja civilizacije i povećanja ukupnog broja stanovnika, sa jedne strane i sve manje ukupno raspoloživih neobnovljivih energenata koji stoje na raspolaganju čovečanstvu sa druge strane. Energenti imaju međunarodno-ekonomski i politički strateški značaj. Neosporno je da ograničeni energetski resursi predstavljaju dominantan globalan izazov, ali i izuzetnu šansu za preduzimljive zemlje, regione i kompanije. Neosporno je, da energija predstavlja jedan od ključnih problema čovečanstva u prethodnom periodu a i bila je direktno ili indirektno uzrok različitih teškoća, problema, poremećaja, sukoba ali često i ratova. Povećanje proizvodnje, potrošnje i otkrivane rezerve samoga zemnoga gasa (metana) u odnosu na druge energente usloveli su da on danas predstavlja jedan od najznačajnijih i perspektivnih

konvencionalnih izvora energije u narednim decenijama ovoga veka. Potencijal koji pruža prirodni gas (metan) kao energent a njegov transport i plasman u tečnom stanju u znatnoj meri uslovljava i menja celokupnu energetska situaciju u čitavom svetu i omogućava značajne promene u međunarodno-ekonomskim ali i političkim odnosima između zemalja i regiona u celome svetu. Primenom mogućnosti snabdevanja tržišta gasovima u sva tri agregatna stanja i njihova distribucija na različitim prticima značajno menja uslove u snabdevanju potrošača.

Proizvodnja i distribucija gasova je značajan i perspektivan posao u svetu i kod nas. To je posledica sve veće izražene globalne energetske krize, stanja, potencijala, visine cene i perspektive drugih vidova komercijalnih izvora energije na svetskom tržištu. Grupu komercijalnih gasova koji se plasiraju na tržištu mogu se uslovno svrstati u tri celine: 1. zemni (prirodni, metan) gas; 2. industrijski (tehnički) gas (kiseonik, azot, ugljen dioksid, argon, ...) i 3. naftni gasovi (propan, butan). Metan (zemni gas) predstavlja sve izraženiji i objektivno realan potencijal zamene i supstitucije u značajnoj meri nafte i naftnih derivata čiji je nedostatak sve izraženiji zadnjih decenija na svetskom tržištu energenata. Ukupni značaj industrijskih gasova ogleda se i u širini njihove primene u granama privrede kao što su: energetika (termoelektrane i toplane), petrohemijska i hemijska industrija, metalurgija i metalsko prerađivačka industrija, elektronska industrija i elektroprivreda, farmaceutska industrija i medicina, saobraćaj i transport, grejanje, prehrambena industrija, termoenergetika i nuklearna energetika, poljoprivreda, građevinska industrija,... Sve ove, kao i niz drugih grana i oblasti, u manjoj ili većoj meri su zavisne od proizvodnje gasova a njihovi rezultati poslovanja i postojanja su uslovljeni primenom gasa u tehničko-tehnološkim procesima. Gas kao proizvod, zahvaljujući svojim osobinama i karakteristikama ima značajne specifičnosti u aktivnostima i procesima proizvodnje, transporta, skladištenja, manipulacije, držanju zaliha, ambalaže i potrošnje u odnosu na sve druge proizvode na tržištu.

U svetskoj privredi i poslovanju važno mesto u grupi međunarodno orjentisanih preduzeća zauzimaju multinacionalne kompanije čiji se broj značajno uvećava poslednjih decenija. U okviru same proizvodnje i distribucije gasa veliki uticaj imaju internacionalna preduzeća.

**Predmet disertacije** je uticaj transporta i skladištenja gasa na snabdevenost tržišta Balkana. Snabdevenost zemalja Balkana i krajnjih potrošača je u znatnoj meri uslovljena i određena aktivnostima na polju transporta i skladištenja gasa kao segmenta logistike. Ovim komponentama logistike će biti posvećena pažnja i biće prezentovani kao zasebni delovi rada.

Disertacija kao predmet rada za praktičnu prezentaciju uzima logistiku preduzeća proizvođača i distributera gasa. Sagledaće se proizvodnja, potrošnja i potencijal energenata na svetskom i domaćem tržištu sa posebnim osvrtom na gasove kao energente. Pokazaće se značaj transporta i skladištenja gasa na efikasnost logistike u snabdevanju tržišta i kranjeg potrošača. Potrebno je napomenuti, da se do sada kod nas u praksi nije pridavalo adekvatno mesto i značaj logistici ni u samim firmama koje su proizvođači i distributeri gasa, a istovremeno ni tema nije bila često sagledavana s teorijskog aspekta koji zaslužuje svojim značajem, širinom i neophodnošću primene gasova u granama privrede. Rad će nastojati da sagleda proizvodnju i distribuciju svih značajnijih tržišnih gasova: zemnog (prirodnog) gasa metana; industrijskih (tehničkih) gasova (kiseonik, argon, azot, helijum, ugljen dioksid, acetilen, vodonik, ...) i naftnih gasova (propana i butana).

Predmet rada prestavlja i problem zagađenja vezanog za gasove posmatrano sa aspekta globalnog zagrevanja prouzrokovanog efektom „staklene bašte" u konotaciji ekologije i zaštite životne sredine. Primenom adekvatnog načina proizvodnje, skladištenja i potrošnje CO<sub>2</sub> u svetu, koji će biti prezentovan u radu, doprinelo bi se sve ukupnom smanjenju zagađenja, efekta staklene bašte i globalnog zagrevanja planete. Na ovaj način značajno se doprinosi ekologiji kao jednom od najznačajnijih pitanja savremenog sveta na početku ovoga veka.

Originalnost ideje se ogleda i u sagledavanju i analizi mogućnosti transporta i skladištenja gasa u sva tri agregatna stanja sa aspekta logistike i pružanju praktične mogućnosti njegove primene u praksi kod zemalja Balkana. Samim transportom i skladištenjem metana kao gasa u tečnom stanju (na temperaturi od  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) smanjuje se zapremina aktivnog prostora 600 puta i pruža mogućnost dopreme tankerima što izuzetno doprinosi većoj efikasnosti logistike i boljoj snabdevenosti tržišta. Prezentovaće se novi potencijalni načini u snabdevanju, transportu i skladištenju zemnog gasa za zemlje Balkana i srednje Evrope u cilju rešavanja njihovih ukupnih energetske potrebe. Ovim konceptom se pruža mogućnost snabdevanja metanom zemalja Balkana iz više različitih zemalja, regiona ali i dopremanje sa drugih kontinenata. Na ovaj način, pruža se realna mogućnost potrošačima da kupuju gasove na novim svetskim tržištima koji raspolazu velikim rezervama metana po nižim cenama i dopremaju ga u tečnom stanju. Reč je o tržištima gasa sa koji se nisu do sada nikad snabdevale zemlje Balkana.

Savremenim pristupom u skladištenju gasa prevazilazi se njegov sezonski karakter kao robe, što direktno doprinosi nižoj ceni za krajnjeg potrošača. Novim zajedničkim nastupom država u segmentu nabavke i realizacije aktivnosti transporta i skladištenja zemnog gasa u regionu Balkana, značajno se može direktno doprineti boljoj poziciji država Balkana i srednje Evrope kao kupaca i potrošača metana. Na taj način, ostvarila bi se njihova veća nezavisnost i samostalnost, u odnosu na dosadašnji uvoz gasa cevovodom iz Rusije, koji je do sada ovaj način dominantan. Na taj način, imaće mogućnost da deo svojih potrebe zadovolje i na drugim udaljenim svetskim tržištima ovog energenta. U radu će se ukazati da to direktno jača njihovu poziciju kao kupca a smanjuje dominantnu monopolsku poziciju Rusije u snabdevanju gasom potrošača na Balkanskom poluostrvu i srednjoj Evropi koju ona sada ima. Prezentovaće se potencijalna rešenja, koja mogu doprineti zadovoljavanju potreba potrošača za njim, na nivou regiona i država. Prezentovaće se novi mogući pravci snabdevanja metana, u gasovitom stanju gasovodima, koji nisu do sada kod nas, dovoljno prezentovani. Takođe se ukazati na značaj i potencijal koji pružaju skladišta zemnog gasa za sigurno i pouzdano snabdevanje tržišta.

Disertacija će detaljno, sagledati prednosti i prezentovati potencijalna rešenja za snabdevanje tržišta gasa u tečnom i gasovitom stanju. Reč je o nekim rešenjima, koji do sad nisu kod nas nikad sveobuhvatno sagledavani. O nekima od njih, nije bilo adekvatni prezentacija i rasprava ni na teoreskom nivou. Značaj rada se manifestuje i to, što će se prezentovati novi celoviti pristup i komparativnu analizu vidova transporta i skladištenja gasa u sva tri agregatna stanja. Samom praktičnom primenom značajno bi se ostvarili tržišni i ekonomski efekti, smanjili ukupni troškovi, povećala sigurnost i bezbednost segmenata logistike gasova. Na taj način, postigla bi se bolja i sigurnija snabdevenost tržišta Balkana metanom; značajnija konkurencija na tržištu; niža cena energenata; došlo bi do značajnije promene dosadašnje izražene monopolske pozicije Rusije i zemalja bivšeg Sovjetskog Saveza kao glavnih snabdevača ovih prostora; ostvarila bih se veća energetska nezavisnost velikog broja zemalja Balkana ali i srednje Evrope, a time svim tim zemljama potrošačima gasa omogućila bolja ekonomska i strateška politička pozicija.

Predmet rada predstavlja i problem zagađenja vezanog za gasove posmatrano sa aspekta globalnog zagrevanja prouzrokovanog efektom „staklene bašte“ u konotaciji ekologije i zaštite životne sredine. Primenom adekvatnog načina proizvodnje, skladištenja i potrošnje CO<sub>2</sub> u svetu, koji će biti prezentovan u radu, doprinelo bi se sve ukupnom smanjenju zagađenja, efekta staklene bašte i globalnog zagrevanja planete. Na ovaj način značajno se doprinosi ekologiji kao jednom od najznačajnijih pitanja savremenog sveta na početku ovoga veka.

Da bi se realizovala predmetna doktorska disertacija, rad je strukturisan u četiri (4) dela. Pored četiri glave, disertacija ima: uvod, zaključak, literaturu i prilog.



I.  
glava

**Značaj, uloga i pozicija gasa kao proizvoda  
na tržištu energenata**

1. Analiza izvora, stanje i  
energetski potencijal na  
svetskom i domaćem  
tržištu

2. Karakteristike gasova,  
proizvodnja, plasman i njihov  
značaj za privredni  
sistem i energetiku



# I.

## Značaj, uloga i pozicija gasa kao proizvoda na tržištu energenata

### 1. Analiza izvora, stanje i energetska potencijal na svetskom i domaćem tržištu

Energija je reč koja opisuje pojam, odnos i relacije u različitim oblastima, sferama, sistemima i procesima. U stručnoj i naučnoj literaturi, domaćoj i inostranoj, susreću se različiti pristupi, stavovi i gledišta u analizi, sagledavanju i definisanju pojma energije i energetike. Davanje tačne i sveobuhvatne definicije energije i energetike otežano je jer se taj pojam koristi u velikom broju različitih oblasti, koje nisu međusobno usko povezane.<sup>1</sup> Prema „naučno-stručnom pristupu, energetika je nauka o energiji i tehničkom korišćenju izvora energije. U ekonomskom smislu, energija je skup privrednih aktivnosti pomoću kojih se istražuju i proizvode primarni izvori energije, zatim transformišu, prenose i distribuiraju do potrošača, i kao primarna ili sekundarna energija racionalno koristi.“<sup>2</sup>

#### 1.1. Energija i energetika kao osnova privrednog razvoja

Posmatrano sa šireg aspekta, sama reč energetika predstavljaju granu privrede koja omogućuje snabdevanje potrošača neophodnom energijom. „Energetika je oblast privrede koja se bavi proizvodnjom, prenosom i distribucijom energije i energenata u cilju zadovoljavanja potreba i zahteva društva, privrede i pojedinca. U osnovi energija je sposobnost vršenja rada, dok se pod pojmom izvori energije podrazumevaju pojave ili materijali koji se mogu koristiti za dobijanje energije. Često se, pored izvora energije, koriste izrazi oblici energije ili nosioci energije, mada se u suštini odnosi na istu stvar. Samo neki prirodni materijali ili pojave mogu da se koriste za dobijanje energije, i to su primarni, koji se dalje mogu transformisati u sekundarne (veštačke) izvore (oblike) energije, dok je potrošačima potrebna korisna energija.“<sup>3</sup>

Energetika predstavlja osnovu privrednog razvoja i napretka celokupnog društva. Ona je uslov proizvodnje i plasmana, direktno ili indirektno najvećeg broja proizvoda. „Cilj ekonomike energije je da se dobije što jeftinija i 'kvalitetnija' energija, koju omogućuju dati nivoi razvoja tehnike i tehnologije, i da se pri tome obezbedi najveći stepen korisnog dejstva, čime se minimiziraju troškovi energije u proizvodnji određenih roba, a preko njih i ukupne cene koštanja.“<sup>4</sup> Drugi autori energetiku definišu kao delatnost „čiji je glavni proizvod energija u različitim oblicima. Uz

---

<sup>1</sup> U filozofskom smislu reči, energetika je pogled na svet koji sve što postoji i sve što se zbiva svodi na energiju, čak i materiju i duh, koji u stvari nisu ništa drugo do oblici u kojima se energija pojavljuje.

<sup>2</sup> Đajić, N., *Energetika za održivi svet*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2002, str. 4.

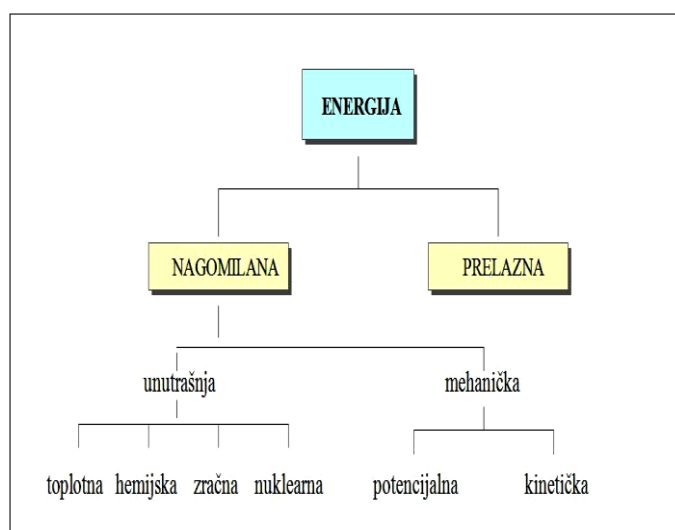
<sup>3</sup> Đajić, N., *Energetika za održivi svet*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2002, str. 4.

<sup>4</sup> Nikolić, M., Mihajlović, Z., Mandal, Š., *Ekonomika energetike*, Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd, 2003, str. 3.

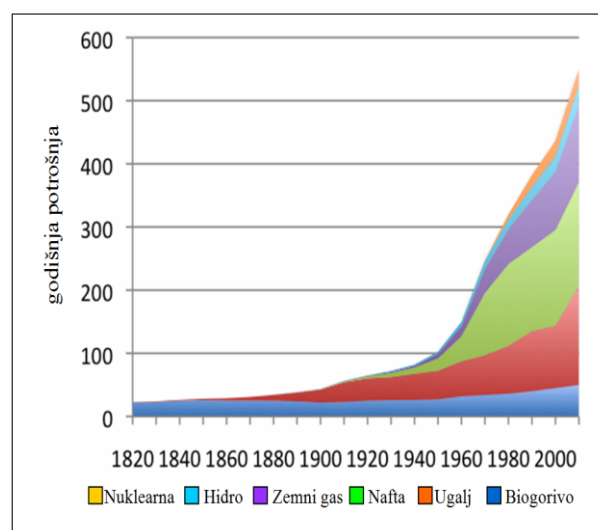
produkciju energije ona se bavi i prenosom, distribucijom, transformacijama i upotrebom energije, kao i svim posledicama koje energija ima po okruženje u svim fazama svoga životnog ciklusa.<sup>5</sup>

U naučnom smislu, energetika je nauka o energiji i tehničkom korišćenju izvora energije. Posmatrano sa ekonomskog aspekta, energetika obuhvata skup svih onih privrednih aktivnosti koje se obavljaju i sprovode u istraživanju, eksploataciji i proizvodnji primarnih i sekundarnih izvora energije, u njihovoj transformaciji, prenosu i distribuciji do krajnjeg potrošača u najpogodnijem obliku, formi i količini uz tržišno ekonomski prihvatljivu cenu, a istovremeno uvažavajući sve bezbednosne, sigurnosne i ekološke aspekte.

Mesto, uloga i pozicija energije izuzetno su značajni u savremenom svetu. Krajnji primarni cilj privrede danas jeste da proizvede dovoljno hrane za sve veći rastući broj stanovnika na planeti, da obezbedi dovoljnu količinu adekvatne sirovine za industrijsku proizvodnju i da obezbedi neophodno kvalitetnu količinu energije po pristupačnoj ceni.<sup>6</sup> Energija ima direktno ili indirektno, u većoj ili manjoj meri, značajno učešće u gotovo svim proizvodima i privrednim aktivnostima savremenog sveta. „Energija se javlja kao modifikator privrednih struktura i akcelerator opšteg ekonomskog napretka. Kao modifikator, energetika doprinosi ne samo brzom razvoju postojećih grana i delatnosti, već omogućuje razvoj i novih privrednih delatnosti, a isto tako pospešuje razvoj i nekih nerazvijenih delatnosti. Kao akcelerator ekonomskog progressa energija omogućuje efikasniju i jeftiniju proizvodnju, što sve više doprinosi povećanju životnog standarda. Porast životnog standarda opet utiče na ekspanziju proizvodnje i potrošnje energije. Otuda ovo uzajamno delovanje doprinosi opštem privrednom razvoju.“<sup>7</sup> Međusobni uticaj ima direktno za posledicu napredak i privredni razvoj društvene zajednice i celokupne privrede zemlje, regiona i sveta.



Slika 1.1. Oblici energije<sup>8</sup>



Slika 1.2. Potrošnja energije u svetu<sup>9</sup>

Prilikom sveukupnog sagledavanja, energija se ne može posmatrati odvojeno od materije, ona je jedan od oblika postojanja (egzistencije) same materije. Sve oblike energije možemo uslovno svrstati u dve celine: nagomilanu (akumuliranu) i prelaznu energiju (Slika 1.1).<sup>10</sup> Nagomilani oblik energije (unutrašnja i mehanička) jeste onaj oblik koji se u istom stanju nepromenjen može zadržati dug vremenski period. Mehanička energija je najprostiji oblik energije i javlja se u dva oblika, kao

<sup>5</sup> Ušćumlić, D. i dr., *Komercijalno poznavanje robe*, Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd, 2004, str. 27.

<sup>6</sup> Smatra se da će u budućnosti pred čovečanstvom biti tri dominantna problema: obezbediti dovoljnu količinu hrane za celokupno čovečanstvo, dovoljnu količinu pitke vode i potrebnu količinu energije.

<sup>7</sup> Nikolić, M., Mihajlović, Z., Mandal, Š., *Ekonomika energetike*, Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd, 2003, str. 4.

<sup>8</sup> Autor. Na osnovu više različitih izvora.

<sup>9</sup> Izvor IEA (International Energy Agency) izveštaj za 2012. Potrošnja energije po stanovniku u svetu.

<sup>10</sup> Ušćumlić, D. i dr., *Komercijalno poznavanje robe*, Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd, 2004, str. 28–34.

kinetička i potencijalna. Kinetička energija je energija kojom raspolaže neko telo usled svoga kretanja u prostoru. Potencijalna energija (gravitaciona potencijalna i elastično potencijalna) jeste ona energija kojom telo raspolaže usled svog uzdignutog položaja. Prelazni oblik energije javlja se prilikom prelaska nagomilane energije sa jednog tela na drugo i javlja se u veoma kratkom vremenskom periodu.

Unutrašnja energija može biti: toplotna, hemijska, nuklearna i svetlosna. Toplotna energija je energija molekula i zavisi u prvom redu od apsolutne temperature gasa, tečnosti ili čvrstog tela. Hemijska energija je unutrašnja energija na nivou atoma. Ona se egzotermnim hemijskim reakcijama pretvara u toplotnu energiju. Prelazak hemijske u toplotnu energiju odvija se samo prilikom sagorevanja klasični goriva (uglja, drveta, zemnog gasa, nafte i naftinih derivata, biomase,...). Nuklearna energija je energija u okviru atomskog jezgra, koja se oslobađa prilikom odvijanja procesa fisije i fuzije.<sup>11</sup> Svetlosna energija je energija elektromagnetnih talasa koju emituju svetlosni izvori.<sup>12</sup> Električna energija se kao takav oblik ne nalazi u prirodi, ali se dobija iz drugih oblika energije, a može se lako transformisati u druge oblike energije (svetlosnu, toplotnu, mehaničku i hemijsku).

U praksi se često, da bi se definisao energetske potencijal i uporedili različiti izvori energije, pored osnovne jedinica SI sistema za meru energije, džula (Joule, J), koriste i druge jedinice.<sup>13</sup> Da bi se lakše definisao energetske potencijal i uporedili različiti izvori energije, često se koristi i prirodni oblik jedinica za masu ili zapreminu. Tako da se, radi lakše konverzije, koriste utvrđene faktorske vrednosti za obračun u uslovno gorivo. Najčešće, u praksi i literaturi, koristi se jedinica ekvivalentne nafte.<sup>14</sup> Tako da se drugi energenti svode na vrednost nafte. Na ovaj način se omogućuje međusobno sagledavanje i upoređivanje vrsta goriva i energije.<sup>15</sup> Tako da je, na osnovu energetske konverzije, 1000 m<sup>3</sup> zemnog gasa jednako 0,849 ten.<sup>16</sup>

Energetski bilans prati tokove energije od njene pojave do krajnje upotrebe.<sup>17</sup> On prikazuje ceo tok energije od primarne, sekundarne, preko gubitaka u metamorfozama do finalne potrošnje. Prema bilansnoj relaciji: zaliha + proizvodnja + uvoz = potrošnja + izvoz + gubici. Energetski bilans služi kao osnova za planiranje i prognoziranje mogućnosti i tempa razvoja energetske privrede ali i celokupne nacionalne ekonomije. On, osim kvantitativne strane (količine pojedinih oblika energije), sadrži i kvantitativnu komponentu (strukturu oblika energije).<sup>18</sup>

Razvoj društva značajno je uslovljen porastom potrošnje energije. Potrošnja primarne energije ima stalan rast.<sup>19</sup> U periodu 1870–1970. godine potrošnja energije se u svetu povećala 32 puta sa prosečnom stopom rasta od 3,5%.<sup>20</sup> Samo u periodu od dvadeset godina (1950–1970) potrošnja<sup>21</sup> je veća od celokupne potrošnje od 1850. do 1950. godine. U periodu od 1973. do 2013.

<sup>11</sup> Procesi nuklearne fisije i fuzije mogu da se odvijaju u jezgrima lakih i teških atoma pri čemu se oslobađa nuklearna energija koja se transformiše u toplotnu energiju.

<sup>12</sup> Zračni oblik energije dosad je najmanje iskorišćen za dobijanje pogodnog i prikladnog oblika energije za širu upotrebu. Njen potencijal je izuzetno velik i nesrazmerno malo iskorišćen u odnosu na mogućnost koju pruža.

<sup>13</sup> Jedinica za meru energije SI sistema jeste džul (Joule, J). On je jednak jednom njutn metru, koji se definiše kao rad koji izvrši sila od jednog njutna (N) pri pomeranju tela na putanji od 1 metra. U praksi se često koriste znatno veće jedinice od džula: kilodžul (kJ 10<sup>3</sup>), megadžul MJ, gigadžul GJ, teradžul TJ,...

<sup>14</sup> Najčešće se svodi na jednu tonu ekvivalentne nafte (1 ten). Utvrđeno je da 1 ten = 41.868 kJ = 10 gal, odnosno ekvivalent nafte je gorivo toplotne vrednosti 41.868 kJ/kg.

<sup>15</sup> Na osnovu konverzija drugih energenata prema nafti: 1 tona koksa iznosi 0,657 ten; 1 tona tečnog gasa = 1,120 ten; 1000 m<sup>3</sup> zemnog gasa = 0,849 ten; 1 tona uglja = 0,24–0,55 ten; 1 GWh električne energije = 0,086.

<sup>16</sup> Detaljnija konverzija određenih energenata može se videti u prilogu ovoga rada.

<sup>17</sup> Energetski bilans predstavlja dokument kojim se utvrđuje godišnji iznos energije i energenata potrebnih za uredno i sigurno snabdevanje korisnika energije.

<sup>18</sup> Nikolić, M. i dr., *Ekonomika energetike*, Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd, 2003, str. 13–14.

<sup>19</sup> Grafička ilustracija potrošnje energije u periodu 1820–2010. Slika 1.2. izveštaj IEA, 2014.

<sup>20</sup> U istom periodu stopa rasta stanovništva bila je 1,35%.

<sup>21</sup> Potrošnja je izražena u Mten, tabela je sačinjena na osnovu godišnjih izveštaja IEA (Internacional Energy Agency) publikovanim u njenim izdanjima *Key World Energy Statistics*.

godine potrošnja energije je više nego udvostručena (Slika 1.2). U 2013. godini, ukupna potrošnja u svetu iznosila je 13.541 Mten.<sup>22</sup> Potrošnja primarne energije nije ravnomerna u svetu, niti srazmerna broju stanovnika njegovih regiona. Razvijene zemlje danas troše preko 50% ukupne svetske energije, a istovremeno, u ukupnom broju stanovnika njihovi građani učestvuju sa oko 20%.

## 1.2. Analiza izvora energije i njihov potencijal u funkciji svetske privrede

Sirovinsku osnovu energije čine svi energetske izvori koji se mogu pod određenim tehničko-tehnološkim uslovima iskoristiti za dobijanje energije. Izvori energije mogu se uslovno podeliti na primarne i sekundarne. Analiza izvora energije, posmatrano sa stanovišta energetike, sagledava u prvom redu primarne izvore energije. Primarni izvori energije jesu oni izvori energije koji se nalaze ili se pojavljuju u prirodi. Podelu primarnih izvora moguće je izvršiti na osnovu više parametara i kriterijuma. Sa aspekta analize izvora energije, potrebno je izvršiti: njihovo klasifikovanje, pojedinačno sagledati obnovljive i neobnovljive izvore, detaljno analizirati njihovog potencijal...

### 1.2.1. Klasifikovanje izvora energije i njihovo učešće u svetskoj potrošnji

Posmatrano sa aspekta obnovljivosti, sve izvore možemo svrstati u dve osnovne celine: obnovljive i neobnovljive izvore energije. Grupu neobnovljivih izvora energije čine svi oni izvori čiji su obim i količina limitirani utvrđenim potencijalom ili novim mogućim rezervama koje mogu biti otkrivene. To su izvori energije koji nisu obnovljivi u dužem vremenskom periodu: nafta, ugalj, gas, bitumenski škriljci, rude nuklearnog goriva... Obnovljive izvore energije čine oni izvori koji se nakon određenog vremenskog perioda ponovo sami javljaju ili se mogu obnoviti. U obnovljive izvore energije spadaju: vodeni tokovi, sunčeva energija, biomasa i biljni i životinjski otpaci, energija vetra, geotermalna energija, energija mora... Sagledavajući izvore energije sa aspekta mogućnosti njihovog korišćenja u zavisnosti od tehničko-tehnoloških i ekonomskih rešenja za njihovo korišćenje u širokoj primeni, oni se mogu podeliti na konvencionalne i nekonvencionalne (Tabela 1.1). Ovakvu podelu samih izvora i njihovo grupisanje treba posmatrati uslovno. Napretkom novih tehnologija u procesima eksploatacije i proizvodnje, s jedne strane, i smanjenjem raspoloživih rezervi i povećanjem cene konvencionalnih izvora, s druge, došlo je do toga (posmatrano u dužem vremenskom periodu) da i neki nekonvencionalni izvori energije postanu, ili su na pragu da pređu u konvencionalne izvore.<sup>23</sup>

Tabela 1.1. Podela primarnih izvora energije

	konvencionalni	nekonvencionalni
neobnovljivi	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ugalj</li> <li>– nafta</li> <li>– zemni gas</li> <li>– nuklearna goriva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– bitumiozni škriljci</li> <li>– bitumiozni pesak</li> <li>– metanski hidrati</li> </ul>
obnovljivi	<ul style="list-style-type: none"> <li>– vodeni tokovi</li> <li>– drvo i drugi biljni materijali</li> <li>– energija vetra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– sunčeva energija</li> <li>– geotermalna energija</li> <li>– energija plime i oseke</li> <li>– energija mora i okeana</li> <li>– biogas</li> </ul>

Autor. Na osnovu više izvora.

<sup>22</sup> Potrošnja primarne energije u svetu za nepune četiri decenije se udvostručila, a u periodu od 1950. do 2010. godine povećana je 6 puta (približno, sa 2 Gten na 12 Gten), a 2015. preko 13,5 Gten (gigatona ekvivalentne nafte).

<sup>23</sup> U zavisnosti od ugla posmatranja i uspostavljenog kriterijuma, u poslednjih nekoliko decenija, za određene izvore se može smatrati da su već postali konvencionalni, ili su na pragu da to dostignu: energija vetra, energija sunca, biogas...



Nastojanje da se goriva precizno i striktno podele nije lako niti moguće ostvarljivo, u prvom redu zato što je uslovljeno: kompleksnošću samog pitanja, pristupa problemu, širinom posmatrane materije i specifičnostima njihovog porekla, agregatnog stanja i forme u kojoj se javlja. Goriva su sve prirodne, veštačke i sintetičke materije iz kojih se na racionalan i ekonomičan način procesom sagorevanja može dobiti veća količina toplotne energije. Goriva prema poreklu mogu biti prirodna i veštačka, a prema agregatnom stanju: čvrsta, tečna i gasovita. Prirodna goriva, na osnovu agregatnog stanja, svrstana su u tri grupe: čvrsta (ugalj, bitumenski škriljci, briketi), tečna (nafta) i gasovita (prirodni gas). Nasuprot njima, sva veštačka goriva po istom osnovu su razvrstana na: koks i polukoks u čvrsta; benzin, petroleum, dizel-gorivo, lož-ulje, alkohol... u grupu tečnih goriva; a grupu gasovitih veštačkih goriva formiraju: generatorski gas, vodeni gas, koksni gas, rafinerijski gas, acetilen, vodonik...<sup>24</sup>

Pored uočljivog apsolutnog porasta potrošnje goriva u svetu, došlo je i do značajne promene procentualnog učešća u strukturi između određenih vrsti goriva. Ukupna potrošnja energije u svetu 1960. godine iznosila je 3345 Mten, 1973. godine bila je 6036 Mten, a 2013. godine dostigla je iznos od 13.541 Mten. Najznačajniju promenu, u procentualnom odnosu, u strukturi ukupne potrošnje energije, prema vrsti goriva u periodu 1960–2013. godine ima gas kao gorivo koje je svoje učešće kao energent povećalo sa 12% na 21,4%. Nafta kao gorivo zabeležila je pad svog učešća u strukturi ukupne potrošnje energije u svetu sa 45% 1973. godine na 31,1% u 2013. godini. Gas kao energent u periodu 1960–2013. zabeležio porast sa 9,4% na 21,4% (Tabela 1.2). Ovaj porast potrošnje gasa pokazuje njegovu sve izraženiju i značajniju ulogu na tržištu energenata danas. Na osnovu prisutne tendencije u poslednjih pedeset godina, ali i svih raspoloživih podataka i indikatora, prevladava stručno mišljenje da će njegova uloga i pozicija u narednim decenijama biti još izraženija i dominantnija na tržištu energenata.

Tabela 1.2. Ukupna potrošnja energije u svetu posmatrano prema izvoru goriva<sup>25</sup>

	godina	1960.	1973.	2013.
	energent /količina Mten	3345 Mten	6036 Mten	13.541 Mten
		količina %	količina %	količina %
1.	Nafta	29	45	31,1
2.	Ugalj	41	25	28,9
3.	Gas	12	16	21,4
4.	Hidro	4	2	2,4
5.	Nuklearna	0	1	4,8
6.	Obnovljivi	14	11	10,2
7.	Ostalo	0	0	1,2
	Ukupno	100	100	100

Autor. Na osnovu Key World Energy Statistics.

### 1.2.2. Neobnovljivi svetski izvori energije i njihov potencijal u budućnosti

Najznačajnije neobnovljive izvore energije, sa aspekta energetike, čine: ugalj, nafta, nuklearno gorivo i zemni gas. Svaki od ovih energenata obeležava niz različitih specifičnosti i karakteristika.<sup>26</sup>

<sup>24</sup> Uščumlić, D. i dr., *Komercijalno poznavanje robe*, Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd, 2004, str. 36–37.

<sup>25</sup> Autor. Ukupna potrošnja energije iskazana je u Mten (megatone ekvivalentne nafte). Često se svi izvori energije iskazuju (prevode) u Mten radi mogućnosti njihovog međusobnog upoređivanja. Podaci su prezentovani na osnovu više različitih godišnjih izveštaja. Prema izveštajima IEA (Internacional Energy Agency) i podacima publikovanim u njenim godišnjim izdanjima *Key World Energy Statistics: 2000... 2012, 2013, 2014, 2015*.

<sup>26</sup> U ovom segmentu rada, prezentovani su osnovni parametri vezani za: ugalj, naftu i nuklearno gorivo. O zemnom gasu kao energentu, sveukupna i detaljna prezentacija u daljem delu ovoga rada.

**Ugalj.** Od čvrstih goriva, u svetu se najviše koristiti ugalj za dobijanja energije. Karakteristika uglja uslovljena je njegovom ugljenisanošću (karbonifikacijom), sadržajem mineralnih komponenti i stepena petrografskog sastava. Ugalj je sedimentalna stena koja je nastala pretežno od ostataka biljaka (kopnenih, ređe, i vodenih, češće) i neorganske materije.<sup>27</sup> Proces stvaranja uglja odvija se u dve faze: a) pripremna faza (humifikacija), koja obuhvata procese u kojima se vrše akumulacija, izmena i transformacija organske biljne materije u treset, odnosno u sapropel; b) faza ugljenifikacije (karbonizacije), koja obuhvata sve procese u kojima se treset, odnosno sapropel, putem dijageneze i metamorfizma pretvara u lignit, mrki ugalj, kameni ugalj i antracit.<sup>28</sup> Analiza sastava elemenata uglja pokazuje: ugljenik, vodonik, kiseonik, azot i sumpor, čiji je procenat uslovljen vrstom uglja. Ugalj je sastavljen od organskog (sagorivog) i mineralnog (nesagorivog) dela. Procesom sagorevanja mineralna materija postaje pepeo.<sup>29</sup>

Ukupna proizvodnja uglja u svetu 2014. godine iznosila je 7925 Mt. Najveći proizvođači uglja u svetu bili su: Kina, SAD, Indija, Australija, Indonezija... U istoj posmatranoj godini najveći izvoznici uglja bile su: Indonezija, Australija, Rusija, Kolumbija, SAD... a najveći uvoznici: Kina, Indija, Japan, Koreja, Kineski T, Nemačka, V. Britanija i Turska.<sup>30</sup>

**Nafta.** Prema hemijskom sastavu, nafta je složena smeša ugljovodonika. Sve teorije o nastanku nafte mogu se grupisati u dve grupe: o organskom i neorganskom poreklu nafte.<sup>31</sup> Nafta se može pojaviti u ležištima u tečnom, gasovitom i čvrstom agregatnom stanju, što je uslovljeno pritiskom i temperaturom samoga ležišta. Na formiranje različitih tipova nafte uticaj imaju geološki i geohemijski uslovi njenog nastanka. Sam sastav nafte određuje njene osobine i karakteristike. U zavisnosti od sastava ugljovodonika, postoje: parafinske, parafinsko-naftenske, naftenske, naftensko-parafinsko-aromatske i naftensko-aromatske nafte. U zavisnosti od gustine<sup>32</sup>, razlikujemo: lake nafte (0.70–0.80), srednje teške (0.80–0.90)<sup>33</sup> i teške (0.90–1.00).<sup>34</sup>

<sup>27</sup> Uščumlić, D. i dr., *Komercijalno poznavanje robe*, Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd, 2004, str. 38.

<sup>28</sup> Đajić, N., *Energetika za održivi svet*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2002, str. 11.

<sup>29</sup> Sastav uglja se analizira na osnovu: isparljive materije, vezanih ugljenika, vlage, pepela, sumpora i toplotne moći. Toplotna moć iskazuje energetski potencijal uglja. Toplotni efekat sagorevanja uglja daju dva elementa: ugljenik i vodonik. On zavisi od njihovog procenta u sadržaju, od njihovih jedinjenja i od načina sagorevanja uglja. Toplotni efekat (toplotna moć goriva) jeste količina energije koja se dobija pri procesu sagorevanja. Upotreba uglja se može podeliti u dve grupe: a) sagorevanje (toplotna energija, električna energija, sporedni proizvodi) i b) prerada u čista goriva (čvrsta i gasovita<sup>29</sup>) i ugljovodonike (tečne i gasovite). Različiti postupci i procesi prerade uglja mogu se realizovati i sprovesti kroz aktivnosti: obogaćivanje uglja, mehaničku i hemijsku (koksovanje, gasifikaciju i likvefakciju) preradu u korišćenju i iskorišćavanju uglja.

<sup>30</sup> Podaci prezentovani na osnovu godišnjeg izveštaja IEA (Internacional Energy Agency) publikovanog u njenom izdanju *Key World Energy Statistics 2015*, str. 15.

<sup>31</sup> Najčešće prihvaćena teorija o nastanku nafte bazira se na postanku nafte od biljnih i životinjskih ostataka, belančevina, masti i ugljenih hidrata pod dejstvom bakterija.

<sup>32</sup> U odnosu na gustinu vode. Nafta koja sadrži procentualno više smole poseduje veću gustinu, a nafta sa većim procentualnim učešćem vodonika ima manju specifičnu gustinu.

<sup>33</sup> Nafta koja sadrži procentualno više smole poseduje veću gustinu, a nafta sa većim procentualnim učešćem vodonika ima manju specifičnu gustinu.

<sup>34</sup> Proces prerade sirove nafte sprovodi se u rafinerijama koje se mogu podeliti na: energetske-hemijske i petrohemijske. U energetske-hemijskim rafinerijama se u procesima proizvodnje dobiju razne vrste goriva, rafinerijskih gasova, benzini, goriva za avione, dizel-goriva, ulja za loženje, mazut... preko 80% prerade sirove nafte odvija se u ovim procesima, a ostatak u petrohemijskim kompleksima, gde se proizvode petrohemijski proizvodi i maziva. Svi procesi prerade nafte mogu se grupisati u: primarnu i sekundarnu preradu nafte. Proces primarne prerade nafte jeste frakciona destilacija, koja može biti atmosferska (gasoviti proizvodi, sirovi benzin, petroleum, gasno ulje) i vakuum destilacija (vretensko ulje, lako mazivo ulje, teško mazivo ulje, cilindarsko ulje i bitumen). Proces sekundarne prerade nafte jeste prerada nafte u kojoj se vrši hemijska transformacija ugljovodonika nafte. Hemijska transformacija se može vršiti kroz sledeće procese: krekovanje, reforming, izomerizacija, alkilovanje, rafinacija... U energetske-hemijskim rafinerijama, u procesima proizvodnje dobiju se razne vrste goriva, rafinerijskih gasova, benzini, goriva za avione, dizel-goriva, ulja za loženje, mazut, ... preko 80% prerade sirove nafte odvija se u ovim procesima, a ostatak u petrohemijskim kompleksima gde se proizvode petrohemijski proizvodi i maziva.

Ukupna proizvodnja sirove nafte u svetu 2014. godine iznosila je 4200 Mt u odnosu na 1973. godinu kad je proizvodnja iznosila 2869 Mt. Najveći proizvođači nafte u svetu 2014 godine jesu: Saudijska Arabija, Rusija, SAD, Kina, Kanada.... U istoj posmatranoj godini, ukupan izvoz sirove nafte u celom svetu iznosio je 1929 Mt, a najveći izvoznici su bili: Saudijska Arabija, Rusija, Arapski Emirati, Irak, Nigerija, Kuvajt... Istovremeno, najveći uvoznici u posmatranoj godini jesu: SAD, Kina, Indija, Japan, Koreja, Nemačka, Italija i Španija.<sup>35</sup>

**Nuklearno gorivo.** Nuklearno gorivo čine plutonijum, uran i torijum, koji se upotrebljavaju u nuklearnim procesima fisionih reaktora. Najčešće se u praksi koristi plutonijum Pu-239 i izotop urana U-233 koji se dobijaju u nuklearnim reaktorima U-238 i Th-232. U prirodi veliki broj minerala sadrži uranijum, ali u malim količinama koje nisu ekonomski isplativije za komercijalno korišćenje.<sup>36</sup> Proizvodnja električne energije iz nuklearnih postrojenja 1973. godine u svetu je iznosila 203 TWh a 2013. godine 2478 TWh. Zemlje u kojima je najveća proizvodnja nuklearne energije jesu: SAD, Francuska, Rusija, Koreja, Kina, Kanada, Nemačka.... Istovremeno, najveće instalirane kapacitete za proizvodnju nuklearne energije imale su: SAD, Francuska, Japan, Rusija, Koreja i Kina.

**Uljni škriljci.** Uljni škriljci su neobnovljivi izvori energije sedimentno-organskog karaktera koji sadrže različite organske materije koje se nalaze u porama rudne materije u obliku mikroskopskih čestica.<sup>37</sup> Koncentracija organske materije (kerogena) u samoj rudi veoma je različita u zavisnosti od ležišta.<sup>38</sup> Škriljci se retko koriste direktno kao gorivo u industrijskim pećima ili termoelektranama, nego se uglavnom koriste za dobijanje tečnih goriva. Proces izdvajanja ulja moguće je sprovesti indirektno na površini ili direktno u samom ležištu.<sup>39</sup>

**Bituminozni peskovi.** Bituminozni peskovi su masa koju čine pesak, mineralna materija, voda i bitumen. Nakon termičke obrade, iz smeše se izdvaja bitumen iz kojeg se daljom preradom dobijaju lakši ugljovodonici. Ovaj vid proizvodnje razvio se u poslednje tri decenije. Tehnologija za proizvodnju je relativno složena i skupa. Dobijanje energenata iz ovih izvora postaje sve značajnije porastom cene energenata na svetskom tržištu, u prvom redu nafte. Najveće rezerve poseduju: SAD, Kanada, Nemačka, Holandija, Rusija, Kina, Estonija i Australija.

### 1.2.3. Obnovljivi izvori energije i njihov potencijal u svetu

**Hidroenergija.** Hidroenergija je obnovljivi konvencionalni izvor energije reke koji se dugo u istoriji čovečanstva koristio za dobijanje mehaničke energije, a u poslednja dva veka i za dobijanje električne energije u hidroelektranama. Prilikom razmatranja hidroenergije kao izvora energije, sagledava se: teoretski, tehnički i ekonomski potencijal reke. Teoretski potencijal predstavlja ukupnu raspoloživu snagu vodotokova. Tehnički potencijal je ona veličina hidroenergetskog potencijala koji je realno moguće tehničko-tehnološki iskoristiti, dok ekonomski potencijal predstavlja njegov deo

<sup>35</sup> Podaci prezentovani na osnovu godišnjeg izveštaja IEA (Internacional Energy Agency) publikovanog u njenom izdanju *Key World Energy Statistics* 2015, str. 11.

<sup>36</sup> Iz jednog kilograma čistog urana U<sup>235</sup> dobija se energija od  $8,21 \times 10^{13} \text{ J} = 951 \text{ MWd}$  (jedinica megavat dan), dok se iz 1 kg prirodnog urana može dobiti energetska ekvivalent koji iznosi  $5,86 \times 10^{11} \text{ J} = 6,8 \text{ MWd}$ . Standardna vrednost uglja jeste  $2,93 \times 10^7 \text{ J} = 3,4 \times 10^4 \text{ MWd/kg}$ .

<sup>37</sup> Na osnovu: Đajić, N., *Energetika za održivi svet*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2002, str. 33–35.

<sup>38</sup> Iz tone rude dobija se od nekoliko litara do 600 litara kerogena.

<sup>39</sup> Prvi način podrazumeva iskopavanje mineralne sirovine, koja se melje i u destilacionim postrojenjima na temperaturi od 500°C iz nje se izdvaja ulje koje se dalje prerađuje u različite derivate. Drugi način eksploatacije zasniva se na upumpavanju fluida (vodene pare, vodonika, vazduha...) u samo podzemno ležište, koji istiskuju kerogen iz stena. Kerogen se pod pritiskom gomila na pogodnim lokacijama unutar ležišta iz kojih se crpi pumpama i dalje prerađuje. Drugi način je značajno prihvatljiviji sa ekološkog aspekta, ali je tehničko-tehnološki zahtevniji, ekonomski skuplji, a pri tome ima manji stepen iskorišćenja ležišta. Same utvrđene rezerve uljnih škriljaca nisu velike u odnosu na procenjeni potencijal rezervi.

koji je na ovom stepenu tehničkog razvoja ekonomski isplativo koristiti.<sup>40</sup> Ukupna proizvodnja električne energije u hidroelektranama u svetu iznosila je 2013. godine 3874 TWh. Najveći proizvođači su: Kina, Kanada, Brazil, SAD... Ukupni instalisani kapaciteti hidroelektrana u svetu bili su 963 GW. Najveće instalisane kapacitete poseduju: Kina, SAD, Brazil, Kanada i Rusija.

**Sunčeva energija.** Ukupna energija Sunčevog zračenja predstavlja najveći raspoloživi izvor energije. Na samom Suncu odvijaju se neprestani fuzioni procesi vodonika i helijuma pri kojima se stvara energija zračenja u iznosu od  $3,86 \times 10^{20}$  MW. Solarna konstanta<sup>41</sup> pri srednjoj udaljenosti zemlje od Sunca iznosi  $1400 \text{ W/m}^2$ . Celokupan deo emitovane energije ne stiže na površinu Zemlje.<sup>42</sup> Ukupan njen dotok na Zemlju jeste  $117 \times 10^9$  MW, a to je oko  $10^9$  TWh godišnje.<sup>43</sup> Prosečan potencijalni dotok energije na Zemlju jeste  $230 \text{ W/m}^2$ , odnosno oko  $5,5 \text{ kWh/m}^2$  dnevno.<sup>44</sup> Dve su mogućnosti za energetska iskorišćavanje zračenja: pretvaranje solarne energije u toplotu i direktno pretvaranje u električnu energiju. Pretvaranje solarne energije u toplotu realizuje se u toplotnim kolektorima. Efikasnost ove transformacije Sunčevog zračenja jeste od 35% do 55% na klasičnim kolektorima.<sup>45</sup> Direktno pretvaranje Sunčevog zračenja u električnu energiju jeste fotonaponska konverzija koja se odvija u fotonaponskoj ćeliji.<sup>46</sup> Danas u svetu postoji veći broj instalisanih solarnih elektrana.<sup>47</sup>

**Geotermalna energija.** Geotermalna energija je toplotna energija koja je akumulirana u fluidima i stenovitim masivima u Zemljinoj kori. Njen potencijal i raspoloživost izuzetno su veliki, a samo sagledavanje i razmatranje za sada uzima u obzir akumuliranu energiju<sup>48</sup> na dubini do 10 km koja se na sadašnjem stepenu tehničko-tehnološkog razvoja sistema može koristiti.<sup>49</sup> Sve značajnije mesto i ulogu kao energent imaće u narednim decenijama razvojem efikasnije tehnike, tehnologije i sistema za njeno korišćenje i upotrebu.<sup>50</sup> Trenutno, geotermalna energija se koristi u prvom redu za direktne toplotne potrebe mnogo više nego za proizvodnju električne energije.<sup>51</sup> U daljem periodu,

<sup>40</sup> Procenjuje se da se trenutno u svetu koristi 18–20% tehničkog a 28–30% ekonomskog hidroenergetskog potencijala.

<sup>41</sup> Dotok energije Sunčevim zračenjem na Zemlju naziva se solarna konstanta.

<sup>42</sup> Pri prolasku kroz atmosferu, deo energije se troši u složenim procesima, a deo se reflektuje i reemituje u svemir. Procenjuje se da 1/3 energije koja dospe na rub atmosfere ne stigne na površinu Zemlje.

<sup>43</sup> To je godišnja energija koja je veća više od 76 puta od svih iskoristivih rezervi fosilnih goriva, odnosno 25 puta veća od ukupnih rezervi i resursa fosilnih goriva. Đajić, N., *Energetika za održivi svet*, RGF, Beograd, 2002, str. 42.

<sup>44</sup> Ovo predstavlja teoretski proračun dotoka energije, ali u praksi ova količina zavisi od: geografske širine, doba dana, geografskih uslova i oblačnosti. U Srbiji stvarna prosečna energija zračenja koja dospe na površinu Zemlje iznosi  $3,5 \text{ kW/m}^2$  na dan, dok u Crnoj Gori na primorju iznosi oko  $4 \text{ kW/m}^2$  dnevno.

<sup>45</sup> Ova transformacija energije Sunčevog zračenja zavisi od tipa, izvedbe, modela i dodatne opreme samog kolektora.

<sup>46</sup> Prva fotonaponska ćelija napravljena je 1954. godine. Solarna ćelija je silicijumska poluprovodnička dioda velike površine. Sunčeva svetlost se u fotonaponskoj ćeliji transformiše u jednosmernu struju. Više ćelija se povezuje u module koji proizvode snagu od 1 do 180 W a naponi su od 12 V i 24 V (u zavisnosti od zahteva mogu biti do 90 V). Proizvodnja fotonaponskih sistema u celom svetu beleži svake godine rast (20–40%).

<sup>47</sup> Jedno od najvećih postrojenja u svetu nalazi se u blizini Sevilje (Španija). Elektrana se sastoji od dve kule PS10 i PS20. Kula PS10 okružena je sa 624 helostatična ogledala koja prate kretanje Sunca. Ona reflektuju sunčeve zrake do vrha tornja gde su instalisani solarni prijemnik i parne turbine. Drugi toranj je visok 115 m, okružuje ga 1255 ogledala, svako površine  $120 \text{ m}^2$ . Ovaj toranj je duplo snažniji od prvog, proizvodi 20 megavata energije.

<sup>48</sup> Geotermalni potencijal akumulirane energije izuzetno je veliki, tako da se ona posmatra kao obnovljiv izvor iako u samoj svojoj biti ona nije to.

<sup>49</sup> Procenjuje se da je akumulirana energija u Zemljinom omotaču u tom iznosu da bi samo smanjenjem temperature Zemljine kore za  $0,1^\circ\text{C}$  moglo da se proizvede toliko električne energije koja bi bila dovoljna za narednih 15.000 godina, na ovom sadašnjem nivou njene potrošnje da zadovolji ukupne potrebe celog sveta za njom. Prema: Đajić N., *Energetika za održivi svet*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2002, str. 49.

<sup>50</sup> Svedoci smo da danas sve veću upotrebu ima tehnologija toplotnih pumpi za grejanje i hlađenje. One su instalirane snage od 10 do 50 kW za individualne objekte i nekoliko MW snage za javne objekte. Njihova primena je najzastupljenija zasad u: SAD, Kanadi, Švedskoj, Austriji, Nemačkoj, Švajcarskoj...

<sup>51</sup> Zato što na ovom stepenu tehničke mogućnosti ostvarivanja dubine bušotina u Zemljinoj kori ne mogu naći dovoljno velika ležišta sa dovoljno visokom temperaturom i količinom fluida. Danas se razvoj usmerio u pravcu istraživanja tehnologije „suvih stenskih masa“ i prvi takav projekat je urađen 1997. godine u Francuskoj, Soultz sous Forets.

jedan od mogućih pravaca korišćenja geotermalne energije sigurno će biti istraživanje i razvoj korišćenja vrela termalne vode putem binarnog ciklusa.<sup>52</sup>

**Energija vetra.** Na korišćenje vetra kao energenta utiče niz faktora (snaga, brza promena snage, nemogućnost iskorišćenja pri malim niti izrazito velikim brzinama, brzina, nepostojanje kontinuiteta...) koji uslovljavaju nemogućnost potpunog iskorišćenja njene ukupne kinetičke energije. Upotreba vetra prisutna je vekovima kao izvor dobijanja mehaničke energije, a danas ima sve značajniju ulogu u razmatranju mogućnosti i u primeni kao izvora za dobijanje električne energije. Prostorni raspored dejstva vetra nije ravnomerno pogodno teritorijalno raspoređen za iskorišćenje kao izvora energije. Smatra se da područja najpogodnija za njegovo iskorišćenje predstavljaju obale Evrope, Amerike, Afrike i Australije kao i određena područja unutar kontinenata koja imaju značajnija i konstantna strujanja vazduha u toku godine.<sup>53</sup> Danas se u svetu, s ciljem što racionalnijeg i ekonomski isplativijeg iskorišćenja potencijala vetra, na pogodnim lokacijama gradi veći broj vetrogeneratora objedinjenih u jednu celinu.<sup>54</sup> Sam efekat iskorišćenja potencijala vetra zavisi od njegovih karakteristika, ali i od tehničkih rešenja i kapaciteta samoga vetrogeneratora.<sup>55</sup> U svetu je svake godine sve veći broj izgrađenih postrojenja u mnogim zemljama<sup>56</sup> koja se priključuju na elektroenergetsku mrežu doprinoseći boljoj snabdevenosti tržišta energentima.

**Biomasa.** Pod biomasom kao izvorom energije smatraju se: šume, šumsko rastinje, poljoprivredni neiskorišćeni ostaci, životinjski otpad... koji se mogu upotrebiti direktnim sagorevanjem i oslobađanjem toplote, ili konverzijom u biogas u različitim tehničko-tehnološkim postrojenjima i uređajima. Pod šumama se nalazi oko dvadeset sedam miliona km<sup>2</sup>, a šumovita područja pokrivaju oko trideset pet miliona km<sup>2</sup> u svetu. Sve značajnije mesto zauzima iskorišćenje poljoprivrednih otpadaka.

**Energija talasa, plime i oseke.** U svetu se sve više razmišlja o praktičnoj primeni korišćenja energije talasa, plime i oseke za dobijanje električne energije i istražuje se ta mogućnost. Nastoji se da se pronađu racionalna i ekonomski isplativija tehnička rešenja za veću iskorišćenost energije koju oni poseduju. Takve elektrane<sup>57</sup> za proizvodnju električne energije koje koriste potencijal talasa, plime i oseke, imaju specifična tehnološka rešenja u odnosu na klasične hidroelektrane.

### 1.3. Stanje i energetski potencijal domaćeg tržišta

Sirovinsku osnovu energetike čini skup svih energetskih izvora koji stoje na raspolaganju a mogu se pod određenim tehničko-tehnološkim i ekonomskim uslovima upotrebiti za podmirenje potreba za energijom. Razlikuju se: iskoristive, poznate i ukupne rezerve energije.<sup>58</sup> Ukupne geološke rezerve sirovina Srbije čine utvrđene (otkrivene) i potencijalne (neotkrivene) rezerve.<sup>59</sup> Utvrđene rezerve formiraju: dokazane, istražene i nedovoljno istražene rezerve, koje mogu biti bilansne i vanbilansne klase.<sup>60</sup>

<sup>52</sup> Vrela voda temperature 70–150 °C kao fluid koristi se za zagrevanje sekundarnog radnog medijuma (tečnost sa niskom tačkom ključanja [freoni, izobutan, amonijak]). Prvo postrojenje je urađeno 1967. u Paratunki (SSSR) snage 680 kW.

<sup>53</sup> Procenjuje se da je ukupan potencijal vetra oko 3,10<sup>15</sup> kWh/god.

<sup>54</sup> Popularno, takve celine se nazivaju „vetroparkovi“.

<sup>55</sup> Vetrogenerator čije je raspon lopatica rotora 15–20 m postiže snagu od 50 do 100 KW. U situaciji kada je raspon od oko 50 m ostvaruje se snagu od 1 MW.

<sup>56</sup> SAD, Holandija, Danska, Švedska, V. Britanija, Indija, Kina, Južna Amerika, Afrika...

<sup>57</sup> U svetu su poznate elektrane: La Rance (u Francuskoj), koja ima snagu 240 MW i godišnju proizvodnju 500 GWh; Anapolis (Kanada) 5 MW; Kistaza Guba (Rusija) 400 kW...

<sup>58</sup> Ova klasifikacija je prihvaćena od strane Svetskog saveza za energetiku.

<sup>59</sup> Ovo je zvanična klasifikacija u Srbiji. Susreću se različite klasifikacije i kategorizacije energetskih rezervi.

<sup>60</sup> Vanbilansnu klasu utvrđenih (otkrivenih) rezervi čine: a) koje nisu pre otkrivene u ležištima gde postoje bilansne; b) u ležištima bez rentabilne proizvodnje i c) u iscrpljenim ili napuštenim ležištima.

Prihvatajući činjenicu da energetske resursi Srbije nisu u potpunosti detaljno sagledani, istraženi i utvrđeni, a da podaci kojima se raspolaže za primarne izvore (ugalj, sirova nafta, gas, uran, uljni škriljci) nisu definitivni i konačni, neosporno je da energetske potencijal nije izrazito značajan u svetskim a ni u evropskim razmerama. Ali njegov obim je veoma značajan za energetske bilans zemlje i za ekonomiju države. Prisutna je izražena disproporcija između geoloških i eksploatacionih rezervi fosilnih goriva.<sup>61</sup> Struktura geoloških rezervi primarne energije Srbije procentualno iznosi: ugalj 88%, uljni škriljci 5%, hidropotencijal 4%, nuklearno gorivo 2%, nafta i gas 1%.

**Ugalj.** Ugalj predstavlja najznačajniji parametar ukupnih rezervi fosilnih goriva u Srbiji. Posmatrano prema strukturi, iskazano u ekvivalentnoj nafti, lignit učestvuje sa 90%, mrki i mrko-lignitski ugalj sa 8% i kameni ugalj sa 2%.<sup>62</sup> Ukupne geološke rezerve uglja Republike Srbije (uža teritorija Srbije i Vojvodina) čine njegov bilansni i vanbilansni iznos. Ukupne geološke bilansne rezerve su 3486 Mt uglja (kamenog 6,2 Mt, mrkog 90,1 Mt, mrko-lignitskog 277,3 Mt, lignita 3113 Mt) i geološke vanbilansne rezerve 889,5 Mt uglja.<sup>63</sup> Rezerve kamenog uglja su male. Od ukupnih rezervi koji se nalaze u Srbiji (u jedanaest ležišta) aktivna su dva (Vrška čuka i Ibarski rudnici). Danas su ležišta mrkog i mrko-lignitskog uglja relativno perspektivna na lokacijama Soko, Rembas, Lumbas i Štavalj. Značajna ležišta lignite, posmatrano sa aspekta potencijala i mogućnosti eksploatacije, jesu Kolubarski i Kostolački rudnici.

**Nafta i zemni gas.** Istraživanje i eksploatacija nafte i zemnog gasa započeti su posle Drugog svetskog rata. Sa proizvodnjom gasa je početo 1952. godine na ležištu kod Velike Grede, a nafte 1956. godine u neposrednoj blizini Jermenovaca u Južnom Banatu. Nakon toga nastavljeno je na obimnijim i detaljnijim istraživanjima, u prvom redu u Vojvodini. Kao rezultat tih aktivnosti, otkriven je veći broj nalazišta nafte i gasa koji su pušteni u eksploataciju. Najveća proizvodnja nafte ostvarena je 1982. godine (hiljadu trista tri miliona tona), a prirodnog gasa 1979. godine (1,14 milijardi kubnih metara). Nakon toga beleži se pad u proizvodnji.<sup>64</sup> Tačna količina rezervi nafte i gasa nije poznata jer nisu sprovedena sve ukupna istraživanja.

**Hidroenergija.** Prilikom sagledavanja hidroenergije kao obnovljivog izvora, potrebno je utvrditi i sagledati: teorijski potencijal, tehničku i ekonomsku mogućnost iskorišćenja njenog potencijala. Procenjuje se da je ukupan potencijal vode u Srbiji oko 27.200 GWh/godišnje. Reke koje imaju potencijal iznad 1000 GWh/godišnje jesu: Dunav, Drina, Morava, Lim i Ibar. Tehnički iskoristiv potencijal u Srbiji iznosi oko 19,8 TWh/godišnje, od čega je oko 18 TWh/godišnje na objektima većim od 10 MW. U zemlji postoji izgrađeno 16 hidroelektrana i na njima iskorišćeno oko 10,3 TWh/god.<sup>65</sup> Dalji pravac razvoja energetike, na području vodenog potencijala, biće usmeren na izgradnju hidroelektrana maloga kapaciteta i, na taj način, iskorišćavanje potencijala koji imaju mali vodotoci.<sup>66</sup> Postoji mogućnost u budućnosti izgradnje protočnih hidroelektrana na većim vodotokovima.

**Uljni škriljci.** Procena je da su u Srbiji ukupne rezerve uljni škriljaca  $8 \times 10^9$  tona. Registrovan je veliki broj njihovih pojava ali nisu detaljno istražene. Smatra se da ih ima u: Timočkom regionu, okolini Aleksinca, na području Vranja i Babušnice, u Kruševačkom i Valjevskom regionu... Ozbiljnija istraživanja su sprovedena samo u aleksinačkom ležištu gde je procenjeno da su ukupne rezerve oko dve milijarde tona sa sadržajem organske materije približno dvesta miliona tona.

<sup>61</sup> Prema: Đajić, N., *Energetika Srbije*, Akademija inženjerskih nauka Srbije, Beograd, 2011, str. 44–88.

<sup>62</sup> Najveći deo rezervi uglja Srbije jeste u Kosovskom i Metohijskom regionu (preko 60%), kojima od 1999. godine ne raspolaže odlukom Ujedinjenih nacija a u skladu sa Rezolucijom 1244.

<sup>63</sup> Od ovih količina, u AP Vojvodini bilansnih geoloških rezervi ima 18 Mt (mrki-lignit 9 Mt i lignita 9 Mt), a geoloških vanbilansnih rezervi 4,5 Mt lignite.

<sup>64</sup> Povećanje proizvodnje u vreme sankcija nije posledica otkrivanja novih ležišta već prinudne proizvodnje iz postojećih.

<sup>65</sup> Đajić, N., *Energetika Srbije*, Akademija inženjerskih nauka Srbije, Beograd, 2011, 68. str.

<sup>66</sup> Postoji mogućnost izgradnje malih hidroelektrana (do 10 MW), što pruža mogućnost proizvodnje od 1600 GWh/god.

**Nuklearna sirovina.** U ranije sprovedenim istraživanjima na teritoriji Srbije utvrđeno je više radioaktivnih anomalija, pojava mineralizacije i rudnih pojava urana i teorijuma. Indikacije se odnose na region planina: Bukulje, Cera i Stare planine.

**Sunčeva energija.** Dnevno Sunčevo zračenje u Srbiji se kreće od 3,3 do 4,0 kWh/m<sup>2</sup>. U proseku, to je godišnje zračenje od 1400 kWh/m<sup>2</sup>, ali istovremeno treba znati da ono nije ravnomerno rasprostranjeno na teritoriji cele zemlje.<sup>67</sup> Energija Sunčevog zračenja nije dovoljno iskorišćena i predstavlja veliku mogućnost i potencijal u narednom periodu.

**Biomasa i otpaci.** Pod biomasom i otpacima kao energetskim potencijalom sagledavaju se: šume, šumsko rastinje, poljoprivredni i životinjski otpaci. Oni predstavljaju značajan energetski potencijal.<sup>68</sup> Poljoprivredni otpad predstavlja značajan energetski potencijal koji nije dovoljno iskorišćen. Poseban segment predstavlja potencijal koji pružaju poljoprivredni proizvodi u dobijanju energije kroz proizvodnju i preradu u biološka goriva (biodizela) i metana.<sup>69</sup> Otpad predstavlja značajan potencijal koji nije dovoljno iskorišćen, a postoje realni preduslovi za njegovo racionalno iskorišćenje kao izvora energije.

**Potencijal vetra.** Potencijal vetra zavisi od: njegovih karakteristika (brzine, velikog raspona brzine u toku dana, snage, broja vetrovitih dana u toku godine...), morfologije terena, nadmorske visine, visine iznad tla, šumovitosti, mikrolokacije... Najveći potencijal za ekonomično korišćenje vetra jeste na području košavskog regiona, područja planina istočne Srbije, Stare planine, Kopaonika (istočna strana), Peštera, Zlatibora... gde je moguće i isplativo graditi vetrogeneratore.

**Geotermalna energija.** Neosporno je da Srbija ima povoljne geotermalne potencijale i resurse koji nisu adekvatno iskorišćeni. Procenjuje se da je toplotni tok znatno veći nego što je prosek Evrope.<sup>70</sup> Prvo sistematizovano istraživanje geotermalne energije na području Vojvodine započeto je 1969. godine i do danas je ispitano preko sto bušotina, a danas se koriste 24 bušotine, i koristi se manje od 10% raspoloživih kapaciteta. U centralnoj Srbiji evidentirano je preko 240 lokaliteta koji poseduju mineralne i termalne vode.<sup>71</sup>

Ukupne rezerve fosilnih goriva u Srbiji jesu: lignita (površinska eksploatacija) 2616 Mten i 3753 Mten<sup>72</sup>, kamenog i mrkog uglja – (podzemna eksploatacija) 125 Mten i 130 Mten, nafte i zemnog gasa 20 Mten i 60 Mten, uljnih škriljaca 0 Mten i 200 Mten, urana 0 Mten i 110 Mten.

## 2. Karakteristike gasova, proizvodnja, plasman i njihov značaj za privredni sistem i energetiku

U samom centru pažnje i u fokusu istraživanja u okviru ovoga rada jeste nastojanje da se sagleda, analizira, prezentuje i dâ odgovor na tri pitanja. Reč je o postavci tri hipotetička pitanja, koja su izuzetno važna, značajna i kompleksna sa aspekta transporta i skladištenja gasova. Davanje preciznih odgovora na postavljena pitanja u značajnoj meri bazira se na sagledavanju samog agregatnog stanja gasa kao materije i mogućnosti, uslova i načina pod kojima gas može da se prevede iz jednog u drugo stanje. Neizostavno je potrebno sagledavanje problema: sa hemijsko-tehnološkog aspekta vezanog za karakteristike gasa (njegove eksploatacije, upotrebe...); sa aspekta

<sup>67</sup> Najveća energija Sunčevog zračenje u Srbiji jeste na području juga zemlje (Preševo, Vranje... na 42° geografske širine), a što se ide ka severu, količina energije opada (Subotica 46° geografske širine).

<sup>68</sup> Pod šumom je oko 2,4 miliona hektara, što predstavlja 26,7% šumovitosti teritorije države. Godišnji prirast drvene mase je preko šest miliona m<sup>3</sup>.

<sup>69</sup> U SAD se u velikom obimu upotrebljavaju poljoprivredne kulture (uljana repa, kukuruz...) za proizvodnju biodizela i metana koji se koristi u znatnoj meri za mini-elektreane.

<sup>70</sup> Prosek toplotnog toka u Evropi iznosi 60 mW/m<sup>2</sup>, dok je procena da se on u Srbiji kreće između 80 i 120 mW/m<sup>2</sup>.

<sup>71</sup> Od ovoga broja, preko 90% su nastale same, a samo 8% je posledica sprovedenih istraživačkih aktivnosti bušenja. Ukupno na tim lokalitetima zabeleženo je preko hiljadu termalnih izvora.

<sup>72</sup> Eksploatacione rezerve i geološke rezerve.

tehničko-tehnoloških rešenja vezanih za proizvodnju, transport i skladištenje gasa; sa aspekta funkcije transporta i skladištenja gasa; sa aspekta zahteva tržišta i potrošača; energetskog stanja; ponude i tražnje; trgovine gasovima; sa ekološkog aspekta; sa aspekta uticaja i značaja za snabdevenost tržišta...

## 2.1. Agregatno stanje materije i mogućnost njegove promene kao osnova za veću efikasnost logistike i za pouzdanije snabdevanje tržišta gasom

Davanje preciznog odgovora vezanog za mogućnost formiranja više raličitih strategija u snabdevanja gasom počiva, u prvom redu, na sagledavanju mogućnosti promene agregatnog stanja materije i usko je s njom povezano. Tačnije, na tome kad se, pod kojim uslovima i situacijama gas nalazi u određenom agregatnom stanju. To dalje, istovremeno i neminovno iziskuje, u prvom redu, samo sagledavanje toga kakav uticaj ima agregatno stanje gasa na aktivnosti transporta i skladištenja u funkciji veće efikasnosti. Zato davanje tačnog i preciznog odgovora neminovno iziskuje sveobuhvatan i kompleksan pristup datom problemu.

Posmatrano sa fizičkog aspekta, **agregatno stanje materije** jeste stanje u kome može da se nalazi jedno telo. Samo agregatno stanje je makroskopski oblik postojanja materije, uniformnih fizičkih osobina i uniformnog hemijskog sastava. „U kome će agregatnom stanju biti određeno fizičko telo, zavisi od količine energije koju poseduje po jedinici mase.“<sup>73</sup> To je stanje materije u kome čestice (atomi, molekuli, joni...) imaju karakterističan prostorni raspored i oblik kretanja.

Sam tip agregatnog stanja tela zavisi od odnosa termalne energije čestica i energije međučestičnih interakcija.<sup>74</sup> Na osnovu stepena razređenosti, tj. odnosa termalne energije čestica i energije međumolekularnih interakcija, različita su stanja materije. Ovi odnosi uslovljavaju i određuju agregatno stanje materije, koje može da bude: čvrsto, tečno, gasovito... Materija može da prelazi iz jednog u drugo agregatno stanje. Sama promena stanja postiže se na taj način što se materiji dovodi ili odvodi određena količina energije. Prelazak iz jednog u drugo stanje naziva se **fazni prelaz**.<sup>75</sup> Kod faznog prelaza menja se relativni raspored čestica i njihova pokretljivost, ali ne i njihova hemijska priroda. Promena agregatnog stanja materije jeste fizički proces.<sup>76</sup> Samo realizovanje prelaska materije iz jednog u drugo stanje može da bude skokovito ili kontinualno.

Promena agregatnog stanja zavisi od promene vrednosti parametara, u prvom redu temperature i pritiska. Pod konkretnim pritiskom i temperaturom materija se nalazi u određenom agregatnom stanju. Promenom temperature i/ili pritiska, može da se izmeni agregatno stanje. Samu aktivnost promene stanja materije moguće je sagledati putem analize faznog dijagrama promene agregatnog stanja materije (Slika 1.3).<sup>77</sup> Fazni dijagram promene agregatnog stanja zavisi od konkretne materije o kojoj je reč. Sama činjenica fizičke mogućnosti promene agregatnog stanja materije predstavlja osnovu za proizvodnju, skladištenje, transport i potrošnju gasa kao proizvoda u sva tri agregatna stanja (Slika 1.4).<sup>78</sup> Ovo predstavlja osnovu za savremeni pristup konceptu

<sup>73</sup> Grupa autora, *Enciklopedijski leksikon. Fizika*, Interpres, Beograd, 1972, str. 3.

<sup>74</sup> „U kojem će agregatnom stanju biti supstanca zavisi od dva osnovna činioca: kinetičke energije molekula i međumolekulskih sila. Ako je kinetička energija molekula mnogo veća od energije međumolekulskog privlačenja, supstanca će biti u gasnom stanju. Pri dominantnom dejstvu međumolekulskog privlačenja uspostaviće se čvrsto stanje.“ Prema: Putanov, P., *Osnovi fizičke hemije*, Tehnološki fakultet u Novom Sadu, Novi Sad, 1989, str. 171.

<sup>75</sup> Fazni prelaz – promene faze u jednodimenzionalnim sistemima, predstavljaju fizičke transformacije čiste supstance (ne hemijske). To su prelazi: topljenje/mrženjenje; isparavanje/kondenzacija; sublimacija/depozicija; jonizacija/dejonizacija; prelaz između dve čvrste faze iste supstance.

<sup>76</sup> Sama promena agregatnog stanja materije samo je fizički proces bez hemijskih promena.

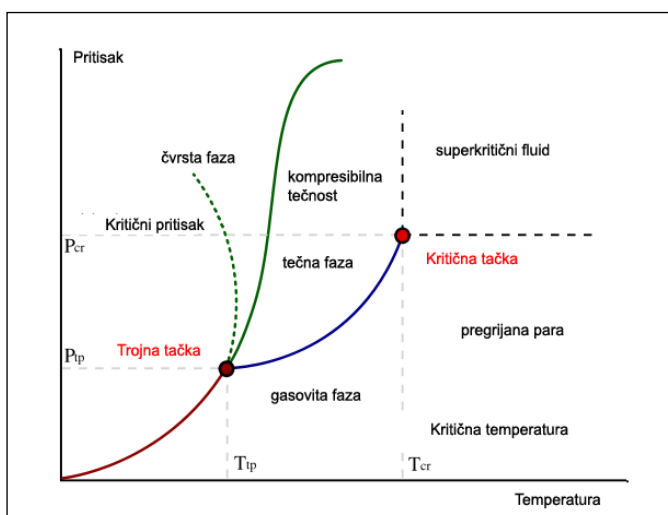
<sup>77</sup> Sveobuhvatno detaljno sagledavanje agregatnog stanja materije i njen prelazak iz jednog u drugo agregatno stanje, videti u radu: Gleston, S., *Udžbenik fizičke hemije*, Naučna knjiga, Beograd, 1975, str. 621–678.

<sup>78</sup> Fazni dijagram je konkretan. On je za svaku materiju najčešće poseban i jedinstven. Kao ilustracija prikazan je fazni dijagram za ugljen-dioksid.

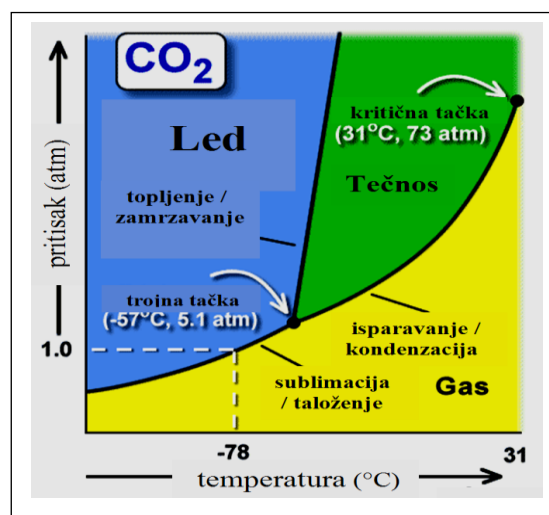


transporta i skladištenja gasa, koji omogućuje veću efikasnost funkcije marketing logistike u okviru distribucije kao instrumenta marketing miksa, čiji je cilj bolje i pouzdanije snabdevanje potrošača.

**Čvrsto agregatno stanje** definiše se kao stanje u kome se materija odlikuje stalnim oblikom, stalnom zapreminom i uređenom<sup>79</sup> strukturom.<sup>80</sup> To je stanje materije sa najmanjim sadržajem energije koju ono poseduje po jedinici mase. Kod ovog stanja, čestice (atomi, molekuli, joni...) su na malom međusobnom rastojanju. U zavisnosti od rasporeda atoma, tela u čvrstom stanju mogu biti kristalna i amorfna. Raspored atoma u prostoru kod kristalnih tela pravilno je raspoređen i oni samo osciliraju oko svoga ravnotežnog položaja unutar materije. Kod amornog stanja tela, atomi takođe osciliraju oko svoga ravnotežnog stanja ali njihov prostorni raspored je neuređen (nije pravilan).<sup>81</sup>



Slika 1.3. Fazni dijagram promene agregatnog stanja materije<sup>82</sup>



Slika 1.4. Primer faznog dijagrama za ugljen-dioksid<sup>83</sup>

**Tečno agregatno stanje materije.** Procesom dovođenja „energije čvrstom telu (na primer zagrevanjem) sastavni delići će sve življe oscilirati oko svoga ravnotežnog položaja. Pošto se svakom gramu čvrstog tela dovede po nekoliko stotina džula energije, veze koje su držale sastavne deliće u određenom prostornom rasporedu kidaju se i telo iz čvrstog prelazi u tečno agregatno stanje.“<sup>84</sup> Kod tečnog stanja, čestice su raspoređene kao u amornom stanju, ali mogu i da poseduju translatorno kretanje. Čestice se, pored osciliranja oko svoga ravnotežnog položaja, i međusobno kreću. Kod tečnog stanja, čestice mogu da menjaju međusobni položaj i da stvaraju nove položaje, ali su njihove privlačne sile tolikog intenziteta i veličine (u odnosu na termalnu energiju) da se čestice nalaze na bliskom rastojanju unutar tela.<sup>85</sup>

**Gasovito agregatno stanje materije.** Dovođenjem energije (po nekoliko hiljada džula svakom gramu mase materije), telo će preći iz tečnog u gasovito agregatno stanje. Kod ovog stanja privlačne sile između čestica znatno su slabije od njihove toplotne energije i gotovo se slobodno i

<sup>79</sup> Uređena struktura odlikuje se geometrijskim rasporedom atoma, molekula ili jona od koji se sastoji supstanca.

<sup>80</sup> Opširnije: Putanov, P., *Osnovi fizičke hemije*, Tehnološki fakultet u Novom Sadu, Novi Sad, 1989, str. 211–228.

<sup>81</sup> U amornom stanju tela, materija se nalazi u stanju „uslovnog prelaska“ iz čvrstog u tečno agregatno stanje.

<sup>82</sup> Izvor, slika preuzeta iz većeg broja stručnih radova.

<sup>83</sup> Kao ilustracija faznog dijagrama (fazne transformacije) uzet je primer ugljen-dioksida CO<sub>2</sub>. Na slici je dat prelazak iz jednog u drugo agregatno stanje CO<sub>2</sub>, sa označenim agregatnim zonama (gasovito, tečno, čvrsto). U dijagramu su označene trojna i kritična tačka CO<sub>2</sub>, sa njihovim tačnim vrednostima (temperatura i pritisak). Ilustracija je preuzeta iz većeg broja inostranih stručnih radova iz ove oblasti.

<sup>84</sup> Grupa autora "Enciklopedijski leksikon mozaik znanja Fizika" Interpres, Beograd, 1972. str. 4.

<sup>85</sup> Iz ovoga razloga tečnost ima konstatnu zapreminu ali ne i oblik. Atomu u ovom stanju, odnosno molekulu, nemaju određen prostorni raspored, zbog toga oblik tečnosti zavisi od oblika suda u kome se nalazi. Tečno agregatno stanje se odlikuje: stalnom zapreminom, promenljivim oblikom i delimično uređenom strukturom. Detaljnije videti u knjizi Putanov P., *Osnovi fizičke hemije*, Tehnološki fakultet u Novom Sadu, Novi Sad, 1989. str. 229-250.

nezavisno jedna od druge kreću, ispunjavajući raspoloživi prostor. Do uzajamnog dejstva između njih dolazi samo u trenucima kada se sudare. Ovo je slučaj kod idealni gasova, za razliku od realnih gasova kod kojih deluje još niz različiti sila.<sup>86</sup>

Pored osnovna tri opšteprihvaćena agregatna stanja materije (čvrsto, tečno i gasovito), uslovno postoji još čitav niz (među)stanja materije. U stručnim krugovima, kao četvrto agregatno stanje, prihvaćeno je **plazma stanje**.<sup>87</sup> Plazma je jonizovani gas koji se, zbog svojih jedinstvenih karakteristika, smatra posebnim agregatnim stanjem materije. Za postizanje ovoga stanja, potrebno je dovesti velike količine energije, nekoliko stotina hiljada džula po gramu gasa. Do ovoga stanja dolazi se na izuzetno visokim temperaturama, kada se, zbog snažnih međusobnih sudara, atomi razlažu na elektrone i protone.<sup>88</sup> Ovo stanje se sastoji od odvojenih jona i neutrona atoma koji nisu bili jonizovani. Karakteristični parametri plazma stanja jesu: temperatura, gustina, stepen joniziranja i magnetna indukcija. Danas se za peto agregatno stanje materije smatra **Boze–Ajnštajnov kondenzat**. Ovo stanje su naučnici ostvarili u laboratorijskim uslovima, pri kraju XX veka.<sup>89</sup> Ono predstavlja jedinstven sistem netipičnih osobina i karakteristika.<sup>90</sup>

**Fizičke i hemijske karakteristike.** Promene pri kojima se suština supstance bitno ne menja i pri kojima su osobine materije pre i posle promene iste, nazivaju se fizičke promene.<sup>91</sup> Sticanje nekih novih osobina pri tim promenama po pravilu je privremeno i traje samo dok na supstancu deluje spoljni uzrok koji izaziva promenu.<sup>92</sup> Hemijske osobine su svojstva supstance koja dolaze do izražaja tokom hemijske reakcije. To su svojstva koja se mogu odrediti samo pri promeni hemijskog identiteta supstance. Pri hemijskim promenama supstanca bitno i trajno menja svoje osobine.

Kada je reč o osobinama agregatnog stanja materije, ono obuhvata njene statičke i dinamičke osobine. Statičke osobine su: pritisak, temperatura, entropija, toplotni kapacitet... a dinamičke osobine su: brzina zvuka u sredini, toplotna provodljivost, električna provodljivost...

## 2.2. Osnovne karakteristike gasova koje su značajne za efikasnu logistiku i formiranje strategija snabdevanja tržišta u tri agregatna stanja

Neophodno je da se materija analizira kao jedinstvena celina, ali istovremeno, uslovljava i uočavanje pojedinačnih karakteristika svakog njenog činioca i segmenta, što iziskuje i zahteva analizu, uočavanje, isticanje i uvažavanje osobina i parametara svakog elementa posebno. Sa aspekta najopštijeg pristupa u najširem smislu poimanja, pod gasovima se podrazumevaju materije koje se u uslovima koji vladaju na Zemljinoj površini nalaze u gasovitom agregatnom stanju.

<sup>86</sup> Supstanca u gasovitom stanju nema ni stalan oblik ni stalnu zapreminu i potpuno je neuređena. Opširnije: Putanov, P., *Osnovi fizičke hemije*, Tehnološki fakultet u Novom Sadu, Novi Sad, 1989, str. 171–211.

<sup>87</sup> Takozvana jonizirajuća plazma.

<sup>88</sup> Ovo stanje je u unutrašnjosti Sunca. Pod dejstvom termonuklearne fuzije oslobađaju se ogromne količine energije.

<sup>89</sup> Teoretski, postojanje ovog stanja materije predvideli su, 20-ih godina XX veka, Bose i Ajnštajn. Postojanje ovog stanja eksperimentalno je dokazano 1995. godine na izuzetno niskim temperaturama. Nobelovu nagradu za ovaj svoj eksperiment, 2001. godine, dobili su fizičari Kornel, Viman i Keterl.

<sup>90</sup> Pored ovih pet agregatnih stanja materije, u stručnim naučnim krugovima razmatraju se stanja: superfluid (primer: Cooper parovi elektrona u običnom superprovodniku; deo He4 tečnosti ispod 4K; Bose–Einstein kondenzat Rb atoma); supersolid; frakciona kvantna Hall tečnost (niskotemperaturni elektronski gas); poremećaji X-Y kristalnih rešetaka...

<sup>91</sup> Fizičke i hemijske promene. 1. Fizičke promene su promene pri kojima se suština supstance bitno ne menja i pri kojima su osobine supstance pre i posle promene iste. Sticanje izvesnih novih osobina pri tim promenama po pravilu je privremeno i traje samo dotle dok na supstancu deluju spoljni uzroci koji izazivaju promenu (specifična težina, gustina, tačka topljenja...). 2. Hemijske osobine su svojstva supstance koja dolaze do izražaja tokom hemijske reakcije. To su svojstva koja se mogu odrediti samo pri promeni hemijskog identiteta supstance. Pri hemijskim promenama supstanca bitno i trajno menja svoje osobine (oksidacija...). *Enciklopedija*.

<sup>92</sup> Specifičnu težinu, gustinu, tačku topljenja, tačku utečnjavanja...

Da bi se utvrdila fizička i termodinamička svojstva fluida, pod određenim uslovima (pritisak i temperatura), neophodno je znati odnosna svojstva u standardnim i normalnim uslovima u kojima gas može da se nalazi. Pod normalnim uslovima<sup>93</sup> podrazumeva se, smatra i sagledava uslov koji vlada na površini Zemlje. Prema Međunarodnom sistemu jedinica, za stanje u ambijentalnoj sredini na Zemljinoj površini, za standard je određen pritisak od 1,0133 bara<sup>94</sup> (101325Pa) i temperatura od 15,5°C (288,7°K).<sup>95</sup> U standardnim ambijentalnim uslovima koji vladaju na Zemljinoj površini, od ukupnog broja otkrivenih (109) hemijskih elemenata, samo jedanaest se nalazi u gasovitom stanju: kiseonik, azot, argon, vodonik, flor, hlor, helijum, neon, kripton, ksenon i radon.<sup>96</sup>

### 2.2.1. Najznačajniji zakoni, parametri i karakteristike gasova koji su u funkciji realizacije proizvodnih i distributivnih aktivnosti

U analizi, sagledavanju, radu, manipulaciji i primeni gasova značajan je niz parametara: njihov sastav, pritisak, temperatura, specifična masa, tačka paljenja, temperatura sagorevanja, gustina, parna stišljivost, temperatura ključanja, temperatura topljenja, trojna tačka.... U oblasti i sferi gasa kao materije, vladaju određeni odnosi i zakonitosti koji se odnose na idealne i realne gasove, koji objašnjavaju i prezentuju mnoge njihove osobine i karakteristike.<sup>97</sup> Izražene, karakteristične i specifične odnose obuhvataju u prvom redu relacije između zapremine, pritiska i temperature gasa.

Kinetička teorija gasova objašnjava mnoge osobine i zakonitosti koje su vezane za gasove. Prema njoj, molekuli gasa se stalno kreću pravolinijski u svim pravcima. U zatvorenom prostoru (posudi) molekuli gasa pri stalnom kretanju udaraju u zidove suda stvarajući pritisak. Prilikom zagrevanja gasa, brzina kretanja molekula gasa se povećava, jačina udara o zidove posude se povećava, a time raste i pritisak u sudu. Takođe, iz kinetičke teorije proizlazi da molekuli svih gasova pri istoj temperaturi imaju jednaku srednju kinetičku energiju. Pritisak gasa pri datoj temperaturi zavisi samo od broja molekula u jedinici zapremine gasa, a ne zavisi od mase molekula, tj. od prirode gasa. Iz toga sledi da su srednje brzine obrnuto proporcionalne kvadratnim korenima mase molekula. Kinetička teorija gasova omogućava da se izražavaju srednje brzine kretanja gasova.<sup>98</sup>

**Prema Bojl–Mariotovom zakonu<sup>99</sup>**, proizvod pritiska i zapremine određene mase gasa (zatvorenog, zarobljenog) na stalnoj temperaturi je konstantan. Na različitim temperaturama proizvod  $(P \times V)^{100}$  se menja u zavisnosti od temperature. Promenom temperature menja se vrednost proizvoda, što znači da je on funkcija temperature, zavisi od nje.<sup>101</sup><sup>102</sup>

$$P \times V = \text{const} \quad (1)$$

$$P \times V = f(t) \quad (2)$$

<sup>93</sup> Normalni uslovi, prema Međunarodnom sistemu jedinica: pritisak iznosi 1,0133 bara i temperatura od 0°C (273,15°K). Jedinica za temperaturu je celzijus (°C), koriste se još: kelvin (°K), farenhajt (°F), reomir (°R).

<sup>94</sup> Jedinica za pritisak je bar ali se još u literaturi susreće i paskal (Pa), atmosfera i psiga (psi)  
1 bar = 100.000 Pa; 1bar = 14,503 psi; 1 psi = 6894,757 Pa.

<sup>95</sup> Iznos za tri značajna parametra iskazano kroz sve temperaturne skale: apsolutna nula iznosi: -273,16°C; 0°K; -459,6°F; -218,6°R, tačka smrzavanja vode: 0°C; 273,16°K; 32°F; 0°R; tačka ključanja vode: 100°C; 373,16°K; 212°F; 80°R.

<sup>96</sup> Rastojanje između molekula gasa veće je od 10 exp (-10) m što odgovara radijusu međumolekularnog delovanja. Ako se delovanje između molekula zanemari, reč je o modelu idealnog gasa, a ako se delovanje molekula uzme u obzir, govorimo o realnim gasovima.

<sup>97</sup> Realni gasovi delimično odstupaju od idealnih gasova u zavisnosti od sastava gasa, pritiska i temperature. Odstupanja realnih gasova od idealnih prezentovana su i dostupna u tabličnim vrednostima za gasove u stručnoj literaturi.

<sup>98</sup> Teorije gasova prezentovane su prema: Vučković, J., *Priprema sirove nafte i prirodnog plina za transport*, Poslovno udruženje *Nafta*, Zagreb, 1968, str. 40–102; i *Tehnički gasovi*, Tehnogas, Beograd, 1974, str. 87–97.

<sup>99</sup> Robert Boyle (1627–1691), irski filozof, hemičar i fizičar, 1662. godine (nezavisno od fizičara Mariota koji je to učinio 1676. godine) utvrdio je da je pri stalnoj temperaturi zapremina određene mase gasa obrnuto proporcionalna pritisku.

<sup>100</sup> P – pritisak; V – zapremina; t – temperatura.

<sup>101</sup> Takav proces kod gasova, kada se temperatura menja, zove se izoterski.

**Klajperov zakon** (nasuprot Bojl–Mariotovom zakonu) važi i za idealne, ali i za realne gasove. Ovaj zakon uzima u obzir sve promene gasa, pritiska, zapremine i temperature. Prema ovom zakonu, pritisak i temperatura prvobitnog stanja nekog gasa biće identični pritisku, zapremini i temperaturi u promenjenom stanju.<sup>103</sup>

$$P = k \times T \quad (3)$$

$$V = k_1 \times T \quad (4)$$

**Gay-Lussacov zakon**<sup>104</sup> jeste zakon koji se odnosi na promenu  $V$  (zapremine) date mase gasa sa temperaturom ( $T$ ) pri čemu pritisak mora biti konstantan ( $p = \text{konstantan}$ ). Takav proces se zove izobatni. Idealni gasovi, pri stalnom pritisku i zagrevanju za  $1^\circ\text{C}$ , povećavaju svoju zapreminu za  $1/273,2$  (0,00366) u odnosu na prvobitnu zapreminu (ova veličina se naziva termički koeficijent širenja gasova).

Prema Gay-Lussacovom zakonu, zapremina određene mase gasa pri stalnom pritisku je linearna funkcija temperature.<sup>105</sup> Uzimajući u obzir Bojl–Mariotov zakon ( $pV = \text{konstantan}$ ), dolazi se do toga da je pritisak date mase gasa pri stalnoj zapremini linearna funkcija temperature.

$$P \times V_m = R \times T \quad (5)$$

$$P \times V = m \times R_i \times T \quad (6)$$

**Jednačina stanja idealnih gasova.** Uključujući osnovne jednačine kinetičke teorije gasova u Gay-Lussacov zakon, dolazi se do odnosa da je apsolutna temperatura gasova proporcionalna odnosu kvadrata brzine njegovih molekula. Jednačina stanja idealnih gasova predstavlja povezivanje Bojl–Mariotovog i Gay-Lussacovog zakona u jednu jednačinu idealnog gasa koja obuhvata tri veličine: pritisak, zapreminu i temperaturu.<sup>106</sup>

$$V_m = v \times M \quad (7)$$

**Agardrov zakon.** Idealni gasovi su oni kod kojih se, zbog velikih međumolekularnih rastojanja, ne manifestuju molekulske sile, gustina im je mala, pritisci relativno niski, a temperatura visoka. U jednakim zapreminama bilo koga gasa, pri istom pritisku i temperaturi, nalazi se jednak broj molekula.<sup>107</sup> Ili, drugačije rečeno, isti broj molekula bilo koga gasa zauzima istu zapreminu pri normalnim uslovima.<sup>108</sup>

**Odstupanja od zakona za idealne gasove.** U praksi, realni gasovi odstupaju u manjoj ili većoj meri od idealnih gasova. Veličina odstupanja se povećava sa porastom pritiska i sniženjem temperature. Kod normalnih temperatura i pritiska, odstupanje realnih od idealnih gasova je manje kod onih gasova kod kojih je kritična temperatura vrlo visoka, a kritičan pritisak veliki. U stvarnosti, kod realnih gasova molekuli zauzimaju određenu zapreminu i između njih deluje molekularna sila. Od velikog broja istraživanja i proračuna odstupanja realnih od idealni gasova koji su sprovedeni, naučnik Van-der-Vels je konkretno sagledao i utvrdio odnos i uzrok njihovog odstupanja u zavisnosti od zapremine molekula i pritiska.<sup>109</sup> Realni gasovi, posebno na visokim pritiscima, nisu

<sup>102</sup> Ovo je jedan od osnovnih zakona za idealne gasove. Ovaj zakon ne važi za realne gasove. Prema Bojl–Mariotovom zakonu, prilikom punjenja boce od 40 litara kiseonikom, pod pritiskom od 150 bara, treba da se smesti 6000 litara kiseonika =  $6 \text{ m}^3$  ( $40 \times 150 = 6000$ ). Kod realnih gasova uzima se korektivni tablični faktor (za kiseonik pri pritisku od 150 bara iznos 0,940) sa kojim se deli izračunata vrednost za idealne gasove i dobija se stvarna (realna) količina gasa u boci. Tako da kod realni gasova u boci od 40 litara pod pritisku od 150 bara ima 6383 litra kiseonika.

<sup>103</sup> Radiš, D., *Sistem marketing logistike u proizvodnji i distribuciji tehničkih gasova*, magistrski rad, Beograd, 1999.

<sup>104</sup> Gay-Luysac, francuski fizičar, 1802. godine otkrio je ovu zavisnost.

<sup>105</sup>  $T$  – apsolutna temperatura;  $k$  i  $k_1$  – konstante proporcionalnosti.

<sup>106</sup>  $R_i$  – gasna konstanta koja ima različitu vrednost za svaki gas i čija brojna vrednost zavisi od jedinica u kojima je izražen pritisak ( $P$ ) i zapremina ( $V$ ) sistema.

<sup>107</sup>  $V_m$  – molska zapremina gasa,  $\text{m}^3/\text{kmol}$ ;  $v$  – specifična zapremina gasa,  $\text{m}^3/\text{kg}$ ;  $M$  – molekulska masa gasa,  $\text{kg}/\text{kmol}$ .

<sup>108</sup> Ovu hipotezu je postavio početkom XIX veka italijanski naučnik Avogardo. Utvrđeno je teoretski, ali i praktično dokazano, da gram-molekul bilo koga gasa zauzima istu zapreminu; ta zapremina se zove molarna zapremina.

<sup>109</sup> Po njemu, jednačina stanja gasa najtačnije određuje ponašanje lakih gasova pri pritisku od 0 do 100 at i temperaturi od 0 do  $20^\circ\text{C}$ . Zbog lakšeg korišćenja njegove jednačine, u praksi se koristi jednačina stanja idealnih gasova sa uvedenim popravnim koeficijentom koji se naziva koeficijentom sabijanja gasa. On izražava odstupanja realnih gasova

obuhvaćeni jednačinom za idealne gasove. Van-der-Vels je, zbog njihovog odstupanja od idealnih gasova, utvrdio da je u tim slučajevima koeficijent sabijanja gasa (bezdimenzionalni popravni koeficijent) različit i zavisi od vrste gasa, pritiska i temperature.

**Džul–Tomsonov efekat.** Molekuli gasa se međusobno privlače<sup>110</sup>, što ima za posledicu da je pritisak gasa u praksi niži nego što se teorijski može očekivati.<sup>111</sup> Pad temperature nastaje usled rada na savlađivanju međumolekulskih privlačnih sila. Dokazano je da je pad temperature proporcionalan razlici pritiska koji nastaju sa obe strane porozne pregrade (ili suženja otvora).<sup>112</sup> Pojava hlađenja realnih gasova pri adijabatskom širenju<sup>113</sup> naziva se Džul–Tomsonov efekat. Većina realnih gasova se prilikom ekspanziranja (širenja) hladi.<sup>114</sup> Kod idealnih gasova Džul–Tomsonov efekat ne važi.<sup>115</sup>

**Jednačina stanja za smeše – Daltonov zakon.** Pritisak koji vrši gasna mešavina jednak je zbiru pritiska koji bi vršio svaki od njih ako bi sam zauzimao ukupnu zapreminu.<sup>116</sup> Ako se dva gasa ili više gasova nalaze pomešani u istoj posudi, svaki gas će se ponašati kao da se sam nalazi u tom sudu, tj. kao da drugi gas nije prisutan. Pritisak svake pojedinačne komponente u smeši naziva se parcijalni pritisak, a zbir parcijalnih pritiska jednak je pritisku smeše.

**Šarlov zakon.**<sup>117</sup> Prema njemu, pritisak gasa direktno varira sa temperaturom ako je zapremina stalna, volumen gasa će se menjati sa promenom temperature ako je pritisak nepromenjen, ili ako zapremina ostaje nepromenjena a raste temperatura, povećava se pritisak.

**Tačka ključanja gasa** jeste temperatura pri kojoj gas prelazi iz gasovitog u tečno agregatno stanje pod atmosferskim pritiskom. Temperatura pri kojoj gas prelazi iz tečnog u čvrsto agregatno stanje naziva se temperatura topljenja ili smrzavanja.

**Trojna tačka.**<sup>118</sup> Trojna tačka je ona tačka u kojoj se pojedini gasovi pri određenoj temperaturi i pritisku tog trenutka nalaze između tri agregatna stanja (Slika 1.4).<sup>119</sup> Pod kritičnom temperaturom gasa podrazumeva se temperatura iznad koje se pojedini gasovi ne mogu prevesti u tečno stanje, nezavisno od visine pritiska. Pritisak pod kojim se gas pri određenoj temperaturi prevodi u tečno stanje naziva se kritičan pritisak.

od idealnih i prezentuju se u specijalnim dijagramima gde je iskazana zavisnosti od redukovanoeg pritiska i temperature.

<sup>110</sup> Činjenica da se gasovi mogu prevesti u tečno stanje, koja pokazuje međumolekulske privlačne osobine, dovela je do razmišljanja da se i molekuli gasa privlače. Posledica je: pritisak realnih gasova je niži nego što se teoretski očekuje.

<sup>111</sup> Da se gas hladi, prolazeći kroz poroznu pregradu ili mali otvor. Ovo je praktično prvi utvrdio Tomson ogledom koji je izveo. Kad gas ekspanzira, on se hladi. Ova pojava se naziva Džul–Tomsonovim efektom.

<sup>112</sup> Idealni gasovi ne pokazuju ovu osobinu. Ova osobina je karakteristična samo za realne gasove. U praksi, ovaj efekat ima značajnu ulogu kod kriogenog razlaganja vazduha u proizvodnji azota, kiseonika i argona.

<sup>113</sup> Realni gas, koji ima visok pritisak, kada se kreće kroz cev, prilikom naglog prelaska iz užeg u širi poprečni prostor – ekspanzira. Tom prilikom dolazi do pada njegovog pritiska i temperature. Padom pritiska za 1 bar dolazi do snižavanja temperature za 0,25°C. Ovo važi za sve realne gasove izuzev vodonika i helijuma, kod kojih u ovom slučaju dolazi do povećanja temperature gasa. Ovaj efekat predstavlja osnovu Lindeovog hladnjaka za likvefakciju (utečnjavanje) gasova (azot, kiseonik, argon).

<sup>114</sup> Osnova Lindeovog hladnjaka za likvefakciju (utečnjavanje) gasova (azot, kiseonik, argon) jeste da se gas komprimuje a zatim se naglo širi kroz ventil i hladi se. Ohlađen gas dalje cirkuliše i hladi se istim principom. Ohlađen gas cirkuliše i hladi novi gas koji prolazi kroz spiralnu cev. Nove količine komprimovanog i ohlađenog gasa se šire i dalje hlade. Postupak se ponavlja dok se ne dostigne dovoljno niska temperatura da gas pređe u tečno stanje. Gas će se hladiti pri širenju ako je temperatura iznad gornje inverzione zone. Opširnije u delu rada vezanom za separaciju vazduha.

<sup>115</sup> Džul–Tomsonov efekat zavisi od promene entalpije sa pritiskom u izotermnom procesu. Kod idealnog gasnog stanja entalpija je nezavisna od pritiska i Džul–Tomsonov koeficijent je jednak nuli.  $mJT = 0$  – termodinamička definicija idealnih gasova.

<sup>116</sup> Džon Dalton (1766–1844), engle. fizičar. U osnovi znači da svaki gas u mešavini deluje nezavisno od drugih gasova.

<sup>116</sup> Džon Dalton (1766–1844), engle. fizičar. U osnovi znači da svaki gas u mešavini deluje nezavisno od drugih gasova.

<sup>117</sup> Žak Šarl (1746–1823), francuski fizičar.

<sup>118</sup> Trojna tačka je tačka fazne ravnoteže: čvrste, tečne i gasne faze.

<sup>119</sup> Povećanjem ili smanjivanjem jedne od veličina (pritisak ili temperatura) gas prelazi u određeno agregatno stanje (gasovito, tečno ili čvrsto). Gotovo svi gasovi imaju trojnu tačku. Jedan od retkih koji nema trojnu tačku jeste helijum.

**Fizičke osobine gasa.** Za gasove su od izuzetne važnosti i značaja, pored njegovih hemijskih karakteristika, i osnovne fizičke osobine. Fizičke karakteristike: masa gasa<sup>120</sup>, gustina gasa<sup>121</sup>, faktor stišljivosti (kompresibilnosti), viskoznost gasa, napon pare, koeficijent difuzije<sup>122</sup>...

Odstupanje od jednačine stanja za idealne gasove prikazuje se pomoću faktora stišljivosti.<sup>123</sup> Faktor stišljivosti (kompresibilnosti) pojedinih komponenti gasa dobijen je eksperimentalnim putem. Odnos između veličine koju gas poseduje u datom trenutku, ili za koju se određuju osobina, i njegove kritične veličine naziva se redukovana (pritisak ili temperatura).<sup>124</sup> Faktor stišljivosti gasa može se odrediti preko: jednačine stanja, Redlich-Kwonogove jednačine i virijalne jednačine.

Gustina gasa je definisana kao masa jedinice zapremine sistema. Gustina gasa se može izračunati iz jednačine stanja, za čistu komponentu ili na osnovu dijagrama za date gasove. Viskoznost gasa je otpor proticanju fluida.<sup>125</sup> Ako se posmatraju dva sloja fluida, pri čemu jedan protiče preko drugog, zbog izmene molekula između slojeva, zbog stalnog molekulskog kretanja, dolazi do smanjenja brzine kojom se jedan sloj kreće u odnosu na drugi sloj fluida. Viskoznost gasa<sup>126</sup> se razlikuje od viskoznosti tečnosti. Kod gasova, viskoznost raste sa porastom temperature; sa porastom molekulske mase opada; a u srednjem području pritiska, viskoznost je nezavisna od pritiska.<sup>127</sup> Naponom pare se naziva pritisak na kome komponenta prelazi iz tečne u gasnu fazu. Sama zavisnost napona pare od temperature sagledava se pomoću Antoneove jednačine ili Riedlove korelacije.

Značajni parametri za većinu gasova jesu i: granice eksplozivnosti, najniža temperatura paljenja, temperatura samozapaljenja, toplotna moć... Granicu eksplozivnosti određuju njena donja i gornja vrednost. Donja granica eksplozivnosti predstavlja onaj obim procentualnog učešća gasa u vazduhu u kome ne može da dođe do paljenja smeše jer je ona presiromašna za proces gorenja ili eksplozivnosti. Gornja granica predstavlja onu vrednost u kojoj takođe ne može doći do istih aktivnosti ali zbog toga što je smeša prebogata. Granice eksplozivnosti su različite za svaki gas: acetilen (donja 2,3% – gornja 82%), vodonik (4% – 75%), zemni gas (6,5% – 17%), metan (5% – 15%)... Kod zemnog gasa, najniža temperatura paljenja je od 595 do 645°C; samozapaljenja 700°C; gustina 0,55–0,70; toplotna moć 37.000–41.000 kJ/m<sup>3</sup> (37–41 MJ/m<sup>3</sup>)...

U oblasti proizvodnje, skladištenja i transporta gasa, važno mesto i ulogu imaju i njegove termodinamičke veličine: toplotni kapacitet (specifična toplota), provođenje toplote, entalpija, entropija, isparavanje, dijagram stanja... Analiza određenih osobina, karakteristika i ponašanja gasova vrši se pomoću sagledavanja jednofaznih i dvofazni sistema. Poseban segment vezan za oblast gasova pripada faznoj ravnoteži više komponentnih sistema.<sup>128</sup>

<sup>120</sup> Masa jednog litra gasa izračunava se tako što se njegova molekulska masa podeli sa 22,41, što predstavlja vrednost Avogardovog broja. Molekularna masa nije stvarana (apsolutna) težina, to je odnos težina, i ona je neimenovan broj.

<sup>121</sup> Gustina gasa pokazuje koliko je neki gas lakši ili teži od vazduha, u normalnim uslovima i na temperaturi od 0°C.

<sup>122</sup> Opširnije videti u sledećim radovima: Vučković, J., *Priprema sirove nafte i prirodnog plina za transport*, Poslovno udruženje Nafta, Zagreb, 1968, str. 40–102; Zelić, M., *Tehnologija sabiranja i priprema nafte i plina za transport*, INA-NAFTAPLIN, Zagreb, 1987, str. 4–120.

<sup>123</sup> Uobičajeno je da se u industriji prerade, primene i distribucije gasa odstupanje realnih gasova prikazuje pomoću faktora stišljivosti (kompresibilnosti).

<sup>124</sup> Da li je reč o temperaturi ili o pritisku, u ovom slučaju ono se naziva: redukovana temperatura, redukovani pritisak.

<sup>125</sup> Fluid je zajednički naziv za tečnosti i gasove.

<sup>126</sup> Viskoznost prirodnog gasa veoma je važna u praksi. Promenom pritiska i temperature gasa u procesu eksploatacije, prerade i transporta menja se i viskoznost gasa.

<sup>127</sup> Izračunavanje različitih dinamičkih viskoznosti gasa može se uraditi pomoću: jednačine Red i Sherwod; Hering i Zipperer; dijagrama Katza; Deanovog i Stielovog izraza...

<sup>128</sup> Opširnije i detaljnije pogledati u radovima koji tretiraju ovu oblast. Značajne segmente čine i: pravilo faza sistema, retrogradna kondenzacija i isparavanje, konstanta fazne ravnoteže, proračun procesa separacije, proračun fazne ravnoteže, određivanje tačke rose i tačke ključanja, temperatura tačke ključanja, temperatura tačke rose, pritisak tačke ključanja, pritisak tačke rose, „fleš“ postupak...

Prilikom promene veličine pritiska ili temperature, svi gasovi se mogu prevesti iz gasovitog u tečno agregatno stanje, ili iz tečnog u gasovito stanje. Za svaki gas postoji određena temperatura iznad koje se, bez obzira na povećanje pritiska, gas ne može prevesti u tečno agregatno stanje. To predstavlja kritičnu temperaturu, a potreban pritisak da se pri toj temperaturi utečni gas, naziva se kritičan pritisak. Kritična temperatura je maksimalna temperatura pri kojoj tečna i gasovita faza mogu biti u ravnoteži. Pritisak pare pri toj temperaturi jeste kritičan pritisak, a zapremina jedinice gustine materije jeste kritična zapremina. Odnos između apsolutnih vrednosti fizičkih konstanti materija i njihovih kritičnih parametara zovu se redukovani parametri. Svi gasovi pri istim redukovanim temperaturama i pritiscima imaju jednake redukovane zapremine.

### 2.2.2. Klasifikacija i podela gasova na osnovu različitih karakteristika

Sistematizacija jedne široke i kompleksne oblasti, koja sagledava i obuhvata područje gasova, neminovno iziskuje i zahteva sveobuhvatan, sistematičan i kompleksan pristup i pogled na datu tematiku. Zbog svojih specifičnosti, karakteristika, osobina, porekla, sastava, proizvodnje i primene, precizno klasifikovanje gasova nije jednostavno niti lako. U stručnoj literaturi se mogu susresti različite podele, grupisanja i klasifikovanja gasova. Zasad ne postoji univerzalna podela gasova, opštevažeća, iako se oni veoma često grupišu na osnovu: porekla, osobina, karakteristika, primene, samog tehničko-tehnološkog procesa njihovog dobijanja za komercijalni plasman, temperature skladištenja, stepena otrovnosti... Nijedna od postojećih podela gasova nije uzeta kao osnovna, dominantna i jedinstvena. Tako se susreću podele gasova na: atmosferske, gorive, medicinske, kriogene, za hlađenje, raspršivanje, otrovne...

Atmosferski gasovi su jedna od često primenjivanih i susretanih klasifikacija gasova u literaturi i praksi. Ovu skupinu gasova čine i formiraju svi oni gasovi koji se nalaze pojedinačno u vazduhu u njegovom sastavu, a to su: azot, kiseonik, argon, ugljen-dioksid, vodonik, neon, helijum, kripton, ksenon, radon... U vazduhu, pojedinačno zapreminski ima: 78% azota, 21% kiseonika, a 1% argona i svih drugih gasova zajedno. Grupu inertnih gasova na osnovu svoje hemijske inertnosti formiraju: azot, helijum, neon, kripton, ksenon i radon. Zbog svog malog procentualnog učešća u sastavu vazduha, kao retki gasovi se grupišu: neon, kripton, ksenon i radon.

Jedan od pristupa prilikom grupisanja gasova jeste prema kriterijumu gorivosti. Ovu grupu gorivih gasova, kako se naziva, sačinjavaju svi oni gasovi koji prilikom sagorevanja sa vazduhom ili kiseonikom proizvode toplotu. Ova grupa obuhvata: metan (kao dominantan elemenat u sastavu prirodnog gasa), gasovite ugljovodonike, u prvom redu tečne naftne gasove (propan i butan), acetilen i vodonik. Pored ovih gasova, u ovu skupinu se mogu uključiti i industrijski dobijena gasovita goriva, kao što je generatorski ili vodeni gas. Posmatrano sa aspekta primene samog gasa, susreće se više podela, klasifikacija i grupacija gasova u literaturi. Sa aspekta funkcije hlađenja koju obavljaju, izvršeno je grupisanje gasova u grupu gasova za hlađenje. Oni služe da, u zatvorenom kružnom ciklusu, zahvaljujući svojim osobinama i karakteristikama, u rashladnim sistemima sprovedu proces rashlađivanja. U prvom redu, reč je o amonijaku i gasovima iz grupe freona.

Prema primeni gasova, formirana je grupa medicinskih gasova. Reč je u prvom redu o: kiseoniku, azot-suboksidu i ugljen-dioksidu; ali pored njih u ovoj grupi se susreću još ciklopropan i etilen. Uzimajući takođe u obzir, kao kriterijum primene, može se formirati i grupa prehrambenih gasova, koju čine u prvom redu: azot, ugljen-dioksid i kiseonik, a služe u različitim tehnološkim procesima proizvodnje, prerade i pakovanja hrane. Grupisanje gasova i formiranje grupe gasova za raspršavanje sprovodi se prema njihovoj primeni, u cilju funkcije njihove primene za potiskivanje tečnih proizvoda koji se nalaze pod određenim pritiskom.

Prve pojave mešavine više različitih ugljovodonika u čijem sastavu je dominantan metan, primećene su na prostorima određenih močvarnih predela (bara), gde je on sam slobodno izbijao na

vodenu površinu, stvarajući mehuriće. Uzrok ove pojave jeste činjenica da se on na tim mestima najčešće nalazio na malim dubinama pod niskim pritiskom.<sup>129</sup> U prvom periodu, taj gas se nazivao barski gas, prema mestu njegove pojave, a kasnije dobija naziv „prirodni gas“.<sup>130</sup> Ovaj naziv danas je u svetu široko prihvaćen i u upotrebi, kako u svakidašnjem životu tako i u stručnoj literaturi. To je posledica pristupa i razmišljanja (iz ugla posmatranja) da on dolazi iz prirode, ali ovaj naziv nije sveobuhvatan i netačan je.

Precizno posmatrano, naziv prirodni gas nije: adekvatan, tačan, precizan i prikladan stvarnoj činjenici, jer ne odgovara realnom stanju. Neosporna je činjenica da veliki broj i drugih gasova dolazi direktno iz prirode (kiseonik, azot, ugljen-dioksid, argon...), tako da ekskluzivna upotreba samo ovoga naziva za mešavinu jednog broja gasova sa metanom nije adekvatna ako se precizno stručno posmatra. Pored ovog imena, koristi se i naziv – zemni gas. Ovaj naziv, u tom trenutku, vezan je za mesto same njegove eksploatacije.<sup>131</sup> I sam ovaj naziv nije u potpunosti odgovarajući, ali je, prema činjeničnom stanju, neosporno nešto adekvatniji i prikladniji realnim uslovima.<sup>132</sup> Posmatrano sa jedne strane, zbog činjenice nešto preciznijeg definisanja na osnovu mesta eksploatacije (zemni gas) i široke upotrebe termina (prirodni gas), može da se uslovno prihvati upotreba oba termina. Najpreciznije, posmatrano iz ugla hemije, reč je o gasu koji je mešavina metana sa manjim primesama drugih različitih jedinjenja. Nakon procesa adekvatnog tehnološkog procesa prečišćavanja i dobijanja tečnog gasa, može da se koristi naziv – metan. Takođe, za grupu različitih gasova koji se koriste u mnogim proizvodnim procesima, u velikom broju evropskih zemalja ustaljen je termin „industrijski gasovi“ (Industrial Gasses, Gaz industriels...), a kod nas „tehnički gasovi“.<sup>133</sup>

Sveobuhvatna, precizna, striktna i tačna klasifikacija i podela gasova u određene grupe otežana je i kompleksna usled: širine i opsega primene, porekla, osobina, karakteristika, procesa eksploatacije, priprema i proizvodnje za tržište, uslova transporta i skladištenja, značaja i važnosti za društvo, obima korišćenja i raspoloživosti rezervi... Uzevši u obzir i uvažavajući sve iznete i prezentovane činjenice, razloge i faktore, uslovna podela i grupisanje gasova može se izvršiti na: 1. prirodni (zemni) gas, 2. tehničke (industrijske) gasove, 3. naftne gasove i 4. tehnološko-proizvodne (sintetičke, veštačke) gasove. Najpreciznije sagledavanje i analiza gasova neminovno iziskuje, uslovljava i zahteva pojedinačno posmatranje i prezentovanje svakog tržišno značajnog gasa.<sup>134</sup>

Sama podela, klasifikovanje i svrstavanje određenog gasa u jednu od četiri utvrđene grupe (Tabela 1.3) ne može se smatrati kao egzaktna. Ova podela nije strogo definisana, kod nje nije striktno izvršena i utvrđena granica između njihovih elemenata na osnovu svih parametara i karakteristika svakog gasa pojedinačno. Određene gasove možemo uslovno da svrstamo i u neku drugu skupinu osnovnog sistematizovanja (klasifikovanja) ako posmatramo samo neki njegov konkretni pojedinačni pokazatelj i parametar. Gasovi su u ovom radu klasifikovani u jednu od četiri određene grupe po najvećem broju njihovih karakterističnih i dominantnih parametara.<sup>135</sup>

<sup>129</sup> Najčešće je reč o dubinama do nekoliko desetina metara.

<sup>130</sup> Engleski, natural gas.

<sup>131</sup> Danas se ovaj gas eksploatiše (pored bušotina koje se nalaze na kopnu) i iz mora.

<sup>132</sup> Tad je reč o relativno veoma čistom gasu, sa malim udelom drugih jedinjenja.

<sup>133</sup> Bogner, M., Isailović M., *Tehnički i medicinski gasovi*, ETA, Beograd, 2005, str. 14.

<sup>134</sup> U radu će biti sagledan svaki gas pojedinačno i detaljno iz prve tri grupe koji ima značajniju ulogu i poziciju na tržištu. Gasovi koji su svrstani u četvrtu grupu ređe se javljaju na slobodnom tržištu kao proizvod, već češće kao sam produkt tehničko-tehnoloških procesa u okviru određene firme, gde se danas i najčešće u okviru nje i koristi.

<sup>135</sup> Posmatrano u zavisnosti od svojih dominantnih parametara i osobina, svaki gas je svrstan u jednu od četiri grupe. Pojedini gasovi se mogu svrstati i u neku drugu grupu, na osnovu neki svojih pojedinih karakteristika, ali ti parametri se ne mogu globalno smatrati najdominantnijom njegovom osobinom. U sistematizovanju, korišćen je veliki broj stručnih domaćih i inostranih radova iz ove oblasti, kao i konsultacija sa stručnjacima iz ove oblasti.



Tabela 1.3. Klasifikacija gasova<sup>136</sup>

1. Zemni (prirodni) gas	2. Tehnički (industrijski) gasovi	3. Naftni gasovi	4. Tehnološko-proizvodni gasovi
Metan (CH <sub>4</sub> ) i primese ugljovodonika	Kiseonik (O <sub>2</sub> ) Azot (N <sub>2</sub> ) Argon (Ar) Ugljen-dioksid (CO <sub>2</sub> ) Vodonik (H <sub>2</sub> ) Helijum (He) Acetilen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) Azot suboksid (N <sub>2</sub> ) Gasne mešavine Vazduh	Etan (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ) Propan (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ) Butan (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> ) Pentan (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> ) Heksan (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> ) Etilen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) Propilen (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> ) Butilen (C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> )	Rafinerijski gas Koksn gas Generatorski Grotleni gas Biogas

Autor.

### 2.3. Zemni (prirodni) gas – metan i primese ugljovodonika

S ciljem da se da detaljna sveobuhvatna prezentacija zemnog gasa, neophodno je: sagledavanje njegovog nastanka, načina migracije i tipova ležišta. Potrebno je analizom obuhvatiti tehnologiju istraživanja, proizvodnje, sabiranja i pripreme zemnog gasa za transport, skladištenje i distribuciju.

#### 2.3.1. Nastanak, migracija i tipovi ležišta zemnog gasa

**Nastanak zemnog gasa.** Zemni gas je smeša gasovitih jedinjenja. Osnovu sastava zemnog gasa čine ugljovodonici. Najčešće, zemni gas koji se danas komercijalno eksploatiše nalazi se u sedimentalnim, ali i u eruptivnim stenama nastalim u svim geološkim razdobljima, na dubinama od nekoliko do više hiljada metara zemljine kore, ali i u morima<sup>137</sup> i okeanima. Ne postoji opšteprihvaćena i utvrđena teorija o nastanku zemnog gasa i o formiranju njegovih akumulacija. O samom nastanku gasa u stručnoj literaturi postoje različiti pogledi, stavovi, mišljenja, pristupi i posmatranja koji se mogu svrstati u dve osnovne grupe: organskih<sup>138</sup> i anorganskih<sup>139</sup> teorija o

<sup>136</sup> Klasifikacija gasova sprovedena je na osnovu velikog broja različitih izvora i pristupa konkretnoj problematici, s ciljem da se pruži sveobuhvatniji, precizniji i pregledniji prikaz grupisanja i klasifikovanja gasova.

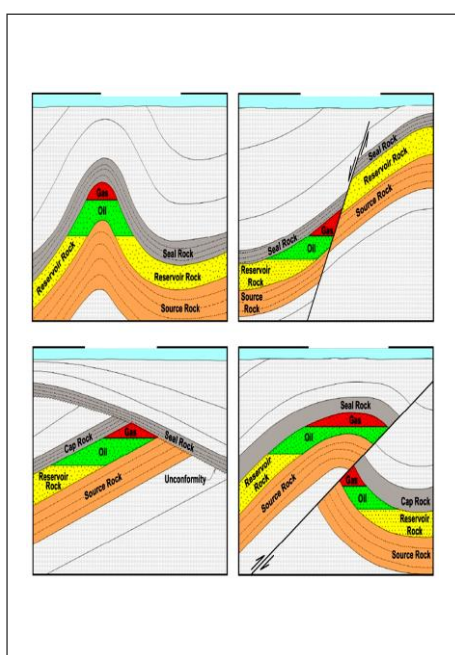
<sup>137</sup> Istraživanja koja su sprovedena u poslednjih nekoliko decenija u svetu pokazala su da se zemni gas nalazi ispod mora i okeana u gasovitom stanju, ali i u formama hidrata, u čvrstom agregatnom stanju.

<sup>138</sup> Prema organskoj teoriji, biogenog porekla, zemni gas je nastao od planktona, sitnih biljaka i životinjskih organizama koji žive u morima. Izumrli planktonski organizmi, zajedno sa česticama mulja, talože se na morskome dnu, stvarajući smešu koja se zove sapropel. Neophodan uslov je da nema prisustva kiseonika, a pod dejstvom anaerobnih bakterija (one su mikroorganizmi koji mogu da žive bez slobodnog kiseonika) dolazi do raspadanja sapropela. Od proteina se prvo stvaraju znatne količine sumpor-vodonika koji ne dozvoljava opstanak morskih životinja višeg reda, a na taj način se stvaraju poboljšani uslovi za akumulaciju i razgradnju saporela. Procesu raspadanja saporela pomažu i pojedine neorganske supstance prisutne u mulju (glineni minerali, silikati...) uz dejstvo pritiska i temperature (eventualno i dejstvo radioaktivnog zračenja) koji vladaju na dubinama, pa dolazi tokom vremena do stvaranja ugljovodonika, tj. nafte i zemnog gasa. Škrbić, B., *Tehnologija proizvodnje i pripreme nafte*, Tehnološki fakultet u Novom Sadu, 2002, str. 4.

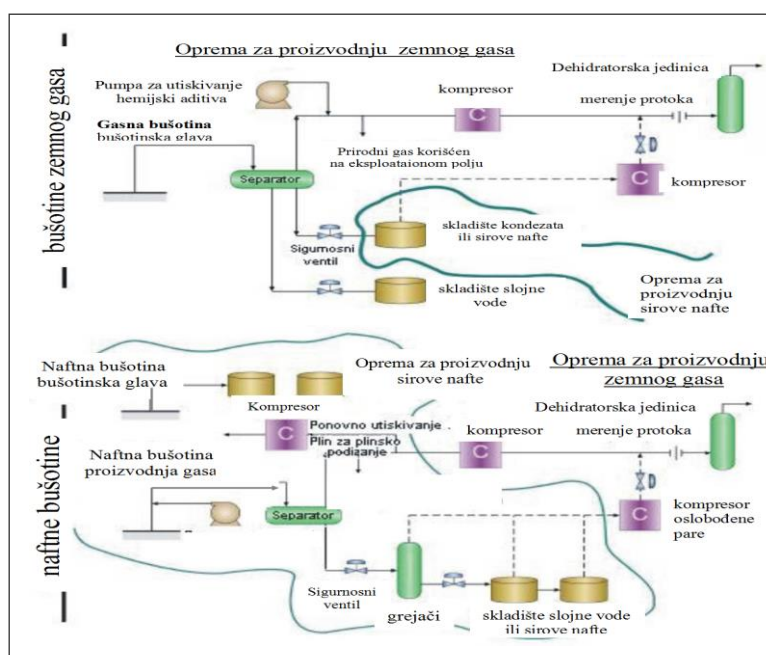
<sup>139</sup> Prema anorganskoj teoriji, abiogenog porekla, smatra se da je veći deo ugljovodonika u Zemljinoj kori nastao anorganskim hemijskim reakcijama u litosferi ili magni.<sup>139</sup> To se tumači metamorfnim procesima, kao što je olivna serpenitizacija ili kao što su hemijske reakcije na kontaktima vulkanskih stena i karbonskih naslaga, jer u takvim procesima mogu nastati ugljovodonici. Kao dokaz ove teorije uzima se pojava metana u gasovima vulkana, pojava nafte uz određeni tip vulkana, veća ležišta nafte uz metamorfne komplekse. Kao dokaz za ovu teoriju uzima se i pojava metana i dugih gasovitih ugljovodonika u visokometamorfoznim stenama proterozojsko-arhajske serije Baltičkog štita,

nastanku zemnog gasa. Nastanak zemnog gasa i stvaranje ležišta gasa odgovaraju uslovima stvaranja nafte, zato se može i uopšteno govoriti o ležištima ugljovodonika.

**Migracije zemnog gasa.** Migracija ugljovodonika je proces njihovog kretanje kroz matične stene u kojima su nastali, zatim iz tih stena u propusne stene (koje se nazivaju kolektorskim stenama), te dalje kroz propusne stene do prepreka, odnosno zamki, gde se stvaraju i formiraju akumulacije ugljovodonika, tj. njihova ležišta. Ležište se definiše kao svaka pojedinačna i samostalna akumulacija gasa u prirodnim rezervoarima, sa jedinstvenim sistemom pritiska. Istiskivanje gasa i nafte iz matičnih stena naziva se primarnom migracijom, dok se kretanje kroz kolektorske stene do prirodnih zamki naziva sekundarnom migracijom.<sup>140</sup> Zamka je geološka formacija pogodna za akumulaciju (sakupljanje) ugljovodonika. Zamka se smatra ležištem, sa industrijskog aspekta, ako je u nju migrirala (dospela) dovoljna količina prirodnog gasa ili nafte. Zamke gasa mogu biti različitog tipa: petrografska ili litološka zamka<sup>141</sup>, stratigrafska zamka<sup>142</sup> i strukturalna zamka (Slika 1.5).<sup>143</sup> Navedeni tipovi ležišta mogu nastati i kombinovano.



Slika 1.5. Tipovi zamki gasa<sup>144</sup>



Slika 1.6. Šematski prikaz proizvodnje nafte i gasa<sup>145</sup>

Sama ležišta zemnog gasa mogu se klasifikovati na ležišta zatvorenog i otvorenog tipa. Ležišta zatvorenog tipa ograničena su sa svih strana nepropusnom stenom. Donji nivo ležišta obično je ispunjen vodom. Ležište otvorenog tipa prirodnog gasa zatvara sloj koji je propustljiv i uvek je gas sa gornje strane ograničen vodom.<sup>146</sup> Ugljovodonici se nalaze na različitim dubinama, koje dosežu i

koje su dokazane na dubini od 11.800 m na poluostrvu Kola, Rusija. Pretpostavlja se da postoje velike količine metana u atmosferi velikih planeta, a u atmosferi Sunca je prisustvo utvrđeno.

<sup>140</sup> Opširnije o primarnim i sekundarnim migracijama plina kroz stene može se videti: Gjetvaj, I., *Postanak ležišta prirodnog plina*, „Prirodni plin“, INA, Zagreb, 1989, str. 13.

<sup>141</sup> Formira se onda kada se poroznost stena, u kojima se odvija sekundarna migracija, naglo smanji.

<sup>142</sup> Stvara se zbog specifičnih okolnosti nastajanja sedimentalnih stena. Na osnovnoj steni se nalazi šupljikava stena koja se vremenom sa gonje strane zatvori.

<sup>143</sup> Stvara se pod uticajem tehnološkog poremećaja tako da se prvobitni horizontalni sedimentalni sloj „nabora“, lomi ili istovremeno lomi i „naborava“.

<sup>144</sup> Izvor, ilustracija različitih tipova zamki zemnog gasa preuzeta iz većeg broja inostranih stručnih radova. Zamke mogu da budu: petrografske, litološke, stratigrafske i strukturalne. Navedeni tipovi ležišta mogu nastati i kombinovano.

<sup>145</sup> Autor, prema: Shires, T. M., Loughran, C. J., *API's Compendium of Greenhouse Gas Emissions Methodologies For The Oil and Gas Industry*, American Petroleum Institute, Washington DC, SAD, 2004.

<sup>146</sup> Škrbić, B., *Tehnologija proizvodnje i pripreme nafte*, Tehnološki fakultet u Novom Sadu, 2002, str. 8.

više hiljada metara ispod površine.<sup>147</sup> Pritisaci sirovog gasa mogu biti i iznad 300 bara (u zavisnosti od samog konkretnog ležišta) a temperatura na dnu same bušotine često je iznad 180°C.

**Tipovi ležišta.** Posmatrano sa aspekta trenutne mogućnosti za eksploataciju i proizvodnju zemnog gasa na postojećem nivou tehničko-tehnološkog razvoja i ekonomske isplativosti, sva ležišta gasa u prirodi mogu se grupisati u konvencionalna i nekonvencionalna.<sup>148</sup> Konvencionalna ležišta gasa su ona ležišta iz kojih se može, u sadašnjem trenutku, na ekonomski isplativ način uz konstantan dotok eksploatirati gas. Nekonvencionalna ležišta trenutno ne omogućuju tehničko-tehnološki ekonomski isplativu eksploataciju, ali predstavljaju realan potencijal za buduće vreme. Razvojem tehnike i metoda eksploatacije, nekonvencionalna ležišta postaju konvencionalna.

U prirodi postoje tri osnovna tipa konvencionalnih ležišta zemnog gasa iz kojih se dobija gas za komercijalne potrebe: gasna ležišta, kondenzatna ležišta i ležišta sirove nafte. Tako, u zavisnosti od tipa ležišta iz kojih se dobija prirodni gas, on se razlikuje po svome sastavu (Tabela 1.4) i daje mu se naziv prema samom tipu ležišta iz kojeg potiče: 1. zemni gas iz gasnih ležišta; 2. kondenzatni zemni gas (iz kondenzatnih ležišta) i 3. naftni zemni gas (kaptazni iz naftnih ležišta).<sup>149</sup> Tako da zemni gas iz konvencionalnih ležišta može da se dobije proizvodnjom iz gasnih i naftnih ležišta (Slika 1.6). Prema tipu prirodnog rezervoara u kome se gas nalazi, razlikujemo: slojna, masivna, zonarna i kompleksna ležišta.<sup>150</sup>

Osnovni hemijski sastav zemnog gasa čine ugljovodonici. Od ugljovodonika nalaze se samo ugljovodonici reda alkana, među kojima je najveće prisustvo i zastupljenost metana (CH<sub>4</sub>). Sadržaj metana najčešće se kreće u rasponu od 65% do 100%. Pored metana, u sastavu zemnog gasa se nalaze i viši ugljovodonici: etan, propan, n-butan, i-butan i pektan. Ugljovodonici od C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub> nalaze se u gasovitom stanju, od C<sub>5</sub>-C<sub>7</sub> mogu se nalaziti u gasnom, ali i u tečnom stanju.<sup>151</sup> Svi ugljovodonici od C<sub>8</sub>-C<sub>15</sub> mogu biti samo u tečnom stanju, svi viši parafini od C<sub>16</sub> su u čvrstom agregatnom stanju.

U gasnim ležištima ima malo ugljovodonika višeg reda u poređenju sa količinom metana. Zemni gas iz ovakvog ležišta naziva se i suvi zemni gas. Kod kondenzatnih ležišta sadržaj gasa je znatno veći od količine ugljovodonika u tečnoj fazi (oni se izdvajaju u separatoru kao tečnost usled smanjenja pritiska i temperature). Kondenzatom<sup>152</sup> se naziva tečna faza koja se dobija prilikom

<sup>147</sup> Smatra se da je prvu bušotinu prirodnog plina uradio 1821. godine u Fredoniji (Njujork) A. Hart. Dubina bušotine iznosila je 27 stopa. Izvedena je da bi se povećao protok, što se smatra za početak planirane eksploatacije. U početku se zemni gas u prvom redu koristio za uličnu rasvetu.

<sup>148</sup> U ovom delu rada detaljnije se sagledavaju konvencionalna ležišta zemnog gasa. Nekonvencionalna ležišta gasa su: slabo propusni peščanici, frakturirani šejlovi, gas iz ugljena, iz metana otopljenog u dubokim akviferima, ležišta hidrata. Detaljnije o nekim od nekonvencionalnih ležišta gasa, u segmentu 3.3. ove glave.

<sup>149</sup> Često se vrši i detaljnija klasifikacija ležišta zemnog gasa, prema sastavu fluida i njihovom odnosu na: 1. gasna ležišta (suvoga i mokroga gasa), 2. gasno-kondenzatna ležišta (vlažan gas, retrogradna kondenzacija), 3. kondenzatna ležišta (lako isparljiva nafta), 4. naftna ležišta sa gasnom kapom (naftno-gasna), 5. naftna ležišta sa mnogo rastvorenog gasa, 6. naftna ležišta sa malo rastvorenog gasa (nezasićena).

<sup>150</sup> Prema tipu prirodnog rezervoara, detaljnija klasifikacija ležišta zemnog gasa je na njihove podnivoje, tako da: 1. slojna ležišta mogu biti sa: a. tektonskim trapom (zatvorena svodom, zasvođena, i zatvorena tektonskim ekranom, ekranizovana); b. stratigrafskim trapom (zatvorena svodom, zasvođena, zatvorena stratigrafskim ekranom ispod diskordancije, zatvorena stratigrafskim ekranom iznad diskordancije); c. litološkim trapom (zatvorena litološkim ekranom), d. složenim trapom; 2. masivna ležišta sa: a. tektonskim trapom (zatvorena svodom, zasvođena, zatvorena tektonskim ekranom, ekranizovana), b. morfološkim trapom (disjunktivnog, erozionog, biogenog, kompleksnog, kombinovanog porekla); c. složenim trapom; 3. zonirana ležišta: a. sočivasta i b. gnezdasta. Slojna i zonirana – sočivasta ležišta najčešće su u klasičnim rezervoarima (pekovi i peščari), a masivna i zonarna – gnezdasta u karbonatnim rezervoarima (krečnjaci, dolomiti) i u podlozi basena (paleoreljef). Kostić, A., *Geologija ležišta nafte i gasa*, Rudarsko-geološki fakultet u Beogradu, Beograd.

<sup>151</sup> Na atmosferskom pritisku i temperaturi od 20°C.

<sup>152</sup> Na osnovu naziva kondezat za tečno stanje ugljovodonika koji se dobijaju u tehničko-tehnološkom procesu separacije produkta koji se dobija iz bušotine, ovakva ležišta su dobila naziv, kondenzatna ležišta.

separacije gasa iz ležišta.<sup>153</sup> Zemni gas iz naftnih ležišta imaće veću količinu metana ako je dobijen iz aftensko-aromatičnih i astafolznih sirovih nafti, a manju ako je dobijen iz alkalkih (parafinskih) i naftno-parafinskih sirovih nafti. Zemni gas iz naftnih ležišta sadrži uglavnom ugljovodonike bez značajnih drugih primesa. Ne postoje tačno utvrđena, određena i definisana razgraničenja između gasnih, kondenzatnih i naftnih ležišta.<sup>154</sup> Osim ugljovodonika u zemnom gasu se nalaze kao prateće komponente: ugljen-dioksid<sup>155</sup> i sumpor-vodonik. U nekim ležištima gasa pojavljuju se i helijum, agron, azot...<sup>156</sup> Pojedine elemente je potrebno ukloniti iz sirovog gasa jer prouzrokuju negativne efekte. Sumpor i ugljen-dioksid pospešuju koroziju cevovoda i instalacija kroz koje protiče gas. Neophodno je nastojati ukloniti sumpor, čestice prašine, vlagu... iz gasa. Komponente koje ulaze u sastav gasa hemijski ne reaguju jedna na drugu.<sup>157</sup> Ponašanje gasa zavisi od osobina pojedinačnih komponenata koje se nalaze u njegovom sastavu.

Tabela 1.4. Hemijski sastav jednofazni sistema u raznim tipovima ležišta<sup>158</sup>

Komponente	Normalna sirova nafta (tečna faza) %	Laka sirova nafta (tečna faza) %	Kondenzatna ležišta (gasna faza) %	Gasna ležišta (gasna faza) %
Metan	48,95	63,26	85,50	95,90
Etan	2,85	7,42	4,56	2,62
Propan	2,15	5,74	2,68	0,32
Butan	1,70	4,32	1,89	0,47
Pentan	1,25	2,67	0,88	0,08
Heksan	1,05	1,48	0,62	0,11
Heksan plus frakcije	42,05	15,11	3,88	0,50
Suma %	100	100	100	100
Molekula. masa C7+	225	181	157	112
Boja tečnosti iz sepe.	zelenkastosmeđa	svetlonarandžasta	boja slame	prozirna boja vode

Izvor: Vučković J., *Priprema sirove nafte i prirodnog plina za transport*, Poslovno udruženje Nafta, Zagreb, 1968.

### 2.3.2. Istraživanje, proizvodnja, sabiranje i priprema zemnog gasa za dalji transport ovog energenta prema krajnjim potrošačima

**Istraživanje nalazišta ugljovodonika.** Sprovedenjem procesa istraživanja nalazišta ugljovodonika određuje se: struktura i vrsta podzemnih slojeva, sami obrisi i konture mogućeg

<sup>153</sup> Razlika između gasnih ležišta i kondenzatnih ležišta zemnog gasa određena je uglavnom sa dva pokazatelja. Prvo, sadržajem metana i heptan plus frakcijama. Kondenzatna ležišta imaju manji procenat sadržaja metana a veći sadržaj ugljovodonika sa većom molekularnom masom od gasa iz gasnih ležišta. Druga razlika se manifestuje u molekularnoj masi heptan plus-frakcija. Molekularna masa heptan plus-frakcija kod gasa iz kondenzatnih ležišta je veća. Zemni gas iz kondenzatnih ležišta naziva se i „mokri gas“ zato što ima veći procenat tečnih ugljovodonika nego „suvi gas“ iz gasnih ležišta.

<sup>154</sup> U literature se može susresti i sledeća klasifikacija zemnog gasa: 1. „suvi gas“ (dry gas) – ima manje od 5% etana i težih homologa; 2. „vlažan gas“ (wet gas) – ima preko 5% etana i težih homologa; 3. „slatki gas“ (sweet gas) – bez CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S; 4. „kiseli gas“ (acid gas) – gas sa preko 2% CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S; 5. gas sa povišenim sadržajem H<sub>2</sub>S – sour gas.

<sup>155</sup> U nekim ležištima zemnog gasa CO<sub>2</sub> može biti i preko 40%. Procenat helijuma i argona je znatno manji. Izuzetno su značajna sa ekonomskog aspekta ležišta zemnog gasa koja imaju od nekoliko % do 10% helijuma. Iz ovih ležišta se odvaja helijum od zemnog gasa za snabdevanje tržišta ovim gasom u komercijalne svrhe.

<sup>156</sup> Na osnovu: Vučković, J., *Priprema sirove nafte i prirodnog plina za transport*, Poslovno udruženje Nafta, Zagreb, 1968, str. 37–38; Škrbić, B., *Tehnologija proizvodnje i pripreme nafte*, Tehnološki fakultet u Novom Sadu, 2002,

<sup>157</sup> Metan na atmosferskom pritisku prelazi u tečnost na temperaturi od -161,3°C, etan na -88,6°C, propan -42,1°C.

<sup>158</sup> Predstavljen je tipičan sastav ugljovodonika pojedinih ležišta. Odnosi se na jednofazne sisteme (samo gasna ili tečna faza) pod pritiskom i temperaturom koji vladaju u ležištima. Vučković, J., *Priprema sirove nafte i prirodnog plina za transport*, Poslovno udruženje Nafta, Zagreb, 1968, str. 38.

ležišta i definiše se porozitet permabiliteta ležišnih stena. Realizacija istraživanja potencijalnog nalazišta ostvaruje se upotrebom različitih metoda i postupaka geofizičkih merenja i analiza pomoću: refleksione seizmike (direktna metoda), refrakcione seizmike (grafitaciono merenje) i bušenja.<sup>159</sup>

Tehnika istraživanja refleksionom seizmikom bazira se na principu stvaranja veštačkih talasa koji nastaju koordinisanim i kontrolisanim veštačkim „eksplozijama“ u tlu zemlje i na merenju titraja tih njihovih talasa koji se prostiru ispod površine.<sup>160</sup> Metod refrakcione seizmike počiva na merenju refrakcije, tj. loma zvučnih talasa u pojedinim podzemnim slojevima prema vrsti građe toga sloja. Metod direktnog bušenja, u cilju istraživanja, sprovodi se pomoću specijalnih bušilica (svrdla) i može se realizovati vertikalno i horizontalno.<sup>161</sup> Sam proces eksploatacije zemnog gasa<sup>162</sup> realizuje se kroz faze: istraživanja, otkrića, razrade, proizvodnje zemnog gasa i napuštanja ležišta. Sama faza proizvodnje gasa može se ostvariti kao primarna ili sekundarna aktivnost, što je uslovljeno tipom i karakteristikama ležišta.

**Instalacija proizvodne opreme.** Prilikom samog procesa izrade istražne i proizvodne bušotine, a pre ugradnje same proizvodne opreme (ulazne proizvodne cevi), neophodno je izvršiti zaceljivanje izrađene bušotine i osigurati njenu dobru hermetizaciju.<sup>163</sup> Od ovoga značajno zavisi uspešan, siguran i pouzdan rad bušotine zemnog gasa. Tehnički postupak zaceljivanja kolone ostvaruje se i sprovodi korišćenjem cevi različitog prečnika.<sup>164</sup> Prečnik cevi se smanjuje od većeg promera ka manjem kako se povećava dubina eksploatacione bušotine.<sup>165</sup>

Zaceljivanje konkretne bušotine vrši se i sprovodi sa više segmenata (sekcija) cevi, a u zavisnosti od njene dubine i karakteristika.<sup>166</sup> Bušotina se oprema sa više koncentričnih čeličnih cevi koje su postavljaju jedna u drugu.<sup>167</sup> Kroz središnji deo bušotine prolazi proizvodna cev, oko koje se ugrađuju i postavljaju druge zaštitne cevi<sup>168</sup>, koje zajedno formiraju kolonu za eksploataciju sirovog

<sup>159</sup> Šunić, M., *Znanost mijenja svet a plin komoditet življenja*, Bauer grupa, Samobor, 2003, str. 106–138.

<sup>160</sup> Metod se bazira na činjenici da se amplitude i frekvencije koje nastaju usled veštački prouzrokovane eksplozije reflektuju različito, u zavisnosti od broja i vrste različitih podzemnih slojeva na koje nailaze sami talasi. Njihovim merenjem i analizom sagledava se potencijal ležišta ugljovodonika. Talasi koji nastaju u zemlji nakon eksplozije detektuju se pomoću geofona postavljenih na površini zemlje a mere se uređajima koji su instalirani u specijalnim mobilnim vozilima za istraživanje.

<sup>161</sup> Prilikom procesa bušenja u fazi istraživanja uzimaju se uzorci iz same bušotine na različitim dubinama i pozicijama nakon čega se šalju na dalja sveobuhvatna različita i kompleksna laboratorijska istraživanja. Pri analizi se sagledavaju svi slojevi i njihov nivo propusnosti ili nepropusnosti pojedinačno. Vršiti se i detaljna analiza sadržaja ugljovodonika u uzetim uzorcima iz bušotine.

<sup>162</sup> Detaljno sagledavanje razvoja tehnologije eksploatacije videti u radu: Zelić, M., Petrović, D., „Razvoj tehnologije proizvodnje, sabiranja i transporta nafte i plina“, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, Zagreb, 1990, str. 161–176.

<sup>163</sup> Za razliku od gasa, proizvodnja nafta se može realizovati kao: primarna, sekundarna i tercijarna.

<sup>164</sup> Prečnik cevi se najčešće kreće u rasponu od 30 do 7 cola, ali na većim dubinama i sa većim poprečnim promerom. Međusobno povezivanje zaštitnih i eksploatacionih cevi vrši se navijanjem. Spojnice koje služe za povezivanje cevi, radi postizanja što boljeg zaptivanja, imaju specijalne navoje koji imaju dvostruko, trostruko i četvorostuko „britvenje“. Danas u svetu postoji više specijalizovanih proizvođača ovih spojnica. Zato što se navoji lako oštećuju („troše“), na ulazno-eksploatacionim cevima, radi njihove zaštite i povećavanja njihovog eksploatacionog veka, zaštićuju se: cinkom, bakrom, polimernim materijalima...

<sup>165</sup> Opširnije i detaljnije o konstrukciji bušotine može se videti u radu: Sarida, V., *Konstrukcija bušotine*, Prirodni plin, INA Naftaplin, Zagreb, 1989, str. 125–147.

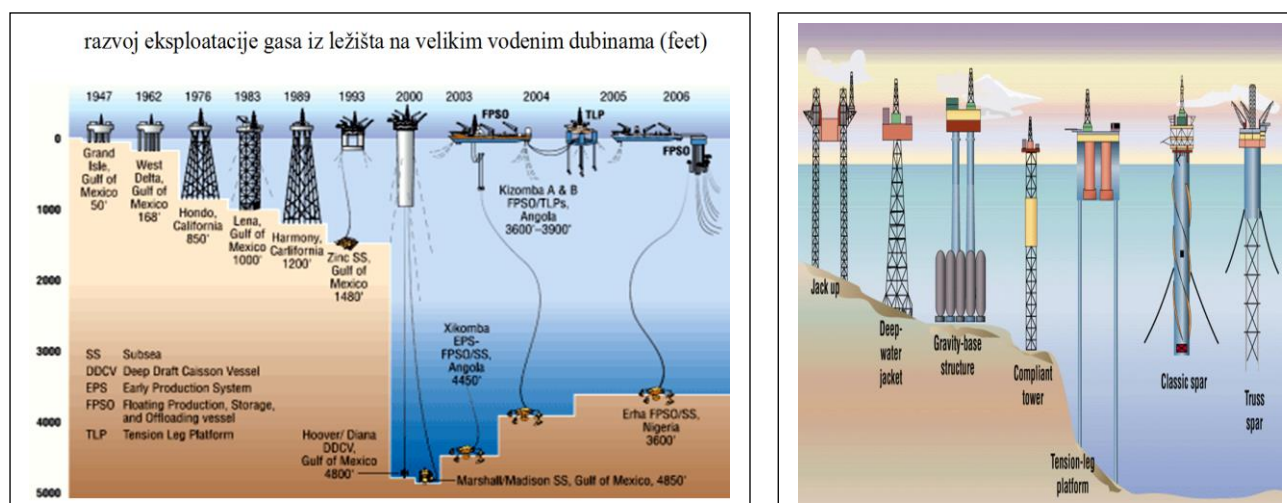
<sup>166</sup> Najčešće se sprovodi u četiri ili u pet sekcija, ali i u većem broju, najčešće ako je dubina bušotine preko 5000 metara.

<sup>167</sup> Zaštitna kolona oko proizvodne cevi može se formirati od jedne cevi ili postavljanjem dve cevi, jedne u drugu. Tad je reč o dvostrukoj zaštitnoj koloni na bušotini. Ovakav način se primenjuje u uslovima kad je reč o većim dubinama ili o specijalnim uslovima i zahtevima eksploatacije.

<sup>168</sup> Može da se formira jedan prsten ili veći boj u zavisnosti od uslova konkretne bušotine. Cevi koje se koriste kao zaštita u koloni i za eksploataciju specijalne su izvedbe i sastava. Moraju da budu nepropusne i da zadovoljavaju sve ostale tehničko-tehnološke zahteve koji su neophodni za pouzdano, sigurno, ekonomično i dugotrajno eksploatiranje bušotine prirodnog gasa. Značajan uticaj na njih ima temperatura, pritisak, korozija... U svetu danas postoji više specijalizovanih proizvođača iz: SAD, Nemačke, Japana, Francuske...

zemnog gasa iz ležišta.<sup>169</sup> Središnja proizvodna (eksploataciona) cev služi za crpljenje (izvođenje) gasa i kondenzata iz bušotine, i ona nije trajno učvršćena.<sup>170</sup> Zaštitne cevi se radi potpune hermetizacije cementiraju do samoga vrha bušotine. Cement se stavlja u prostor između spoljne strane zaštitne kolone i stene unutar same bušotine. Da bi se postiglo što bolje cementiranje bušotine, neophodno je prvo što potpunije i kvalitetnije istisnuti isplaku (koja se nalazi u njoj) cementnom kašom. Nakon toga se pristupa njenom cementiranju, za šta se upotrebljava druga odgovarajuća adekvatna cementna masa. Ova masa svojim sastavom, karakteristikama i gustoćom treba u potpunosti da odgovara zahtevima i uslovima svake konkretne bušotine.<sup>171</sup>

U praksi, sam način ugradnje i opremanja bušotine zavise od: sastava i protoka fluida koji treba proizvesti, vrste ležišta, mogućeg kapaciteta proizvodnje, dubine bušotine, pritiska i temperature u samom ležištu, lokacije bušotine (na kopnu ili na otvorenom moru), pritiska u sistemu za sabiranje i transport gasa, agregatnog stanja prirodnog gasa koji se eksploatiše (gasovit ili u vidu hidrata)... Opremanje proizvodne bušotine obuhvata i izračunavanje optimalnog promera proizvodne kolone, utvrđivanje potrebnih mehaničkih svojstava proizvodne kolone, sagledavanje i odabir uređaja i sredstava koji se koriste... Kod klasičnog eksploatiranja gasa iz ležišta, koja se nalaze na kopnu, oprema se uglavnom sastoji od erupcionog uređaja, glavnih ventila, kolone ulaznih cevi, infibitora (ako je potreban) i proizvodnog paketa. Osnova tehnologije eksploatacije gasa iz mora u osnovi je slična eksploataciji ovog energenta na kopnu, s tim da se tehnička rešenja i sami načini razlikuju, u zavisnosti od primene konkretne metode i tehničkog rešenja (Slika.1.7).



Slika 1.7. Ilustracije razvoja i primene savremeni tehnologija eksploatacije gasa iz mora<sup>172</sup>

**Dejstvo i uticaj korozije.** U svim analizama, vezanim za eksploataciju, skladištenje, transport i distribuciju zemnog gasa, pridaje se posebna pažnja i posvećuje veliki značaj problematiki koja razmatra neželjene efekte i posledice koje ima okruženje na opremu i cevovode. Problemi nastaju zbog: prisutnosti agresivnih gasova (ugljen-dioksida, sumpor-vodonika), hlorida, žive; visokih pritiskata i temperatura... ali često i zbog visokog stepena kiselosti vode (pH faktor). Njihove karakteristike i osobine imaju za neposrednu posledicu negativno dejstvo i različite neželjene efekte

<sup>169</sup> Prilikom opremanja bušotine, vodi se računa o kretanju peska u bušotini. Značajno mesto u procesu opremanja bušotine zauzima: pakerski fluid, sagledavanje ulaznih kolona... Detaljnije videti u radu: Milivojević, V., *Proizvodne bušotine*, Prirodni plin, INA Naftaplin, Zagreb, 1989, str. 163–178.

<sup>170</sup> Ona se, u zavisnosti od potreba i zahteva, može delimično ili potpuno izvaditi iz bušotine da bi se zamenila većim ili manjim potrebnim promerom druge cevi.

<sup>171</sup> Detaljnije o procesu same hermetizacije, o tehnologiji i postupcima istiskivanja isplake, o sastavu cementne kaše, o vrsti kaše i aditiva koji se koriste, može se videti u većem broju usko specijalizovanim radovima i prezentacijama.

<sup>172</sup> Ilustracije su preuzete iz većeg broja inostranih kompetentnih naučnih radova iz ove oblasti.

na materijale od kojih su napravljeni cevovodi i oprema, a koji dolaze u dodir sa njima.<sup>173</sup> Sam neželjeni uticaj ispoljava se i kroz stvaranje povoljnih uslova za nastanak korozije kojoj pripada posebno mesto vezano za ovu problematiku. Proces korozije se direktno nepovoljno odražava na materijale koje su zahvaćeni njenim dejstvom, a time i na eksploatacioni vek opreme i cevi.<sup>174</sup> Zbog toga je potrebno obezbediti materijale koji su značajno otporni na uticaj korozije, ali istovremeno, oni treba da imaju i veliku specifičnu čvrstoću. Da bi se sprečio negativan uticaja same korozije, kao preventiva, u prvom redu, koriste se materijali koji su značajno otporni na njeno formiranje i dejstvo. Materijali koji se najčešće koriste za opremanje bušotina jesu: ugljenični i niskolegirani čelik, legirani čelik, visokolegirani čelik i materijali kod kojih gvožđe nije glavni sastojak<sup>175</sup>... Takvi materijali, u zavisnosti od konkretnih potreba i zahteva, moraju i treba da zadovolje sve zahteve za opremanje bušotine.<sup>176</sup> Ovo je neophodno zbog složenosti uslova koji vladaju u samoj bušotini, ali i u procesu eksploatacije i distribucije gasa.<sup>177</sup>

**Sistem podizanja fluida.** Erupcioni način eksploatacije gasnog ili gasno-kondenzatnog polja najduži je i najvažniji period eksploatacije bušotine.<sup>178</sup> U tom periodu korišćenja, bušotina je „izdašna“, a zalihe slojne energije su dovoljne za kontinuiranu eksploataciju fluida.<sup>179</sup> Smanjenjem pritiska u ležištu, tokom vremenskog perioda eksploatacije, dolazi do poremećaja uslova i dotoka fluida iz bušotine zbog smanjenja slojne energije, a samim time i dinamičkog pritiska. Zbog toga je neophodno promeniti intenzitet protoka fluida (smanjenjem prečnika eksploatacione cevi) ili dovesti dodatnu energiju u samo ležište.<sup>180</sup> Na taj način se, u nastavku procesa eksploatacije bušotine, osigurava nesmetan kontinuiran dotok gasa i podizanje kondenzata (kapljive, tečne, faze)<sup>181</sup> do gasne stanice. Iz bušotine se, pored gasa, crpi u manjoj ili većoj meri i kondenzat (viših ugljovodonika koji su nastali zajedno sa gasom) i voda. Kondenzat se pojavljuje u različitim količinama, oblicima i agregatnim stanjima, pri čemu on formira sa gasom i vodom mešavinu u svim delovima, od samog dna ležišta do gasne stanice za separaciju. U zavisnosti od same sadržine, izgleda i strukture koja se formira, nastaje i gradi od elemenata koji se crpe iz bušotine, razlikuje se više konkretnih mogućih oblika višefaznog protoka fluida.<sup>182</sup>

Nakon prestanka mogućnosti za eksploataciju fluida iz nalazišta, zbog smanjenja osnovnog polaznog pritiska same bušotine, primenjuje se u praksi nekoliko metoda za nesmetan nastavak procesa korišćenja samog ležišta. Mogući praktični konkretni načini jesu da se proizvodna kolona zameni novom kolonom manjeg prečnika<sup>183</sup> ili da se dovede dodatna energija u bušotinu. Dovođenje dodatne energije u ležište ostvaruje se korišćenjem injektora, sapnica i uvođenjem površinskih aktivnih stvari u ležište. Kao poseban postupak postoji mogućnost da se, radi maksimalnog

<sup>173</sup> Kao posledica njihovog dejstva dolazi do: narušavanja fizičkih karakteristika materijala, uništavanja kovalentne veze.

<sup>174</sup> Neosporno je da proces korozije ima veliki negativan značaj i uticaj na opremu i cevi u samoj bušotini, ali i na cevovode za transport zemnog gasa u toku njihovog eksploatacionog perioda. Opširnije se može videti u velikom broju sručnih radova, vezanih direktno ili indirektno za ovu materiju.

<sup>175</sup> U zavisnosti od mikrostrukture, razlikujemo: austenitne, martenzitne, feritne, austo-feritne... materijale.

<sup>176</sup> Za pravilan izbor vrste materijala može da se koristi orijentacijski dijagram (Sumitomo Metal Industries Ltd dijagram) koji sagledava potreban materijal za zaštitne i ulazne cevi u zavisnosti od pritiska, sumporvodonika i CO<sub>2</sub>.

<sup>177</sup> Ova dva zahteva teško je uskladiti. Mali je broj materijala koji uspešno mogu da ispune sve zahteve istovremeno.

<sup>178</sup> Prema: Milivojević, V., *Proizvodne bušotine*, Prirodni plin, INA Naftaplin, Zagreb, 1989, str. 149–180

<sup>179</sup> Fluid u sebi sadrži (u zavisnosti od tipa ležišta) u različitom procentu i sastavu gas, kondenzat i vodu.

<sup>180</sup> Zajedno sa gasom, ako su prisutni u ležištu, i kondenzat i voda (ili samo jedan element) formiraju fluid bušotine.

<sup>181</sup> Kondenzati se uvek pojavljuju u gasnim ležištima u većoj ili manjoj meri. Sastoje se od viših ugljovodonika. Njihovo agregatno stanje zavisi od pritiska i temperature u sloju. Menja se sa promenom pritiska i strujanja gasa. Protiče zajedno sa gasom, ali zbog trenja i veće gustoće zaostaje i pada na dno bušotine. Može da stvori čep koji otežava strujanje gasa, zastoj u protoku ali i zagušenje bušotine.

<sup>182</sup> Razlikujemo više mogućih faza protoka gasa. Jednofazni protok je protok samo jednog elementa koji čini fluid. Višefazni protok je stanje u kojem fluid formira dva elementa ili više elemenata u različitim oblicima: mehuričasti, čepoliki, prsteno-čepoliki i prstenastog izgleda.

<sup>183</sup> Moguće su dve varijante: a) da se umesto stare proizvodne cevi koja se izvadi postavi nova proizvodna cev manjeg prečnika; b) da se u postojeću proizvodnu cev direktno instalira nova proizvodna cev.

iskorišćenja ležišta, bušotina priključi na usisnu stranu kompresora i na taj način crpi (izvlači, isisava) brže veća količina zemnog gasa.

Kod eksploatacije i proizvodnje gasa iz bušotine, kojih na samom ležištu ima veći broj, svaka bušotina se povezuje cevovodom sa sabirnom stanicom. Gas i nafta se prikupljaju na jednom mestu, a nakon toga se obrađuju i pripremaju za transport. Tehnološka obrada može da se odvija u više segmenata i procesa: separacija (odvajanje) nafte i gasa; dehidracija (odvodnjavanje) nafte i gasa; desulfuriranje (odsumporavanje) nafte i gasa; odvajanje ugljen-dioksida iz gasa; odvajanje mehaničkih nečistoća iz nafte i gasa; izdvajanje težih ugljovodonika iz gasa (degazoliranje).<sup>184</sup> Posebno mesto u realizaciji eksploatacije zemnog gasa zauzimaju tehnološka i tehnička rešenja koja se koriste za njegovo crpljenje iz mora u gasovitom agregatnom stanju.<sup>185</sup>

Tabela 1.5. Najznačajnije karakteristike metana<sup>186</sup>

Gas	1 Tk [°C]	2 Tt [°C]	3 ρg [kg/m <sup>3</sup> ]	4 ρt [kg/m <sup>3</sup> ]	5 ρč [kg/m <sup>3</sup> ]	6 Vt/Vg [m <sup>3</sup> ]	7 Vč/Vg [m <sup>3</sup> ]	8 lt/Vg [m <sup>3</sup> ]	9 kg.t/Vg [m <sup>3</sup> ]	10 kg.č/Vg [m <sup>3</sup> ]
Metan	-161,58	-182,6	0,7175	424	488	599,94	680,14	0,59	1,39	1,39

Autor.

**Gasna stanica i sakupljanje sirovog gasa.** Proizvodnja gasa iz gasnih bušotina realizuje se direktnim povezivanjem svih bušotina na ležištu sa gasnom stanicom. Uslovi rada sistema za sakupljanje gasa su uslovljeni: promenom pritisaka, promenom temperature, akumulacijom kondenzata i vode, stvaranjem hidrata, unutrašnjom korozijom i mehaničkim karakteristikama cevovoda.<sup>187</sup> Svaka bušotina ima svoj regulator količine protoka gasa instaliran na cevovodu koji povezuje priključnim vodom bušotinu sa sabirnim cevovodom a dalje sa gasnom stanicom. Sistem za sakupljanje gasa iz gasnih bušotina može biti: pojedinačni, grupni i centralni.

U zavisnosti od karakteristika i veličine gasnog ležišta, na jednom gasnom polju može da se postavi, izgradi i instalira jedna gasna stanica ili veći broj gasnih stanica, koje se lociraju u skladu sa zahtevima i uslovima radi što efikasnijeg rada.<sup>188</sup> U sklopu gasne stanice, realizuju se važni i značajni tehničko-tehnološki procesi u eksploataciji sirovog zemnog gasa: odvajanje slobodnog kondenzata i vode od gasa normalnom separacijom; crpljenje visokomolekularnih ugljovodonika nisko temperaturnom separacijom; dehidracija plina, merenje količine protoka gasa i tečnosti.<sup>189</sup>

**Postupci dorade sirovog zemnog gasa.** Tehnološki procesi pripreme i dorade gasa za transport jesu: separacija gasa, slobodnog kondenzata i vode; izdvajanje iz gasa visokomolekularnih

<sup>184</sup> Proces separacije i dehidracije uvek se odvijaju kad je reč o naftno-gasnim ležištima, a drugi procesi se primenjuju u zavisnosti od neophodnih tehnoloških potreba. U centralnoj gasnoj stanici najčešće se odvijaju procesi filtriranja i dehidracije gasa.

<sup>185</sup> Pored svih dosad razvijenih tehnika i tehnologija eksploatacije gasa, kao savremeno rešenje koriste se plutajuća postrojenja za eksploataciju i skladištenje. Reč je o plutajućim postrojenjima FPSO (Floating Production, Storage and Offloading Unit). To je plovilo u obliku broda koje se usidri na mestu eksploatacije. Nakon eksploatacije zemnog gasa iz dubine mora, gas se na FPSO prevodi u tečno stanje, skladišti i isporučuje dalje LNG brodovima.

<sup>186</sup> Parametri po kolonama: 1) Tk (tačka ključanja) jeste temperatura na kojoj gas prelazi iz gasovitog u tečno agregatno stanje; 2) Tt (tačka topljenja ili ledenja) jeste temperatura na kojoj gas prelazi iz tečnog u čvrsto stanje; 3) ρg – 1 m<sup>3</sup> gasa u gasovitom stanju = kg; 4) ρt – 1 m<sup>3</sup> gasa u tečnom stanju = kg; 5) ρč – 1 m<sup>3</sup> gasa u čvrstom stanju = kg; 6) 1 m<sup>3</sup> tečnog gasa = m<sup>3</sup> gasa; 7) 1 m<sup>3</sup> gasa u čvrstom stanju = m<sup>3</sup> gasa; 8) 1 litar tečnog gasa = m<sup>3</sup> gasa; 9) 1 kg tečnog gasa = m<sup>3</sup> gasa; 10) 1 kg čvrstog gasa = m<sup>3</sup>.

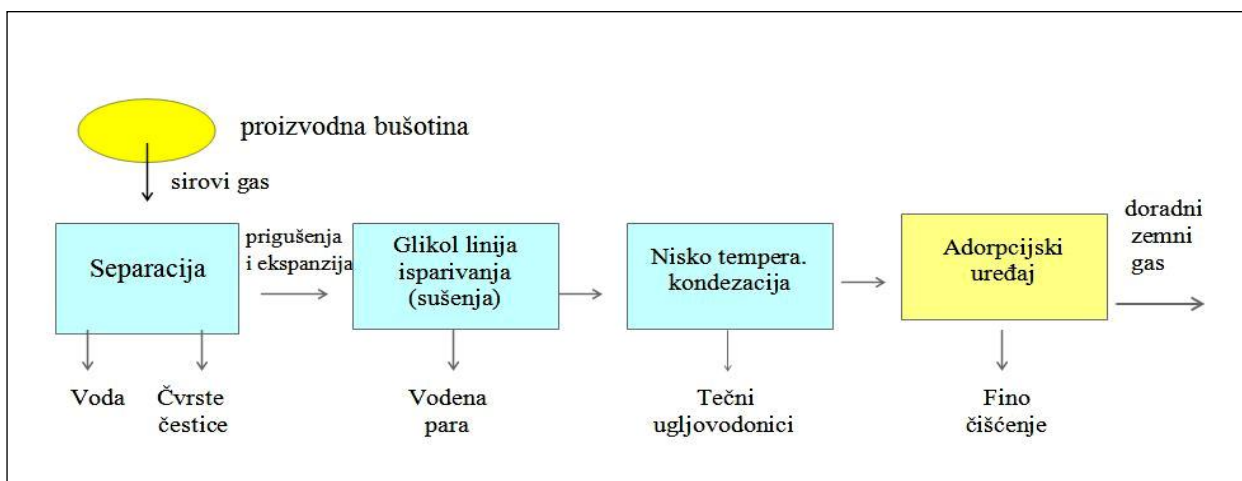
<sup>187</sup> Zelić, M., *Tehnologija sabiranja i priprema nafte i plina za transport*, INA Naftaplin, Zagreb, 1987, str. 251–267.

<sup>188</sup> U situaciji kad je na jednom eksploatacionom polju postavljeno više gasnih stanica, može se realizovati na taj način što se sve gasne stanice povezuju sa jednom gasnom stanicom koja u tom slučaju ima funkciju centralne gasne stanice u cilju efikasnijeg prikupljanja i pripreme za transport.

<sup>189</sup> Šunić, M., *Znanost mijenja svijet a plin komoditet življenja*, Bauer grupa, Samobor, 2003, str. 121.



ugljevodonika (gazolina); sušenje (dehidracija) gasa; procesi čišćenje gasa od sumpor-dioksida ( $H_2S$ ) i ugljen-dioksida ( $CO_2$ ); čišćenje od mehaničkih nečistoća sirovog zemnog gasa (Slika 1.8).<sup>190</sup> Danas se u svetu, u tehnologiji eksploatacije zemnog gasa, upotrebljavaju najčešće dva postupka u postrojenjima za preradu sirovog gasa. To su: a) postrojenja za prečišćavanja sirovog gasa koji u sebi ne sadrži  $CO_2$  i  $H_2S$  i b) postrojenja namenjena za prečišćavanje sirovog zemnog gasa koji u sebi sadrži  $CO_2$  i  $H_2S$ .<sup>191</sup> Situacija kada se u sirovom zemnom gasu iz bušotine nalaze i druga jedinjenja (živa, argon, helijum...), instaliraju se i ugrađuju dodatni uređaji i posebna postrojenja namenjeni za njihovo eliminisanje, u sklopu jednog od dva konkretna tehnološka postrojenja.



Slika 1.8. Šema čišćenja (dorade) sirovog gasa bez sadržaja  $CO_2$  i  $H_2S$ <sup>192</sup>

U procesu prerade sirovog zemnog gasa i njegove pripreme za transport, u zavisnosti od potreba i zahteva, imajući u vidu sve značajne karakteristike, koriste se različiti uređaji, segmenti, metode i postupci s ciljem: promene pritiska zemnog gasa, promene temperature gasa, smanjivanja mogućnosti za formiranje hidrata, odvajanja fizičkih i hemijskih nečistoća, smanjenja uticaja korozije... Za realizaciju ovih aktivnosti koriste se i primenjuju: separatori<sup>193</sup>, izmenjivači toplote, izdvajanje kiselih gasova<sup>194</sup>, degazolinaža<sup>195</sup>, sušenje gasa (dehidracija)... Svi tehnološki procesi za čišćenje zemnog gasa mogu se uslovno grupisati u: hemijske procese, fizikalne procese, fizikalno-hemijske, procese direktne konverzije i u suve procese.<sup>196</sup> Zemni sirovi gas, nakon eksploatacije iz proizvodne bušotine i niza sprovedenih neophodnih aktivnosti u tehničko-tehnološkom procesu prerade, mora da zadovoljava i ispunjava određene propisane i definisane karakteristike, vrednosti i osobine potrebne za njegov dalji transport, skladištenje i upotrebu kod krajnjeg potrošača.

<sup>190</sup> Zelić, M., *Tehnologija sabiranja i priprema nafte i plina za transport*, INA Naftaplin, Zagreb, 1987, str. 281–332.

<sup>191</sup> U ovoj situaciji tehnološko postrojenje ima instalirano u svome procesu u odnosu na prvo postrojenje segmente za: fizikalno-hemijsko mokro pranje (gde se odvaja  $H_2S$  i  $CO_2$ ) i pranje rošenjem (izdvaja se vodena para) sirovog gasa.

<sup>192</sup> Autor, prema: Šunić, M., *Znanost mijenja svijet a plin komoditet življenja*, Bauer grupa, Samobor, 2003, str. 133.

<sup>193</sup> Opširnije o separaciji gasa videti u radu: Vučković, J., *Priprema sirove nafte i prirodnog plina za transport*, Poslovno udruženje *Nafta*, Zagreb, 1968, str. 103–178.

<sup>194</sup> sumpor vodonika, amina, sumpora...

<sup>195</sup> Degazolinaža je izdvajanja isparljivih ugljovodonika iz sirovog gasa. Postoje četiri metode: kompresija, adsorpcija, adsorpcija i duboko hlađenje. Opširnije videti u radu: Škrbić, B., *Tehnologija proizvodnje i pripreme nafte*, Tehnološki fakultet u Novom Sadu, 2002, str. 269–292.

<sup>196</sup> Meandžija, I., *Čišćenje od primjesa i frakcioniranje prirodnog plina*, Prirodni plin, INA Naftaplin, Zagreb, 1989, str. 223; Zelić, M., *Tehnologija sabiranja i priprema nafte i plina za transport*, INA Naftaplin, Zagreb, 1987, str. 281.

## 2.4. Osnovne karakteristike i proizvodnja tehničkih gasova u tri agregatna stanja u funkciji efikasne logistike i pouzdanog snabdevanja potrošača

Grupu tehničkih (industrijskih) gasova čini niz gasova različitih po svojim osobinama, sastavu, karakteristikama i poreklu. Uslovno, svi su oni svrstani i klasifikovani u ovu skupinu na osnovu svoje primene u praksi. Oni se u najvećem obimu koriste u oblasti tehnike (industrije<sup>197</sup>) iako, realno posmatrano, gasovi koji se svrstavaju u ovu grupu imaju daleko širu primenu i upotrebu nego što sam zajednički naziv govori.<sup>198</sup> Grupu tehničkih gasova formiraju: vazduh, azot, kiseonik, argon, vodonik, ugljen-dioksid, acetilen, helijum, amonijak, neon, ksenon, azot oksidul, amonijak<sup>199</sup>...

### 2.4.1. Karakteristike i obeležja tehničkih gasova kao proizvoda

**Vazduh.** Mešavina većeg broja gasova formira vazduh koji čini atmosferski omotač planete Zemlje. Vazduh je nezapaljiva netoksična mešavina, bez boje i mirisa. Njegov realan sastav u prirodi uslovljen je nadmorskom visinom, ali i samom lokacijom.<sup>200</sup> Sastoji se iz smeše gasovitih elemenata, sa nešto vodene pare i ugljen-dioksida u tragovima, kao i u vrlo malim količinama ozona, amonijaka, prašine, mikroorganizama i drugih sastojaka (Tabela 1.6). Tehnološkim procesom komprimovanja i hlađenjem, vazduh se može prevesti u tečno stanje.

Vazduh se utečnjava pri pritisku od 1 bara na temperaturi od -191,5 do -194,5°C.<sup>201</sup> Vazduh kao proizvod za tržište<sup>202</sup> najčešće se dobija: direktnim komprimovanjem ili veštački (sintezom) iz prethodno prečišćenih komponenata. Ima značajnu ulogu i široku primenu u tehnici, medicini, astronautici... Proces utečnjavanja vazduha glavni je izvor za dobijanje značajnih tržišnih količina atmosferskih gasova koji se iz njega dobijaju procesom rektifikacije.<sup>203</sup> Sva postrojenja za razlaganje vazduha koriste atmosferski vazduh koji se u samom procesu utečnjava.<sup>204</sup>

**Kiseonik (O<sub>2</sub>).** Gas koji je veoma reaktivan. Jedini se sa svim elementima (sem sa inertnim gasovima) i pri tome gradi okside.<sup>205</sup> Bez boje, mirisa i ukusa, nezapaljiv i neophodan za respiraciju i sagorevanje, ima široku primenu u raznim oblastima tehnike, medicine i hemijske industrije.<sup>206</sup> Koristi se najviše u metalurgiji. U crnoj metalurgiji najveća potrošnja je za procese livenja gvožđa i čelika, dok se u obojenoj metalurgiji koristi prilikom topljenja ruda iz kojih se dobijaju bakar, cink i

<sup>197</sup> Naziv industrijski je široko prihvaćen u inostranoj stručnoj literaturi, dok se na području većeg broja balkanskih zemalja koristi termin tehnički gasovi zbog široke primene u samoj oblasti tehnike.

<sup>198</sup> Ne postoji jedinstven naziv koji bi sveobuhvatno zbirno obuhvatio sve karakteristike, osobine, poreklo i primene svih ovih gasova.

<sup>199</sup> Prezentovanje karakteristika gasova urađeno je na osnovu magistarskog rada: Radiš, D., *Sistem marketing logistike u proizvodnji i distribuciji tehničkih gasova*, Beograd, 1998, str. 12–20, i Kostić, V., Kostić, Lj., *Hemijsko-tehnološki leksikon*, Rad, Beograd, 1980, kao i niza drugih izdanja koja obuhvataju ovu oblast. U radu su detaljnije prezentovani prvih devet gasova i gasne mešavine zbog njihovog tržišnog značaja i obima plasmana.

<sup>200</sup> Povećanjem nadmorske visine, procentualno učešće pojedinih gasova u njegovom sastavu se menja.

<sup>201</sup> Tečni vazduh ima mlečnobelu boju ako u sebi sadrži CO<sub>2</sub>, a bez prisustva CO<sub>2</sub> je providan i ima svetloplavi preliv.

<sup>202</sup> Problem likvefakcije vazduha tehnički prvi je rešio Linde, 1895. godine.

<sup>203</sup> Ovo je sastav vazduha na nivou mora. Sastav vazduha ima odstupanja u zavisnosti od nadmorske visine, ali i od lokacija, teritorije i oblasti. Radi jednoobraznosti, uniformnosti i preciznog analitičkog izračunavanja, prihvaćeno je da sastav vazduha zapreminski procentualno iznosi: 79% azota i 21% kiseonika, maseno 76,8% N<sub>2</sub> i 23,2% O<sub>2</sub>.

<sup>204</sup> U Roterdamu (Holandija), 1997. godine, američka firma *Air Products* pustila je u pogon postrojenje za separaciju vazduha, kapaciteta 3000 tona/dan, uz velike količine azota i argona. Investicija je iznosila oko sto miliona dolara. Postrojenje je na ovoj lokaciji bilo treće, i ukupno sa prethodna dva, dnevno proizvodi 4500 tona.

<sup>205</sup> Zapaljive materije u okruženju ispunjenom kiseonikom sagorevaju znatno brže nego u vazduhu, a velikom broju se smanjuje temperatura paljenja.

<sup>206</sup> Tečan kiseonik je plavkaste boje, providan i nešto teži od vode (zapreminska masa tečnog kiseonika je 1,132 kg/l). Pri isparenju jednog kilograma tečnog kiseonika na pritisku od 1,013 bara dobija se oko 750 litara gasa.

olovo. Pored toga, koristi se u: hemijskoj industriji, raketnoj tehnici, gasnoj obradi metala, medicini, a u manjim količinama u drugim oblastima privrede.

Tabela 1.6. Elementi koji čine sastav vazduha

element	% zapreminski	% maseni
Azot	78,03	75,5
Kiseonik	20,99	23,2
Argon	0,44	1,33
Ugljen-dio.	0,03	0,045
Vodonik	0,01	-
Neon	0,00123	-
Helijum	0,0004	-
Kripton	0,00005	-
Ksenon	0,000006	-

Autor.

..., za inertizaciju zatvorenih procesa u raznim granama industrije, u kombinaciji sa drugim gasom (vodonikom, metanom ili amonijakom) za supstituciju zemnog gasa u toplotnim operacijama (termička obrada).<sup>209</sup>

**Argon (Ar).** Gas koga u atmosferi ima oko 0,93% vol. Bez boje, mirisa i ukusa, netoksičan, inertan. On ne stupa ni u kakve hemijske reakcije, ne gradi nikakva jedinjenja, ubraja se u „plemenite gasove“. Argon<sup>210</sup> se proizvodi u postrojenjima za razlaganje vazduha frakcionom destilacijom tečnog vazduha. Argon se primenjuje za: stvaranje zaštitne atmosfere pri elektrolučnom zavarivanju i sečenju, pri punjenju elektronskih cevi, za izradu svetlećih reklama, pri proizvodnji titana, cirkona i drugih aktivnih metala, pri istakanju rastopljenih metala radi eliminacije poroznosti kod livenja, itd.

**Vodonik (H<sub>2</sub>).** Najrasprostranjeniji gas u prirodi.<sup>211</sup> Bez boje, ukusa i mirisa, lako zapaljiv i providan.<sup>212</sup> Lakši je od vazduha<sup>213</sup> u kome ga ima u malim količinama. Široko je rasprostranjen na Zemlji u obliku jedinjenja.<sup>214</sup> Procesom hlađenja na atmosferskom pritisku, vodonik prelazi u tečno stanje na -252,8°C (ili 20,4K), a u čvrsto na -259,3°C (14K).<sup>215</sup> Dimenzije molekula vodonika najmanje su od svih dimenzija molekula u prirodi tako da prolazi<sup>216</sup> kroz sve porozne materijale, što otežava njegovo skladištenje. U vazduhu vodonik gori plamenom od 2045°C temperature.<sup>217</sup>

<sup>207</sup> Azot se nalazi i u sastavu nekih minerala, ali i u mnogim proizvodima biljnog i životinjskog porekla. Za komercijalnu proizvodnju koristi se samo azot iz vazduha.

<sup>208</sup> Azot je 1772. godine otkrio Rederford. Gas koji ne podržava život.

<sup>209</sup> Najčešće primenjivane tehnike korišćenja azota jesu: blanketiranje, produvanje, sušenje, mešanje, kontrola reakcije, pneumatski transport, ubrizgavanje...

<sup>210</sup> Grčki, *argos*, lenj. Otkrio ga je engleski naučnik Remzi.

<sup>211</sup> Vodonik je otkrio engleski fizičar Kevendic 1766. godine i nazvao ga „vazduh koji gori“; 1783. godine Lavoazije utvrđuje sastav vode, a 1787. godine daje novi naziv i uvršćuje ga u elemente.

<sup>212</sup> U sredini sa vazduhom sagoreva bledoplavim, slabo приметnim plamenom. Pri eksploziji izaziva jake, snažne i razorne detonacije. Mešavina vodonika sa hlorom eksplozira i pri veoma kratkom izlaganju ultravioletnim zracima.

<sup>213</sup> Lakši je oko 14 puta od vazduha.

<sup>214</sup> U sadržaju vode, 2/3 je vodonika zapreminski, voda je hemijsko jedinjenje kiseonika i vodonika. Smatra se da je u vasioni najrasprostranjeniji element.

<sup>215</sup> Na temperaturi na kojoj vodonik prelazi u tečno stanje, svi gasovi sem helijuma nalaze se u čvrstom stanju. Od jedne litre tečnog vodonika pri isparavanju dobija se oko 850 litara ovog gasa u gasovitom stanju.

<sup>216</sup> „Curi“, teško ga je zadržati. Difuzuje kroz metale, rušenjem ugljeničnog dela strukture metala, usled dekarbonizacije.

<sup>217</sup> Fiziološko dejstvo vodonika je da je neotrovan, ali udisanje vodonika bez vazduha (kiseonika) deluje zagušljivo i može da izazove smrt. On je i nekorozičan gas.

**Acetilen ( $C_2H_2$ ).** Acetilen je jedinjenje ugljenika i vodonika ( $C_2H_2$ ), bezbojan, bez mirisa i lako zapaljiv. Tehnički acetilen, koji je u širokoj upotrebi, ima veoma oštar, karakterističan miris zbog prisustva fosfora ili silicijum-vodonikovih jedinjenja. Kod povećanja pritiska, snižava se temperatura na kojoj dolazi do razlaganja acetilena.<sup>218</sup> Acetilen sa vazduhom gradi eksplozivnu smešu, sa donjom granicom zapaljivosti od 2% zapreminski i 80,5% zapreminski kao gornjom granicom zapaljivosti. Smeša kiseonika i acetilena eksplodira pri atmosferskom pritisku dostižući do 3000°C temperaturu reakcije. Radi boljeg, pouzdanijeg i lakšeg pakovanja koje je namenjeno tržištu, skladišti se u boce koje u sebi imaju poroznu masu sa acetonom ili DMF (dimetil formatid).

**Ugljen-dioksid ( $CO_2$ ).** Gas bez boje, mirisa, slabog, kiselog ukusa. Nije zapaljiv i ne potpomaže gorenju. Nije toksičan u manjim količinama. Pri udisaju većih količina, dovodi do smrtonosnih posledica. Ugljen-dioksid<sup>219</sup> je normalan produkt sagorevanja organskih materija. Sadrži ga atmosferski vazduh u koncentraciji od 0,03% zapreminske, odnosno 460 gr/t. U izvesnom procentu nalazi se i u prirodnim vodama. Teži je od vazduha. Lako se prevodi iz gasovitog u tečno stanje pri pritisku od 56,5 bara i temperaturi od 20°C. Tečni ugljen-dioksid<sup>220</sup> je bezbojna, lako pokretljiva tečnost, lakša od vode. Koristi se i primenjuje u sva tri agregatna stanja.

Tabela 1.7. Najznačajniji parametri, karakteristike i vrednosti industrijskih gasova<sup>221</sup>

Gas	1 Tk [°C]	2 Tt [°C]	3 pg [kg/m <sup>3</sup> ]	4 pt [kg/m <sup>3</sup> ]	5 pč [kg/m <sup>3</sup> ]	6 Vt/Vg [m <sup>3</sup> ]	7 Vč/Vg [m <sup>3</sup> ]	8 l.t/Vg [m <sup>3</sup> ]	9 kg.t/Vg [m <sup>3</sup> ]
Kiseonik	-182,9	-218,8	1,429	1140	1300	797,76	909,73	0,80	0,70
Azot	-195,7	-210,0	1,25	808	945	646,40	756,00	0,65	0,80
Argon	-185,8	-189,3	1,784	1374	1623	770,18	909,75	0,77	0,56
Vazduh	-192	-213	1,29	861	-	667,44	-	0,67	0,78
Uglj-dioks	-78,5	56,6	1,977	1153	1513	583,21	765,30	0,58	0,51
Helijum	-268,9	-271,4	0,1785	125	-	700,28	-	0,70	5,60
Vodonik	-252,7	-259,2	0,0899	70,9	86,7	788,65	964,40	0,79	11,12
Acetilen	-83,6	-81,8	1,1775	613	729	520,59	619,11	0,52	0,85
Amonijak	-33,4	-77,7	0,7714	683	-	885,40	-	0,89	1,30

Autor.

**Helijum (He).** Helijum je plemenit gas. Dobija se najčešće za široke komercijalne potrebe proizvodnjom iz zemnog gasa, iz onih ležišta koja su bogata ovim elementom. Mali broj ležišta zemnog gasa u svetu ima u svom sastavu veće količine helijuma. Danas se najviše proizvodi u SAD. Prelazi u tečno stanje na temperaturi od -269°C.

**Azot-oksikul ( $N_2O$ ).** Azot-oksikul je bezbojan gas prijatnog mirisa i slatunjavog ukusa. Ne gori sam, ali pospešuje sagorevanje (u situacijama bez prisustva azota i kiseonika) i može formirati eksplozivne smeše (sa gasovima: etilenom, ciklopropanom i etrom), a u prisustvu ugljenih para pri

<sup>218</sup> Pri pritiscima od 5 bara do raspadanja acetilena dolazi na temperaturama iznad 15–20°C.

<sup>219</sup> Polovinom srednjeg veka, Paracelzus je primetio da se pri nekoj fermentaciji oslobađa neki gas; kasnije su se gasom koji nastaje fermentacijom i truljenjem bavili Hoffmann, Pristley i Lavoisier; u svom radu iz 1789. godine Lavoisier je dao tačan sastav i definiciju ugljen-dioksida.

<sup>220</sup> 1823. godine su u laboratoriji prvi put iz gasovitog stanja dobili tečni ugljen-dioksid naučnici Faradej i Davy. Nakon toga, godine 1834. naučnik Thilorber je uspeo da prevede  $CO_2$  u čvrsto agregatno stanje. Rickett je počeo prvi industrijsku proizvodnju ugljen-dioksida oko 1880. godine.

<sup>221</sup> Parametri po kolonama: 1) Tk – temperatura na kojoj gas prelazi iz gasovitog u tečno agregatno stanje (tačka ključanja); 2) Tt – temperatura na kojoj gas prelazi iz tečnog u čvrsto stanje (tačka topljenja ili leđa); 3) pg – 1 m<sup>3</sup> gasa u gasovitom stanju = kg; 4) pt – 1 m<sup>3</sup> gasa u tečnom stanju = kg; 5) pč – 1 m<sup>3</sup> gasa u čvrstom stanju = kg; 6) 1 m<sup>3</sup> tečnog gasa = m<sup>3</sup> gasa; 7) 1 m<sup>3</sup> gasa u čvrstom stanju = m<sup>3</sup> gasa; 8) 1 litar tečnog gasa = m<sup>3</sup> gasa; 9) 1 kg tečnog gasa = m<sup>3</sup> gasa (isto 1 kg čvrstog gasa = m<sup>3</sup> gasa).

većim pritiscima lako eksplodira. Pri normalnim uslovima je stabilan gas, dok u situacijama povišene temperature postaje jak oksidans i pri čemu se oslobađa elementarni azot. Smeša oksidula i amonijaka, ili oksidula i vodonika, eksplodira.

**Amonijak (NH<sub>3</sub>).** Jedinjenje azota i vodonika u odnosu 1:3 zapreminski je anhidrovani amonijak. On je gas oštrog mirisa. Njegova temperatura paljenja, pri atmosferskom pritisku u smeši sa vazduhom, iznosi 85°C. Pri prisustvu gvožđa (ima katalitičko dejstvo) temperatura paljenja ove smeše iznosi 651°C. Veoma lako se rastvara u vodi. Može da prouzrokuje jaka oštećenja osetljivih tkiva organa (oči, grlo, pluća), sve do smrti, zbog povećanih koncentracija.<sup>222</sup>

**Gasne mešavine.** Na tržištu se pod gasnim mešavinama podrazumeva izrazito široka lepeza fizičkih mešavina različitih gasova u raznim odnosima. Tehnološki proces proizvodnje gasnih mešavina može se realizovati pomoću dva postupka: manometarski (merenjem i kontrolom pritiska) i gravimetrijski (merenjem i kontrolom mase).

Kada je reč o proizvodnji većih količina tehničkih gasova namenjenih tržištu, ona je veoma specifična i karakteristična. Prvo, sami izvori i poreklo za proizvodnju i dobijanje tehničkih gasova u komercijalne svrhe veoma su različiti između određenog broja gasova. Drugo, lako je uočljiva činjenica da su sami tehnički gasovi međusobno različiti, na osnovu velikog broja svojih karakteristika i parametara<sup>223</sup>, što utiče na njihovu proizvodnju. Iz svega ovog neminovno proizlazi činjenica da su sami postupci i metode njihove proizvodnje, u zavisnosti od toga o kojem je konkretno gasu reč, dosta različiti a u većini slučajeva potpuno različiti. Veliki je broj tehnika, tehnologija, načina, metoda i postupaka koji se koriste i primenjuju u proizvodnji tehničkih gasova, bilo da je reč o proizvodnji jednog konkretnog gasa ili grupe gasova. Da bi se detaljno pregledno sagledali načini i postupci proizvodnje gasova, analiza i prezentacija se može izvršiti kroz uslovno dva segmenta. Prvi segment obuhvata analizu proizvodnje tehničkih gasova koji se dobijaju iz vazduha (azot, kiseonik i argon), dok drugi segment obuhvata pristup po kome se vrši pojedinačna analiza i prezentacija proizvodnje drugih tehničkih gasova.

#### 2.4.2. Postupci i načini proizvodnje azota, kiseonika i argona

U praksi se koristi i primenjuje više tehničko-tehnoloških postupaka, načina i metoda za dobijanje azota, kiseonika i argona za tržište. Sve komercijalne potrebne količine ovih gasova za tržište proizvode se razlaganjem (separacijom) atmosferskog vazduha. Postupak proizvodnje tehničkih gasova podrazumeva razlaganje atmosferskog vazduha na primarne komponente: azot, kiseonik i argon.<sup>224</sup> U zavisnosti od postupka koji se koristi za separaciju (izdvajanje) jednog od ova tri gasa iz vazduha, razlikujemo više metoda njihovog odvajanja. Danas su najpoznatije četiri metode njihovog izolovanja: 1. kriogeno, 2. adsorpciono, 3. membransko i 4. hemijsko razlaganje (Slike 1.9 i 1.10.). Na osnovu ovih tehnoloških metoda, konstruisana su proizvodna postrojenja za separaciju gasova. Postoji veći broj različitih tipova postrojenja koja koriste istu metodu za razlaganje vazduha.

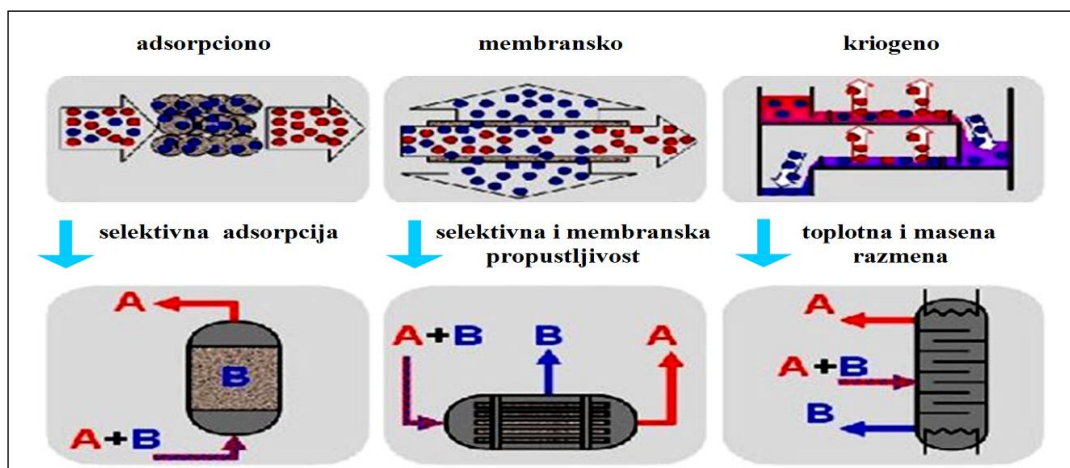
Koji je metod i postupak razlaganja najefikasniji i najisplativiji za konkretnu primenu, utvrđuje se na osnovu njihove međusobne komparativne analize. Sagledavaju se specifičnosti, prednosti i nedostaci svakog od njih u odnosu na konkretne potrebe i zahteve vezane za određeni gas i količinu. Analiza se sprovodi u zavisnosti od potreba i zahteva.<sup>225</sup> Cilj procesa razlaganja vazduha na komponente jeste da se na što ekonomičniji način izvrši odvajanje jednog ili više željenih jedinjenja iz vazduha.

<sup>222</sup> Maksima. dozvoljena koncentracija je 50 ppm do 8 časova. Koncentracija od 5 do 10 hiljada ppm prouzrokuje smrt.

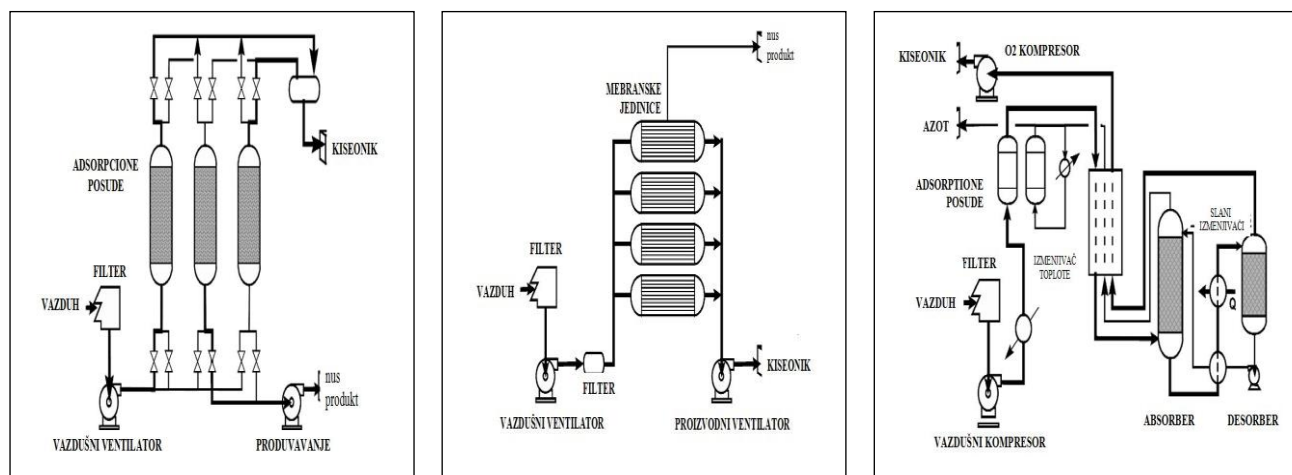
<sup>223</sup> U prvom redu, prema svojim osnovnim fizičko-hemijskim obeležjima i karakteristikama.

<sup>224</sup> Retko se kada u praksi koristi proizvodnja drugih inertnih gasova iz atmosferskog vazduha procesom razlaganja.

<sup>225</sup> Opširnije o metodama razlaganja vazduha može se videti u radu: Smith, A. R., Klosek, J., „A review of air separation technologies and their integration with energy onversion proesses“, *Fuel Proesing Tehnology* 70, 2001, str. 123.

Slika 1.9. Grafička ilustracija procesa razlaganja vazduha<sup>226</sup>

U ovom radu detaljnije će biti prezentovane metode, postupci i postrojenja kriogenog i adsorpcionog razlaganja vazduha u proizvodnji azota, kiseonika i argona. Metod kriogenog razlaganja danas se u svetu najčešće koristi u procesima separacije vazduha, kod komercijalne proizvodnje velikih količina azota, kiseonika i argona.<sup>227</sup>

Slika 1.10. Šematska ilustracija adsorpcionog, membranskog i hemijskog procesa razlaganja vazduha<sup>228</sup>

**1. Kriogeno razlaganje vazduha (Cryogenic Air Separation).** Ovo je najzastupljeniji postupak u dobijanju velikih količina azota, kiseonika i argona u komercijalne svrhe. Najveće količine tehničkih gasova (azota, kiseonika i argona) namenjene za potrebe tržišta, privrede i industrije dobijaju se separacijom vazduha.<sup>229</sup> Metod kriogenog razlaganja vazduha bazira se na separaciji vazduha procesom hlađenja. Radi detaljne sveobuhvatne analize načina i principa proizvodnje gasova ovom metodom, neophodno je bliže sagledati: a) osnovu principa na kome se on bazira; b) sam tehničko-tehnološki proces proizvodnje i c) postupak rada jednog savremenog postrojenja za razlaganje vazduha.

<sup>226</sup> Izvor: veći broj dostupnih stručnih inostranih radova. Grafička ilustracija najznačajnijih metoda proizvodnje tehničkih gasova (azota, kiseonika i argona) procesom razlaganja vazduha: adsorpcija, membranski i kriogeno.

<sup>227</sup> Metode membranskog i hemijskog razlaganja vazduha neće biti detaljnije razmatrane u ovome radu.

<sup>228</sup> Autor. Pored prezentovanih metoda kriogenog i adsorpcionih razlaganja vazduha, u proizvodnji O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> i Ar koriste se i membranska i hemijska metoda razlaganja. U ovom radu nisu prezentovana membranska postrojenja i hemijske metode razlaganje vazduha, zbog teme i fokusa s jedne strane, a obima i zastupljenosti postrojenja za proizvodnju, s druge strane, kod prerade velikih količina ovi gasova. Na osnovu: Smith, A. R., „A review of air separation technologies and their integration with energy conversion processes“, *Fuel Processing Technology* 70, Elsevier, 2001, str. 115–134.

<sup>229</sup> Kod industrijskih potrošača koji imaju potrebu za velikim količinama ovih gasova, danas se kriogena postrojenja grade u njihovoj neposrednoj blizini.

**a) Princip na kome se zasniva tehnologija razlaganja vazduha hlađenjem.** Ova tehnologija razlaganja vazduha na azot, kiseonik i argon primenom procesa hlađenja, zasniva se na fizičkoj osobini da na različitim temperaturama različiti gasovi prelaze u tečno (utečnjavanje), čvrsto ili gasovito agregatno stanje. Na određenoj temperaturi, određeni gasovi prelaze u tečno stanje. Čisti gasovi se odvajaju od vazduha na taj način što se on prvo hladi dok se ne utečni, a zatim se selektivno destiluju (odvajaju) komponente iz njega na različitim temperaturama utečnjavanja (ključanja).<sup>230</sup> Prvo se vazduh utečnjava na temperaturi od  $-192^{\circ}\text{C}$ .<sup>231</sup> Postupkom daljeg hlađenja tečnog vazduha, na različitim temperaturama se odvajaju iz njega određeni gasovi. Kiseonik, primenom procesa hlađenja, na atmosferskom pritisku, prelazi u tečno agregatno stanje na temperaturi od  $-182,9^{\circ}\text{C}$  ( $90,2\text{ K}$ ), a u čvrsto na  $-218,9^{\circ}\text{C}$  ( $54,3\text{ K}$ ). Azot na atmosferskom pritisku i temperaturi od  $-195,7^{\circ}\text{C}$  prelazi u tečno agregatno stanje, dok na temperaturi od  $-209,8^{\circ}\text{C}$  prelazi u čvrsto.<sup>232</sup> Argon na atmosferskom pritisku i temperaturi od  $-185,8^{\circ}\text{C}$  prelazi u tečno stanje, a na temperaturi od  $-189,3^{\circ}\text{C}$  u čvrsto agregatno stanje.

U situacijama kada su potrebne velike količine kiseonika koje su namenjene tržištu, one se proizvode<sup>233</sup> u postrojenjima za razlaganje vazduha, najčešće utečnjavanjem i rektifikacijom atmosferskog vazduha.<sup>234</sup> Za razdvajanje tečnog vazduha na azot i kiseonik rektifikacijom, upotrebljavaju se različiti tipovi rektifikacionih kolona.<sup>235</sup> Rektifikacija azota i kiseonika, odvajanje jednog od drugog, zasniva se na različitim tačkama njihovog utečnjavanja, azota na  $-195,7^{\circ}\text{C}$  i kiseonika na  $-182,9^{\circ}\text{C}$ . U postrojenjima za kriogeno razlaganje vazduha, u procesu odvijanja utečnjavanja atmosferskog vazduha, iz koga je prethodno uklonjen ugljen-dioksid i vlaga, on se utečni a nakon toga se vrši njegovo razdvajanje na kiseonik i azot rektifikacijom. Ostvarivanje hladnoće za utečnjavanje vazduha u ovim postrojenjima se postiže ekspanzijom komprimovanog i ohlađenog vazduha. Dovođenjem veće količine energije, izdvojeni azot se može utečniti. Industrijska postrojenja za proizvodnju kiseonika i azota razlikuju se međusobno vrlo mnogo po početnom pritisku vazduha, koji može biti visok, srednji i nizak, tako i po principu koji se primenjuje za snižavanje temperature<sup>236</sup>, izmeni toplote, postrojenjima za hlađenje vazduha...

Kad postoje potrebe i zahtev za argonom, onda se i on proizvodi u postrojenjima za razlaganje vazduha frakcionom destilacijom tečnog vazduha dela tehnološkog procesa, kao tehnički izvodljivo i ekonomski najisplativije rešenje. Iz sredine kolone za razdvajanje vazduha izuzima se struja sirovog argona koja sadrži kiseonik, azot i retke gasove. Taj sirovi gas se dalje prečišćava od kiseonika katalitičkim sagorevanjem vodonika i izdvajanjem stvorene vlage, a od azota dodatnom rektifikacijom. Postrojenja za proizvodnju azota i kiseonika razlaganjem vazduha i kiseonika hlađenjem u svojoj osnovnoj tehnologiji proizvodnje nemaju neophodno proizvodnju argona.

**b) Tehničko-tehnološki proces razlaganja vazduha hlađenjem.** Princip kriogene separacije vazduha bazira se na Lindeovom i Klodovom postupku.<sup>237</sup> Likvefakcija, odnosno prevođenje gasa u tečno stanje, jeste prvi korak u procesu dobijanja azota, kiseonika i argona iz vazduha kriogenim

<sup>230</sup> U stručnoj literaturi temperatura na kojoj gas prelazi u tečno stanje naziva se temperatura ključanja, a temperatura na kojoj prelazi iz tečnog u čvrsto naziva se temperatura smrzavanja.

<sup>231</sup> Tečni vazduh, daljim hlađenjem, može da pređe u čvrsto agregatno stanje na temperaturi od  $-213^{\circ}\text{C}$ .

<sup>232</sup> Jedan litar tečnog azota daje 696,5 litara gasa pod normalnim pritiskom na temperaturi od  $21^{\circ}\text{C}$ .

<sup>233</sup> Opširnije o dobijanju  $\text{O}_2$ : Vitorović, D., *Hemijska tehnologija*, Naučna knjiga, Beograd, 1995, str. 227–236.

<sup>234</sup> Izvesne količine se dobijaju elektrolizom vode, ali uglavnom kao sporedan proizvod pri dobijanju vodonika jer je ovaj način proizvodnje ekonomski manje isplativ.

<sup>235</sup> Danas se proces odvajanja najčešće postiže rektifikacijom u koloni od dva dela (Linde prvi primenio), sa različitim praktičnim modifikacijama.

<sup>236</sup> Najekonomičniji proces je Linde–Frenkov.

<sup>237</sup> Rektifikaciju je prvi uradio Car von Linde u maju 1895. godine u svojoj laboratoriji u Minhenu, a zatim i Klod (1902. godine). To je bio prvi stalni proces za razlaganje vazduha na osnovu Džul–Tomson efekta hlađenja i principa razmene toplote protiv strujom. To je bila osnova za kriogenu separaciju vazduha. U ovom prvom eksperimentu dobijeno je tri litre tečnog vazduha. Moguće su različite modifikacije ova dva postupka rektifikacije vazduha.

postupkom. Lindeov postupak se bazira na procesu u kome se gas prevodi u tečno stanje pod visokim pritiskom i niskom temperaturom. Hlađenje gasa se postiže na osnovu Džul–Tompsonovog efekta<sup>238</sup>, prema kome se gasovi pri naglom adijabatskom širenju hlade. Prvo se iz vazduha odstrani prašina, čađ i ugljen-dioksid, a zatim se usisava u kompresor gde se sabija na pritisak od 20 do 60 bara. Kritična tačka vazduha je  $-140,7^{\circ}\text{C}$  a kritičan pritisak 37,7 bara.<sup>239</sup> Gas može da pređe u tečno stanje u uslovima temperature i pritiska ispod svoje kritične vrednosti. Posle toga se uvodi u izmenjivač toplote, a zatim se naglo otpušta na normalan pritisak usled čega se hladi. Nakon nekoliko naizmeničnih ciklusa sabijanja i širenja gasa, jedan deo prelazi u tečno stanje, a ostatak se ponovo vraća u proces. Klodov postupak je dopuna Lindeovom postupku i podrazumeva još jedan ekspander u kome se gas otpušta na niži pritisak uz vršenje rada.<sup>240</sup> Rektifikacija je drugi deo kriogenog postupka za dobijanje azota i kiseonika. Rektifikacija predstavlja višestruko ponavljajuću frakcionu destilaciju. Tečni vazduh se uvodi u kolonu (toranj) ispunjenu poprečnim materijalom koji ima ulogu „sita“ (više podova, keramika, staklo... itd.), gde se destiluje, i na vrhu same kolone, gde je najniža temperatura, sakupljaju se najisparljiviji gasovi, u prvom redu azot ( $\text{N}_2$ ). Istovremeno, na dnu kolone se nalaze najniže isparljive tečnosti bogate kiseonikom ( $\text{O}_2$ ). Iz sredine kolone se izdvajaju frakcije koje sadrže najviše argona.<sup>241</sup>

Značajan tehničko-tehnološki napredak u razlaganju vazduha procesom hlađenja urađen je sredinom osamdesetih godina XX veka. Prvi put su korišćena strukturisana pakovanja u kriogenom isparavanju. To dovodi, zahvaljujući novoj konstrukciji kolone, do toga da tečnost koja se odvaja i sliva ka dnu kolone bude bogatija kiseonikom i azotnim parama. Glavna prednost strukturalno upakovanih kolona, u odnosu na „tace“ koje su do tada korišćene, jeste da je manji pad pritiska, a samim time i manja potrošnja energije za proces razlaganje vazduha. Argon se odvaja u srednjem delu kolone, u području niskog pritiska, gde se najviše koncentriše. Novi pristup omogućuje jednostavnije rešenje za odvajanje tečnog argona visoke čistoće u posebnoj koloni jer manji pad pritiska dozvoljava mogućnost instaliranja dovoljnog broja nosača potrebnih da se u koloni čistog argona preostali azot ukloni, a argon koji se dobija je u tečnoj fazi. Danas, jedan od najsavremenijih i najčešće primenjivanih načina koji se koristi kod izgradnje novih postrojenja za razlaganje vazduha jeste ASU<sup>242</sup> postupkom pomoću strukturisanih pakovanja.<sup>243</sup>

**c) Postupak rada savremenog ASU postrojenja za razlaganje vazduha.** Danas se u svetu može sresti veći broj ovih postrojenja. Njihov rad se bazira na strukturisanim pakovanjima, koja su u osnovi sva sličnog tehničkog rešenja. Reč je o manjim modifikacijama, u zavisnosti od proizvođača postrojenja ali i od zahteva i potreba samog naručioca opreme.<sup>244</sup> Tehnološki proces rada, trenutno jedno od najsavremenijih tehničko-tehnoloških rešenja u svetu, ilustriran je i šematski prikazan na Slici 1.11. Celokupan proces kriogenog razdvajanja (separacije) vazduha i dobijanja čistog gasovitog  $\text{O}_2$  i  $\text{N}_2$  sa unutrašnjom kompresijom, ali i proizvodnja tečnog kiseonika, tečnog azota i tečnog argona realizuje se kroz šest kontinuiranih koraka. Reč je o međusobno povezanim tehnološkim segmentima samog procesa razlaganja vazduha i proizvodnje tečnog i gasovitog  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  i Ar.<sup>245</sup>

<sup>238</sup> Džul–Tomson efekat je otkriven 1853. Otkrio je da komprimovani gas kada se proširi u ventilu ohladi za oko  $0,25^{\circ}\text{C}$  za svaki rasterećeni 1 bar pritiska (ova pojava da se realni gasovi ne ponašaju u skladu sa Bojl–Mariotovim principom). Objašnjenje je 1873. godine dao Wals: da molekuli sabijenih gasova nisu više tako slobodno pokretni i interakcija među njima dovodi do pada temperature nakon dekompresije.

<sup>239</sup> To znači da se vazduh ne može utečniti iznad ove temperature.

<sup>240</sup> Linde je na osnovu svog eksperimenta 1902. godine izgradio prvu vazдушnu separaciju za proizvodnju kiseonika sa jednom kolonom, a 1910. godine sa dve kolone, što predstavlja praktičnu osnovu za proizvodnju kiseonika i azota.

<sup>241</sup> Prema: Balajk, V., *Neorganska hemijska tehnologija*, Beograd, 2011, str. 3–5.

<sup>242</sup> ASU – Air Separation Unit.

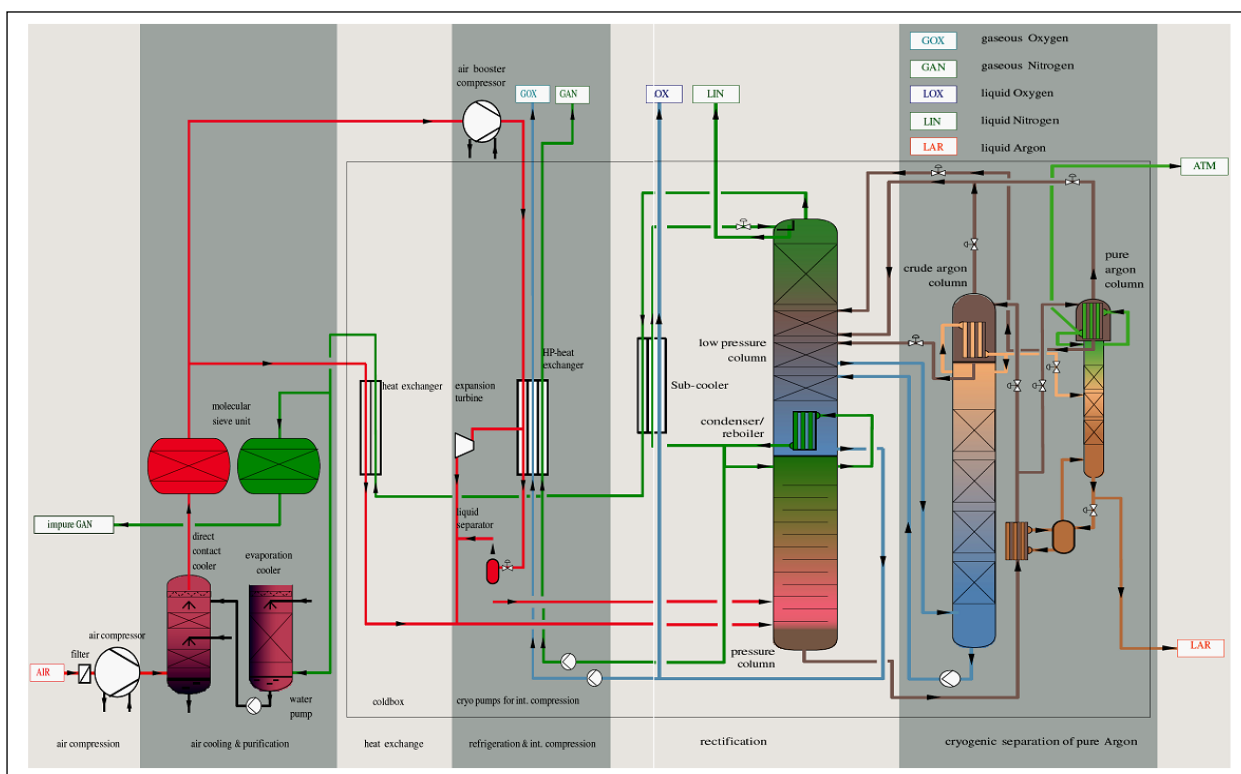
<sup>243</sup> Kompanija Linde koristi „Cryogenic AIR Separation“ postrojenja sopstvene proizvodnje. Kompanija MESSER poslednjih godina instalira postrojenja proizvođača *Hangyang Limited* iz Kine.

<sup>244</sup> Danas je najveće i najsavremenije postrojenje za razlaganje vazduha na Balkanu u vlasništvu kompanije MESSER i nalazi se u Smederevu (Srbija).

<sup>245</sup> Na osnovu dokumentacije LINDE „Cryogenic AIR Separation“ History and Tehnological Progress.



1) Vazdušni kompresor. U prvom koraku tehnološkog procesa, ambijentalni vazduh prolazi kroz mehaničke filtere (gde se odstranjuje fizička nečistoća, prašina) pre ulaza u sam kompresor. Nakon toga, vazduh se komprimuje u višestepenom turbo kompresoru sa međuhladnjacima (intercollersi) koji sabijaju vazduh do pritiska od oko 6 bara.<sup>246</sup> 2). Hlađenje i prečišćavanje vazduha. Realizacija hlađenja procesnog vazduha vodom sprovodi se u hladnjaku direktnim kontaktom. Ovde se istovremeno ostvaruju dve značajne tehnološke procesne aktivnosti: „pranje“ i hlađenje vazduha. Čišćenje se realizuje „pranjem“ i uklanjanjem nečistoća iz vazduha na taj način što dolazi do njegovog direktnog fizičkog kontakta sa vodom u kojoj se rastvaraju preostale nečistoće nakon mehaničkih filtera, a hlađenje se vrši apsorpcijom hladnoće iz vode od strane vazduha.<sup>247</sup> Hlađenje rashladne vode u evaporativnom hladnjaku vrši se protivstrujno suvim azotom iz rektifikacionog procesa. Uklanjanje CO<sub>2</sub>, vodene pare i ugljovodonika iz procesnog vazduha vrši se u adsorberima sa molekulskim sitima koja se periodično regenerišu tokom radnog ciklusa postrojenja.<sup>248</sup> 3). Niskotemperaturna razmena toplote. Hlađenje vazduha u izmenjivačima toplote, skoro do temperature utečnjavanja, sprovodi se pomoću protivstrujnog otpadnog azota iz rektifikacionog procesa. Dalje u proizvodnom procesu dolazi do snižavanja temperature principom razmene toplote.



Slika 1.11. Šema kriogene separacije (razlaganja) vazduha i proizvodnja kiseonika, azota i argona<sup>249</sup>

4). Hladna proizvodnja i unutrašnja kompresija proizvoda. Dalje se kompresija procesnog vazduha vrši pomoću vazdušnog buster kompresora. Ekspanzija i hladna proizvodnja komprimovane vazdušne struje u ekspanzionoj turbini. Ekspanzija i utečnjavanje komprimovanog vazduha u separatoru tečnosti. Isparavanje i zagrevanje do ambijentne temperature kiseonika i azota kao proizvoda procesa u izmenjivačima toplote visokog pritiska. 5). Kriogena rektifikacija vazduha.

<sup>246</sup> Struja vazduha se može podešavati na različite pritiske radi poboljšavanja efikasnosti ASU postrojenja. Standardni pritisci se kreću između 5 i 10 bara u zavisnosti od tehničkog rešenja postrojenja.

<sup>247</sup> Voda disorbuje, predaje svoju hladnoću vazduhu, i na taj način snižava njegovu temperaturu. Snižavanje temperature vazduha od strane vode značajno je za dalji deo procesa koji se bazira na sniženju temperature fluida.

<sup>248</sup> Uvek je jedno sito u radu, a drugo na regeneraciji. Oni u procesu proizvodnje rade naizmenično.

<sup>249</sup> Izvor: dokumentacija LINDE, *Cryogenic AIR Separation, History and Tehnological Progress*.

Prethodno odvajanje ohlađenog i tečnog vazduha unutar kolone visokog pritiska gde vlada pritisak, u tečnost bogatu kiseonikom u dnu rektifikacione kolone i čistog azota u gasovitom stanju na vrhu kolone. Utečnjavanje čistog azota gasa u kondenzatoru/rebojleru pomoću ključalog kiseonika sa dna kolone niskog pritiska. Tečni azot obezbeđuje refluks za kolone visokog pritiska i (posle pothlađivanja) za kolonu niskog pritiska. Dalje razdvajanje tečnosti bogate kiseonikom u koloni niskog pritiska u čist tečni kiseonik na dnu kolone i otpadni azot u gasnom stanju na vrhu. 6) Kriogena rektifikacija argona. Gas obogaćen argonom iz kolone niskog pritiska prevodi se u sirovi argon, bez kiseonika, putem razdvajanja unutar kolone sirovog argona (pumpanjem nazad tečnog kiseonika sa dna kolone sirovog argona u kolonu niskog pritiska). Dalje se u samom procesu proizvodnje uklanja preostali azot u koloni čistog argona.

**2. Adsorpciona postrojenja za razlaganje vazduha.** Ovu grupu čine i formiraju nekriogena postrojenja za razlaganje vazduha, koja imaju značajnu primenu u proizvodnji tehničkih gasova.<sup>250</sup> Sama osnova tehnološkog funkcionisanja svih ovih postrojenja bazira se na procesima, postupcima i načinama koji se zasnivaju na principu variranja (osciliranja, „ljudljanja“) određenih značajnih i bitnih parametara, koji se mogu iskoristiti u tehnološkom procesu razlaganja (separaciji) i u izolovanju određenog gasa iz gasnih smeša. Sam proces razlaganja gasnih smeša bazira se na postupku separacije gasova, koja nastaje njihovim prolaskom kroz molekurna sita i adsorpcijom<sup>251</sup> određenog gasa od strane aktivnog sita namenjenog (projektom predviđenog) za konkretni gas.<sup>252</sup>

Najčešće se kod separacije gasova koristi postupak fizičke adsorpcije<sup>253</sup>, kod koje delovanjem molekularnih, elektrostatičkih i disperzionih sila „dolazi do privlačenja između molekula čvrstoga tela – adsorbenta i molekula gasa – adsorbanta. Rezultat ovoga procesa jeste koncentracija gasa na površini čvrstoga tela (sita) koja prevazilazi koncentraciju gasa u okolnom prostoru i tada kažemo da je gas adsorbovan na površini čvrstoga tela.“<sup>254</sup> Adsorpcija može da bude jednoslojna i višeslojna.<sup>255</sup> Kao adsorbent u procesu separacije koriste se u funkciji molekularnih sila: aktivni ugljaj, silikagel, zeolit... Zeoliti se danas koriste veoma često u funkciji separacije gasova<sup>256</sup> kod procesa adsorpcije, a najzastupljenije vrste su: šabazit, zeolit A, zeolit X, morbent...

Karakteristične vrednosti koje se najčešće koriste, a predstavljaju bazu principa separacije, na kome se zasniva funkcionisanje adsorpcionih postrojenja, jesu: temperatura, pritisak i vakuum. Polazeći od toga, a u zavisnosti od toga o kome je konkretnom parametru reč, na osnovu koga funkcioniše sam rad tehnološkog procesa separacije, danas se u svetu u širokoj komercijalnoj primeni i eksploataciji susreću i koriste<sup>257</sup>: PSA (Pressure Swing Adsorption)<sup>258</sup> postrojenja, VSA

<sup>250</sup> Neki od ovih principa funkcionisanja može da se koristi i u proizvodnji drugih gasova a ne samo azota i kiseonika.

<sup>251</sup> „Kada je supstanca u jednoj fazi uzeta od supstance u drugoj fazi, taj proces se naziva sorpcija. Supstanca koja je uzeta naziva se sorbat a supstanca koja uzima drugu naziva se sorbent. Ukoliko imamo gas koji je u kontaktu sa čvrstim telom i prodire u njega, proces se naziva adsorpcija. Ako se pak molekuli gasa vezuju za površinu čvrstoga tela, proces se naziva adsorpcija. Kada je taj proces praćen hemijskom reakcijom, on se naziva hemijska adsorpcija ili hemosorpcija.“ Raškovič, Lj., *Osnove kriogene tehnike*, Akademska misao, 2005, str. 79.

<sup>252</sup> O primeni metode adsorpcije može se videti i u radu: Cavalcante, C. L., *Industrial adsorption separation processes: fundamentals, modeling and applications*, Universidade Federal do Ceara, Brasil, 2000.

<sup>253</sup> Za razliku od hemijske adsorpcije (hemosorpcija) kod koje se odvija hemijska reakcija.

<sup>254</sup> Raškovič, Lj., *Osnove kriogene tehnike*, Akademska misao, 2005, str. 79.

<sup>255</sup> Za potpuno sagledavanje funkcionisanja procesa adsorpcije potrebno je detaljnije sagledati: osnovne teorije adsorpcije, termičku jednačinu adsorpcione ravnoteže, Henrijevu (Henry) adsorpcionu izotermu, Langumirovu (Langumir) izotermu, kinematiku i dinamiku adsorpcije...

<sup>256</sup> O zeolitu u funkciji molekularnih sita: Sircar, S., Myers, A., *Gas Separation by Zeolites*, Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania, USA, 2003.

<sup>257</sup> Opširnije o separaciji ovim metodama videti u radovima iz ove oblasti.

<sup>258</sup> Najčešće primenjivani sistem separacije vazduha adsorpcijom jeste PSA postrojenje. U zavisnosti od vrste gasa i od potrebnog kapaciteta, razlikuju se PSA postrojenja. Najčešće, kapacitet postrojenja za proizvodnju azota kreće se u rasponu od 50 do 1500 Nm<sup>3</sup>/h. Opširnije videti u tehničkoj dokumentaciji proizvođača *The Linde Group, Nitrogen Generation by pressure Swing Adsorption*.

(Vacuum Swing Adsorption) postrojenja i TSA (Temperature Swing Adsorption) postrojenja.<sup>259</sup> Ova postrojenja najčešće se koriste za proizvodnju azota i kiseonika.

## 2.4.2. Načini i metode proizvodnje i primene drugih tehničkih gasova

Različiti su tehnološki postupci proizvodnje i primene vodonika, ugljen-dioksida, acetilena, amonijaka... Radi sveobuhvatne analize, potrebno izvršiti njihovu pojedinačnu prezentaciju.

**Vodonik (H<sub>2</sub>).** U praksi postoji više načina za industrijsko dobijanje vodonika za komercijalne potrebe. Jedan od najrasprostranjenijih postupaka jeste elektroliza vode i rastvora kiselina i baza, pri čemu je vodonik glavni ili sporedan proizvod pri dobijanju različitih hemijskih proizvoda. Drugi postupci i načini dobijanja jesu: prevođenjem vodene pare preko usijanog sunderastog gvožđa, reakcijom vodene pare i zemnog gasa ili lakih ugljovodonika u prisustvu katalizatora, dislociranjem amonijaka i reakcijom vodenog gasa. Ovaj poslednji metod reakcije odvija se kada se vodena para prevodi preko usijanog uglja, pri čemu se pored vodonika dobija i ugljen-monoksid. Iako se vodeni gas može koristiti i kao izvor vodonika, njegova glavna primena je kao odličnog gasovitog goriva jer oba njegova sastojka, svaki za sebe, gore na vazduhu razvijajući vrlo visoke temperature. Katalitička verzija reakcije vodenog gasa izvodi se u višku vodene pare, pri čemu je prinos vodonika veći, a ugljen-monoksid se oksidiše u ugljen-dioksidu.

Procesom hlađenja na atmosferskom pritisku, vodonik prelazi u tečno stanje na  $-252,8^{\circ}\text{C}$  (ili 20,4 K), a u čvrsto na  $-59,3^{\circ}\text{C}$  (14 K).<sup>260</sup> Sam tehničko-tehnološki proces utečnjavanja vodonika drugačiji je nego kod gasova iz vazduha. Proces dobijanja i utečnjavanja<sup>261</sup> vodonika jeste aktivnost koja je energetski veoma intenzivna. Poznato je više metoda za utečnjavanje vodonika, ali u situacijama kad je potrebno proizvesti veću količinu tečnog vodonika, najčešće se primenjuju postrojenja čiji se rad zasniva na Claudovom procesu utečnjavanja.<sup>262</sup> Primena vodonika je široka u hemijskoj industriji za dobijanje sintetičkih proizvoda, sintetičkog amonijaka i sintetičkog metanola. U tehnici se koristi za sečenje metala, za zavarivanje, za hlađenje električnih generatora u industriji mineralnih ulja, u proizvodnji specijalnih stakala, životnih namirnica, u mernoj tehnici, za tretiranje voda, kod vasijskih brodova (kao pogonsko gorivo).

**Ugljen-dioksid (CO<sub>2</sub>).** Postoji više načina i metoda za dobijanje ugljen-dioksida za tržište. On se može dobiti iz zemlje (direktno iz bušotina samog ugljen-dioksida prilikom eksploatacije nafte i gasa) ili preuzimanjem iz tehničko-tehnoloških procesa gde se javlja kao nusproizvod. Dobijanje iz tehnoloških procesa zavisi od toga o kojim je procesima reč. Ugljen-dioksid se industrijski dobija i iz produkata sagorevanja u krečnim pećima, magnezitivnim i koksanim pećima. Iz smeše sagorevanja, odnosno iz produkata sagorevanja, udeo CO<sub>2</sub> se izdvaja apsorpcijom u pogodnom rastvaraču, a zatim se desorbuje, prečišćava, utečnjava komprimovanjem i hlađenjem.<sup>263</sup> Kad je reč o izvorima koji sadrže visok procenat CO<sub>2</sub>, kao što su otpadni gasovi iz amonijačnih postrojenja, ugljen-dioksid se dobija direktnim prečišćavanjem i utečnjavanjem. U zavisnosti od polazne čistoće gasa i od željenog stepena krajnje čistoće gasa, u proizvodni proces se uključuje i rektifikaciona kolona. Najširu primenu ima u prehrambenoj industriji, pri proizvodnji bezalkoholnih gaziranih pića, u pivarskoj industriji, kao zaštitna atmosfera pri zavarivanju, za očvršćavanje kalupa i jezgara u

<sup>259</sup> PSA (Pressure Swing Adsorption) postrojenja adsorpcija sa izmenom pritiska, VSA (Vacuum Swing Adsorption) postrojenja adsorpcija sa izmenom vakuuma i TSA (Temperature Swing Adsorption) postrojenja sa izmenom temperature.

<sup>260</sup> Na temperaturi na kojoj vodonik prelazi u tečno stanje, svi gasovi sem helijuma nalaze se u čvrstom stanju. Od jedne litre tečnog vodonika pri isparavanju se dobija oko 850 litara gasa.

<sup>261</sup> Prvo komprimiranje vodonika koji je nastao posle elektrolize izveo je Ernest Weiss 1901. godine u hemijskoj fabrici *Messer Elektron* (preteča firme *Messer Griesheim*).

<sup>262</sup> Opširnije o vodoniku može se videti u studiji *Vodonik* firme *Messer Griesheim*, 1995.

<sup>263</sup> Videti: Rukavina, V., *Proizvodnja i primena ugljene kiseline i suvog leda*, Savez energetičara Srbije, Beograd, 1971.

livarstvu, u sistemima za pripremu i preradu vode (stabilizaciju, neutralizaciju), kao sredstvo za gašenje požara lako zapaljivih tečnosti, na hemijskim instalacijama i na elektroinstalacijama

Čvrst ugljen-dioksid<sup>264</sup> (sneg ugljene kiseline, ili suvi led) upotrebljava se za obezbeđenje niskih temperatura prilikom transporta različitih proizvoda, u nekim industrijskim procesima, ali ima i niz drugih primena – od mehaničkog čišćenja metodom „peskarenja“ do upotrebe za specijalne scenske efekte. Pri proizvodnji suvog leda koristi se efekat ekspanzije hladno-tečnog CO<sub>2</sub>, pri čemu se jedan deo tečnosti prevodi u čvrsto stanje u obliku pahuljica suvog snega, u specijalnim mašinama gde se formiraju krajnji oblici suvog leda, dok se gasovita faza ugljen-dioksida koja nije prevedena u čvrsto stanje „evakuise“ i vraća nazad u rezervoar. Ovaj proces dobijanja suvog leda odigrava se u komorama specijalnih presa – „peletizerima“. U njima se CO<sub>2</sub> iz tečne faze tehnološki prevodi u suvi sneg, a dejstvom pritiska<sup>265</sup> u „pelete“ i „blokove“ suvog leda različitih dimenzija.<sup>266</sup>

**Acitilen (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>).** Osnovni način industrijskog dobijanja acetilena jeste reakcija između kalcijum karbida i vode, pri čemu se od jednog kilograma karbida dobija približno oko 370 litara acetilena. Pri ovoj reakciji odvija se egzotermni proces.<sup>267</sup> Danas se za dobijanje acetilena primenjuje i pirolizni (kreking) postupak ugljovodonika i proces koji koristi delimično sagorevanje metana u kiseoniku. Samo smanjivanje eksplozivnog razlaganja acetilena<sup>268</sup> postiže se sjedinjavanjem sa inertnim gasovima ili rastvaranjem u odgovarajućim rastvaračima. Kao rastvarač u praksi se najčešće koristi aceton.<sup>269</sup> U procesu sagorevanja smeše acetilena u specijalno konstruisanim gorionicima razvijaju se visoke temperature plamena pogodne za rezanje, letovanje i zavarivanje metala.<sup>270</sup> Primena acetilena je u hemijskoj industriji kao sirovine pri proizvodnji vinilhlorida, vinilacetana i vinilacetilena, čija je dalja upotreba najčešće u proizvodnji plastičnih masa i veštačkog kaučuka.

**Azot-oksikul (N<sub>2</sub>O).** Gas azot-oksikul dobija se suvim stupnjevitim pečenjem kristala amonijum nitrata na temperaturi od 240°C do 250°C u specijalno konstruisanim postrojenjima. Dobijeni gasoviti produkt u sebi sadrži delimično i vlagu. Proizvedeni N<sub>2</sub>O, namenjen tržištu, u tečnom stanju se drži u specijalnim rezervoarima ili u bocama pod pritiskom. Karakteristika mu je da se dobro rastvara u ulju, alkoholu i etru, a slabije u vodi. Deluje na nervni sistem u zavisnosti od koncentracije i manifestuje se različito na organizam.<sup>271</sup> Tradicionalno se primenjuje u medicini, ali ima sve veću primenu i u industriji aerosola, gde se koristi kao propelant (pokretač).

**Amonijak (NH<sub>3</sub>).** Amonijak je hemijski spoj azota i vodonika. Industrijski se najčešće dobija tako što se smeša prirodnog gasa, vazduha i vodene pare prevodi preko katalizatora pri visokim temperaturama. Pri uklanjanju oksida ugljenika iz produkta reakcije, smeša se zagreva, komprimuje i prevodi preko katalizatora da bi se dobio sintetički amonijak.<sup>272</sup> Njegova praktična primena je veoma široka. Koristi se u sistemima za hlađenje (u apsorpcionom i kompresionom hlađenju), u poljoprivredi (za prehranu zemljišta u obliku: anhidrovanog amonijaka, amonijumovih soli, nitrata i ureata (karbamid)), u petrohemijskoj industriji, u hemijskoj industriji, u proizvodnji eksploziva, ...

<sup>264</sup> Reicij je 1922. godine proizveo CO<sub>2</sub> u čvrstom stanju na industrijski način, a veće količine da proizvodi i prodaje 1925. godine *Dry ice Corp. New York*. U Nemačkoj je 1927. godine proizvodnju počela firma *Trockeneisa*.

<sup>265</sup> U zavisnosti od tehničkog rešenja mašine za proizvodnju CO<sub>2</sub> u čvrstom stanju, pritisak se kreće od 100 do 200 bara.

<sup>266</sup> Može biti različitog izgleda, obima i dimenzija. Reč je o snegu, peletima ili blokovima.

<sup>267</sup> Što znači da se pri njenom odvijanju oslobađa toplota, a kao sporedan proizvod se dobija gašeni kreč.

<sup>268</sup> Acitilen je kao gas veoma eksplozivan. Dovodi do burnih reakcija u jedinjenjima sa hlorom i drugim halogenim elementima, pri samom izlaganju svetlosti.

<sup>269</sup> Pri temperaturi od 20°C, u jednom litru vode rastvara se jedan litar acetilena, dok se pri istoj temperaturi u jednom litru acetona rastvara 20 litara acetilena.

<sup>270</sup> Smeša acetilena 9% i vazduha daje temperaturu od 2325°C, dok se smešom acetilena 44% i kiseonika postiže temperatura u gorionicima od 3235°C.

<sup>271</sup> Primenjuje se najčešće u medicini kao narkotik (u mešavini sa kiseonikom), dok veće količine bez prisustva kiseonika deluju zagušljivo. Unošenje u organizam putem disajnih organa u manjim količinama sa kiseonikom prouzrokuje omamljenost i nagon na smeh.

<sup>272</sup> Opširnije o dobijanju amonijaka: Vitorović, D., *Hemijska tehnologija*, Naučna knjiga, Beograd, 1995, str. 239–245.

**Gasne mešavine.** Gasne smeše se mogu proizvesti u svim željenim kvalitativnim odnosima ukoliko mešanje nije ograničeno fizičkim i hemijskim osobinama komponenti. Boce za gasne smeše pre punjenja treba podvrgnuti specijalnom tretmanu i pripremi.<sup>273</sup> Nakon pripreme boce, u nju se pod pritiskom postupno dodaju komponente uz kontrolu pritiska. Boce sa pripremljenom smešom moraju se izvesno vreme pomerati da bi se obezbedila brza i potpuna homogenizacija. Krajnji sastav mora se proveriti analitičkim putem. Ukoliko se komponente smeše odnose kao realni gasovi, kao što je slučaj sa ugljovodonicima sa dva, tri ili četiri ugljenikova atoma, preporučljivo je pripremati ove smeše težinskim putem. Osobine, karakteristike i primena gasnih smeša zavise od prirode komponenata od kojih su sačinjene. Njihova primena je raznovrsna: metalurgija, elektronika, mašinstvo, farmacija, biologija, medicina...

## 2.5. Osnovne osobine, proizvodnja i karakteristike naftnih gasova

Stručna analiza i prezentacija naftnih gasova, radi pružanja sveobuhvatnog odgovora, neophodno obuhvata i iziskuje, u prvom redu, sagledavanje tehnologija eksploatacije i prerade nafte. Takođe, potrebno je istaći najvažnije karakteristike i osobine naftnih gasova. Posebno mesto zauzimaju postupci, načini i metode proizvodnje i dobijanja propana i butana, kao dva najčešće zastupljena naftna gasa na tržištu.

### 2.5.1. Eksploatacija i tehnologija prerade nafte

Danas veliki broj ležišta nafte, koja se eksploatišu, nema podzemnu formu jame nego se ona nalazi u mekim i poroznim stenama (krečnjak, pešćar). Sirova nafta je smeštena u različitim sedimentima najrazličitijih geoloških formacija, na dubini od nekoliko stotina metara ali i do dubine veće od 10 km, pri čemu prostorno prostiranje dostiže i dužinu do 50 km. Ona se u njima nalazi pod pritiskom, koji se kreće od nekoliko bara pa i do više od 180 bara u nekim slučajevima. Sirova nafta u ležištu je na različitim temperaturama. Povećanjem dubine ležišta najčešće se povećava i temperatura, koja može da dostigne vrednost i od preko 400 K.

Proces otkrivanja, eksploatacije i priprema nafte za dalje procese prerade u rafinerijama nafte ostvaruje se kroz nekoliko faza i segmenata.<sup>274</sup> Prvo se sprovode pripremni radovi (projekcija) koji obuhvataju: otkrivanje ležišta, geofizička merenja, geološka i fizička istraživanja. Nakon toga se pristupa istražnim bušenjima u kojima se vrši prikupljanje i sagledavanje potencijala ležišta. Sledeća faza je eksploataciono (glavno) bušenje i priprema za eksploataciju. Posle završetka radova na instalacijama na glavnoj bušotini pristupa se realizaciji dobijanja nafte iz ležišta.<sup>275</sup> Prvi period eksploatacije<sup>276</sup>, tokom koga se nafta crpi pod dejstvom sopstvenog pritiska iz bušotine, naziva se eruptivna eksploatacija.<sup>277</sup> Postepenim opadanjem pritiska u ležištu dolazi do isparavanja gasovitih

<sup>273</sup> Priprema za punjenje obuhvata vakumiranje a u nekim situacijama i samo „žarenje“ boce. „Žarenje“ je naziv za postupak čiji je cilj potpuno odstranjivanje vlage iz boce, pri čemu se ona izlaže visokim temperaturama u specijalnim uređajima a vlaga se na taj način potpuno odstranjuje.

<sup>274</sup> Na osnovu: 1. Ušćumlić, D. i dr., *Komercijalno poznavanje robe*, Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd, 2004, str. 50–59; 2. Vučković, J., *Priprema sirove nafte i prirodnog plina za transport*, Poslovno udruženje Nafta, Zagreb, 1968; 3. Škrbić, B., *Tehnologija proizvodnje i pripreme nafte*, Tehnološki fakultet u Novom Sadu, 2002; 4. Milivojević, V., *Proizvodne bušotine*, Prirodni plin, INA Naftaplin, Zagreb, 1989. itd.

<sup>275</sup> Postavljaju se gasni separatori i rezervoari za skladištenje, koji se povezuju cevovodom za sabiranje i dalje cevovodima za transport.

<sup>276</sup> Najčešće sve bušotine imaju prirodni pritisak, unutar ležišta, koji omogućuje potiskivanje (izlazak, izbijanje, podizanje) sirove nafte na površinu Zemljine kore.

<sup>277</sup> Pritisak gasa u ležištu toliko je veliki da svojim prostiranjem, širenjem (u prostor koji nastaje istiskivanjem sirove nafte), ima toliku potisnu snagu da može da istiskuje i dalje naftu iz ležišta sirove nafte. Prosečno, moguće je iz ležišta pod sopstvenim prirodnim pritiskom eksploatisati preko 20% sirove nafte. Kod nekih ležišta, kod kojih je izražen visok pritisak, moguće je primarno eksploatisati i preko 40% sirove nafte. U ležištima sirove nafte koja se nalaze u

sastojaka iz sirove nafte. U trenutku kad pritisak unutar bušotine nije dovoljno visok da može da postigne njeno potiskivanje na površinu, vrši se veštačko uvođenje (dotok, dovođenje) fluida u ležište radi povećanja pritiska da bi se nastavila eksploatacija. Tehnološko-eksploataciona faza u kojoj se vrši dovođenje fluida u ležište naziva se sekundarna eksploatacija. Sekundarna eksploatacija ležišta sirove nafte može da se realizuje kompresionim postupkom i termičkim tretiranjem.<sup>278</sup> Celokupna količina nafte iz bušotine dovodi se u prihvatne rezervoare gde se vrši njeno grubo čišćenje. Čišćenje i obrada nafte za dalji transport obuhvata izdvajanje vode, mehaničkih nečistoća i viška gasova.

U zavisnosti od ležišta iz kojeg potiče, sirova nafta ima različit fizičko-hemijski sastav. Ona je složena mešavina različitih ugljovodonika koji se nalaze u njenom sastavu u gasovitom, tečnom i čvrstom stanju.<sup>279</sup> U zavisnosti od toga kojih tipova ugljovodonika ima više u njenom sastavu, koji je procentualno dominantno grade, razlikujemo: parafinsku, cikloparafinsku i aromatičnu sirovu naftu. Sirova nafta se prerađuje u rafinerijama različitih tipova tehničko-tehnoloških postrojenja, koja mogu biti energetska-hemijska i petrohemijska. U rafinerijama energetska-hemijskog tipa, preradom nafte dobijaju se različiti proizvodi. To su razne vrste goriva, rafinerijski gasovi, benzini, kerozin, dizel-goriva, ulja za loženje i bitumen. Ovom preradom je obuhvaćena značajna količina sirove nafte, dok se drugi deo prerađuje u maziva ili u petrohemijskim kompleksima u druge proizvode (etilen, PNG, PVG, VSM, sintetički kaučuk...). Postizanje strogog razgraničenja između proizvoda, na osnovu samog postrojenja gde se proizvode, nije moguće sprovesti zato što je veliki broj procesa u preradi zajednički za sve grupe proizvoda.

Svi tehnološki procesi koji se koriste u preradi nafte mogu se grupisati u dve grupe: primarnu i sekundarnu preradu nafte. Primarna prerada nafte bazira se na frakcionoj destilaciji. Frakciona destilacija se sastoji od zagrevanja sirove nafte, prevođenja sastojaka u gasovito stanje i razdvajanja para u frakcionoj koloni<sup>280</sup> u zavisnosti od tačke ključanja. Kolone za primarnu preradu nafte mogu biti, u zavisnosti od temperature, kolone sa atmosferskom ili vakuumskom destilacijom. U atmosferskoj destilaciji se, u zavisnosti od temperature, dobijaju: gasoviti proizvodi, sirov benzin, petroleum, gasno ulje i ostatak (mazut).<sup>281</sup> Vakuumska destilacija je proces koji se tehnološki najčešće naslanja na atmosfersku destilaciju čija je sirovina i polazna pozicija kraj atmosferske destilacije i ostatak nakon njenog odvijanja. Iz mazuta se u njenom procesu, vakuumskom destilacijom, dobijaju kao proizvod: vretensko ulje, mazivna ulja, cilindarsko ulje i bitumen. Sekundarna prerada sirove nafte jeste hemijska transformacija ugljovodonika iz nafte u druge ugljovodonike kojih nema u nafti ili se nalaze u malim količinama. Proces same sekundarne prerade može se ostvariti i realizovati tehnološkim postupcima: krekovanja, reforminga, izomerizacije, alkilovanja, rafinacijom...<sup>282</sup>

---

vodonosnim zonama, crpljenjem nafte dolazi do dotoka vode i podizanja njenog nivoa što omogućuje eksploataciju i preko 80% ukupne količine sirove nafte kojom raspolaže ležište.

<sup>278</sup> Kod kompresionog sekundarnog postupka eksploatacije ležišta, unutar samog ležišta dovodi se gas (ovaj metod se zove „gas lift“) ili voda koji povećavaju pritisak u ležištu i na taj način se potiskuje sirova nafta na površinu. Termičko tretiranje se najčešće primenjuje u situacijama kad je sirova nafta u ležištu bogata višim ugljovodonicima pa je potrebno prevesti ih u tečno agregatno stanje. Kod ovog metoda ubrizgava se vrela voda ili vodena para. Moguće je kod termičkog tretiranja koristiti i metod kod koga se crpljenje ostvaruje vatrom. Kod ove metode sagoreva deo ugljovodonika koji zagrevaju ostatak nafte u ležištu i podiže pritisak unutar ležišta.

<sup>279</sup> Čvrsti i gasoviti ugljovodonici rastvoreni su u tečnoj fazi sirove nafte.

<sup>280</sup> Frakciona (ili reifikaciona) kolona. Destilacija, razlaganje u kolonama pomoću toplote na atmosferskom pritisku nazivaju se lake frakcije. U vakuumskim postrojenjima u kojima se vrši destilacija, vrši se razdvajanje teških frakcija gde je tačka ključanja iznad 350°C.

<sup>281</sup> Kod atmosferske destilacije dobijaju se: gasoviti proizvodi (do 50°C); sirov benzin (40–200°C); petroleum (150–300°C); gasno ulje (250–350°C) i ostatak mazut (preko 350°C), u zavisnosti od temperature.

<sup>282</sup> Opširnije o svakom od postupaka može se videti u mnogobrojnim radovima koji detaljno analiziraju ove segmente u preradi sirove nafte. Takođe, detaljnije sagledavanje procesa dobijanja tečnih goriva na bazi nafte i proizvodnje maziva, može se videti u drugim uskostručnim radovima vezanim za ovu problematiku.

## 2.5.2. Najvažnije karakteristike i osobine naftnih gasova

Pod naftnim gasovima, u najširem uslovnom shvatanju, podrazumeva se veliki broj različitih ugljovodonika. U prvom redu, reč je o sledećim gasovima: etan ( $C_2H_6$ ), propan ( $C_3H_8$ ), butan ( $C_4H_{10}$ ), pentan ( $C_5H_{12}$ ), heksan ( $C_6H_{14}$ ), etilen ( $C_2H_4$ ), propilen ( $C_3H_6$ ), butilen ( $C_4H_8$ )... Najveću tržišnu zastupljenost i primenu od svih naftni gasova imaju propan ( $C_3H_8$ ) i butan ( $C_4H_{10}$ ). Oni su gasovi koji se na tržištu nalaze pojedinačno i kao takvi imaju svoju primenu i plasman, ali najčešće i u najvećoj meri se plasiraju zajedno, kao jedinstvena kompaktna mešavina ta dva gasa. Ova dva gasa, u čijem sastavu mogu da se nalaze i drugi ugljovodonici, nazivaju se jedinstvenim imenom propan-butan (Tabela 1.8). Često se koriste sledeći nazivi za njihovu mešavinu: tečni naftni gas (TNG), Liquefied Petroleum Gas (LPG) i Gas petrolier liquefiable (GPL).<sup>283</sup>

Decidno posmatrano, sa aspekta sastava, tečni naftni gas TNG jeste mešavina zasićenih ugljovodonika, propana i butana (n-butan, i-butan) i drugih gasova, najviše propena, butilena, etana i etena u različitim veličinama. Pod pojmom TNG podrazumeva se propan i butan ali i njihove mešavine u različitim procentualnim odnosima. Propan i butan, kao njihovi tržišno najznačajniji predstavnici, na atmosferskom pritisku i na ambijentalnoj temperaturi u gasovitom su stanju<sup>284</sup>, a prelaze u tečno agregatno stanje na relativno niskim pritiscima od 1,7 do 7,5 bara. Ime TNG su dobili zato što se na relativno niskim pritiscima prevode u tečnost, a naftni označava njihovu uslovnu relativnu vezu sa poreklom.<sup>285</sup>

Propan ( $C_3H_8$ ) je gas bez boje, ukusa i mirisa, nije otrovan. U normalnim atmosferskim uslovima nalazi se u gasovitom stanju, a pri nižim pritiscima ili višim temperaturama prelazi u tečno agregatno stanje. On je gasoviti ugljovodonik parafinskog reda koji se nalazi u sastavu plinskog kondenzata i sirove nafte. Upotrebljava se kao gorivo, u organskoj sintezi, kao rastvarač... Njegovim krekovanjem dobija se etilen. Najveća upotreba propana jeste u mešavini sa butanom za dobijanje tečnog naftnog gasa. Butan ( $C_4H_{10}$ ) je zasićeni gasoviti ugljovodonik parafinskog reda koji se javlja u dva oblika: kao normalni „n-butan“ i kao izomerni „i-butan“. Upotrebljava se kao gorivo u smeši sa propanom, u organskoj sintezi, u nekim slučajevima kao rastvarač, u proizvodnji sintetičke gume.

Trgovački propan prelazi iz gasovitog u tečno agregatno stanje na atmosferskom pritisku (1,013 bara) i temperaturi od  $-45^{\circ}C$ . Iz tečnog u čvrsto agregatno stanje prelazi na temperaturi od  $-186^{\circ}C$ . Kod butana, tačka ključanja, temperatura na kojoj prelazi iz gasovitog u tečno stanje, je  $-0,5^{\circ}C$ , a na temperaturi od  $-150^{\circ}C$  prelazi iz tečnog u čvrsto agregatno stanje. Neznatnim povećanjem pritiska (na 1,7 bara) ovi gasovi prelaze u tečno agregatno stanje<sup>286</sup>, a posledica toga jeste da im se zapremina smanjuje za oko 260 puta u odnosu na njihovo gasovito stanje. Do promena agregatnog stanja gasa dolazi promenom pritiska ili temperature. U upotrebi je mnogo češće mešavina ugljovodonika nego primena čistih ugljovodonika. Najčešće je u upotrebi mešavina propana i butana. Ta mešavina je sastavljena od propana, i-butana, n-butana, ali u njima ima i manjih

<sup>283</sup> LPG je skraćenica od engleskih reči Liquefied Petroleum Gas (tečni naftni gas); GPL – Gas petrolier liquefiable, (franc.); GPL – Gas di petrolio liquefatti (ital.); Сжиженный углеводородный газ (rus.); Flussigaas (nem.)... UNP – ukapljeni naftni plin u Hrvatskoj, UNP – utokočinjen naftni plin u Sloveniji.

<sup>284</sup> Na temperaturi od  $0^{\circ}C$  i višoj nalaze se u gasovitom stanju. Na atmosferskom pritisku propan se prevodi u tečno stanje na  $-42^{\circ}C$  a butan na  $-0,5^{\circ}C$ . Povećanjem pritiska, povećava se i temperatura na kojoj se gas prevodi u tečno agregatno stanje. Tako da na pritisku od 7,41 bar čist propan prelazi u tečno stanje na temperaturi od  $15^{\circ}C$ , a butan na istoj temperature na pritisku od 2,006 bara.

<sup>285</sup> Ovo se može posmatrati uslovno jer se trenutno najveća njihova količina namenjena tržištu dobija u preradi prirodnog gasa, a manja količina preradom sirove nafte. Prve količine propana i butana dobijene su preradom nafte i od tada datira ovo poimanje. Naziv naftni je opšteprihvaćen od tada i vezan je za njihovu proizvodnju iz tog perioda.

<sup>286</sup> Za prelazak propan-butana iz jednog u drugo agregatno stanje (fazu) potrebno je dovesti ili odvesti toplotu ili pritisak povećati ili smanjiti.

primesa etana, pentana i drugih ugljovodonika. Za utvrđivanje tačnih karakteristika konkretne mešavine propan-butana koriste se računске ili eksperimentalne metode.<sup>287</sup>

Tabela 1.8. Fizičke osobine propana i butana

	Propan (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	Butan (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )
Molekulska masa	44,10	58,12
Gasna konstanta	188,5 J/kgK	143 J/kgK
Gustina gasne faze	2,93 kgm <sup>3</sup>	2,63 kgm <sup>3</sup>
Gustina tečne faze	0,52 kg/l	0,58 kg/l
Temperatura ključanja	-42°C	-0,5°C
Granica eksplozivnosti	2,0–10 vol %	1,8–8,5 vol %
Ogrevna moć gorenja	93,94 MJ/m <sup>3</sup>	121,80 MJ/m <sup>3</sup>
Specifična zapremina	0,495 m <sup>3</sup> /kg	0,370 m <sup>3</sup> /kg

U zatvorenom rezervoaru pod pritiskom uvek se nalaze dve faze TNG (tečna i parna) u međusobnoj ravnoteži<sup>290</sup>, pri čemu je parna faza (zasićena para) nastala kao rezultat uzimanja toplote iz okoline.<sup>291</sup>

### 2.5.3. Postupci, načini i metode proizvodnje i dobijanja propana i butana

Najveće koncentracije propana i butana, kao osnovnih komponenti tečnog naftnog gasa, nalaze se u sirovom zemnom gasu i nafti. Njihova koncentracija u sirovom zemnom gasu je različita i zavisi u prvom redu od toga sa kojeg se gasnog polja eksploatiše prirodni gas. Propan i butan se dobijaju u tehnološkom procesu prerade sirovog prirodnog gasa i nafte. Procenjuje se da se oko 60% ukupne proizvodnje TNG dobija preradom sirovog zemnog gasa<sup>292</sup> a ostatak u procesu prerade nafte. Prilikom prerade sirovog gasa dobija se u postrojenju za ekstrakciju, a u rafinerijama nafte prilikom proizvodnje osnovnih rafinerijskih produkata<sup>293</sup>.

U procesu prerade sirovog gasa izdvajaju se viši ugljovodonici, koji se tokom procesa razdvajaju na etan, propan, n-butan i izo-butan. Prilikom tehničko-tehnološkog procesa prerade gasa koristi se više metoda i postupaka koji se mogu svrstati u dve grupe.<sup>294</sup> Prvu grupu sačinjavaju postupci bez hlađenja ili uz umereno hlađenje: apsorpcija (sa hlađenjem i bez hlađenja), adsorpcija, kompresija i jednostepeno spoljno hlađenje. Drugu grupu obuhvataju kriogeni postupci (uz potpuno hlađenje): višestepeno spoljno hlađenje, ekspanzija sa spoljnim hlađenjem i sa hladnim komorama.

<sup>287</sup> Za eksperimentalno utvrđivanje karakteristika propan-butana, pošto je reč o mešavini dve ili tri komponente, koriste se nomogrami. Nomogrami praktično pružaju dovoljno tačne rezultate.

<sup>288</sup> Sa proizvodnjom veće količine propan-butana LPG namenjenog za rezanje, domaćinstva i industriju počelo se oko 1910. godine u SAD, a od 1920. godine koristi se i kao pogonsko gorivo za motorna vozila umesto benzina.

<sup>289</sup> Prema: Muštović, F., *Propan-butana*, IBC, Sarajevo, 2006, str. 3–86.

<sup>290</sup> U ravnotežnom stanju ne dolazi ni do isparavanja tečne faze niti do utečnjavanja parne (gasne) faze.

<sup>291</sup> Muštović, F., *Propan-butana*, IBC, Sarajevo, 2006, str. 15.

<sup>292</sup> Reč je o sirovom zemnom gasu koji je bogat ugljovodicima.

<sup>293</sup> U tehnološkom procesu prerade nafte i proizvodnje: kerozina, benzina, dizela....

<sup>294</sup> Iz tih sastojaka pomoću postrojenja za degazolizaciju izdvaja se tečni naftni gas. Šunić, M., *Znanost mijenja svijet a plin komoditet življenja*, Bauer grupa, Samobor, 2003, str. 534.



Apsorpciona postrojenja<sup>295</sup> su najčešće zastupljena u proizvodnji tečnog naftnog gasa iz sirovog zemnog gasa.<sup>296</sup> To se pokazalo kao najekonomičnije rešenje u procesu proizvodnje većih količina butana, ali i prihvatljiv metod za dobijanje propana iz sirovog zemnog gasa. Postrojenje je tehnički formirano i sadrži u svom tehnološkom procesu segmente za dehidraciju, apsorpciju, deetanizaciju, depropanizaciju, debutanizaciju, instalaciju za apsorpciono ulje i prateće jedinice. Tehnološki proces se odvija na taj način što se sirovi prirodni gas pod određenim pritiskom i temperaturom (ako je zasićen vodenom parom) uvodi u dehidracionu jedinicu. Tu se pomoću glikola odstranjuje vodena para. Suvi zemni gas dalje prolazi kroz apsorpcionu jedinicu u kojoj se odstranjuju ugljovodonici korišćenjem apsorpcionog ulja. Apsorpciono ulje se u koloni kreće suprotno od sirovog gasa iz koga „preuzima“ jedinjenja i kao takvo odlazi u segment za deetanizaciju. U jedinici za deetanizaciju izdvajaju se metan, etan i druga jedinjenja koja čine zemni gas koji se „izvodi“ iz tehnološkog procesa kao finalni proizvod za tržište. Ostatak apsorpcionog ulja (bez zemnog gasa) deetaniziran ulazi u jedinicu za fraksinaciju gde se separatišu (odvajaju) pojedinačno: propan, gasolin, n-butan i i-butan i skladište se posebno u odvojenim rezervoarima. Njihovo namešavanje, s ciljem da se napravi TNG, sprovodi se u posebnim rezervoarima iz kojih se otprema za tržište.<sup>297</sup>

Sa ekonomskog aspekta posmatrano, procenjuje se da se približno 30% TNG iz sirovog zemnog gasa može dobiti kao sporedni produkt tehnološkog procesa dobijanja gasolina<sup>298</sup>, i to uz relativno niske troškove proizvodnje. U situaciji kad se želi da se ostvari i postigne, procentualno posmatrano, ekstrakcija većih količina TNG iz sirovog zemnog gasa, uticaj ima veći broj realnih ekonomskih faktora koji moraju da se uzmu u obzir. U prvom redu: sama situacija na tržištu (cena i kvalitet) TNG, investiciona vrednost i kapacitet postrojenja, troškovi proizvodnje i uslovi koji vladaju na tržištu. Izdvajanje TNG u rasponu 60–80% od ukupne njegove raspoložive količine koja se nalazi u sirovom zemnom gasu, sprovodi se uz relativno ravnomernu stopu koštanja u odnosu na potrošnju i na njegovu povoljnu prodajnu tržišnu cenu. Situacija kad se nastoji da se ostvari i postigne proizvodnja i dobijanje TNG u stepenu ekstrakcije većem od 80% u odnosu na njegovu ukupnu raspoloživost u sirovom zemnom gasu, postaje izrazito skuplja, i obično je opravdana samo u onim slučajevima kada je posebno velika potražnja za njim na tržištu. Kod donošenja odluke o opravdanosti izgradnje, instaliranja i postavljanja postrojenja za proizvodnju TNG na određenoj lokaciji, pored cene i potrošnje TNG, važnu ulogu igraju i količina, kvalitet i rezerve zemnog gasa, kao i stepen investicionih ulaganja u postrojenja.<sup>299</sup>

Dobijanje propana i butana iz nafte realizuje se u rafinerijama prilikom primarne prerade nafte u frakcionoj destilaciji u kolonama za atmosfersku destilaciju.<sup>300</sup> Da bi TNG dobijen destilacijom bio adekvatan za dalju upotrebu, neophodno je iz njega odstraniti različite primese (sumpor, smole...). Ovi postupci nisu jednostavni ni ekonomski jeftini, tako da se često u praksi iz

<sup>295</sup> Detaljnije je prezentovan tehnološki proces apsorpcionog postrojenja zato što se relativno često primenjuje za proizvodnju TNG preradom sirovog prirodnog gasa. Apsorpciona postrojenja se veoma često nazivaju degazolinaže. Pored ovog metoda, sve veću primenu ima i metod niskotemperaturne separacije.

<sup>296</sup> Muštović, F., *Propan-butan*, IBC, Sarajevo, 2006, str. 83.

<sup>297</sup> Opširnije o proizvodni TNG iz sirovog prirodnog plina može se videti u radu: Uščumlić, M., Sekulić, V., „Proizvodnja i razvoj primene tečnog gasa u Rafineriji gasa *Elemir*“, Zbornik radova *GAS 96*, koji prezentuje rad apsorpcionog postrojenja. Postrojenje u Elemiru kod Zrenjanina izgrađeno je 1963. godine. Projektovala ga je američka firma *Edvin Danks* sa kapacitetom 536.000m<sup>3</sup> na dan pri pritisku od 1 bara na 0°C. Prvi put ga je 1969. godine rekonstruisala američka firma *Petrolinvest* i proširila kapacitet na 1.136.000 m<sup>3</sup>. Postrojenje je drugi put rekonstruisao (revitalizovao) 1988. g. *Petrolinvest* iz Sarajeva da bi se otklonila „uska grla“ u procesu proizvodnje.

<sup>298</sup> Degazonilaža je postupak kojim se iz vlažnog prirodnog gasa izdvajaju tečni naftni gas (propan i butan) i ugljovodonici višeg reda (sa pet i više ugljovodonik atoma) iz kojih se kasnije dobija laki benzin (gazolin), a pri čemu ostaje suvi prirodni gas. Gasolin je prva frakcija destilacije sirovog benzina, bezbojna lako isparljiva tečnost, male specifične težine (oko 0,65); tačka ključanja 50°C do 60°C. Vrlo je zapaljiv, upotrebljava se kao rastvarač.

<sup>299</sup> Muštović, F., *Propan-butan*, IBC, Sarajevo, 2006, str. 84.

<sup>300</sup> Isto, Muštović, F., *Propan-butan*, IBC, Sarajevo, 2006, str. 86.

ekonomskih razloga u rafinerijama za preradu nafte ne odlučuju za proizvodnju TNG, nego ga koriste za: proizvodnju gasolina, za dalju preradu<sup>301</sup> ili kao energetska sredstvo u svojim tehnološkim proizvodnim procesima.

Kad je ekonomski isplativo (velika tražnja, povoljna cena), u rafinerijama se odlučuju za veću proizvodnju propana i butana pri procesu prerade sirove nafte. Tehnološki procesi se odvijaju destilacijom koja se vrši različitim termohemijskim metodama: krekovanja, reforminga, hidriranja, polimerizacije... Krekovanje je proces kod koga se na visokim tačkama ključanja ostvaruje razgrađivanje velikih molekula ugljovodonika na manje molekule. Na taj način se dobijaju nezasićeni ugljovodonici koji sadrže velike količine gasova pogodnih za proizvodnju TNG. Proces se odvija pri temperaturama 400–500°C, za samo ubrzavanje reakcije a radi većeg iskorišćenja i znatno veće proizvodnje, dodaju se katalizatori. Uključivanjem katalizatora u sam proces krekovanja nastaje katalitičko krekovanje. Proces reforminga je sličan postuku krekovanja, ali se realizuje na višim temperaturama i pritiscima. Tom prilikom dobija se mešavina ugljovodonika bogatog aromatima i olefinima, u kojima se nalazi TNG. Postupak hidriranja je pogodan kod sirove nafte koja ima u svom sastavu velike količine sumpora. TNG proizveden ovim postupkom je kvalitetan. On se realizuje na taj način što se u ugljovodonike sa visokom tačkom ključanja koji u sebi sadrže manje količine vodonika, da bi se sprečila pojava većih količina olefina, katrana i koksa, dodaje vodonik pod određenim pritiskom. Na ovaj način se formira sumporov ugljovodonik koji se lako odstranjuje, i tako se dobiju gasovi koji su potrebna jedinjenja za TNG.

### **3. Dugoročni razvoj energetike s ciljem da se zadovolje zahtevi i potreba svetskog, balkanskog i domaćeg tržišta za energijom**

#### **3.1. Razvoj energetike i kretanje na svetskom tržištu energenata**

Ukupna potrošnja energije u svetu ima konstantan rast. Ona je: 1960. godine iznosila 3345 Mten, 1973. godine bila je 6036 Mten, a 2013. godine 13.541 Mten. Posmatrano po vrsti goriva, procentualno učešće u ukupnoj potrošnji 2013. godine u svetu je bilo: nafte 31,1%, uglja 28,9%, gasa 21,4%, hidro 2,4%, nuklearna 4,8% i obnovljivih izvora sa 10,2% (Slika 1.12). U odnosu na 1960. godinu, povećanje procentualnog učešća u ukupnoj potrošnji ima gas i nuklearna energija, dok ostali izvori energije beleže pad svog procentualnog učešća.

Da bi se sveobuhvatnije sagledao dugoročni razvoj energetike u svetu i njen značaj, potrebno je i sveobuhvatno sagledati koje su zemlje najveći proizvođači, izvoznici i uvoznici: uglja, nafte, nuklearnog goriva, hidroenergije i prirodnog gasa.<sup>302</sup>

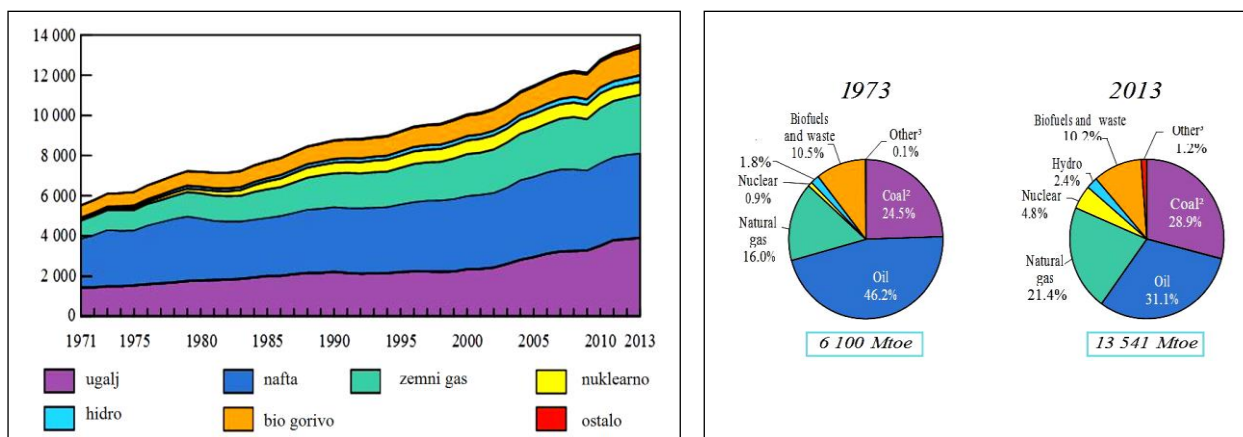
**Ugalj.** Ukupna proizvodnja uglja u svetu 2014. godine iznosila je 7925 Mt. Najveći proizvođači uglja u svetu ove godini bili su: 1. Kina 3650 Mt (46,1% od ukupne svetske proizvodnje); 2. SAD 916 Mt (11,6%); 3. Indija 668 Mt (8,4%); 4. Australija 491 Mt (6,2%); 5. Indonezija 471 Mt (5,9%); 6. Rusija 334 Mt (4,2%); 7. Južna Afrika 253 Mt (3,2%); 8. Nemačka 187 Mt (2,4%), 9. Poljska 137 Mt (1,7%)... U istoj posmatranoj godini, ostvaren je izvoz uglja u iznosu od 1255 Mt. Najveći izvoznici uglja bili su: 1. Indonezija (409 Mt), 2. Australija (375 Mt), 3. Rusija (130 Mt), 4. Kolumbija (80 Mt), 5. SAD (78 Mt), 6. Južna Afika (75 Mt)... Istovremeno, najveći uvoznici su bili: 1. Kina (286 Mt), 2. Indija (238 Mt), 3. Japan (188 Mt), 4. Koreja (131 Mt), 5. Kineski T. (67 Mt), 6. Nemačka (56 Mt), 7. Velika Britanija (40 Mt)...

**Nafta.** U 2014. godini ukupna proizvodnja sirove nafte u svetu iznosila je 40.200 Mt u odnosu na 1973. godinu kad je proizvodnja iznosila 2869 Mt. Najveći proizvođači nafte u svetu 2013. godine bili su: 1. Saudijska Arabija 542 Mt (12,9%), 2. Rusija 529 Mt (12,6%), 3. SAD 509

<sup>301</sup> Velike količine TNG koriste se u procesima polimerizacije i alkilacije (proces dobijanje visokooktanskog benzina).

<sup>302</sup> Podaci prezentovani na osnovu godišnjeg izveštaja IEA (Internacional Energy Agency) publikovanim u njenom zvaničnom izdanju, *Key World Energy Statistics 2015*.

Mt (12,1%), 4. Kina 212 Mt (5%), 5. Kanada 208 Mt (5%), 6. Iran 166 Mt (4%)... Istovremeno, u posmatranoj godini, u celom svetu ukupan izvoz sirove nafte iznosio je 1929 Mt. Deset najvećih izvoznika bili su: 1. Saudijska Arabija (377 Mt), 2. Rusija (236 Mt), 3. Arapski Emirati (125 Mt), 4. Irak (117 Mt), 5. Nigerija (108 Mt), 6. Kuvajt (103 Mt), 7. Kanada (100 Mt), 8. Venecuela (98 Mt), 9. Angola (84 Mt), 10. Meksiko (62 Mt). Najveći uvoznici bili su: 1. SAD (391 Mt), 2. Kina (280 Mt), 3. Indija (189 Mt), 4. Japan (178 Mt), 5. Koreja (123 Mt), 6. Nemačka (91 Mt), 7. Italija (65 Mt), 8. Španija (60 Mt), 9. Francuska (56 Mt) i 10. Holandija (60 Mt).<sup>303</sup>



Slika 1.12. Ukupna potrošnja primarnih energenata u svetu i njihovo % učešće (Mten)<sup>304</sup>

**Nuklearno gorivo.** Proizvodnja električne energije iz nuklearnih postrojenja 2013. godine u svetu iznosila je 2478 TWh. Zemlje u kojima je najveća proizvodnja nuklearne energije jesu: 1. SAD 822 TWh (33,2%)<sup>305</sup>; 2. Francuska 424 TWh (17,1%); 3. Rusija 173 TWh (7,0%); 4. Koreja 139 TWh (5,6%); 5. Kanada 103 TWh (4,2%)... Najveće instalirane kapacitete za proizvodnju nuklearne energije imaju: 1. SAD 99 GW, 2. Francuska 63 GW, 3. Japan 42 GW, 4. Rusija 24 GW, 5. Koreja 21 GW.... Procenat učešća nuklearne energije u ukupnoj proizvodnji električne energije jeste: 1. Francuska 74,7%, 2. Švedska 43,4%, 3. Ukrajina 43,0%, 4. Koreja 25,8%, 5. V. Britanija 19,8%...

Tabela 1.9. Bilans godišnje potrošnje primarne energije u svetu (izraženo u milionima ton)<sup>306</sup>

potrošnja	nafta	prirodni gas	ugalj	nuklear. energija	Hidroenergija	ostali obnovljiv.	ukupno
Amerike	1322	900	580	219	307	53	3381
Evropa	923	1024	487	273	196	70	2972
Azija i Pacifik	1268	511	2385	132	246	33	4574
Afrika	156	95	95	3	23	1	373
Bliski istok	360	329	9	-	3	-	701
Svet ukupno	4028	2858	3556	626	776	159	12.002

Izvor: BP Statical Review World Energy, 2012.

**Hidroenergija.** Ukupna proizvodnja električne energije u hidroelektranama u svetu iznosila je 2013. godine 3874 TWh. Najveći proizvođači su: Kina 920 TWh (23,8% od ukupne svetske proizvodnje); Kanada 392 TWh (10,1%); Brazil 391 TWh (10,1%); SAD 290 TWh (7,5%); Rusija 183 TWh (4,7%); Indija 142 TWh (3,7%); Norveška 129 TWh (3,3%)... Istovremeno, ukupni

<sup>303</sup> International Energy Agency, *Key World Energy Statistics 2015*, str. 11.

<sup>304</sup> Izvor: International Energy Agency, *Key World Energy Statistics 2014*, str. 8.

<sup>305</sup> % od ukupne svetske proizvodnje, na osnovu izveštaja IEA (Internacional Energy Agency) publikovanog u njenom godišnjem izdanju *Key World Energy Statistics 2015*, str. 19.

<sup>306</sup> Podatak se odnosi za 2010. godinu, prema *BP Statical Review World Energy, 2012*.

instalirani kapaciteti hidroelektrana u svetu iznose 1034 GW. Najveće instalirane kapacitete poseduju: Kina 194 GW; SAD 102 GW; Brazil 86 GW; Kanada 76 GW; Rusija 50 GW...

**Rezerve fosilnih goriva.** Procenjuje se da su 2014. godine ukupne rezerve nafte iznosile 1700,1 milion barela. Te procenjene rezerve, istovremeno posmatrano, prema regionima iznosile su: u Severnoj Americi 232,5; u Centralnoj Americi 330,2; u Evropi i Aziji 154,8; na Bliskom istoku 810,7; u Africi 132,7; u Aziji i Pacifiku 42,7. Rezerve uglja u svetu procenjene su 2014. godine na 891.531 milion tona. Od toga, posmatrano prema regionima, rezerve uglja su: u Severnoj Americi 245.088; u Centralnoj Americi 14.641; u Evropi i Aziji 310.538; u Istočnoj Aziji i Africi 32.936; u Aziji i Pacifiku 288.328 miliona tona.<sup>307</sup> Procenjene ukupne rezerve zemnog gasa 2014. godine u svetu, prema izveštaju ENI, iznosile su 201,7 biliona kubnih metara.<sup>308</sup>

## 3.2. Pokazatelji i obeležje tržišta Balkana

Balkansko poluostrvo, posmatrano sa geografskog aspekta, jeste poluostrvo i geografski region na jugoistoku Evrope. Njegove geografske granice su: na severu reke Sava i Dunav, na jugu Sredozemno more, na istoku i jugoistoku Crno, Mramorno i Egejsko more, na zapadu i jugozapadu Jadransko i Jonsko more. Ono se teritorijalno nalazi na prostoru između 35° i 46°53' severne geografske širine i 13°23' i 30° istočne geografske dužine. Na njemu preovlađuje planinski reljef u kome dominantnu poziciju zauzimaju planinski sistemi: Dinarski, Šarsko-pirinejski, Karpatski, Balkanski i Rodopski.<sup>309-310</sup> Posmatrano sa istorijskog aspekta, kroz vremensko razdoblje, prizmu događaja i dešavanja koja su se odigrala od praistorije do danas na području teritorije Balkana, njegova istorija je izuzetno bogata i kompleksna.<sup>311</sup>

### 3.2.1. Definisane i osnovna obeležja tržišta Balkanskog poluostrva

O nastanku samog imena Balkan postoje različite teorije i gledišta.<sup>312</sup> Smatra se da se prvi put Balkan pod ovim imenom, u pisanim dokumentima, pominje u XV veku.<sup>313</sup> Zvanična upotreba naziva<sup>314</sup>, kao geografskog pojma za jugoistočni prostor evropskog kontinenta, koristi se od početka XIX veka.<sup>315</sup> Teritorija Balkana, geografski posmatrano, obuhvata površinu od oko 550.000 km<sup>2</sup> i

<sup>307</sup> Prema *BP Statical Review World Energy*, 2015.

<sup>308</sup> To iznosi gotovo dvesta dve milijarde Nm<sup>3</sup>. *World Oil and Gas Review* 2015, str. 36.

<sup>309</sup> Najviši planinski vrhovi: Rila (2952 m), Pirin (2915 m), Olimp (2915 m), Korab (2764 m), Šar-planina (2747 m)...

<sup>310</sup> Vodeni potencijal pored mora formiraju i najveće reke: Dunav, Sava, Morava, Drina, Neretva, Drim, Vardar..., jezera: Skadarsko, Ohridsko, Prespansko, Dojransko...

<sup>311</sup> Najstariji poznati narodi su: Tračani na istoku, Iliri na zapadu, Kelti u centralnom delu i Grci na jugu. Kroz istoriju, veliki broj naroda je dolazio, odlazio, ali i ostajao na ovih prostorima. Duži ili kraći period su se na njemu zadržali i ostavili trag: Goti, Huni, Avari, Rimljani... a u VII veku su ga naselili Sloveni.

<sup>312</sup> Da naziv potiče: od turske reči *balakan* (šumovita gora); po planinskom vencu Hem koji domaće stanovništvo naziva Balkan; od keltske reči *balhakan*; sa potpunom tačnošću se ne može utvrditi poreklo naziva.

<sup>313</sup> U hronici italijanskog pisca i diplomate Philippusa Chalimachusa (1437–1496) upućenom papi 1490. godine.

<sup>314</sup> Naziv za celokupnu teritoriju jugoistočnog evropskog kopna, južno od Dunava i Save, uveo je 1809. godine Nemač Johan August Zeune, koji je iskoristio naziv koji je dao francuski geolog Amija Buea za Staru planinu u Bugarskoj (čiji se naziv nije odnosio na celu teritoriju Stare planine nego samo na jedan njen deo).

<sup>315</sup> U različitim periodima, situacijama i trenucima (XIX, XX a i na početku XXI veka) pojavljivao se predlog da se upotrebljava zvanično ime Jugoistočna Evropa.

predstavlja značajan tržišni i ekonomski potencijal (Tabela 1.10).<sup>316</sup> Klima je u unutrašnjosti umerenokontinentalna i planinska, u primorju sredozemna.<sup>317</sup>

Tabela 1.10. Određeni ekonomski indikatori nekih zemalja u regionu Balkana<sup>318</sup>

	1 stanovnici	2 BDP/sta	3 BIP %	4 BPP %	5 neza %	6 izvoz	7 uvoz	8 SDI	9 spoljni dug
Slovenija	2.021	17300	1.3	0.7	7.3	18387	19591	274	40808
Hrvatska	4.417	10200	-1.2	-8.7	11.8	8063	15054	295	46496
BiH	3.843	3300	3.7	-7.1	27.2	3761	6994	173	32154
Srbija	7.291	3800	2.5	1.0	19.2	7402	12175	1003	23786
Crna Gora	0.618	5000	17.5	2.0	19.8	356	1623	574	912
Makedon.	2.055	3400	-4.8	8.0	31.4	2492	3960	159	4133
Rumunija	21.438	5800	5.5	11.4	7.4	37340	44931	2227	92458
Bugarska	7.534	4800	1.1	-2.1	11.2	15562	18328	1208	37051
Albanija	3.210	3800	20	6	19.2	1171	3254	793	23788
Turska	73.850	7500	13.7	-	10.7	91292	133986	6805	218740

Autor. Na osnovu izveštaja Instituta za balkanologiju iz Beča 2013.

U odnosu na geografski pojam Balkanskog poluostrva i na njegovo sagledavanje u toj dimenziji, geopolitičko posmatranje Balkana obuhvata šire teritorijalno područje od samog geografskog. Prema geopolitičkom gledanju, Balkan danas obuhvata, u svom sastavu, jedanaest država. Formiraju ga (delimično ili u potpunosti) svojom teritorijom: Slovenija (geografski 27%, region Primorska), Hrvatska (geografski, teritorija južno od Save i Kupe), Bosna i Hercegovina, Srbija (južno od Save i Dunava), Crna Gora, Makedonija, Albanija, Rumunija (9% severna Doruđa), Grčka, Turska (3% Turska Trakija) i Italija (područje Gorice i Trsta).<sup>319</sup> Nasuprot strogom i decideranom geografskom sagledavanju i poimanju samog Balkanskog poluostrva, ali i geopolitičkom gledanju, stoji društveno-ekonomski pristup.

Sa društvenopolitičkog i ekonomskog aspekta, njegovo tržište i prostor koji realno obuhvata, a i ima nad njom ingerencije, nadležnosti i uticaj, znatno je veći i širi.<sup>320</sup> U prvom redu, reč je o teritorijama država koje se samo jednim svojim delom fizički nalaze na geografskom tlu Balkanskog poluostrva, a drugim delom izvan njega. One se ne mogu i ne treba ih posmatrati kao

<sup>316</sup> Procenjuje se da na njegovoj geografskoj teritoriji živi oko pedeset četiri miliona građana. Najveći gradovi su: Istanbul (13,2 miliona [8,8 miliona u užoj gradskoj zoni]); Atina (3,7 [1,6]); Beograd (1,6 [1,1]); Sofija (1,3 [1,2]); Zagreb (1,1 [0,7]); Solun (1 [0,7]); Tirana (0,7 [0,4]); Skopje (0,51); Sarajevo (0,43); Plovdiv (0,4); Konstanca (0,38); Varna (0,34); Niš (0,25); Banja Luka (0,25); Patra (0,21)...

<sup>317</sup> Dominantne prirodne komunikacije na teritoriji poluostrva jesu: Moravsko-varđarska (železnička pruga i put, Beograd–Niš–Skoplje–Solun–Atina) i Moravsko-niško-marička dolina (u kojoj su pruga i put Beograd–Niš–Sofija–Jedrene–Istanbul koji preko moreuza Bosfor ide dalje prema Maloj Aziji). Njegov geografsko-teritorijalni položaj ima značajno mesto i poziciju kojom je centralna Evropa povezana sa Azijom i Bliskim istokom. Ono predstavlja most i glavnu kopnenu saobraćajnu komunikacionu vezu između posmatranih oblasti. Na različitim delov ima svoje teritorije, u zemljama koje obuhvata Balkansko poluostrvo, ima razvijenu privrednu delatnost u oblastima: poljoprivrede (zemljoradnje, voćarstva, vinogradarstva, stočarstva, ribolova...), šumarstva, rudarstva, industrije i turizma. Balkanologija je nauka o Balkanskom poluostrvu, njegovim društvenopolitičkim, kulturno-istorijskim, filozofskim, folklornim i drugim pojavama i osobenostima.

<sup>318</sup> Na osnovu izveštaja Instituta za balkanologiju, Beč, 2013. godine za 2010. godinu. Parametri: 1. broj stanovnika u milionima; 2. BDR po stanovniku; 3. bruto industrijska proizvodnja, godišnja promena u %; 4. bruto poljoprivredna proizvodnja, godišnja promena u %, 5. % nezaposlenosti od ukupno radno sposobnih; 6. izvoz robe u milionima evra; 7. uvoz robe u milionima evra; 8. prihod od stranih direktnih investicija; 9. bruto spoljni dug u milionima.

<sup>319</sup> Na osnovu: *Prosvetina enciklopedija*, Prosveta, Beograd, 1986; i internet, 2013. god.

<sup>320</sup> O samom uticaju i efektu proširenja EU videti u radu: Kovač, O., „Ekonomski efekti proširenja EU na zemlje Istočne Evrope u periodu 2000–2012. Moguće strategije razvoja Srbije“, *Ekonomski zbornik XIII*, SANU, 2014, str. 531–565.

sastavni deo Balkana samo procentom svog udela u fizičkom geografskom učešću u njemu, nego kao jedinstvenu celinu sa ukupnom svojom pripadnošću tržištu regiona Balkana.

Ovo se odnosi na države čiji se manji ili veći deo teritorije njihovog suvereniteta i integriteta nalazi izvan geografskih granica Balkanskog poluostrva<sup>321</sup>, a drugi deo unutar njega. Reč je o državama čiji se samo fizički deo teritorije nalazi izvan geografskog pojma: Slovenija, Hrvatska, Srbija, Rumunija i Turska. S druge strane, neretko se u društvenopolitičkom i ekonomskom smislu sa Balkanom povezuje i Moldavija, u prvom redu zbog svoje izražene povezanosti u različitim sferama društvenog, istorijskog, političkog i ekonomskog odnosa sa Rumunijom.

### 3.2.2. Tržište energenata regiona Balkana

Balkan se može uslovno posmatrati i još u širem kontekstu i korelaciji. To proizlazi u prvom redu iz samog posmatranja sa aspekta tržišta energenata. Energetika i energija jedne zemlje, sfera uticaja i značaja koju ona ima za nju, šira je i veća od samog geografskog i geopolitičkog gledanja, ali nije nezavisna od njih. Države ne mogu biti odvojene i nezavisne od neposrednog, ali i šireg okruženja, ako žele i nastoje da budu efikasne i produktivne u XXI veku, naročito kad je reč o energetici. Posmatrano sa aspekta energenata, međusobna povezanost i zavisnost zemalja mnogo je veća i značajnija nego što se na prvi pogled može uočiti. Ne odnosi se to samo na međusobno susedne zemlje nego daleko šire, u prvom redu kad je reč o energiji.

Ekonomsko-političkim sagledavanjem pitanja energije nastoji se da se iznađe najoptimalnije rešenje. To iziskuje neophodnost šireg povezivanja zemalja i većeg pridavanja značaja samoj njihovoj međuzavisnosti u iznalaženju optimalnog rešenja. Potrebno je zauzeti osnovni stav „da je najbolje samo ono rešenje koje je najbolje za sve zajedno, a ne pojedinačno za nekog od učesnika“ kod razmatranja, sagledavanja, iznalaženja, planiranja, ugovaranja i pružanja najboljeg rešenja u sferi energetike. To neminovno, neophodno i istovremeno zahteva i iziskuje pristup da se razmišlja globalno, a sprovodi i realizuje lokalno. U tom kontekstu je sve prisutnije sagledavanje i tržišta energenata regiona Balkana ili Jugoistočne Evrope kao jedinstvene celine. U stručnoj javnosti se susreće posmatranje prostora Balkana u kontekstu Dunavskog regiona kao geopolitičkog i energetskeg prostora.<sup>322</sup>

Iz ugla energetike, a uslovljeno energetskeg potencijalom, proizvodnjom, potrošnjom i rezervama kojima raspolažu, stepenom energetske nezavisnosti, veličinom, potrebama i zahtevom tržišta za strukturom energenta, prostornom distancom i pregovaračkom snagom<sup>323</sup>, naročito kada je reč o nafti, gasu i električnoj energiji, u razmatranju potreba, zahteva i mogućnosti iznalaženja optimalnog rešenja za tržište zemlja Balkanskog regiona, treba uključiti i dve zemlje iz neposrednog njihovog okruženja – Mađarsku i Austriju. One su svojim geografski položajem, ali i povoljnostima koje im pruža sama konfiguracija reljefa<sup>324</sup>, upućene na zemlje Balkanskog poluostrva i povezane sa njima. Nalaze se (Mađarska) ili se naslanjaju na Panonsku niziju, najbliži im je pristup moru obala Jadrana, povezane su rečnim transportnim putem (Dunavom) sa drugim balkanskim zemljama.

<sup>321</sup> Na severu reke Sava i Dunav; na jugu Sredozemno more; na istoku i jugoistoku Crno, Mramorno i Egejsko more; na zapadu i jugozapadu Jadransko i Jonsko more.

<sup>322</sup> Jevtić-Sarčević, N., *Dunavsko-crnomorski region kao geopolitički, energetske i bezbednosni prostor*, Institut za međunarodnu politiku i privredu, Beograd, 2012.

<sup>323</sup> Veći broj udruženih zemalja lakše će zajedno i udruženo iznaći najpovoljnije rešenje nego pojedinačno. Imaju jaču pregovaračku snagu prilikom ugovaranja i nabavke energenata, ali i pri rešavanju bilo kojih drugih problema vezanih za sigurnost snabdevenosti tržišta, distribuciju, transport i potrošnju.

<sup>324</sup> Konfiguracija reljefa ima značajnu ulogu u izgradnji sistema za snabdevanje i prenos energenata, u prvom redu cevovoda za snabdevanje gasom i naftom, ali i dalekovoda za prenos električne energije. Za Mađarsku i Austriju iznalaženje što povoljnijeg rešenja u izgradnji sistema vezano je za zemlje Balkanskog poluostrva sa aspekta daljine (najmanja udaljenost do prvih pomorskih luka na Jadranskom moru – Rijeka i Krk) ali i u gradnji cevovoda koji bi u tom slučaju u najvećoj meri prolazio ravnicom, što znatno pojeftinjuje troškove građenja.

Države Mađarska i Austrija, u iznalaženju što povoljnijeg rešenja za snabdevanje svojih zemalja naftom i gasom, za pristup energentima na svetskom tržištu koji dolaze putem mora, pošto ne poseduju sopstvene pomorske luke, moraju da koriste usluge i da se povezuju sa sebi najbližim, a one se nalaze na Jadranskom ili na Crnom moru. Dalji prevoz iziskuje da koriste transportni (cevovodni, železnički ili drumski) sistem koji prolazi kroz zemlje Balkana ili je u njihovom vlasništvu. Luke na Jadranskom moru Rijeka i Krk su najbliže. Vazdušnom linijom one su približno udaljena od same granice Austrije 200 km, a Mađarske 220 km. U značajnoj meri, ako se želi iskoristiti cevovod kao transportni sistem za dopremu nafte i gasa, a da njihovo poreklo nije sa područja Rusije, upućene su na to da distribuciju energenta izvrše preko teritorije zemalja Balkana i na neposrednu saradnju sa njima, nezavisno od toga za koji se pravac i izvor snabdevanja odluče. Iz toga razloga, uslovno, prilikom razmatranja i analize tržišta energenata Balkana, mogu i treba da se uključe države Mađarska i Austrija. To realno, u praksi, može samo da pruži dodatne povoljnosti njima, ali i zemljama koje geografski pripadaju području Balkanskog poluostrva ako se adekvatno iskoristi zajednički planirani nastup.

Zemlje Balkanskog poluostrva energetski su zavisne, u manjoj ili većoj meri, u zavisnosti od toga o kojoj je zemlji i energentu reč (Tabela 1.11).<sup>325</sup> Nedostatak neophodnih energenata za svoje potrebe nadoknađuju u neposrednom okruženju ili kupovinom na udaljenim destinacijama svetskog tržišta. Kad bi problem rešavali udruženo, pružio bi se niz realnih i praktičnih prednosti, ali i niz olakšavajućih okolnosti u odnosu na situaciju kad taj problem rešavaju pojedinačno, kao što su dosad u najvećem broju slučajeva činili.

Potrošnja primarne energije 2011. godine u nekim zemljama balkanskog tržišta energenata iznosila je: u Bugarskoj trideset dva miliona ten<sup>326</sup>, u Grčkoj trideset i po miliona ten, u Rumuniji 34,8 miliona ten, u Mađarskoj 22,6 miliona ten, u Austriji trideset dva miliona ten... Proizvodnja hidroenergije 2011. godine je bila: u Turskoj  $11,8 \times 10^6$  ten; u Rumuniji 3,4 ten; u Grčkoj 4,4 ten; u Bugarskoj 0,6 ten; u Austriji 6,9 ten... Iste posmatrane godine, proizvedeno je električne energije u nuklearnim elektranama: u Bugarskoj 10,9 ten; u Rumuniji 2,7 ten; u Mađarskoj 3,5 ten<sup>327</sup>...

Procenjene rezerve uglja 2011. godine (izraženo u milionima tona) pojedinačno posmatrano po zemljama regiona iznosile su: u Bugarskoj 2366, u Grčkoj 3020, u Rumuniji 291, u Turskoj 2343... Proizvodnja uglja, iste posmatrane godine, bila je: u Bugarskoj 6,1; u Grčkoj 7,4; u Rumuniji 6,7; u Turskoj 16,6... a ukupna njegova potrošnja je iznosila: u Austriji 2,5; u Bugarskoj 8,4; u Grčkoj 7,3; u Mađarskoj 2,7; u Rumuniji 7,1; u Turskoj 32,4... Ukupne procenjene rezerve sirove nafte, posmatrano pojedinačno, iznosile su (u milionima barela) 2010. godine: u Albaniji 119; u Austriji 50; u Bugarskoj 15; u Hrvatskoj 71; u Grčkoj 10; u Mađarskoj 32; u Rumuniji 600; u Srbiji 78 i u Turskoj 270.<sup>328</sup> Iste posmatrane godine, proizvodnja je bila: u Albaniji 12; u Austriji 25; u Bugarskoj 1; u Hrvatskoj 20; u Grčkoj 2; u Mađarskoj 25; u Rumuniji 92; u Srbiji 15 i u Turskoj 48 hiljada barela/dnevno. Potrošnja nafte i naftinih derivata, na dnevnom nivou iskazano u hiljadama barela, iznosila je: u Albaniji 17; u Austriji 278; u Bosni i Hercegovini 28; u Bugarskoj 64; u Hrvatskoj 95; u Grčkoj 371; u Mađarskoj 147; u Makedoniji 19; u Rumuniji 193; u Turskoj 646; u Sloveniji 56; u Srbiji i Crnoj Gori 84. Pošto ne poseduju dovoljne količine sopstvene sirove nafte, sve zemlje balkanskog energetskog tržišta uvoze naftu i naftine derivate u različitom obimu. Uvoz 2010. godine iznosio je na dnevnom nivou (izraženo u hiljadama barela/dnevno): u Albaniji 14; u Austriji 218; u Bosni i Hercegovini 30; u Bugarskoj 146; u Hrvatskoj 99; u Grčkoj 545; u Mađarskoj 174; u Makedoniji 25; u Rumuniji 168; u Turskoj 697; u Sloveniji 68; u Srbiji i Crnoj Gori 68 hiljada barela dnevno. Istovremeno, ostvaren je izvoz nafte i naftnih preradevina iz zemalja regiona

<sup>325</sup> Procenat uvoza određenih energenata, u zavisnosti od zemlje i energenta o kome je reč, kreće se i do 100%.

Celokupne potrebe za određenim energentom podmiruju uvozom.

<sup>326</sup> Izraženo u milionima ten (tona ekvivalentne nafte).

<sup>327</sup> Sve vrednosti su iskazane u milionima ten ( $\times 10^6$  tona ekvivalentne nafte).

<sup>328</sup> Prema *World Oil and Gas Review 2012*. ENI.

na dnevnom nivo: iz Albanije 9; iz Austrije 43; iz Bosne i Hercegovine 1; iz Bugarske 78; iz Hrvatske 41; iz Grčke 198; iz Mađarske 55; iz Makedonije 7; iz Rumunije 75; iz Turske 112; iz Slovenije 14; iz Srbije i Crne Gore osam hiljada barela/dnevno.<sup>329</sup>

Tabela 1.11. Energetski indikatori zemalja

	1 proizvod. energije (Mten)	2 uvoz energije (Mten)	3 TEPS (Mten)	4 Elec.Con. (TWh)	5 CO <sub>2</sub> emisija Mt of CO <sub>2</sub>	6 TPES/ pop
Albanija	1.62	0.56	2.08	5.67	3.76	0.65
Austrija	11.76	21.37	33.84	70.11	69.34	4.03
BiH	4.37	1.95	6.40	11.69	19.91	1.70
Bugarska	10.57	7.27	17.86	33.73	48.83	2.37
Hrvatska	4.22	4.49	8.54	16.85	19.03	1.93
Grčka	9.45	21.30	27.62	59.32	84.28	2.44
Mađarska	11.05	15.11	25.67	38.77	48.95	2.57
Srbija	10.60	5.23	15.61	31.78	46.05	2.14
Kosovo	1.86	0.54	2.44	4.71	8.47	1.34
Makedonija	1.62	1.27	2.89	7.40	8.21	1.40
Crna Gora	0.70	0.12	0.82	3.50	2.09	1.30
Rumunija	27.44	7.49	34.99	51.24	75.56	1.63
Slovenija	3.71	3.58	7.21	13.36	15.31	3.52
Turska	32.23	73.91	105.13	180.21	265.88	1.44

Izvor: *Key World Energy Statistics* 2012.

Potpunije sagledavanje energetske situacije omogućuje i niz energetskih indikatora na osnovu kojih se pruža potpunija i realnija slika. Najveću proizvodnju energije u 2010. godini, izraženo u Mten, u regionu Balkana imaju: Turska 32,23; Rumunija 27,44; Austrija 11,76; Mađarska 11,05; Bugarska 10,57... Istovremeno, najveći uvoz energenata imali su: Turska 73,91; Austrija 21,37; Grčka 21,30; Mađarska 15,11... Najveće ukupno snabdevanje primarnom energijom (Mten) ostvareno je: u Turskoj 105,13; u Rumuniji 34,99; u Austriji 33,84; u Grčkoj 27,62; u Mađarskoj 26,67; u Bugarskoj 33,73... Jedan parametar kome se pridaje sve veći značaj i važnost jeste količina emitovanog CO<sub>2</sub> i njegov negativni efekat na ekologiju. Prema njemu, ukupna količina emitovanog gasa, izraženo u megatonama, jeste: Turska 256,88; Grčka 84,28; Rumunija 75,56; Austrija 69,34...

### 3.2.3. Proizvodnja i potrošnja energije u Srbiji

Svi tokovi energije posmatraju se u okviru tri sistema.<sup>330</sup> Prvi je sistem primarne energije u okviru kojeg se daje struktura ukupne raspoložive primarne energije za potrošnju. To je domaća proizvodnja na bazi korišćenja sopstvenih resursa primarne energije (ugalj, nafta, prirodni gas, hidropotencijal, obnovljivi izvor energije) i neto uvoza (koji predstavlja razliku između uvoza i izvoza energenata) primarne energije, uključujući i neto uvoz električne energije. Ona obuhvata proizvodnju i korišćenje geotermalne i proizvodnju čvrste biomase, odnosno ogrevnog drveta. Drugi sistem obuhvata sistem transformacije primarne energije u okviru kojeg se prikazuju energenti potrebni za proces transformacije primarne energije. Ovu strukturu čine termoelektrane, termoelektrane-toplane, toplane, hidroelektrane, industrijske energane, rafinerije nafte, prerada uglja i visoke peći. Treći je sistem finalne energije i objedinjuje potrošnju energije za neenergetske svrhe i

<sup>329</sup> Prema *World Oil and Gas Review* 2012. ENI.

<sup>330</sup> Energetski bilans Republike Srbije za 2013.



potrošnju finalne energije u energetske svrhe. Potrošnja finalne energije u energetske svrhe iskazuje se na dva načina. Prvi način obuhvata strukturu sektora potrošnje (industrija, saobraćaj, domaćinstvo, poljoprivreda...), drugi način obuhvata strukturu energenata (čvrsta goriva, tečna goriva, gasovita goriva, električna energija, toplotna energija, obnovljivi izvori energije).<sup>331</sup>

Nafta i gas se u Srbiji proizvode na 59 naftnih polja sa 815 bušotina<sup>332</sup> na kojima se primenjuju različite metode eksploatacije.<sup>333</sup> Prerada nafte se obavlja u dve rafinerije – Pančevo i Novi Sad, ukupnog kapaciteta 7,3 miliona sirove nafte na godišnjem nivou. U njima se proizvode motorna i energetska goriva, putni i industrijski bitumeni, petrohemijske sirovine, specijalni benzini, rastvarači i drugi proizvodi na bazi nafte. Snabdevanje sirovom naftom za preradu u rafinerijama obezbeđuje se iz domaće proizvodnje (43%) i iz uvoza (57%) od ukupnih potreba.<sup>334</sup>

Proizvodnja uglja obuhvata proizvodnju kamenog uglja, mrkog uglja i lignita. Najznačajniji rudnici za eksploataciju uglja jesu: Resavica (podzemna eksploatacija), Kolubara i Kostolac (površinski kopovi), Kovin (podvodna eksploatacija)...

Kapaciteti za proizvodnju električne energije u Srbiji obuhvataju: termoelektrane snage 3907 MW; termoelektrane-toplane snage 336 MW; hidroelektrane 2883 MW; elektrane na vetar snage 0,5MW; solarne elektrane snage 0,1 MW; elektrane na biogas snage 2,7 MW; industrijske energane snage oko 250 MW. Postrojenja za proizvodnju toplotne energije: toplane (za daljinsko grejanje, u 55 gradova, instalisane snage oko 6100 MW); termoelektrane (koje greju i gradove: TE *Kolubara*, TE *Kostolac*, TE *Nikola Tesla*); termoelektrane-toplane u Novom Sadu i Zrenjaninu; industrijske energane.

Obnovljivi izvori energije obuhvataju postrojenja za proizvodnju i potrošnju električne energije iz velikih i malih vodenih tokova, energiju vetra i sunca, geotermalnu energiju, čvrstu biomasu (ogrevno drvo, pelet i briket).

**Energetski pokazatelji Srbije do 1990. godine.** Od kraja Drugog svetskog rata, u periodu intenzivne industrijalizacije države Jugoslavije, stopa ekonomskog i privrednog razvoja Republike Srbije u njenom sastavu bila je najveća u vremenskom razdoblju od sredine 50-ih do kraja 70-ih godina dvadesetog veka (Tabela 1.12). U tom intervalu beleži se<sup>335</sup>: intenzivan razvoj energetske kapaciteta tokom 70-ih i 80-ih godina; intenzivan razvoj proizvodnje primarne energije, posebno površinske eksploatacije lignita; vrlo intenzivan razvoj proizvodnje sekundarne energije u Srbiji, posebno električne energije u termoelektranama (preko 80% potrošnje uglja) uz intenzivan razvoj proizvodnje naftnih derivata na bazi uvozne i domaće nafte; u celom periodu je rast potrošnje energije iznad rasta društvenog proizvoda; veoma intenzivno ulaganje u energetiku 70-ih godina<sup>336</sup> i veoma brojne promene u politici mehanizama cene energenata.

Tabela 1.12. Proizvodnja primarne energije (hiljade ten)<sup>337</sup>

godina	ugalj	nafta	zemni gas	hidroenergija	ukupno	stopa rasta %
1965.	2544	662	131	104	3441	
1970.	2547	828	415	275	4065	3,48
1975.	3153	1018	762	750	5683	6,68
1980.	5040	1183	771	933	7927	6,57
1985.	6717	1143	876	906	9642	4,26
1990.	7747	1074	557	717	10095	0,92

<sup>331</sup> Danas u Srbija živi oko 0,1% svetske populacije. Istovremeno, i teritorijalno ona zauzima 0,1% svetskog prostora.

<sup>332</sup> U energetske bilansu se prikazuje samo proizvodnja u Srbiji a ne i u Angoli gde država Srbija poseduje izvore.

<sup>333</sup> *Naftna industrija Srbije* jedina je kompanija koja se bavi istraživanjem i proizvodnjom nafte i gasa u Srbiji.

<sup>334</sup> Energetski bilans Republike Srbije za 2013.

<sup>335</sup> Đajić, N., *Energetika za održivi svet*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2002, str. 90.

<sup>336</sup> Samo u elektroprivredu u periodu 1975–1990. uloženo je petnaest milijardi američkih dolara.

<sup>337</sup> Prema većem broju izveštaja.

Proizvodnja primarne energije u ovom vremenskom intervalu imala je konstantan rast koji je bio najveći u prvoj polovini sedamdesetih godina i iznosio je 6,68%. Najznačajnije učešće u ukupnoj strukturi proizvodnje primarne energije u Srbiji imao je ugalj. Pojedinačno posmatrano, stopa procentualnog učešća energenata u periodu od 1965. do 1990. godine (Tabela 1.13), u ukupnoj strukturi proizvodnje primarne energije beleži značajne promene. One se kreću, u zavisnosti od godina, u rasponu: 73,9–55,5% za ugalj; 10,6–20,4% za naftu; 3,8–13,4% za prirodni gas i 3,1–13,2% za hidroenergiju.

Tabela 1.13. Ukupna finalna potrošnja energije u Srbiji 1965–1990. (hiljade ten)

godina	čvrsto gorivo	tečno gorivo	gasno gorivo	električna energija	ukupno	stopa rasta %
1965.	2981	804	43	372	4200	
1970.	2158	2207	220	632	5217	4,43
1975.	2312	3580	563	1020	7475	7,46
1980.	2013	5317	947	1725	10002	6,00
1985.	2072	5719	2189	2032	12012	3,73
1990.	1631	5550	2292	2280	11753	-0,04

Autor. Na osnovu većeg broja različitih izveštaja.

Obeležje kretanja u proizvodnji primarne energije Srbije u ovom periodu je: izražen visok rast eksploatacije lignita u rudnicima sa površinskim kopovima; izgradnja i puštanje u pogon termoelektrana na ugalj velike instalisane snage; izrazito povećanje kapaciteta hidroelektrana izgradnjom novih postrojenja a time i značajno iskorišćenje postojećeg hidropotencijala vodotokova; značajan porast eksploatacije nafte i prirodnog gasa, a nakon toga njena stagnacija. Procentualno, pojedinačno učešće određenih energenata u ukupnoj strukturi finalne potrošnje energenata u Srbiji kreće se u rasponu, zavisno od godine: za čvrsta goriva 71,0–13,9%; za tečna goriva 19,1–53,1%; za gasovita goriva 1,5–19,5% i za električnu energiju 8,9–19,2%.

**Indikatori proizvodnje i potrošnje energije nakon 1990. godine.** Početkom 90-ih godina, došlo je do podele SFR Jugoslavije, samostalne i suverene države koju je činilo šest republika i dve autonomne pokrajine. Nakon otcepljenja, proglašeno je više novih samostalnih i nezavisnih zemalja i teritorija na njenom prostoru, koje su se formirale u granicama dotada postojećih republika i pokrajina. Od početka devedesetih godina, pod uticajem sveukupnih događaja, Srbija beleži značajan pad sopstvene proizvodnje, što ima za posledicu direktan uticaj na energetiku.

Pojedinačno posmatrano, procentualno učešće energenata u finalnoj potrošnji u ukupnoj strukturi Srbije u periodu od 1995. do 2000. godine kreće se u rasponu, u zavisnosti od godine: za čvrsto gorivo 11–16%; za tečno gorivo 23–40%; za gasovito gorivo 14–20%; za električnu energiju 30–41%. Početkom dvadeset prvog veka razvoj energetike Srbije nije u skladu sa željama, usvojenim planovima i strategijama<sup>338</sup> države. Pozicija energetike, u prvoj deceniji ovog veka, može se sagledati analizom učešća energetike u bruto dodatnoj vrednosti, ali i sagledavanjem učešća energetike u uvozu, društvenom proizvodu i privredi Srbije (Tabela 1.14).<sup>339</sup>

Detaljno stanje energetike u prvoj deceniji XXI veka može se sagledati analizom energetskog bilansa Republike Srbije. Ukupna proizvodnja primarne energije u Srbiji 2010. godine iznosila je 10,539 miliona ten. Njena struktura, posmatrano prema energentima, jeste: ugalj 7,228, nafta 0,940, gas 0,308, hidropotencijal 1,022, geotermalna energija 0,005, ogrevno drvo 1,036.

Uvoz energenata je bio od 6,140 miliona ten (posmatrano pojedinačno prema energentima: ugalj 0, nafta 3,323, gas 1,567, električna energija 0,483, ogrevno drvo 0,001). Izvoz je bio u iznosu

<sup>338</sup> Srbija je 2005. godine na osnovu Zakona o energetici usvojila „Strategiju dugoročnog razvoja energetike Srbije do 2015. godine“.

<sup>339</sup> U Srbiji 2007. godine učešće energetika je bilo: 17% u ukupnom uvozu zemlje; 5% je bilo zaposlenih od svih koji su radili u privredi; sa 24% učestvovala je u ukupnom kapitalu cele privrede; učestvovala je sa 22% u DBP industrije; a u DBP cele države učestvovala je sa 5%.

od 0,928 miliona ten (ugalj 0,039, nafta 0,376, gas 0, električna energija 0,509, ogrevno drvo 0,004). Neto uvoz energenata je bio 5,211 miliona ten. Ukupna primarna energija za potrošnju bila je 15,531 miliona ten. Uvozna zavisnost je bila 33,56%. Potrošnja finalne energije u energetske svrhe iznosila je 8,889 miliona ten (industrija 2,393, saobraćaj 2,239, ostalo 4,257). Posmatrano prema energentima: čvrsto gorivo 1,000 miliona ten, tečna goriva 2,704 miliona ten, gasovita goriva 0,931, električna energija 2,370, toplotna energija 0,853, ostali izvori energije (geotermalna energija, ogrevno drvo) 1,031 milion ten.

Tabela 1.14. Trend proizvodnje, uvoza i potrošnje energije u Srbiji 2002–2008.

godina	primarna energija (Mten)	finalna energija (Mten)	industrija u finalnoj energiji (%)	električna energija u finalnoj (%)	uvozna zavisnost (%)
2002.	12.442	6943	34,92	30,02	36,96
2005.	14.491	7367	30,08	30,57	40,95
2008.	15.583	8173	35,03	28,22	41,65

Autor. Na osnovu većeg broja različitih izveštaja.

### 3.3. Rezerve, proizvodnja i plasman zemnog gasa u svetu

#### 3.3.1. Ukupne rezerve zemnog gasa u svetu

Pod resursima se podrazumeva celokupna količina materijala koji postoji u zemlji, dok rezerve predstavljaju onu količinu koja može da se preradi. Različite su procene svetskih rezervi energenata fosilnog porekla.<sup>340</sup> U svetu postoji preko 700 basena nafte i gasa, a do sada je istraženo oko 400, od kojih je 160 basena produktivno. Rezerve ovih energenata su i u okviru njih krajnje neravnomerno raspoređene.<sup>341</sup> Zemni gas zauzima značajno mesto u svetskim resursima energentskih sirovina.<sup>342</sup> Posmatrano sa aspekta trenutne mogućnosti eksploatacije i proizvodnje zemnog gasa, na postojećem nivou tehničko-tehnološkog razvoja i ekonomske isplativosti, sva ležišta gasa u prirodi se mogu grupisati u konvencionalna i nekonvencionalna.<sup>343</sup> Razvoj tehnike i metoda eksploatacije, s jedne strane, i porast cene metana na svetskom tržištu s druge, utiču na ekonomsku prihvatljivost proizvodnje iz nekih nekonvencionalnih izvora.

**Konvencionalna ležišta.** Konvencionalna ležišta gasa su ona ležišta iz kojih se može, u sadašnjem trenutku, na ekonomski isplativ način uz konstantan dotok energenta eksploatirati gas. Tri su osnovna tipa konvencionalnih ležišta zemnog gasa iz kojih se dobija gas za komercijalne potrebe: gasna ležišta, kondenzantna ležišta i ležišta sirove nafte.<sup>344</sup> Najveće rezerve gasa su u: Persijskom zalivu, Zapadnosibirskom, Permski, Ural-Volga, Alžir, Severno more... Oko 80% svetskih rezervi konvencionalnog gasa nalazi se u samo 10 basena. Procena ukupnih rezervi zemnog gasa u svetu

<sup>340</sup> Procenjeno je da su rezerve 2010. godine iznosile: nafte  $205 \times 10^9$  t; zemnog gasa  $18.7490 \times 10^9$  m<sup>3</sup>; uglja  $826 \times 10^{12}$  t.

<sup>341</sup> Oko 90% nafte i 80% gasa nalazi se u samo 30 basena, a preostalih 10–20% u 130 basena. Prema: Kostić, A., *Geologija ležišta nafte i gasa*, predavanja, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2013.

<sup>342</sup> Ukupni svetski resursi energentskih sirovina procenjeni su (na osnovu nešto starijih podatak) na  $10.200 \times 10^9$  tce (tce – t uglja sa 29.260 kJ/kg [7000 kcal/kg]). Od tog iznosa procentualno je: uglj 69%; nekonvencionalni gas 21%; uran 2,8%; gas 1,1% i nekonvencionalna nafta 3,5%. Prema: Kostić, A., *Geologija fosilnih goriva*, predavanja, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2013.

<sup>343</sup> U ovom delu rada detaljnije su sagledana nekonvencionalna ležišta zemnog gasa. Detaljno o konvencionalnim ležištima gasa, o nastanku, migraciji, tipovima ležišta, tehnologiji istraživanja, eksploataciji, sabiranju, proizvodnji... bilo je reči u segmentu 2.3. ove glave.

<sup>344</sup> U literaturi se mogu susresti detaljnije klasifikacije ležišta zemnog gasa, i ona mogu biti, prema nekima, grupisana u šest tipova: 1. ležišta suvoga gasa; 2. ležišta mokrog gasa, 3. gasno-kondenzatna ležišta; 4. ležišta nafte sa otpljenim gasom; 5. ležišta sa režimom gasne kape; 6. ležišta sa vodonapornim režimom (akvifer). Veoma često se susreću i druge klasifikacije ležišta gasa, koje zavise od parametara na osnovu kojih se vrše, ali i od pristupa samih autora problematici.

ima tendenciju stalnog porasta.<sup>345</sup> U 1995. godini ukupne konvencionalne rezerve su bile procenjene na  $142,36 \times 10^{12} \text{ m}^3$ . Pet godina kasnije, ukupne procenjene rezerve iznosile su  $158,46 \times 10^{12} \text{ m}^3$ .<sup>346</sup> U 2005. godini procenjeno je da one iznose  $175,66 \times 10^{12} \text{ m}^3$  da bi ukupne procenjene rezerve gasa 2010. godine iznosile u celom svetu  $192,46 \times 10^{12} \text{ m}^3$ . Procenjeno je (2014. godine) da su ukupne konvencionalne rezerve zemnog gasa gotovo dvesta dva biliona  $\text{m}^3$  ( $201,771 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ).<sup>347,348</sup>

Ukupno procenjene rezerve gasa u prvih deset zemalja sveta 2014. iznose  $158,123 \times 10^{12} \text{ m}^3$ , što predstavlja 77,4% ukupnih svetskih rezervi zemnog gasa koje su procenjene na  $201,771 \times 10^{12} \text{ m}^3$ . Procenjene ukupne rezerve u svim drugim zemljama sveta zajedno iznose 43,648 milijardi  $\text{m}^3$  (22,6% od celokunih rezervi gasa u svetu).<sup>349</sup> Od ukupnih rezervi gasa, procentualno posmatrano, najveće rezerve imaju: Rusija 24,7%; Iran 16,9%; Katar 12,2%; Turkmenistan 4,9%; SAD 4,9%; Saudijska Arabija 4,2%... Istovremeno, danas u svetu su najveća gasna polja: 1. North Dome-South Pars (Katar–Iran, kapaciteta  $>34 \times 10^{12} \text{ m}^3$ )<sup>350</sup>, 2. Urengoy, Zapadni Sibir (Rusija,  $>7,78 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ); 3. Yamburg, Zapadni Sibir (Rusija  $5,66 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ); 4. Orenburg, Volga region (Rusija, verovatno  $5,66 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ); 5. Shtockmanov, Barenčovo more (Rusija, verovatno  $5,6 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ); 6. Umm shaif abu el Buksh (Abu Dabi,  $4,95 \times 10^{12} \text{ m}^3$ )<sup>351</sup>...

Kao ilustracija ukupne veličine dokazanih konvencionalnih svetskih rezervi gasa može da posluži odnos između ukupne godišnje proizvodnje i procenjenih rezervi. Ukupna proizvodnja (istovremeno i potrošnja) zemnog gasa u svetu 2014. godini bila je  $3474,91 \times 10^9 \text{ m}^3$ , što znači da su, prema tom nivou potrošnje, ukupne svetske dokazane rezerve gasa dovoljne za narednih 60 godina.<sup>352</sup> Prema podacima IEA (Internacional Energy Agency) od 2011. godine, ukupne procenjene konvencionalne (dokazane + procenjene) zalihe dovoljne su za narednih 120 godina postojeće potrošnje, a sve ukupne (konvencionalne + nekonvencionalne) dovoljne su za narednih 250 godina, pri postojećem stepenu godišnje potrošnje ovog energenta.

**Nekonvencionalna ležišta.** Nekonvencionalnim ležištima zemnog gasa smatraju se ona ležišta iz kojih je trenutno nemoguće proizvoditi uz konstantan dotok, ili u ekonomski isplativim količinama klasičnim tehnologijama, bez stimulacije ležišta hidrauličkim frakturiranjem, horizontalnim bušenjem, multilateralim bušenjem ili drugim tehnikama. Nekonvencionalna ležišta trenutno ne omogućuju značajnu tehničko-tehnološko ekonomski isplativu eksploataciju ali predstavljaju realan potencijal u budućnosti. Ona se javljaju nezavisno od toga da li je reč o plitkim ili dubokim ležištima; visokim ili niskim pritiscima gasa u bušotini; visokim ili niskim

<sup>345</sup> Procene ukupnih rezervi gasa u svetu su različite. Procena zavisi od izvora iz koji potiču i od toga ko ih je sačinio.

<sup>346</sup> Potrebno je napomenuti da se veoma često u stručnoj literaturi (u svetu ali i kod nas) prezentuje različito ista veličina, kao posledica neusklađenosti jedinstvenog iskazivanja vrednosti. Tako da se zbog direktnog prenosa iskazanih vrednosti u određenim radovima stvara zabuna. Kao ilustracija može da posluži primer između američkog i modifikovanog Chuqet sistema (koji se primenjuje i kod nas). Numerički zapis vrednosti, prema dekadnom eksponencijalnom sistemu  $10^9$  (kada se atributivno opisno izražava vrednost rečima), reč je o milijardi (prema američkom sistemu bilion);  $10^{12}$  bilion (američki trilion);  $10^{15}$  bilijarda (američki kvadrilion);  $10^{18}$  trilion (američki kvintilion)... Detaljnije videti u prilogu ovoga rada.

<sup>347</sup> Ukupne konvencionalne rezerve zemnog gasa su 2014. procenjene na gotovo dvesta dve bilijarde  $\text{m}^3$  bez procenjenih rezervi zemnog gasa u formi hidrata. Prema: *World Oil and Gas Review* 2015, str. 36.

<sup>348</sup> Prema nekim procenama, ukupne konvencionalne rezerve i rezerve u formi hidrata iznose između  $2 \times 10^{15}$  -  $20 \times 10^{15}$ . Prema: Škrbić, B., *Tehnologija proizvodnje i pripreme gasa*, Tehnološki fakultet, Novi Sad, 2002, str. 14.

<sup>349</sup> Procenjuje se da se u svetu oko 15% gasa rastvorenog u nafti „izgubi“ u procesu proizvodnje (spaljuje se na baklji ili se ponovo utiskuje u ležište). Prema: Kostić, A., *Geologija ležišta nafte i gasa*, predavanja, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2013.

– Vezani gas (APG, Asociat Petroleum Gas) jeste nusproizvod u proizvodnji nafte. U naftnom ležištu može biti u obliku gasne kape i/ili rastvoren u nafti. Njega je potrebno dodatno obraditi prilikom eksploatacije nafte. U svetu je 2013. spaljeno sto trideset četiri milijarde  $\text{m}^3$  vezanog gasa. Od toga je Rusija spalila 26,3%, na taj način gubi 13,5 milijardi američkih dolara.

<sup>350</sup> Nort Fild, polje koje se prostire na teritoriji Katara i Irana, dimenzija  $120 \times 70 \text{ km}$ .

<sup>351</sup> Od 10 najvećih gasnih polja u svetu, njih 8 se nalazi u Rusiji.

<sup>352</sup> Prema *BP Statistical Review* 2014.

temperaturama fluida; različitim oblicima ležišta; homogenim i prirodno frakturiranim; jednoslojnim ili višeslojnim ležištima.<sup>353</sup>

U nekonvencionalnim ležištima zemnog gasa u svetu nalaze se značajne rezerve ovog energenta. Izvori nekonvencionalnog metana su u ležištima uglja, slabopropusnog peska, fraktrirani šejlovima, u gasu otopljenom u dubokim akviferima, u metanskim hidratima. Procene njihovog pojedinačnog, ali i ukupnog iznosa rezervi koje postoje u svetu, veoma su različite.<sup>354</sup> Okvirno, smatra se<sup>355</sup> da bi nekonvencionalni izvori gasa mogli da sadrže dodatnih 60–250% svetskih rezervi, i procenjuje se da gasa ima u: ležištima uglja (coal-bed methane)  $255 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ; vrlo slabo propusnim ležištima (tight gas)  $453 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ; šejlovima (shale gas)  $210 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ; metanskim hidratima  $1\text{--}5 \times 10^{15} \text{ m}^3$ . Trenutno iz ovih izvora energenta veoma je mala proizvodnja iz tehničko-ekonomskih razloga.<sup>356</sup> Tehničko-tehnološki razvoj i rast cene zemnog gasa utiču na ekonomsku prihvatljivost proizvodnje iz nekonvencionalnih ležišta. Ovi izvori predstavljaju energetski potencijal za budućnost.<sup>357</sup> Od svih nekonvencionalnih energenata fosilnog porekla, metanski hidrati danas predstavljaju najinteresantnije i perspektivnije rezerve metana u svetu.<sup>358</sup>

**Metanski hidrati.** Hidrati su oblik vodenog leda<sup>359</sup> koji u svojoj kristalnoj strukturi od molekula vode sadrži „zarobljeni“ metan.<sup>360</sup> Molekuli vode oblikuju otvorenu kristalnu rešetku koju popunjava zemni gas.<sup>361</sup> Zaleđeni molekuli vode okružuju molekule metana i na taj način formiraju metanske hidrate.<sup>362</sup> Sam nastanak i formiranje metanskog hidrata<sup>363</sup> u prirodi uslovljen je, uz neminovnu prisutnost vode i metana, i postojanjem određenih pritisaka i temperatura. Samo na određenim temperaturama i pritiscima može da dođe do formiranja stabilnih metanskih hidrata.<sup>364</sup> Mogu se formirati samo na temperaturi nižoj od 25°C i pritisku višem od 27 bara.<sup>365</sup> Promenom pritiska i temperature može da se menja stabilnost hidrata sve do njegovog razaranja.

Sastav metanskog hidrata je stabilan. U jednom njegovom volumenskom kubnom metru ima u proseku najčešće 164 m<sup>3</sup> metana i oko 0,87 m<sup>3</sup> vode. Koncentracija metana u prirodni koji se

<sup>353</sup> Prema: Karasalihović Sedlar, D., *Nekonvencionalni izvori plina*, RGNF, Zagreb, 2010.

<sup>354</sup> Procene svetskih rezervi zemnog gasa u nekonvencionalnim ležištima veoma su različite u zavisnosti od institucija koje su ih sačinile. Često se ovom kategorijom i spekulise. Ove procene predstavljaju određenu verovatnoću postojanja rezervi.

<sup>355</sup> Prema: Karasalihović Sedlar, D., *Rezerve i potrošnja plina*, RGNF, Zagreb, 2010.

<sup>356</sup> Opširnije o nekonvencionalnim izvorima: 1. Cota, L. i dr., „Nekonvencionalni izvori plina u svjetu, Europi...“, naučni skup, Opatija, 2013; 2. Barić, N., *Nekonvencionalna ležišta plina u Europi*, diplomski rad, RGNF, Zagreb, 2012...

<sup>357</sup> Opširnije se može videti u radu: Makogon, Y. F., „Natural gas-hydrates - A potential energy source for the 21<sup>st</sup> Century“, *Journal of petroleum Science and Engineering* 56, 2007, str 14–31.

<sup>358</sup> Iz ovih razloga, u ovom delu rada detaljnije su obrađeni u odnosu na druge izvori nekonvencionalnog metana, kao što su: ležišta uglja, slabopropusnog peska, fraktrirani šejlovi i gas otopljen u dubokim akviferima.

<sup>359</sup> Prvi je pojavu hidrata otkrio 1812. godine Humphrey; 1823. godine Fardej je dobio hidrate prilikom utečnjavanja u laboratoriji... Prvo otkriće hidrata u metanu u prirodi otkriveno je šezdesetih godina XX veka u Sibiru.

<sup>360</sup> I drugi gasovi u prirodi mogu formirati hidrate: azot, ugljen-dioksid, sumporovodonik, etan, propan, butan, benzene, ciklopentan i cikloheksan.

<sup>361</sup> Smrznuti molekuli vode nalaze se oko metana, koji je zarobljen unutar strukture leda. Ako se posmatra samo jedno parče hidrata metana, uslovno to parče leda vizuelno podseća na izgled „glavice salate“.

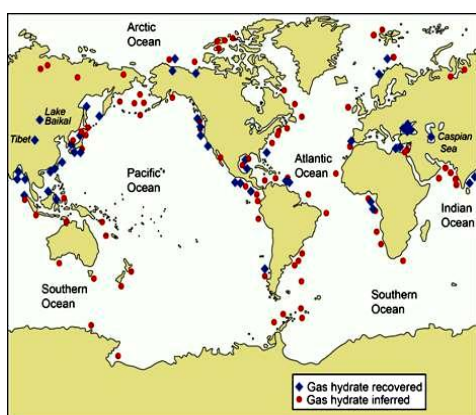
<sup>362</sup> Detaljnije o metanskim hidratima može se videti u radovima: 1. Englezos, P., *Energy Potential of Natural Gas Hydrates*, University of British Columbia, Pacific Energy Innovation Association, 2010; 2. Senger, Kim, *First-order estimation of in-place natural gas resources at the Nyegga gas hydrate prospect, mid-Norwegian Margin*, Faculty of Science, Department of Geology, University of Troms, 2009; 3. Prabhakar, M., *Gas Hydrates as an Unconventional Resource: Asian Perspective*, Singapore at the Geoscience Tehnology Workshop, 2012.

<sup>363</sup> Često se metanski hidrati nazivaju: gasni hidrati, metanski klatrati, metanski led...

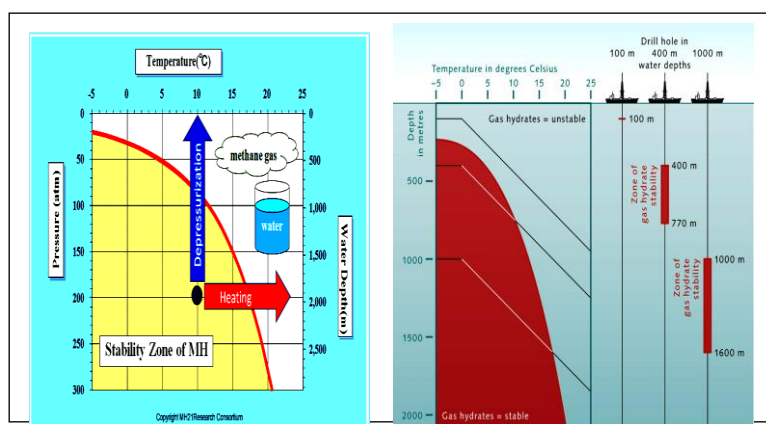
<sup>364</sup> Ovaj odnos temperature i pritiska, u kome se uz prisustvo vode i metana formiraju hidrati, naziva se termodinamička tačka formiranja hidrata. To je granična stabilnost hidrata. Ali i iznad ove tačke mogu da se formiraju hidrati, ali njihova forma nije stabilna i u njoj se ne mogu dugo zadržati u čvrstom agregatnom stanju.

<sup>365</sup> Opširnije o hidratima: Ersland, G., Graue, A., *Natural gas hydrates*, University of Bergen, Norway, Intecopen, 2012.

nalazi u kristalnoj strukturi vode (hidratu)<sup>366</sup> gušća je nego u drugim ležištima zemnog gasa.<sup>367</sup> Dosadašnja sprovedena istraživanja u svetu otkrila su velike količine metana u formi hidrata<sup>368</sup> u polarnim područjima i ispod mora u rubnim delovima kontinenta (Slika 1.13).<sup>369</sup> Termodinamički su stabilni u nepolarnim područjima, u dobro sortiranim klasičnim sedimentima na rubovima kontinenta širom sveta na dubini vode oko 450 m, a u područjima arktičkog permafrosta, na dubinama od 200 do preko 1000 metara, pri temperaturama nižim od 12°C (Slika 1.14).<sup>370</sup> Eksploatacija metanskih hidrata još se nalazi u eksperimentalnim procesima. Za sada se većina tehnike koja se primenjuje bazira na smanjivanju njihove stabilnosti, i mogu se svrstati u tri grupe: snižavanje pritiska u ležištu ispod pritiska stabilnosti hidrata; termičko razaranje (utiskivanje pare ili tople vode)<sup>371</sup> i utiskivanje inhibitora (metanol, glikol).<sup>372</sup> Velike naslage hidrata metana otkrivene su u polarnim, stalno zaleđenim područjima, na Arktiku, u Sibiru i na Aljasci, gde se nalaze na dubinama između 130 i 1200 m. Izuzetno velike količine otkrivene<sup>373</sup> su u morima na dubinama većim od 1200 m uz istočnu i zapadnu obalu severnoameričkog i azijskog kontinenta.



Slika 1.13. Lokacije metanskih hidrata<sup>374</sup>



Slika 1.14. Dijagrami stabilnosti metanskih hidrata<sup>375</sup>

Tačna i precizna procena rezervi gasa i pored savremenih tehnika i metodologija nije laka. Različit je pristup ekonomskoj proceni konvencionalnih i nekonvencionalnih ležišta. Procena konvencionalnih ležišta u osnovi se bazira na izračunavanju volumena ležišta stena i potencijalnih resursa. Za razliku od konvencionalnih, procena nekonvencionalnih ležišta zemnog gasa zasniva se

<sup>366</sup> Do sada su otkrivena tri oblika strukture hidrata. Struktura I – sastavljena od 46 molekula vode; Struktura II – sastavljena od 136 molekula vode; Struktura H – šestostrukog oblika, sastavljena od 34 molekula vode.

<sup>367</sup> Molekuli gasa su u hidratima gušće sabijeni nego kod drugih konvencionalnih i nekonvencionalnih ležišta zemnog gasa. Posmatrano prema jedinici volumenske (prostorne) zapremine ležišta, u ležištima metana u hidratima koncentracija metana je od 2,5 do 5 puta veća. Radi ilustracije, u jednom kubnom metru ležišta hidrata nalazi se 50 m<sup>3</sup> metana; u konvencionalnom ležištu 10–20 m<sup>3</sup> metana; u nekonvencionalnim ležištima 2–10 m<sup>3</sup> metana (u naslagama uglja 6–8 m<sup>3</sup>, u slabo propusnim peskovima 5–10 m<sup>3</sup>, u „devonskoj glini“ 2–5 m<sup>3</sup>). Sečan, J., Zelić, M., *Hoće li metan iz hidrata biti energent budućnosti?* naučni skup, Opatija, 2003.

<sup>368</sup> 2013. godine EIA (Administracija za energetsko informisanje) procenjuje da se pod ledom nalazi najmanje 1.000.000 miliona kubnih stopa metana. Istovremeno procenjuje se da se u škriljcima nalazi 7000 kubnih stopa metana.

<sup>369</sup> „Procenjuje se da su ukupne rezerve metana u formi hidrata 21,0 x 10<sup>15</sup> m<sup>3</sup>. Njegovim prevođenjem iz hidrata u gasovito stanje zalihe metana bi se povećale u odnosu na otkrivene zalihe zemnog gasa za oko 116.000 puta.“ Naučni rad: Sečan, J., Zelić, M., *Hoće li metan iz hidrata biti energent budućnosti?*, Opatija, 2005.

<sup>370</sup> Sečan, J., Zelić, M., *Hoće li metan iz hidrata biti energent budućnosti?*, naučni skup, Opatija, 2003.

<sup>371</sup> Zagreva se ležište na temperaturu veću od temperature formiranja hidrata.

<sup>372</sup> Opširnije u radu: Ruppel, C., „Methan Hydrates and the Future of Natural Gas“, *MITEI Natural Gas Report*, 2011.

<sup>373</sup> Danas se mogu susresti u literaturi različite procene svetskih rezervi metana u formi hidrata. Neke od procena, ovoga trenutka, smatraju se dosta nereálnim. Prema njima, rezerve gasnih hidrata se kreću između 850 i 1.400.000 biliona kubnih metara mase gasnog leda (hidrata). To bi značilo da se u hidratima nalazi do 1.700.000 biliona kubnih metara gasa, što iznosi 5000 puta veću količinu metana nego što se nalazi u konvencionalnim rezervama gasa.

<sup>374</sup> Izvor: ilustracija preuzeta iz više stručnih radova.

<sup>375</sup> Izvor: ilustracija preuzeta iz više stručnih radova.

na mogućnosti crpljenja pojedine bušotine. Kod procene nekonvencionalnog ležišta, nije glavni problem verodostojnost postojanja ležišta, „nego proizvodni profil bušotine, njeno početno davanje i pad proizvodnje, na kome se bazira izračunavanje isplativosti projekta. Nekonvencionalna ležišta su uglavnom kontinuirana u prostoru i konačno iscrpljivanje zavisi o mreži proizvodnih bušotina te kvalitetu metode obavljenih stimulacijskih radova u njima.“<sup>376</sup> Pored geoloških pretpostavki, veliki uticaj na ekonomičnost projekta imaju: dostignuti tehničko-tehnološki nivo uređaja i sredstava, zakoni i propisi vezani za ovu tematiku, ekološki normativi i propisi...

### 3.3.2. Proizvodnja i plasman zemnog gasa u svetu

Ukupna proizvodnja zemnog gasa u svetu ima konstantan rast. Posmatrano prema godinama, proizvodnja gasa je bila, izraženo milijardama m<sup>3</sup>: 1995. – 2165,86; 2000. – 2460,59; 2005. – 2829,87; 2008. – 3099,69; 2010. – 3231,22; 2013. – 3425,91; 2014. – 3.474,6. Posmatrano prema regionima, u 2014. godini proizvodnja prirodnog gasa bila je: u Evropi – 272,35; u Rusiji i C. Aziji – 831,92; na Bliskom istoku – 565,84; u Africi – 189,34; u Aziji-Pacifiku – 509,05; u Severnoj Americi – 880,24 i u Latinskoj Americi – 225,69. Istovremeno, najveći proizvođači, posmatrano prema zemljama, jesu: SAD, Rusija<sup>377</sup> ... (Tabela 1.15).

Tabela 1.15. Deset zemalja najvećih proizvođača gasa (u milijardama m<sup>3</sup>)

zemlja	1995.	2005.	2014.
SAD	518,31	502,78	718,85
Rusija	573,13	615,22	630,77
Iran	42,51	99,54	170,08
Katar	8,76	47,70	169,81
Kanada	155,35	183,76	161,39
Kina	17,91	49,23	129,91
Norveška	33,70	89,50	113,30
Turkmenis.	68,12	78,17	82,01
Saud. Arab.	33,18	66,32	81,68
Alžir	55,65	90,19	80,87
<i>Prvih 10</i>	1506,62	1822,41	2341,09
<i>Ost. sveta</i>	659,24	1007,46	1133,37
<i>SVET</i>	2165,86	2829,87	3474,46

Autor. Na osnovu većeg broja različitih izveštaja.

Tabela 1.16. Deset zemalja najvećih potrošača gasa (u milijardama m<sup>3</sup>)

zemlja	1995.	2005.	2014.
SAD	605,21	604,94	746,67
Rusija	377,64	417,04	450,03
Kina	17,89	46,26	181,60
Iran	42,51	99,99	173,64
Japan	63,46	84,18	128,63
Kanada	80,04	96,16	104,03
S. Arabija	33,18	66,32	81,04
Nemačka	80,26	92,77	76,47
Meksiko	-	45,41	73,71
V. Britan.	77,67	101,94	71,25
<i>Prvih 10</i>	1430,98	1697,53	2087,06
<i>Ost. sveta</i>	729,23	1125,68	1356,80
<i>SVET</i>	2160,21	2823,21	3443,86

Autor. Na osnovu većeg broja različitih izveštaja.

Potrošnja gasa u 2014, prema regionima, bila je (u milijardama m<sup>3</sup>): u Evropi 524,08; u Rusiji i Centralnoj Aziji 572,58; na Bliskom istoku 445,90; u Africi 116,69; u Aziji-Pacifiku 690,78; u Severnoj Americi 850,70; u Latinskoj Americi 243,12. Tako da je ukupna potrošnja gasa u svetu, posmatrane 2014. godine, iznosila 3443,8 milijardi m<sup>3</sup> (pojedinačno prema zemljama, Tabela 1.16).

Istovremeno, najveći potrošači, posmatrano prema zemljama, jesu: SAD, Rusija, Kina, Iran, Japan, Kanada.... Dve zemlje sa najvećom potrošnjom gasa (SAD i Rusija) zajedno su trošile 34,8% ukupne svetske potrošnje gasa u 2014. godini. Deset najvećih izvoznika u svetu bili su: Rusija, Katar, Norveška, Kanada, Turkmenistan, Holandija, Alžir, SAD, Indonezija i Malezija. Prve

<sup>376</sup> Rusan, I., *Razlika u pristupu ekonomskoj procjeni konvencionalnih i nekonvencionalnih ležišta (s naglaskom na nekonvencionalna ležišta)*, naučni rad, INA, „Za konačnu procenu ekonomičnosti, neophodan je istraživački program koji se bazira na tri bušotine, nakon čega je moguće odrediti i optimizirati moguću razradu tih ležišta.“

<sup>377</sup> Vrednosti u tabeli su iskazane u milionima m<sup>3</sup> zemnog gasa. Tabele su sačinjene na osnovu godišnjih izveštaja *World Oil and Gas Review*: 1996, 2001, 2006, 2013, 2014, 2015, ENI.

tri zemlje izvoznice gasa (Rusija, Katar i Norveška) u 2014. godini izvezle su 40,6% od ukupnog svetskog izvoza (Tabela 1.17). Karakteristično je za 2014. godinu da je, zbog uticaja političkih

Tabela 1.17. Deset zemalja najvećih izvoznika gasa u svetu

zemlja	1995.	2005.	2013.
Rusija	183.69	199.68	206.53
Katar	0.00	31.12	128.08
Norveška	29.57	84.64	103.77
Kanada	77.20	104.24	80.87
Holandija	34.74	44.58	57.50
Alžir	38.44	65.71	45.76
Turkmeni.	21.32	44.20	43.59
SAD	4.21	19.91	43.00
Indonezija	37.91	43.28	36.21
Malezija	13.16	26.66	24.67
Top 10	440.25	664.02	779.97
osta. sveta	44.76	186.63	265.35
SVET	485.01	850.65	1,045.33

Autor. Na osnovu većeg broja različitih izveštaja.

Tabela 1.18. Deset zemalja najvećih uvoznika gasa u svetu

zemlja	1995.	2005.	2013.
Japan	61.13	80.86	122.95
Nemačka	65.98	94.10	94.87
SAD	78.46	120.31	79.59
Italija	33.52	71.76	60.54
Velika Bri.	1.80	16.00	56.85
Sev. Koreja	9.85	31.14	51.90
Francuska	33.52	49.64	50.71
Turska	6.76	26.40	49.25
Ukrajina	63.51	60.22	44.46
Španija	8.97	36.08	36.31
Top 10	363.49	580.11	647.42
osta. sveta	121.57	259.26	388.30
SVET	485.06	839.37	1,035.72

Autor. Na osnovu većeg broja različitih izveštaja.

odluka vezanih za svetsko tržište energenata i uvedenih sankcija od starne EU i SAD, pao izvoz gasa iz Rusije sa 207,6 na 184,1 milijardu kubnih metara.<sup>378</sup> Pored ovoga, interesantna je i pojava novih zemalja izvoznica, koje ranije nisu imale značajniju poziciju na svetskom tržištu. U prvom redu reč je o Kataru, koji je do 2000. godine izvezio četrnaest milijardi m<sup>3</sup> gasa, da bi samo deset godina kasnije postao drugi najveći svetski izvoznik sa sto dvadeset šest milijardi m<sup>3</sup>.<sup>379</sup> Takođe, SAD su povećale značajno svoj izvoz sa 6,65 milijardi m<sup>3</sup> (2010) na 41,34 milijarde m<sup>3</sup> (2014).

Tabela 1.19. Dvadeset najvećih kompanija u proizvodnji nafte i gasa u svetu<sup>380</sup>

	Kompanije	proizvo dnja		Kompanije	proizvo dnja
1.	Saudi Aramco (Saudi Arab.)	12.5	11.	ADNOC (UAE)	2.9
2.	Gazprom (Russia)	9.7	12.	Sonatrach (Algeria)	2.7
3.	NIOC (Iran)	6.4	13.	Total (France)	2.6
4.	ExxonMobl Corp (USA)	5.3	14.	Petrbras (Brazil)	2.6
5.	PetroChina (China)	4.4	15.	Rosneft (Russia)	2.3
6.	BP (UK)	4.1	16.	MoO (Iraq)	2.3
7.	Royal Dutch/Shel (NL/UK)	3.9	17.	QP (Qatar)	2.3
8.	Pemex (Mexico)	3.6	18.	Lukoil (Russia)	2.2
9.	Chevron Corp. (USA)	3.5	19.	Eni (Italy)	2.2
10.	KPC (Kuwait)	3.2	20.	Statoil (Norway)	2.1

Autor. Na osnovu većeg broja različitih izveštaja.

Sam porast plasmana gasa na svetskom tržištu beleži konstantan rast od kraja Drugog svetskog rata. Uzrok ovome leži u nekoliko međusobno usko uzročno-poslednično-međuzavisno povezanih činjenica: povećanje tražnje za energentima na svetskom tržištu, a samim tim i za gasom; povećanje cene gasa (tako da se zemlje koje imaju velike količine sirove nafte, ali i gas kao prateći

<sup>378</sup> Iz tog razloga, trenutno kao relevantan parametar odnosa i potencijala zemalja izvoznica zemnog gasa u svetu ne može da se uzmu godine posle 2013. godine. Tako da 2014. i 2015. nisu tabelarno prezentovane.

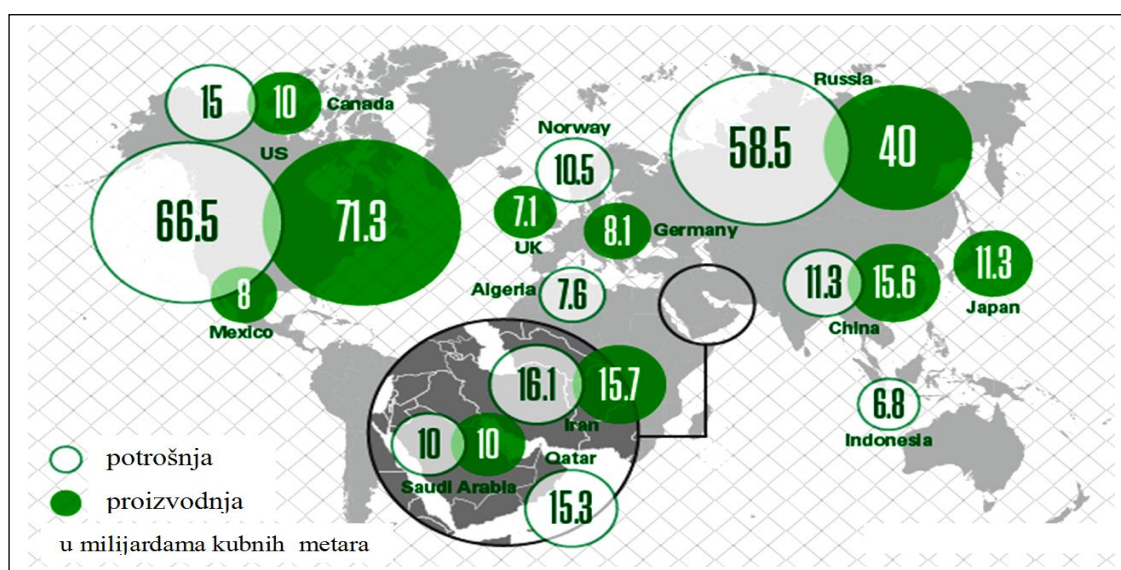
<sup>379</sup> Povećanje izvoza gasa iz Katara bazira se na plasmanu ovog energenta na inostrano tržište u tečnom stanju (LNG).

<sup>380</sup> Za 2012. godinu izraženo u milionima barela dnevno.



elemenat u okviru ležišta nafte, odlučuju za njegovu preradu i plasman na svetsko tržište; u ranijem periodu su prilikom eksploatacije sirove nafte ili njene prerade gas spaljivali ili direktno ispuštali u vazduh) i napredak tehnike i tehnologije u transportu i skladištenju gasa.

Sve one zemlje koje ne mogu iz sopstvene proizvodnje da podmire tražnju za zemnim gasom kao energentom ili da izvrše njegovu supstytuciju na nacionalnom nivo, njegov nedostatak nadoknađuju uvozom iz drugih zemalja (Slika 1.15). Najvećih 10 uvoznika gasa u svetu u 2014. godini bili su: Japan, Nemačka, SAD, Italija, Kina, Severna Koreja, Turska, Francuska i V. Britanija (Tabela 1.18). Interesantno je da se neke zemlje istovremeno javljaju kao uvoznici, ali i kao izvoznici gasa. Reč je o onim zemljama koje najčešće sklapajući ugovore o uvozu gasa za podmirenje sopstvenih potreba uvoze veću količinu gasa od sopstvenih potreba, koji zatim prodaju u manjem procentu drugim zemljama, najčešće u svom neposrednom okruženju. U svetu postoji veći broj velikih kompanija koje se bave proizvodnjom i prodajom nafte i zemnog gasa (Tabela 1.19.).



Slika 1.15. Grafička ilustracija proizvodnje i potrošnje zemnog gasa prema regionima<sup>381</sup>

### 3.4. Karakteristike tržišta zemnog gasa regiona Balkana

#### 3.4.1. Proizvodnja i potrošnja zemnog gasa u zemljama Balkana

Zemlje Balkanskog poluostrva nemaju značajnije rezerve gasa u odnosu na ukupne svetske rezerve ovog energenta. Procenjuje se da su ukupne rezerve 2014. godine prema zemljama bile: u Rumuniji 109, u Hrvatskoj 20, u Srbiji 20, u Mađarskoj 9, u Turskoj 6, u Austriji 10, u Bugarskoj 5, u Albaniji 2, u Grčkoj 1... (milijardi m<sup>3</sup>). Najveću proizvodnju gasa u 2014. godini imali su: Rumunija (10,4), Mađarska (1,74), Hrvatska (1,66), Austrija (1,22)... (Tabela 1.20). Države Bosna i Hercegovina, Makedonija i Slovenija 2014. godine nisu imale sopstvenu proizvodnju zemnog gasa. Svoje ukupne potrebe za gasom zemlje koje nemaju dovoljnu sopstvenu proizvodnju iz domaćih izvora podmiruju uvozom ovog energenta iz inostranstva.<sup>382</sup>

Najveća potrošnja gasa 2014. bila je u: Turskoj (47,58), Rumuniji (13,64), Mađarskoj (11,00), Austriji (7,61), Grčkoj (8,32), Srbiji (2,30), Hrvatskoj (2,28)... (Tabela 1.21). Realno, potreba, potražnja za gasom je znatno veća nego što je potrošnja u zemljama regiona. Veća potrošnja se ne ostvaruje zbog: neposedovanja dovoljnih količina sopstvenog gasa; nemogućnosti nabavke i dopreme iz uvoza potrebnih količina; nedovoljno razvijenih transportnih sistema za dopremu gasa;

<sup>381</sup> Izvor: BP Statistical Review 2014.

<sup>382</sup> Tabele sačinjene na osnovu godišnjih izveštaja prema World Oil and Gas Review 2012, 2013, 2014, 2015. ENI.

nepostojanja dovoljno velikih skladišnih prostora; ... ali i zbog visoke nabavne cene uvoznog gasa. Danas je potrošnja na znatno manjem nivou od realno potencijalne potrebe i mogućnosti za plasman gasa kao energenta.

Tabela 1.20. Proizvodnja gasa u državama regiona Balkana (mili. m<sup>3</sup>)<sup>383</sup>

	zemlja	1995.	2005.	2008.	2014.
1.	Albanija	0.03	0.01	0.01	0,03
2.	Bugarska	0.05	0.46	0.19	0.17
3.	B i H	0	0	0	0
4.	Hrvatska	1.92	2.23	2.62	1.66
5.	Grčka	0.05	0.02	0.02	0.01
6.	Makedo.	0	0	0	0
7.	Rumuni.	17.23	11.57	10.73	10.4
8.	Srbija	0.81	0.27	0.26	0,0
9.	Slovenija	0.02	0	0	0
10.	Crna G.	0	0	0	0
11.	Turska	0.18	0.88	1.00	0.47
12.	Mađar.	4.52	2.78	2.39	1.71
13.	Austrija	1.50	1.68	1.57	1.22

Autor na osnovu godišnjih izveštaja više agencija.

Tabela 1.21. Potrošnja gasa u državama regiona Balkana (mili. m<sup>3</sup>)<sup>384</sup>

	zemlja	1995	2005	2008	2014
1.	Albanija	0.03	0.01	0.01	0.03
2.	Bugarska	5.47	3.34	3.48	2.85
3.	B i H	0.15	0.36	0.0	0.16
4.	Hrvatska	2.31	2.84	3.07	2.28
5.	Grčka	0.05	2.81	4.18	2.96
6.	Makedon	0	0.08	0.12	0.15
7.	Rumunija	22.95	16.61	14.50	11.00
8.	Srbija	1.61	2.32	2.39	2.30
9.	Slovenija	0.84	1.11	1.05	0.83
10	Crna G.	0	0	0	0
11	Turska	6.90	27.18	36.01	47.58
12	Mađarska	10.94	14.42	12.60	8.32
13	Austrija	7.60	9.73	9.11	7.61

Autor na osnovu godišnjih izveštaja više agencija.

Zbog toga što ukupnu potražnju za zemnim gasom ne mogu da zadovolje iz sopstvene proizvodnje, sve zemlje balkanskog tržišnog prostora, koje koriste gas u značajnijem obimu, nedostatak nadoknađuju uvozom iz inostranstva. Procenat pokrivenosti ukupne potrošnje gasom na nivou zemlje iz domaćih izvora različit je za svaku zemlju (Tabela 1.22). Albanija, koja ima pokrivenost u potpunosti<sup>385</sup>, do Bosne i Hercegovine, ali i Slovenije, koje kad imaju potrošnju, celokupnu količinu gasa uvoze. Može se realno smatrati da trenutno, sa aspekta stepena učešća domaćeg gasa u ukupnoj potrošnji, kao energenta, u zadovoljavajućoj poziciji nalaze se Hrvatska (84%) i Rumunija (80%). Uslovno, za zemlje koje su u malo boljem položaju od drugih zemalja balkanskog tržišta energenata mogu se smatrati Mađarska, Austrija i Srbija. Realno, njihova pozicija je nepovoljna zbog izrazito visokog stepena zavisnosti jer svoju ukupnu potrošnju pokrivaju domaćom proizvodnjom u iznosu do oko 20%.

Neophodno je sagledati sveukupnu strukturu gasa sa različitih aspekata. Preko niza pokazatelja (Tabela 1.23), a s ciljem potpunijeg sagledavanja kompleksnosti problematike vezane za ovo pitanje, može se tek uočiti značaj i specifičnosti koje proizlaze, a koje su direktno ili indirektno vezane za nju u većoj ili manjoj meri, ili su u celosti deo nje. Sem sagledavanja ukupne proizvodnje, samoga odnosa sopstvene proizvodnje u odnosu na ukupnu potrošnju, visine izvoza, ekonomskih parametara... potrebno je videti i koji se vidovi transporta koriste trenutno, koja je njihova perspektiva u budućnosti, ali i realne mogućnosti koje se pružaju na ovom stepenu razvoja tehnike i tehnologije u transportu gasa zemljama na širem području tržišta Balkana. Značajno mesto zauzima segment aktivnosti skladištenja gasa, kao bitan činilac snabdevenosti tržišta i energetske nezavisnosti i sigurnosti jedne zemlje.

<sup>383</sup> Potrošnja izražena u milijardama m<sup>3</sup> (x10<sup>9</sup>).

<sup>384</sup> Potrošnja izražena u milijardama m<sup>3</sup> (x10<sup>9</sup>).

<sup>385</sup> Mora da se primeti da ona ima veoma malu količinu potrošnje gasa i celokupnu potrošnju podmiruje iz sopstvene proizvodnje. Ona dosad nije imala mogućnost uvoza gasa iz inostranstva zbog nepovezanosti cevovodom sa drugim zemljama ali i nekorišćenja drugih mogućih vidova transporta prirodnog gasa.

Tabele 1.22. Uvoz gasa i procenat pokrivenost potrošnje domaćim gasom<sup>386</sup>Uvoz gasa u zemlje regiona (milijarde m<sup>3</sup>)

	zemlja	1995.	2000.	2005.	2014.
1.	Albanija	0	0	0	0
2.	Bugars.	5.44	3.27	2.93	2.65
3.	B i H	0.15	0.24	0.36	0.16
4.	Hrvatska	0.27	1.08	1.10	1.07
5.	Grčka	0	2.01	2.78	2.94
6.	Makedo.	0	0.06	0.07	0.15
7.	Rumuni.	5.72	3.23	5.00	0.37
8.	Srbija	0.80	1.08	2.05	1.79
9.	Sloveni.	0.89	0.98	1.10	0.82
10.	C. Gora	0	0	0	0
11.	Turska	6.76	14.37	26.40	48.01
12.	Mađars.	6.60	8.76	11.70	8.87
13.	Austrija	6.46	6.28	9.58	9.97

Autor. Na osnovu godišnjih izveštaja više agencija.

Učešće domaćeg gasa u ukupnoj potrošnji (%)

	zemlja	1995.	2000.	2005.	2014.
1.	Albanija	100	100	100	100
2.	Bugarska	1	0	14	9
3.	B i H	0	0	0	0
4.	Hrvatska	83	61	78	68
5.	Grčka	1	2	1	0
6.	Makedo.	0	0	0	0
7.	Rumuni.	75	80	70	84
8.	Srbija	50	41	12	23
9.	Sloveni.	2	1	0	0
10.	C. Gora	0	0	0	0
11.	Turska	3	4	3	1
12.	Mađarska	41	26	19	19
13.	Austrija	20	24	17	16

Autor. Na osnovu godišnjih izveštaja više agencija

S ciljem da se iznađe što adekvatnije rešenje, potrebno je i neophodno sagledati koji je procenat učešća gasa u ukupnoj energetici jedne zemlje, analizirati koliko će iznositi potencijalna tražnja za njim ali i njegova realna potrošnja u bližoj i daljoj budućnosti. Prilikom sveukupnog sagledavanja i analize gasa kao energenta, značajna je i sama struktura njegove potrošnje po

Tabela 1.23. Godišnja struktura zemnog gasa u zemljama Balkanskog regiona<sup>387</sup>

	zemlja	1.	2.	uvoz cevovod + LNG	izvoz	ukupno skladišta	% u energe tici	3. %
1.	Slovenija	0	0.9	0.9	0	0	10.2	0
2.	Hrvatska	2	3	1.4	0.2	0.6	30.4	66.7
3.	Srbija	0.5	2.4	1.5	0	0	11.8	20.8
4.	Rumunija	10.6	13.6	2.9	0	3.1	31	77.9
5.	Bugarska	0.4	2.7	2.5	0	0.3	13.7	14.8
6.	Turska	0.6	45.3	45.9+7.9	0.6	3	32.3	1.3
7.	Grčka	0	4.4	4.5+1.1	0	0	11.4	0
8.	Mađarska	2.2	10.2	8.2	0.8	4.2	37.5	21.6
9.	Austrija	1.9	9	11.6	3.8	4.2	23.5	21.1
10.	BiH	0	0	0	0	0	0	0
11.	Crna Gora	0	0	0	0	0	0	0
12.	Albanija	0	0	0	0	0	0	0
13.	Makedonija	0	0	0	0	0	0	0

Autor. Prema IEA (International Energy Agency) izveštaju za 2012.

privrednim sektorima određene zemlje. Objektivno, u prvom redu, kod ovog pitanja koje je vezano za strukturu potrošnje, sagledava se procenat učešća njegove potrošnje u: proizvodnji struje i toplote; industriji; za potrebe usluga i za zadovoljavanje individualnih potreba stanovništva. Smatra se da je

<sup>386</sup> Autor, na osnovu godišnjih izveštaja više agencija. Potrošnja izražena u milijardama m<sup>3</sup> (x10<sup>9</sup>).<sup>387</sup> Kolona: 1. proizvodnja, 2. potrošnja, 3. samoodržanje. Potrošnja izražena u milijardama m<sup>3</sup> (x10<sup>9</sup>).

povoljnija struktura potrošnje za privredu jednog društva što je veći procenat učešća u plasmanu zemnog gasa kao enegenta u samoj industriji, za proizvodnju električne energije i toplote<sup>388</sup> u odnosu na potrošnju u drugim sektorima. Kogeneracioni sistemi za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije predstavljaju energetski efikasan i ekološki pogodan način.<sup>389</sup>

Najnepovoljnija okolnost za privredu neke države jeste situacija kad je izraženo visok procenat potrošnje gasa za individualno grejanje domaćinstava u odnosu na druge sektore (Tabela 1.24). Ovo se odnosi naročito za zemlje koje uvoze gas za zadovoljavanje potreba svoga tržišta energenata.

Tabela 1.24. Struktura potrošnje gasa po sektorima u zemljama (u%)

	zemlja	struja i toplotlota	industrija	stano-vništvo	usluge	ostalo
1.	Slovenija	59	21	15	5	0
2.	Hrvatska	35	29	21	5	4
3.	Srbija	43	38	11	5	4
4.	Rumunija	27	35	21	7	10
5.	Bugarska	39	42	2	3	14
6.	Turska	48	22	20	6	4
7.	Grčka	60	24	9	4	3
8.	Mađarska	29	15	32	18	6
9.	Austrija	34	33	15	10	8
10.	Makedonija	59	33	0	0	8

Autor. Prema IEA (International Energy Agency) izveštaju za 2012.

### 3.4.2. Proizvodnja i plasman zemnog gasa u Srbiji

Istraživanja prirodnog gasa na teritoriji Srbije, nakon Drugog svetskog rata, počela su 1949. godine. Sa prvom eksploatacijom i proizvodnjom gasa za tržište početo je 1952. godine, na teritoriji Vojvodine, u mestu Velika Greda (opština Plandište) udaljenom oko 35 km od Vršca.<sup>390</sup> Proizvodnja gasa iz domaćih ležišta, na teritoriji Srbije, dostigla je i ostvarila svoj maksimum 1979. godine. Te godine ukupno je isporučeno tržištu 1,14 milijardi kubnih metara domaćeg gasa. U Srbiji postoji samo jedna kompanija koja se bavi istraživanjem i proizvodnjom zemnog gasa, to je Naftna industrija Srbije u čijem se sastavu nalazi i Rafinerija gasa u Elemiru koja je namenjena pripremi domaćeg gasa za transport, proizvodnji TNG i benzina.

Proizvodnja zemnog gasa u Srbiji bila je: 1975. godine 897 miliona m<sup>3</sup> (762.000 ten); 1980. godine 908 miliona m<sup>3</sup> (771.000 ten); 1985. godine 1031 milion m<sup>3</sup> (876.000 ten); 1990. godine 656 miliona m<sup>3</sup> (557.000 ten). Nakon tog perioda, količina gasa koji se eksploatiše iz domaćih ležišta prirodnog gasa i nafte ima pad. Poslednjih godina eksploatacija gasa iz domaćih bušotina kreće se u iznosu oko dvesta miliona kubnih metara.<sup>391</sup>

<sup>388</sup> U prvom redu reč je o kogeneracionim sistemima. To su savremena postrojenja za istovremenu proizvodnju električne energije i toplote za daljinsko kolektivno grejanje gradova. U nekim ovakvim postrojenjima tehnički postoje i sistemi za proizvodnju tople vode kojom se obezbeđuju kolektivno veliki broj potrošača. Manje ekonomski povoljna su rešenja u kojima se gas koristi samo u toplanama za daljinsko grejanje, ali mnogo efikasnije i ekonomičnije nego potrošnja prirodnog gasa za grejanje pojedinačno individualnih domaćinstava.

<sup>389</sup> Opširnije o postrojenjima za kogeneraciju videti u radovima: 1. Kostić, D., „Kogeneracija – opravdani način korišćenja gasa u energetskim postrojenjima“, zbornik radova *Gas*, 1996; 2. Živković, M., „Ekološko-ekonomski efekti primene kogeneracionih postrojenja sa prirodnim gasom“, časopis *Gas* IX, 2004; 3. Đajić, N., „Kogeneracija električne i toplotne energije – šansa za racionalnije korišćenje prirodnog gasa u Srbiji“, časopis *Gas* IX, 2004...

<sup>390</sup> U neposrednoj blizini mesta Jermenovci 1952. godine početa je eksploatacija nafte.

<sup>391</sup> Povećanje proizvodnje, koje je zabeleženo za vreme ekonomskih sankcija, nije proizašlo iz otkrivanja novih ležišta i njihovom eksploatacijom, već povećanom prinudnom eksploatacijom iz postojećih ležišta (gasnih kapa i Banatskog

Potrošnja gasa 1990. godine u Srbiji se podmirivala iz domaćih ležišta u iznosu od 21,8%, 1995. godine sa 47,8% a 2000. godine sa 36,7 % (Tabela 1.25). Količina gasa koja je neophodna, a ne može se podmiriti iz sopstvenih izvora, uvozi se iz Rusije. Proizvođač ovoga gasa jeste *Gazprom*, koji energent isporučuje cevovodom preko Ukrajine i Mađarske. Gas u Srbiju ulazi kod Horgoša.

Tabela 1.25. Potrošnja i proizvodnja zemnog gasa 1990–2000. godine ( $10^9 \text{ m}^3$ )

godina	1990.	1995.	2000.
potrošnja prirodnog gasa	2.742	1.558	1.750
domaća proizvodnja	0.606	0.745	0.643
uvozni gas	2.134	0.813	1.107
tranzit	0.597	0.179	0.267
proizvodnja TNG (tone)	28.825	30.308	36.170
potrošnja TNG (tone)	116.458	19.338	24.564

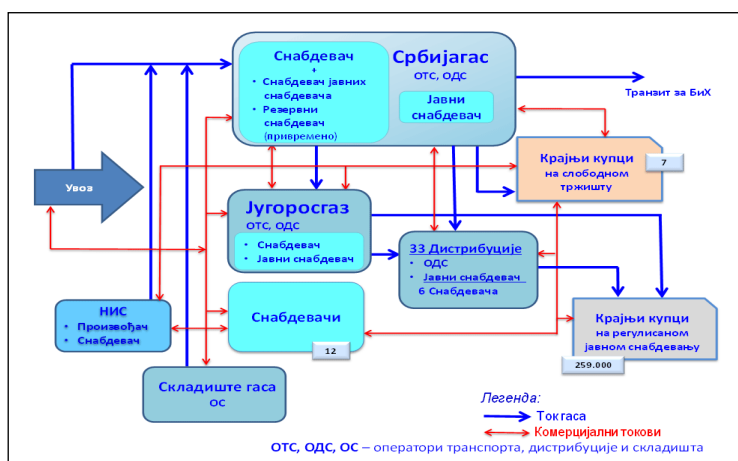
Autor. Na osnovu više godišnjih izveštaja.

Odnos između proizvodnje domaćeg gasa i uvoznog (Slika 1.16), odnosno pokrivenost ukupne potrošnje gasa u zemlji 2004. godine, bila je 12%. Ukupna potrošnja te godine je bila 2499,8 miliona  $\text{m}^3$  gasa u kome je učešće domaćeg gasa bilo 236,3  $\text{m}^3$  a uvoznog gasa iz Rusije 2263,5  $\text{m}^3$ . Potrošnja gasa 2007. godine u Srbiji je bila 2354,8  $\text{m}^3$ . Domaća proizvodnja je iznosila 186,4  $\text{m}^3$ , a uvoz za sopstvene potrebe je bio 2301  $\text{m}^3$ . Potrebno je napomenuti da je Srbija istovremeno vršila i

Tabela 1.26. Potrošnja zemnog gasa po sektorima ( $10^6 \text{ m}^3$ )<sup>393</sup>

potrošnja	2004.	2007.
električna energija	66.32	136.0
daljinsko grejanja	448.76	418.0
industrija	1326.45	1224.8
škولство i zdravstvo	32.23	35.0
široka potrošnja	347.53	381.0
proizvodnja hrane	153.98	115.0
proizvodnja hrane	13.76	13.0
proizvodnja lekova	105.34	27.0
sop. potrošnja i gu.	4.63	5.0
ukupno	2499.8	2354.8

Slika 1.16. Dijagram snabevanja tržišta gasom Srbije<sup>392</sup>



tranzit gasa iz Rusije za Bosnu i Hercegovinu u iznosu oko trista dvadeset miliona  $\text{m}^3$  na godišnjem nivou. Sama analiza strukture potrošnje gasa, u vremenskom intervalu od 2004. do 2007. godine u Srbiji, posmatrano po sektorima, pokazuje da je njegova najveća upotreba bila u industriji ( $1224,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ ), za daljinsko grejanje ( $418,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) i za široku potrošnju ( $381 \times 10^6 \text{ m}^3$ ).

Detaljno sagledavanje sektora i područja gasa jedne zemlje može se ostvariti potpunom analizom njenog godišnjeg bilansa u toj oblasti (Tabela 1.26). Prema energetsom bilansu, Srbija je 2010. godine imala na raspolaganju 2.327.593  $\text{m}^3$  gasa.<sup>394</sup> Ova ukupna količina raspoloživog gasa, prema svom poreklu, potiče iz primarne proizvodnje 387.183  $\text{m}^3$  i iz uvoza od 1.967.753  $\text{m}^3$  (koja je umanjena za saldo zaliha  $-27.343 \text{ m}^3$ ). Potrošnja ukupne raspoložive količine gasa raspoređena je po segmentima: proizvodnja energije 801.930  $\text{m}^3$ , sopstvena potrošnja 60.274  $\text{m}^3$ , finalna potrošnja

Dvora). Sankcije koje su uvedene Srbiji od strane UN, koje su između ostalog i zabranjivale uvoz energenata iz inostranstva, dovele su da je bilo neophodno maksimalno iskorišćavanje svih domaćih energetskih izvora.

<sup>392</sup> Izvor: Agencije za energetiku SR Srbije. Blok dijagram snabevanja tržišta Srbije zemnim gasom (komercijalni i fizički tok gasa).

<sup>393</sup> Autor. Na osnovu više godišnjih izveštaja.

<sup>394</sup> Izraženo u 000  $\text{m}^3$

1.444.446 m<sup>3</sup> i ostvareni gubitak od 20.943 m<sup>3</sup>. Analiza bilansa gasa omogućuje sagledavanje strukture svakog bilansnog segmenta posebno (Tabela 1.27). Istovremeno, u okviru svakog bilansnog segmenta, moguća je i sveobuhvatna analiza svakog detalja u njegovoj strukturi posebno. Još detaljnija analiza pruža mogućnost pojedinačnog uvida u svaki detalj bilansnog segmenta.

Tabela 1.27. Godišnji bilans zemnog gasa Srbije (000 m<sup>3</sup>)

Raspoloživa energija			
primarna proizvodnja		387.183	
uvoz		1.967.753	
zaliha		-27.343	
		2.327.593	
proizvodnja energije	sopstvena potrošnja	ostvareni gubitak	finalna potrošnja
-termoelekt.-toplane 95173	-ekstrakcija 42610	-gubitak 20943	-industrija 791684
-indusr. energane 203910	-rafinerije 17664		-saobraćaj 12623
-toplane 502847			-domaćinstvo 202681
			-poljoprivreda 18330
			-ostali potrošači 147693
801930	60274	20943	1444446

Autor. Na osnovu godišnjeg Energetskog izveštaja SR Srbije.<sup>395</sup>

Danas u Srbiji jedino produktivno naftno-gasno područje jeste Panonski basen. Otkriveno je preko 90 nalazišta sa oko 270 ležišta. Trenutno se proizvodi na 43 polja. Najznačajnija naftno-gasna polja jesu: Velebit, Kikinda, Mokrin, Kikinda varoš. Na teritoriji Srbije nalazi se još preko 30 malih polja, sa površinom manjom od 5 km<sup>2</sup>, na kojima je moguća eksploatacija.<sup>396</sup>

U Srbiji se godišnje trenutno troši 2–2,4 milijarde m<sup>3</sup> zemnog gasa (Tabela 1.28).<sup>397</sup> Glavni snabdevač zemnim gasom u državi Srbiji jeste JP *Srbijagas*. Nedostajuće količine gasa, u najvećem delu, uvoze se iz Rusije. Transportni gasovodni sistem je u najvećem delu u vlasništvu JP *Srbijagas*, sem gasovoda MG-9 Pojate-Niš, koji je u vlasništvu *Jugorogaza*. Ukupni gasovodni sistem visokog pritiska (16–50 bara) je u dužini većoj od 2300 kilometara, sa adekvatnim daljinskim nadzorom. Postoji jedan krak magistralnog gasovoda – tranzitni gasovod za BiH. Gasovod srednjeg pritiska (6–16 bar) u dužini od 700 km. Gasovod niskog pritiska (< 6 bar) – 7000 km.

Tabela 1.28. Proizvodnja, uvoz i potrošnja gasa 2008–2014. godine (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)<sup>398</sup>

	2008.	2010.	2012.	2014.
proizvodnja	230	356	510	550
uvoz	2400	2000	1700	1790
ukupna potrošnja	2610	2356	2210	2340

Autor. Na osnovu više godišnjih izveštaja.

Gasovodne mreže srednje i lokalne distributivne mreže niskog pritiska u vlasništvu su JP *Srbijagas*, *Jugorogaza* i 34 lokalna distributera. Transport zemnog gasa za potrebe Republike Srbije obavljaju JP *Srbijagas*, *Jugorogaz-transport*. Srbija raspolaže jednim podzemnim skladištem zemnog gasa u Banatskom dvoru, radnog kapaciteta četiristo pedeset miliona m<sup>3</sup>. Broj korisnika na mreži niskog pritiska je iznad 90.000 potrošača.

<sup>395</sup> Zbirni energetski bilans Republike Srbije za 2010. Količina i odnos su i u 2015. godini slični.

<sup>396</sup> Prema: Kostić, A., *Geologija fosilnih goriva*, predavanja, Rudarsko-geološki fakultet u Beogradu, Beograd, 2013.

<sup>397</sup> U zimskom periodu, u hladnim danima, isporučuje se u Srbiji oko dvanaest miliona m<sup>3</sup> prirodnog gasa.

<sup>398</sup> Potrošnja je izražena u milionima m<sup>3</sup> (x10<sup>6</sup>).

### 3.5. Karakteristike tržišta tehničkih (industrijskih) gasova

Osobine, fizičko-hemijske karakteristike, primena i specifičnosti pojedinačno svakog tehničkog (industrijskog) gasa uslovljavaju i iziskuju sveobuhvatno detaljno pojedinačno sagledavanje velikog broja različitih parametara i pokazatelja. Ovi gasovi imaju konstantan rast primene i potrošnje, a u znatnoj meri direktno ili indirektno, obim njihove potrošnje realno pokazuje i oslikava u potpunosti ekonomsko stanje i dostignuti privredni stepen jedne države, regiona ili privrednog sektora.<sup>399</sup> Ovo proizlazi iz činjenice da oni predstavljaju nezamenjivu komponentu u velikom broju oblasti poslovanja: u svim oblastima i granama industrije, tehnike, poljoprivrede, medicine, nauke, građevinarstva... Potpuno, precizno, detaljno i sveobuhvatno prezentovanje na jednom mestu svih segmenta primene i upotrebe industrijskih gasova je kompleksno.<sup>400</sup>

U praksi se može susresti različito klasifikovanje tehničkih gasova. Uslovno, sa aspekta analize, grupisanje tehničkih (industrijskih) gasova može se sprovesti prema oblastima njihove primene na: baznu industriju, laku industriju, metaloprerađivačku industriju, prehrambenu industriju, petrohemiju, nauku, zdravstvo.<sup>401</sup> Preciznije i detaljnije njihovo sagledavanje obuhvata analizu sa aspekta svih oblasti i segmenata njihove primene, ali i analizu svakog industrijskog gasa pojedinačno.<sup>402</sup>

U nastojanju sveukupne precizne prezentacije, koja obuhvata sagledavanje i analizu industrijskih gasova, potrebno je proizvođače industrijskih (tehničkih) gasova posmatrati sa aspekta proizvodnje gasova i njihove namene plasmanu na tržištu. Posmatrano sa ovog aspekta, klasifikovanje možemo izvršiti u četiri grupe<sup>403</sup>: 1. preduzeća koja imaju kao nusproizvod tehničke gasove u sklopu svog proizvodnog procesa (ne koriste i nepovratno ispuštaju u atmosferu); 2. preduzeća proizvođači gasova koja proizvode gasove samo za sopstvene potrebe u sklopu svojih proizvodnih pogona; 3. preduzeća koja povremeno višak industrijskih gasova iz sopstvenih proizvodnih pogona za sopstvene potrebe plasiraju na tržište; 3. preduzeća proizvođači tehničkih gasova koja proizvode gasove i celokupnu svoju proizvodnju plasiraju na tržište.

Sa aspekta analize i detaljnog sagledavanja tržišta tehničkih gasova, a radi što preciznije prognoze i predviđanja njihove potrošnje u budućnosti, neophodno je pogledati i analizirati zbivanja na tržištu u prošlosti. Potrebno je kroz vremenski period uočiti neke specifičnosti, odnose i trendove koji su vladali u neposrednoj vremenskoj blizini na svetskom ali i na lokalnom tržištu proizvođača industrijskih gasova. Fokus sagledavanja i analize treba da je usmeren na ona preduzeća čija je proizvodnja u potpunosti namenjena tržištu, a ona su istovremeno imala značajnu ulogu i poziciju na svetskom nivou u trgovini industrijskim gasovima. Potrebno je i neophodno istovremeno uočiti i sam direktan i indirektan uticaj tih zbivanja na regionalno i lokalno tržište. Ovo podrazumeva i zahteva detaljno sagledavanje posredne i neposredne refleksije tih odnosa sa globalnog tržišta industrijskih gasova na lokalni i nacionalni nivo.

U svetu, početkom devedesetih godina dvadesetog veka, značajne karakteristike proizvodnje tehničkih gasova namenjenih tržištu bile su<sup>404</sup>: 1. proizvodnja gasova je esencijalna služba drugim

<sup>399</sup> Prezentacija na osnovu: Radiš, D., *Sistem marketing logistike u proizvodnji i distribuciji tehničkih gasova*, magistarski rad, Ekonomski fakultet u Beogradu, 1999, str. 20–25.

<sup>400</sup> Sveobuhvatnije, preciznije i konkretnije prezentovanje primene gasova u svim oblastima zahteva posebnu analizu i prezentaciju u okviru teme koja sagledava industrijski gas kao proizvod u funkciji instrumenta marketing miksa proizvođača industrijskih tehnički gasova.

<sup>401</sup> Klasifikovanje primene industrijskih gasova je prema marketing konceptu AIR Produkta (USA), proizvođaču i distributeru industrijskih (tehničkih) gasova, koji se često susreće u literaturi, stručnoj literaturi i naučnim radovima.

<sup>402</sup> Može se pogledati u: *The Global Industrial Gas Business* 2013, BCC Research, USA.

<sup>403</sup> Radiš, D., *Sistem marketing logistike u proizvodnji i distribuciji tehničkih gasova*, magistarski rad, Ekonomski fakultet u Beogradu, 1999, str. 21.

<sup>404</sup> Raguet, J., „Globalna industrija trgovinom gasovima“, rad je prezentovan na 18. nacionalnom seminaru o industrijskim gasovima, 1996. godine, u Aurangabadu.

oblastima; 2. posao sa gasovima je lokalni posao, kompanije za proizvodnju gasova su fokusirane i strukturirane regionalno i globalno; 3. takmičenje među kompanijama je u povećanju, kako regionalno tako i globalno; 4. investitori vrše veći pritisak na javne kompanije; 5. opšti rast poslova (povećanje proizvodnje). I danas, ta su obeležja u znatnoj meri i dalje izražena, aktuelna i karakteristična za proizvođače industrijskih gasova u svetu, ali su značajno i pod uticajem novih svetskih globalnih ali i lokalnih nacionalnih ekonomskih i privrednih tendencija.

Ukupni globalni uslovi poslovanja koji su vladali krajem dvadesetog veka i u prvoj deceniji dvadeset prvog veka odrazili su se i manifestovali i na kompanije u ovoj oblasti. Danas je na svetskom tržištu manji broj velikih internacionalnih kompanija koje se bave industrijskim gasom. Njihova međusobna saradnja je sada prikriivena, ali izražena i konkretna. Plasman gasa je u direktnoj zavisnosti od poslovanja i privređivanja kupaca, od stanja u datoj oblasti, od ekonomske i privredne situacije u konkretnoj državi i regionu, od situacije na tržištu određene države, od prisutnosti i tržišne snage konkurencije od strane velikih svetskih proizvođača gasa ali i lokalnih kompanija.

### 3.5.1. Proizvodnja i plasman tehničkog gasa u svetu

Danas u svetu postoji veliki broj kompanija koje posluju u oblasti industrijskih gasova, ali samo njih nekoliko ima dominantnu tržišnu poziciju u svetskim razmerama. Reč je o velikim svetskim multinacionalnim kompanijama koje su vodeće u proizvodnji industrijskih gasova i u ovoj oblasti poslovanja one se nalaze od pedeset do sto trideset godina. Među njima su najistaknutije: *L'AIR Liquide*, *Praxxair*, *Air Products*, *Linde*, *Nippon Sanso*, *Messer*... Kompanija *L'AIR Liquide* iz Francuske osnovana je 1902. godine.<sup>405</sup> Američka firma *Praxxair* (Njujork, sedište u Danbry) osnovana je 1907. godine, posluje u preko 50 zemalja.<sup>406</sup> Preduzeće *AIR Products* osnovano je 1949. godine u SAD (Detroit, Minesota).<sup>407</sup> Nemačka kompanija *Linde* (Minhen) posluje od 1879. godine.<sup>408</sup> Kompanija iz Japana *Taiyo Nippon Samsu* osnovana je 1927. godine. Nemačka kompanija *Messer* (Frankfurt na Majni) osnovana je 1898. godine kao porodična firma.<sup>409</sup> Američko preduzeće *AIR gas* (Radnor Township, Pensilvanija) osnovano je 1982. godine.<sup>410</sup>

Neke od ovih kompanija posluju samo u oblasti gasarstva, dok druge imaju proširen delokrug svog poslovanja i izvan ove delatnosti. One sve zajedno drže oko 80% ukupnog svetskog tržišta industrijskog gasa. Uticaj svetskih ekonomskih tokova i procesi globalizacije na kraju dvadesetog i početkom dvadeset prvog veka imali su uticaj i u ovoj oblasti poslovanja. Došlo je do smanjenja procenta tržišnog učešća nekih kompanija u ukupnom svetskom prometu ili do njihovog delimičnog ili potpunog potiskivanja. Neke kompanije su preuzete od strane drugih velikih korporacija. Sveukupno sagledavanje i kretanje na svetskom tržištu industrijskih gasova može se posmatrati i analizom pojedinačnog učešća vodećih kompanija na njemu u poslednje dve decenije.

Početkom devedesetih godina na svetskom tržištu bilo je devet velikih internacionalnih kompanija koje su pokrivalo preko 70% svetskog tržišta, a one su realizovale 80% ukupnog prometa. Finansijski posmatrano, ukupni svetski promet industrijskih gasova 1994. godine iznosio je oko dvadeset četiri milijarde američkih dolara (USA \$). Procentualno učešće kompanija u svetskom prometu te godine bilo je: *L'air Liquide* 18,6%; BOC 16,3%; *Praxair* 9,9%; *Air Products* 8,3%;

<sup>405</sup> *L'AIR Liquide*, sedište u Parizu, imala je 2011. prihod od 14,457 milijardi \$ a ostvareni profit 1,535 milijardi \$.

<sup>406</sup> *Praxxair* ima prijavljeno preko 4000 patenata. Ostvarila prihod 2011. godine 11,2 milijarde \$.

<sup>407</sup> Zabeležila prihod 2011. godine 9,612 milijardi \$.

<sup>408</sup> Ona je 2011. godine imala prihod od 15,280 milijardi \$ i ostvareni prihod od 1,324 milijarde \$. Kompanija pored oblasti industrijskog gasa posluje još u nizu sektora, proizvode: viljuškare, frižidere...

<sup>409</sup> Ona je i danas porodična kompanija porodice Messer i kao takva jedna od najvećih porodičnih kompanija u svetu. Svoje celokupno poslovanje obavlja u gasarskoj oblasti industrijskih gasova. Godine 2011. imala je prihod od 5,251 milijarde \$. Trenutno sedište se nalazi u Bad Soden am Taunus.

<sup>410</sup> Ona je najmlađa među velikim svetskim kompanijama koja je imala prihod od 4,746 milijardi \$.



AGA 6,9%; Messer 5,9%; Linde 5,8%; Nippon Sanson 5,3%; Liquid Carbonic 3,3%; sve ostale kompanije imale su zajedno 20% učešća u ukupnoj svetskoj trgovini.

Ukupan plasman tehničkih gasova u svetu na početku XXI veka beleži rast na godišnjem nivou od 2,3% (Tabela 1.29). Ukupan finansijski promet 2000. godine je iznosio više od trideset tri milijarde dolara (33,737 USA\$), a 2003. godine on je dostigao nivo od 36,137 milijardi dolara. Najveća prodaja je ostvarena u oblasti primene industrijskih gasova u segmentu hemijske prerade, farmaceutske i srodnih oblasti u iznosu od 8,650 milijardi \$ (Tabela 1.29).

Tabela 1.29. Tražnja za tehničkim gasovima u svetu prema tržišnim segmentima<sup>411</sup>

tržište	2000.	2001.	2002.	2003.
hemijska prerada, gasifikacija i farmacija i srodne oblasti	9,152	10,049	10,227	8,650
metalska proizvodnja	7,347	7,7410	8,280	7,276
elektronika i električna proizvodnja	3,092	2,881	3,038	3,380
ostalo	14,146	14,297	13,742	16,831
ukupno	33,737	34,637	35,337	36,137

Izvor. Izveštaj „C-237 The World Industrial Gas Business“ *Business Communications Company*, 2003.

Plasman industrijskih gasova u svetu, finansijski procentualno posmatrano, prema kategoriji svoga porekla proizvodnje u 2002. godini su činili atmosferski gasovi u iznosu od 62%, dok je učešće neatmosferskih gasova bilo 38%. Pojedinačno posmatrano, prema vrsti gasa u ukupnom svetskom finansijskom plasmanu, učešće pojedinačno atmosferskih gasova bilo je: kiseonika 29%, azota 21% i argona 12%. Udeo neatmosferskih gasova iznosio je procentualno posmatrano: 9% ugljen-dioksida, 8% acetilena, 5% vodonika, 8% specijalnih gasova i svih ostalih gasova 8%.

Tabela 1.30. Učešće najvećih kompanija na svetskom tržištu (milijarde \$)<sup>412</sup>

	Air Liquide	BOC Group	Praxair	Air Products	Linde	Nippon Sanso	Messer	ostali
Globalna prodaja	6,4	4,6	4,55	3,9	3,6	1,8	1,6	9,1
Tržišno učešće %	18,0	13,0	12,7	11,0	10,1	5,1	4,5	25,6
Kapitalni izdaci/prodaja	9,2	9,3	10,6	12,4	11,3	6,7	8,0	n. p.

Izvor. Izveštaj „C-237 The World Industrial Gas Business“ *Business Communications Company*, 2003.

Sedam najvećih svetskih multinacionalnih kompanija 2003. godine imalo je pojedinačno učešće u ukupnoj prodaji tehničkih (industrijskih) gasova od 18,0–4,5%. Najveće tržišno učešće zabeležile su multinacionalne kompanije: *Air Liquide* (18,0%), *BOC Group* (13,0%) i *Praxair* (12,7%) (Tabela 1.30). Istovremeno, i pored toga što sve one posluju u celom svetu, njihova tržišna zastupljenost i plasman njihovih proizvoda nije bio isti u svim regionima sveta. Plasman gasa su ostvarivale ujednačeno putem: cevovoda, tečnosti i boca.

Posmatrano sa aspekta godišnje trgovine gasova prema regionima, najveći promet je bio ostvaren u Severnoj Americi koji se kretao u iznosu 11,7–11,5 milijardi \$ u periodu 2000–2003. godine. Istovremeno, u istom posmatranom period, prodaja tehničkih gasova u Evropi je bila 10,1–10,8 milijardi a u regionu Azije 6,7–7,2 milijarde \$ (Tabela 1.31).

<sup>411</sup> U milijardama dolara (USA\$).

<sup>412</sup> Tabele vezane za svetsku proizvodnju tehnički gasova prema izveštaju „C-237 The World Industrial Gas Business“ *Business Communications Company* u 2003. godini.

Tabela 1.31. Sopstveno učešće kompanija na tržištima regiona 2003. (%)

kompanija	Evropa	Ameri.	Azija/ost. s
Air Liquide	52	33	15
BOC Group	24	33	43
Praxxair	10	74	4
Air Products	25	70	5
Linde	66	33	1
Nippon Sanso	0	20	80
Messer	71	25	4

Autor. Na osnovu više izvora.

Tabela 1.32. Prodaja gasa kompanija u zavisnosti od transporta 2003.(%)

	cevovod	tečnost	boce
Air Liquide	30	32	38
BOC Group	16	28	56
Linde	18	25	44
Messer	17	37	46
Praxxair	24	30	32
Air Products	30	38	16

Autor. Na osnovu više izvora.

Finansijski posmatrano, sa aspekta pojedinačnog učešća svakog tehničkog gasa u trgovini na svetkom tržištu, 2003. godine je iznosila: azota 6,3; kiseonika 10,3; vodonika 1,8; argona 3,6; ugljen-dioksida 3,2; acetilena 2,4; helijuma 1,4; utečnjelog naftnog gasa 0,4;<sup>413</sup> specijalnih industrijskih gasova 3,2; retkih gasova (kripton, ksenon i neon) 1,7 i ostalih gasova 1,3, izraženo u milijardama dolara. Ukupna trgovina tehničkih gasova u posmatranoj godini bila je 36,13 milijardi dolara u celome svetu. Sveobuhvatna analiza primene tehničkih gasova obuhvata i sagledavanje svakog gasa pojedinačno prema oblastima njegove primene i kompanijama (Tabele: 1.32–1.34). Ovakva komparativna analiza pruža detaljan uvid učešća svakog pojedinačnog gasa u posmatranim oblastima njegove primene.<sup>414</sup>

Tabela 1.33. Svetska prodaja gasova posmatrano prema regionima (milijarde \$)

region	2000.	2001.	2002.	2003.
Severna Amerika	10,786	11,450	11,311	11,553
Zapadna Evropa	10,095	10,337	10,585	10,813
Istočna Evropa	1,381	1,445	1,445	1,479
Azija	6,730	7,057	7,057	7,209
Centralna i Južna Amerika	3,366	3,529	3,529	3,605
Afrika i Bliski istok	1,379	1,410	1,410	1,478
Ukupno	33,737	34,637	35,337	36,137

Izvor: Maggie Y. M. Lee, *Introduces Market Statistics on Major Gas Supplier, Gases & Instrumentation*, 2012.

Procentualno učešće kompanija na svetskom tržištu tehničkih gasova 2008. godine je bilo izmenjeno. Kompanija *L'Air Liquide* je imala vodeću poziciju sa 21% svetskog tržišta, dok je istovremeno kompanija *Linde*<sup>415</sup> imala 20% udela na njemu. Istovremeno, udeo kompanije *Praxxair* je bio 14%, *Air Products* 13%; *Nippon Sanso* 5%; *Airgas* 4%; *Messer* 1%. Sve ostale kompanije imale su zajedno učešće na svetskom tržištu od 22%.

Poslovanje najvećih svetskih kompanija u periodu 2007–2010. godine može se detaljnije sagledati komparativnom analizom poslovanja putem konsolidovanog prihoda<sup>416</sup> u kome se vidi da su samo dve kompanije (*Air Liquide* i *Linde*) imale veći prihod od petnaest milijardi dolara. Ove dve kompanije sa sedištem u Evropi bile su vodeće u plasmanu gasa, dok je preostalih pet najvećih kompanija imalo manji promet od jedanaest milijardi dolara. Kompanija *Air Liquide*, sa sedištem u

<sup>413</sup> Ovaj iznos se odnosi na prodaju tečnog naftnog gasa koji je plasiran kroz distributivnu mrežu proizvođača tehničkog gasa na svetskom nivou u 2003.

<sup>414</sup> U zavisnosti od gasa, sagledava se njegova pojedinačna primena u: hemiji, metalnom kompleksu, hrani, elektronici, pertohemiji, proizvodnji stakla, medicini, proizvodnji papira, preradi nafte, zavarivanju, laboratorijama...

<sup>415</sup> Kompanija je imala najveće svoje tržišno učešće na svetskom tržištu nakon preuzimanja 2006. godine kompanije BOC u svoje vlasništvo.

<sup>416</sup> Maggie Y. M. Lee, „Introduces Market Statistics on Major Gas Supplier“, *Gases & Instrumentation*, 2012.

Parizu, plasirala je preko 80% tehničkih gasova iz svog proizvodnog programa na tržište izvan granica Francuske.

Tabela 1.34. Potrošnja industrijskog gasa u svetu prema sektorima (milijarde \$)

Oblast	2000.	2001.	2002.	2003.
Hemija	9,152	10,049	10,277	8,6
Metal	7,347	7,41	8,28	7,276
Elektronika	3,092	2,881	3,038	3,38
Medicina	2,241	2,189	2,382	2,641
Hrana	1,608	1,68	2,058	1,827
Papir	0,222	0,328	0,327	0,332
ostalo	10,075	10,1	8,975	12,031
ukupno	33,737	34,637	35,337	36,137

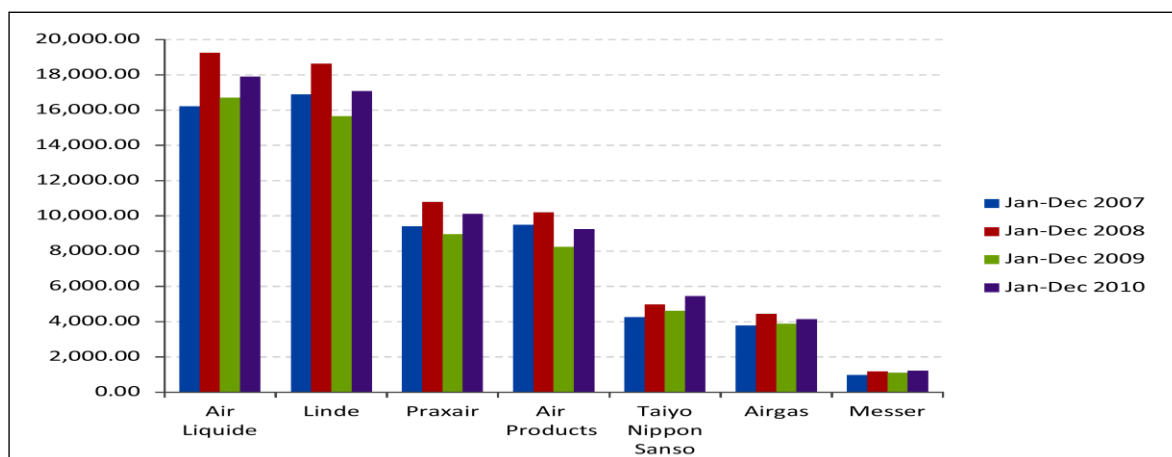
Autor. Više izvora.

Tabela 1.35. Investicije vodećih svetskih kompanija (u milionima \$)

kompanije	2000.	2001.	2002.
Air Liquide	1300,0	1200,0	1300,0
Praxxair	65,0	66,0	66,0
Air Products	124,4	125,2	120,0
BOC	94,7	95,5	75,2
Airgas	73,0	63,3	64,6
Messer	322,0	79,0	49,0
ostali	2100,0	2400,0	2500,0
ukupno	4079,1	4029,0	4174,8

Autor. Više izvora.

Potpunija slika sveukupnog poslovanja vodećih kompanija može se uočiti analizom poslovne operativne margine (Slika 1.18). Poslovna operativna margina je poslovna dobit (poslovni prihod, minus troškovi prodane robe, opšti i administrativni troškovi, troškovi prodaje, troškovi istraživanja i razvoja, amortizacija i ostali troškovi) podeljena sa prodajom. Ona pokazuje koliko preuzeće dobro upravlja troškovima. Veća margina nudi kompaniji više fleksibilnosti u otežanim uslovima poslovanja.



Slika 1.17. Konsolidovani promet najvećih kompanija (u milionima \$)<sup>417</sup>

Ukupan promet gasova u svetu 2011. godine bio je 60,3 milijarde dolara. Kompanija *L'Air Liquide* imala je vodeću poziciju sa prihodom od 16,7 milijardi dolara, dok je istovremeno kompanija *Linde* imala promet od 14,8 milijardi u oblasti industrijskih gasova. Istovremeno, kompanija *Praxxair* je zabeležila promet od 10,6, *Air Products* 7,6, *Nippon Sanso* 3,6, *Airgas* 3,1, *Messer* 1,1. Sve ostale kompanije imale su zajedno učešće na svetskom tržištu tehničkih gasova od 2,8 milijardi dolara.

Globalno svetsko tržište industrijskih gasova, godinu dana kasnije, 2012. godine, iznosilo je 62,1 milijardu dolara. Pored samog porasta proizvodnje i plasmana u iznosu od 1,8 milijardi dolara, u 2012. godini zabeležen je istovremeno i porast u svim sektorima plasmana gasa. Potrošnja industrijskih gasova, posmatrano prema sektorima, bila je najveća u hemijskoj oblasti u visini od

<sup>417</sup> Izvor, podaci i ilustracije na osnovu rada: Maggie Y. M. Lee, „Introduces Market Statistics on Major Gas Supplier“, *Gases & Instrumentation*, 2012.

25,2 milijarde dolara. U drugim sektorima, plasman je bio u: metalno-prerađivačkom 16,6; medicini 9,5; hrani 4,9; elektronicima 3,3; preradi papira 0,6, a ostatak od 2,0 milijarde u svim drugim sektorima.<sup>418</sup> Posmatrano prema regionima, plasman industrijskih gasova je bio: u Evropi 20,37 milijardi \$; u Severnoj Americi 19,50; u Aziji i Pacifiku 13,53 i u ostatku sveta 8,7 milijardi dolara.

Slika 1.18. Poslovna operativna margina najvećih proizvođača tehnički gasova

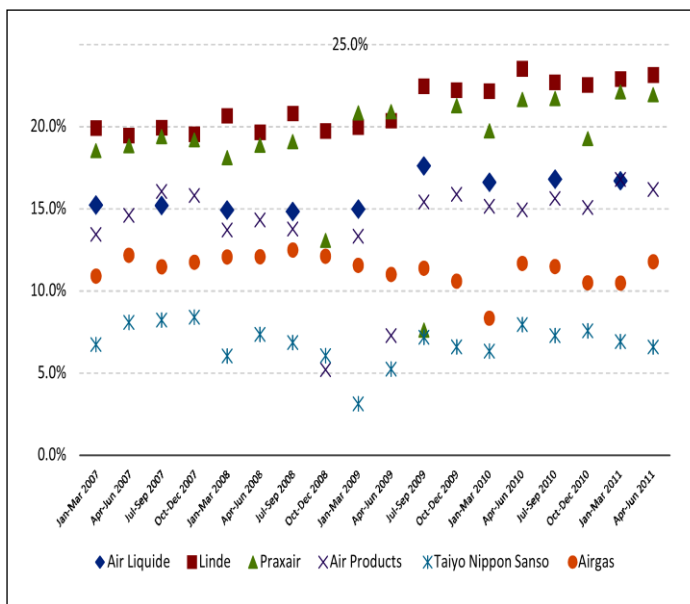
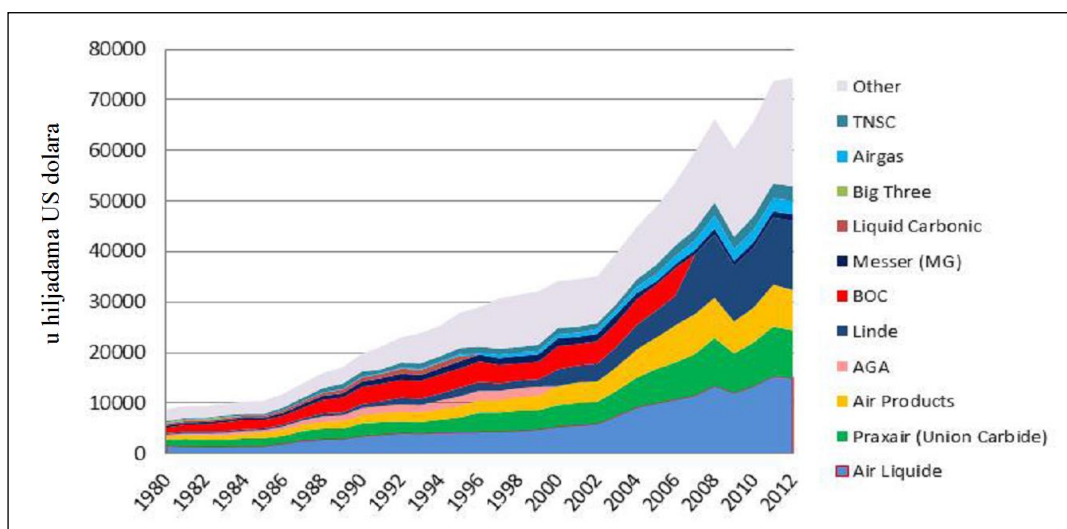


Tabela 1.36. Kanali distribucije gasa do potrošača u regionu (\$ milijarde)

Region/kanal	2011.	2012.
Sev. Amerika		
proizvođač	11,30	11,49
distributer	7,78	8,04
ukupno	19,08	19,53
Evropa		
proizvođač	15,62	15,80
distributer	4,39	4,56
ukupno	20,01	20,01
Azija i Pacifik		
proizvođač	10,82	11,48
distributer	1,94	2,02
ukupno	12,76	13,50
Ostali regioni		
proizvođač	7,16	7,38
distributer	1,29	1,33
ukupno	8,45	8,71

Sa aspekta kanala distribucije tehničkog gasa do krajnjeg potrošača, 2012. godine on je u iznosu od 3/4 direktno plasirano kupcu, a samo 1/4 posredstvom distributera. Finansijski posmatrano, oni su od ukupne prodane vrednosti (62,10 milijardi dolara) direktno plasirani bez prisustva posrednika u iznosu od 46,44 milijarde dolara (75,2%) krajnjem potrošaču. Vrednosti od 15,66 milijardi (24,8%) industrijskih gasova dopremljene su indirektnim kanalima distribucije u svetu putem posrednika u lancu distribucije (Tabela 1.36)<sup>419</sup>.



Slika 1.19. Tržišno učešće najvećih svetskih kompanija tehnički gasova u periodu 1980-2012.<sup>420</sup>

<sup>418</sup> Na osnovu, *The global Industrial Gas Business*, CHMO41D 2013, BCC Research

<sup>419</sup> Izvor, *The global Industrial Gas Business*, CHMO41D 2013, BCC Research

<sup>420</sup> Izvor, veliki broj stručni radova iz ove oblasti.

Ukupni promet tehničkih gasova u svetu ima konstantan rast. Ukupan promet koji je iznosio 1994. godine dvadeset četiri milijarde dolara, 2012. godine je dostigao iznos od 62,1 milijardu dolara (Tabela 1.37). Posmatrano prema vidu transporta i prema agregatnom stanju tehničkog gasa od proizvođača do krajnjeg potrošača, u 2012. godini u svetu je od ukupne proizvodnje procentualno putem cevovoda isporučeno 26% ukupne proizvodnje. Reč je o proizvodnji koja se sprovodi najčešće u neposrednoj blizini potrošača ili direktno kod njega, a gas se isporučuje cevovodom kao vidom transporta. Kupci koji se snabdevaju putem rezervoara (gas se do njih doprema u tečnom stanju, najčešće kamionima ili vagon-cisternama) čine 35% ukupnog plasmana gasa na tržištu. Potrošači koji se snabdevaju gasom u gasovitom stanju u bocama čine 39% od ukupne potrošnje.

Tabela 1.37. Promet gasova u svetu (milijarde USA\$)<sup>421</sup>

Godina	milijarde \$
1994.	24,00
2000.	33,73
2001.	34,63
2002.	35,37
2003.	36,13
2008.	48,00
2011.	60,30
2012.	62,10

Autor. Na osnovu više izora.

Tabela 1.38. Procentualno učešće kompanija na svetskom tržištu tehničkih gasova<sup>422</sup>

		1994.	2002.	2008.	2011.
1.	L' AIR Liquide	18,6	18,0	21	27,69
2.	BOC	16,3	13,0	-	-
3.	Linde	5,8	10,1	20	24,54
4.	Praxar	9,9	12,7	14	17,57
5.	Air Products	8,3	11,0	13	12,60
6.	Taiyo Nipon San	5,3	5,1	5	5,97
7.	Airgas	-	-	4	5,14
8.	Messer Group	5,9	4,5	2	1,82
9.	ostali	20,6	25,6	22	4,64
10.	ukupno	100,00	100,00	100,0	100,00

Autor. Na osnovu više izora.

Procentualno pojedinačno učešće velikih kompanija u ukupnoj svetskoj proizvodnji i trgovini industrijskim gasovima, posmatrano kroz vreme, beleži promenu njihovog udela u ukupnom plasmanu: *L'Air Liquide*, *Linde*, *Praxar*, *Air Products*... (Tabela 1.38, Slika 1.19.).

### 3.5.2. Vodeće kompanije u proizvodnji i plasmanu tehničkih gasova u Evropi i na Balkanu

Industrija tehničkih gasova je veoma razvijena u Evropi, zapošljava oko 55.000 radnika, proizvodi oko 200.000 tona različitih vrsta gasa, i ima četiri miliona potrošača.<sup>423</sup> Stanje na tržištu industrijskih gasova u Evropi može se sagledati i analizirati kroz prizmu pojedinačnog učešća vodećih kompanija na njemu. Veoma često, u stručnoj literaturi iz ove oblasti, prilikom komparativnog pristupa i posmatranja stanja tržišta tehničkih gasova Evrope, ono se u stručnim krugovima posmatra uslovno podeljeno na dva dela: zapadno i istočno. Zapadni deo evropskog tržišta formiraju: Portugalija, Španija, Francuska, Belgija, Holandija, Švajcarska, Italija, Nemačka... Ukupno tržište industrijskih gasova Zapadne Evrope 2012. godine iznosilo je oko 10,4 milijarde evra. Ono je bilo 89% u nadležnosti pet velikih kompanija koje su poslovale na njemu (Tabela 1.39).

Tržište tehničkih gasova Istočne Evrope<sup>424</sup> čine: Austrija, Mađarska, Rumunija, zemlje bivše Jugoslavije, Bugarska, Grčka, Albanija, Turska, Češka, Slovačka, Poljska... Na celokupnom tržištu industrijskih gasova Istočne Evrope 2012. godine bio je promet u iznosu od 2,6 milijardi evra. Pet

<sup>421</sup> Prema izveštaju, „C-237 The World Industrial Gas Business“, *Business Communications Company* u 2003. godini.

<sup>422</sup> Prema izveštaju, „C-237 The World Industrial Gas Business“, *Business Communications Company* u 2003. godini.

<sup>423</sup> Bogner, M., Isailović, M., *Tehnički i medicinski gasovi*, ETA, Beograd 2005, str. 24.

<sup>424</sup> U inostranoj stručnoj literaturi, u vezi sa tehničkim gasovima, najčešće se susreće posmatranje regiona Istočna Evropa a veoma retko se posmatra samo tržište područja Balkana.

vodećih kompanija (Tabela 1.40), koje su plasirale tehničke gasove na tržištu Istočne Evrope, zajedno su imale udeo od 84% finansijskog prometa na njemu. Pojedinačno posmatrano, na njegovoj celokupnoj teritoriji, najveće učešće imale su kompanije *Linde* i *Messer*. Firma *Linde* zabeležila je u posmatranoj godini učešće oko 35% a kompanija *Messer* 15%. Finansijski, kompanija *Linde* imala je promet u oblasti gasova u iznosu od devetsto deset miliona evra, a kompanija *Messer* od trista devedeset miliona evra.

Tabela 1.39. Učešće vodećih kompanija na tržištu tehničkog gasa Zapadne Evrope<sup>425</sup>

	tržište	Messer	Air Liquide	Air Products	Linde	Paxair	ostali
milijarde evri	10.4	0,416	3,848	1,56	2,048	1,383	1,144
procenat %	100%	4%	37%	15%	19,7%	13,3%	11%

Autor. Na osnovu više različitih izvora.

U situaciji kada se posmatra samo tržište industrijskih gasova regiona Balkana, procenat tržišnog učešća kompanije *Messer* na njemu značajno je veći i izraženiji.<sup>426</sup> Ovo je posledica njenog značajnijeg prisustva u regionu Balkana u odnosu na druge multinacionalne kompanije na njemu, na kraju 20 i početkom 21 veka.<sup>427</sup> U tom periodu društvenih i privrednih tranzicija na Balkanu kod određenih zemalja (Mađarska, Rumunija, Bugarska i Albanija), ali i promena u okviru granica SFR Jugoslavije, formiranja većeg broja samostalnih novih država na njenoj teritoriji, kompanija *Messer* je zauzela značajnu poziciju, preuzimajući jedan deo preduzeća koja su poslovali u njima.

Tabela 1.40. Učešće vodećih kompanija na tržištu tehničkih gasova Istočne Evrope<sup>428</sup>

	tržište	Messer	Air Liquide	Air Products	Linde	Paxair	ostali
evri milijarde	2,6	0,39	0,33	0,36	0,91	0,05	0,54
procenat %	100%	15%	13%	14%	35%	2%	21%

Autor. Na osnovu više različitih izvora.

Na teritoriji Jugoslavije poslovala je kompanija *Tehnnogas* koja je bila zadužena za razvoj, proizvodnju i plasman tehničkih gasova. Imala je svoje proizvodne i distributivne pogone u više gradova i u svim republikama. Nakon 1990. godine, nastankom novih država, svako preduzeće *Tehnogasa* koje se fizički nalazilo u novoformiranim državama postalo je samostalan privredni subjekt tih država. Nakon kraćeg vremenskog perioda njihovog samostalnog poslovanja, gotovo sve su privatizovane<sup>429</sup> od strane kompanije *Messer*. Na ovaj način kompanija *Messer* zauzima značajno mesto na tržištu tehničkog gasa na Balkanu. U Srbiji, kompanija *Messer* je privatizovala *Tehnnogas* 1997. godine. Danas na tržištu Srbije, pored firme *Messer Tehnnogas* koja zauzima oko 80% tržišta tehničkih gasova, posluje kompanija *Linde*<sup>430</sup> (15%) i još nekoliko manjih kompanija (5%).

<sup>425</sup> Podatak se odnosi na 2012. godinu, na osnovu većeg broja različitih izveštaja. Autor.

<sup>426</sup> Dolazak kompanije *Messer*, pojedinačno u zemlje regiona Balkana, počeo je tokom 90-ih godina XX veka prelaskom određenih država na tržišno poslovanje. Teritorijalnom podelom Jugoslavije na više samostalnih suverenih država, *Messer* je preuzeo preduzeća kompanije *Tehnnogas* koja je poslovala u celoj zemlji. *Tehnnogas* je osnovan 1937. godine.

<sup>427</sup> Pojedinačno učešće kompanije *Messer* u zemljama regiona Balkana na tržištu gasova je u: Crnoj Gori 90%; Srbiji 80%; Bosni 75%; Hrvatskoj 65%; Sloveniji 40%; Makedoniji 35%; Mađarskoj 20%; Bugarskoj 15%; Austriji 15%...

<sup>428</sup> Na osnovu većeg broja različitih izveštaja, podatak se odnosi na 2012. godinu.

<sup>429</sup> Izuzev Makedonije.

<sup>430</sup> Kompanija *Linde* je na tržište Srbije došla kupovinom preduzeća *Carbo-dioksid* iz Bečaja, koje je bilo u sastavu NIS-a. Bavilo se samo proizvodnjom i plasmanom ugljen-dioksida iz svoje jedine bušotine u neposrednoj blizini Bečaja. Bušotina sa većim količinama CO<sub>2</sub> otkrivena je prilikom sprovedenih istražnih bušotina prirodnog gasa.

### 3.6. Proizvodnja i potrošnja propan-butana

Proizvodnja propan-butana (TNG, LPG) u svetu ima stalan rast. Njegova proizvodnja u svetu beleži rast u 2011. godini u odnosu na 1995. godinu u iznosu od 61,31%. Istovremeno, u posmatranom periodu proizvodnja tečnog naftnog gasa u Evropi ima porast sa 64,26 miliona tona na 82,09 miliona tona. Procentualno posmatrano, najveći porast proizvodnje, regionalno posmatrano, imaju Rusija i Centralna Azija. Nominalno, u 2011. godini najveću proizvodnju ima region Azija i Pacifik u iznosu od 182,97 miliona tona.

Potrošnja tečnog naftnog gasa u svetu je bila 1995. godine 321,02 miliona tona, a 2012. godine 539,40 miliona tona. Istovremeno, u posmatranom periodu potrošnja tečnog naftnog gasa u Evropi ima porast sa 77,87 miliona tona na 94,08 miliona tona. Procentualno, najveći porast potrošnje, regionalno posmatrano, ima Bliski istok, u 2011. godini, ali najveću potrošnju i dalje ima region Azija i Pacifik u iznosu od 249,20 miliona tona (Tabela 1.41). Najveći suficit između proizvodnje i potrošnje TNG u 2011. godini ima region Bliskog istoka u iznosu od 65,49 miliona tona. Ovaj tržišni višak je izvezen u druge regione sveta, gde je prisutan deficit za njim.

Tabela 1.41. Proizvodnja i potrošnja TNG (LPG) u svetu (milioni tona), posmatrano po godinama

	1995. proiz. – potroš.	2000. proiz. – potroš.	2005. proiz. – potroš.	2012. proiz. – potroš.
Evropa	64.26–77.87	73.77–84.82	88.83–95.11	79.79–90.67
Rusija i C. Azija	11.33–10.21	17.18–12.83	28.23–18.29	33.93–18.32
Bliski istok	57.16–10.35	65.63–16.23	78.73–23.35	105.18–40.41
Afrika	16.82–5.83	25.36–7.98	27.13–10.19	30.41–12.07
Azija i Pacifik	74.15–115.84	113.35–161.01	145.19–198.30	191.78–254.16
Severna Amerika	68.24–69.53	73.17–77.75	59.90–77.34	68.75–68.25
Latinska Amerika	33.44–31.35	39.43–38.78	41.47–37.91	34.57–38.65
Svet	325.41–321.02	407.88–399.3	469.48–458.49	539.40–522.52

Autor. Na osnovu više različitih godišnjih izveštaja.

Neophodno je radi potpune analize proizvodnje i potrošnje propana i butana sagledati i prosečnu dnevnu potrošnju gasa po regionima. U 2010. godini najveću dnevnu potrošnju imao je region Azije, i ona je iznosila 3220,59 miliona barela (Tabela 1.42).

Tabela 1.42. Dnevna potrošnja TNG u Svetu (u milionima barela dnevno)

	1985.	1990.	1995.	2000.	2005.	2010.
Evropa	584.57	705.27	1096.59	1180.96	1377.95	1530.72
Afrika	n.p.	117.38	125.44	215.34	238.68	351.40
Azija	608.49	1351.08	1854.79	2192.27	263.94	3220.59
C. Amerika i Karibi	n.p.	34.54	31.26	59.02	63.99	83.95
Nort Amerika	2051.78	2108.79	2567.09	3005.09	2845.93	3040.28
Sout Amerika	n.p.	300.73	380.83	458.2	416.24	525.29
Svet	3281.79	5392.30	6160.77	7240.96	7717.52	8961.40

Autor. Na osnovu više različitih godišnjih izveštaja.

Sa aspekta analize energetike, značajno je i neophodno sagledati i samu strukturu potrošnje TNG prema oblastima njegove primene. U svetu je (2004) od ukupne proizvodnje procentualno njegova potrošnja bila u: domaćinstvu 50%; hemijskoj industriji 22%; industriji 12%; kao gorivo za motorna vozila 8%; u vlastitoj potrošnji u rafinerijama i degazolinazama 6% i poljoprivredi 2%.

Istovremeno, u Evropi je od ukupne proizvodnje TNG njegova procentualna potrošnja bila u: domaćinstvu 36%; hemijskoj industriji 26%; industriji 17%; kao gorivo za motorna vozila 15%; u

vlastitoj potrošnji u rafinerijama i degazolinažama 3% i poljoprivredi 3%. Ova struktura potrošnje 2013. godine je bila u svetu. Ona se u svetu, ali i u Evropi, iz godine u godinu menjala u korist procentualnog povećanja potrošnje TNG kao goriva za motorna vozila.

Tabela 1.43. Struktura potrošnje TNG u nekim zemljama balkanskog tržišta (%)

država	domaći nstvo	industija	poljopri vreda	gorivo za motor. v.	razno
Slovenija	49.5	30.4	11.2	6.6	3.3
B i H	70.2	14.5	6.4	0.5	18.4
Hrvatska	43.0	31.0	5.0	12.0	9.0
Makedonija	65.0	18.0	8.6	0.8	7.6
Srbija i C. G.	41.6	31.0	11.5	14.2	2.3
Austrija	61.2	31.3	3.0	2.5	2.0
Mađarska	49.2	28.2	12.4	5.2	3.0

Izvor: Muštrović, F., *Propan-butan*, IBC, Sarajevo, 2006, str. 5.

Tržište tečnog naftnog gasa zemalja Balkana i Srednje Evrope ima obeležje: konstantnog rasta tražnje, ono je razvojno perspektivno (posebno u sektoru industrije i transporta), porast ukupnog potencijala potrošača preko 100.000 t/g... Sama struktura potrošnje TNG u zemljama Balkanskog regiona se razlikuje od njegove strukture potrošnje u Evropi (Tabela 1.43. i 1.44). Istovremeno, i sama struktura potrošnje propan-butana prema sektorima između država ovog regiona se međusobno značajno razlikuje. Neosporno je da je prisutna i tendencija promene strukture njegove potrošnje, posmatrano prema godinama, na tržištu Balkanskog poluostrvu u skladu sa evropskim trendom.

Tabela 1.44. Dnevna potrošnja TNG na Balkanu (u hiljadama barela dnevno)

		1985.	1990.	1995.	2000.	2005.	2010.
1.	Jugoslavija	8.23	12.65				
2.	Srbija			0.48	0.32	5.25	
3.	Crna Gora					0.51	0.57
4.	Slovenija			1.09	2.92	2.70	2.70
5.	Hrvatska			1.38	2.98	2.03	7.47
6.	Bosna i Hercegovina						2.48
7.	Makedonija			0.58	0.92	1.49	2.00
8.	Albanija		0.08	0.01	.96	1.63	3.09
9.	Bugarska	2.57	2.80	2.47	7.04	10.70	12.28
10.	Rumunija	9.40	7.75	9.21	9.23	17.42	15.12
11.	Grčka	5.79	8.55	12.84	14.01	13.22	9.98
12.	Turska	29.65	50.85	75.07	143.35	132.11	100.30
13.	Austrija	3.72	4.19	5.91	5.43	6.99	6.01
14.	Mađarska	10.40	10.56	9.46	10.62	10.81	9.85

Autor. Na osnovu više različitih godišnjih izveštaja.

U Srbiji u periodu 1970–1990. godine prerada nafte beleži porast za 97%, istovremeno i prerada tečnih naftnih gasova imala je stalni rast. U periodu 90-ih godina, došlo je do značajnijih poremećaja u proizvodnji. Tečni naftni gas je: 1975. godine proizveden u iznosu od trideset tri miliona tona; 1980. trideset šest miliona tona; 1985. četrdeset četiri miliona tona; 1990. dvadeset osam miliona tona; 1995. trideset miliona tona; 2000. trideset šest miliona tona... Potrošnja ovog energenta u našoj državi bila je svake godine u većem iznosu od sopstvene proizvodnje. Razlika između ukupne količine proizvedenog i potrošenog gasa, na godišnjem nivou, nadoknadila se njegovim uvozom.



### 3.7. Razvoj energetike, prognoza potrošnje zemnog gasa i uticaj logistike

Smatra se da će u XXI veku jedno od najvažnijih i dominantnih pitanja čovečanstva, direktno ili indirektno, biti da se za sve stanovnike sveta obezbedi, po pristupačnim cenama, dovoljna količina: hrane, vode za piće i energije. Pozicija energetike i energije imaće sve značajniju ulogu u razvoju čovečanstva. Sam napredak i razvoj sveta uslovljen je i određen: rastom ukupnog broja stanovnika; nedovoljnom energetsom efikasnošću i ekološkom posledicom zagađenja.<sup>431</sup>

Sa aspekta prognoze i planiranja potrošnje gasa u narednom periodu, sagedavanje i analize mogu se sprovesti na nivou sveta, kontinenta, regiona, određene države, oblasti unutar određene zemlje, privredne grane, grada ili konkretnog potrošača. Posmatrano prema vremenskom intervalu, analiza može da bude: dugoročna, godišnja, kvartalna, mesečna, nedeljna i dnevna. U zavisnosti od potreba i zahteva, prognoza se realizuje na više načina primenom različitih metoda i modela.

Polaznu osnovu u sagledavanju, definisanju i planiranju razvoja održive svetske energetike u budućnosti predstavlja procena ukupnog broja stanovnika koji će biti u svetu (Tabela 1.45). Uslovno, prema različitim prognozama, procenjuje se da će u svetu 2050. godine biti između devet i deset milijardi a 2100. godine više od jedanaest milijardi.<sup>432</sup> Sam porast broja stanovnika direktno ima za posledicu povećanje ukupne svetske potrebe za energijom. Zbog ograničenosti raspoloživošću velikog broja izvora energije i neželjenih posledica njihove eksploatacije neophodno je povećanje energetske efikasnosti. Energetska efikasnost uslovljena je razvojem nauke i tehnologije. Samo povećanje proizvodnje i potrošnje energije za potrebe celokupnog čovečanstva može imati za posledicu negativan ekološki efekat. U prvom redu, reč je o povećanju zagađenja ugljen-dioksidom, što zahteva veću posvećenost zaštiti sredine.

Tabela 1.45. Globalna projekcija razvoja sveta

		scenario A brz rast	scenario B umeren rast	scenario C ekološki sce.
Stanovništvo, milijarde	1990 – 5,3			
	2050.	10,1	10,1	10,1
	2100.	11,7	11,7	11,7
Društ. proizvod 000 milijardi \$	1990– 20			
	2050.	100	75	75
	2100.	300	200	220
Poboljšanje intenziteta primarne energije		srednje	malo	visoko
Primarna energija, Gten	1990-9			
	2050.	25	20	14
	2100.	45	35	21
Emisija ugljenika, Gt CO <sub>2</sub>	1990-6			
	2050.	9–15	10	5
	2100.	6–20	11	2

Izvor: Đajić, N., *Energetika Srbije*, Akademija inženjerskih nauka Srbije, 2011, str. 27.

U svetu za sada preovlađuju tri varijante energetske potrebe sveta do 2100. godine i više scenarija ekonomskog razvoja. Prva varijanta predstavlja pristup bržeg ekonomskog razvoja čovečanstva, što uslovljava povećanu potrošnju energije. Druga je varijanta umerenog razvoja, što podrazumeva nižu stopu ekonomskog napretka sveta. Ekološki scenario podrazumeva poboljšanje energetske efikasnosti i veću primenu nefosilnih goriva, u prvom redu značajnije iskorišćenje energije: sunca, vetra, potencijala vode, vodonika, ...

<sup>431</sup> Đajić, N., *Energetika za održivi svet*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2002, str. 22.

<sup>432</sup> U stručnoj literaturi se mogu susresti različite prognoze rasta broja stanovnika u svetu za: 2020, 2030, 2050, 2100.

Iz ovoga proizlazi, daljom razradom karakteristična sva tri scenarija (A, B, C) za svet u 2050. godini (Tabela 1.46), da će i dalje dominantno mesto imati fosilna goriva u zadovoljavanju tražnje za energijom, ali će njegov procenat u učešću da opada. Ugalj će beležiti pad svog učešća dok će nafta biti osnovni energetski izvor u prvoj polovini XXI veka. Zemni gas će beležiti povećanje učešća iz razloga utvrđenih postojećih rezervi ali i procenjenih rezervi gasa u svetu u obliku hidrata.<sup>433</sup> Pretpostavlja se porast udela nuklearne energije u ukupnoj strukturi. Udeo obnovljivih izvora će sigurno zabeležiti najveći porast od svih izvora.

Tabela 1.46. Karakteristike tri scenarija za svet u 2050. u poređenju sa 1990. godinom

	1990	A1	A2	A3	B	C1	C2
Primarna energija Gten	9	25	25	25	30	14	14
Struktura primarne energije %							
ugalj	24	15	32	9	21	1	10
nafta	34	32	19	18	20	19	18
prirodni gas	19	19	22	32	23	27	23
nuklearna	5	12	4	11	14	4	12
obnovljiva	18	22	23	30	22	39	37
<i>Korišćenje energetskih izvora od 1990. do 2050. Gten</i>							
ugalj		206	273	158	194	125	123
nafta		297	261	245	220	180	180
prirodni gas		211	211	253	196	181	171
Finalna energija Gten	6	17	17	17	14	10	10
Struktura finalne energije %							
čvrsta	30	16	19	18	23	20	20
tečna	39	42	36	33	33	34	34
električna energija	13	17	18	18	17	18	17
ostalo	18	25	27	31	28	29	29

Izvor: Đajić, N., *Energetika za održivi svet*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2002, str. 29.

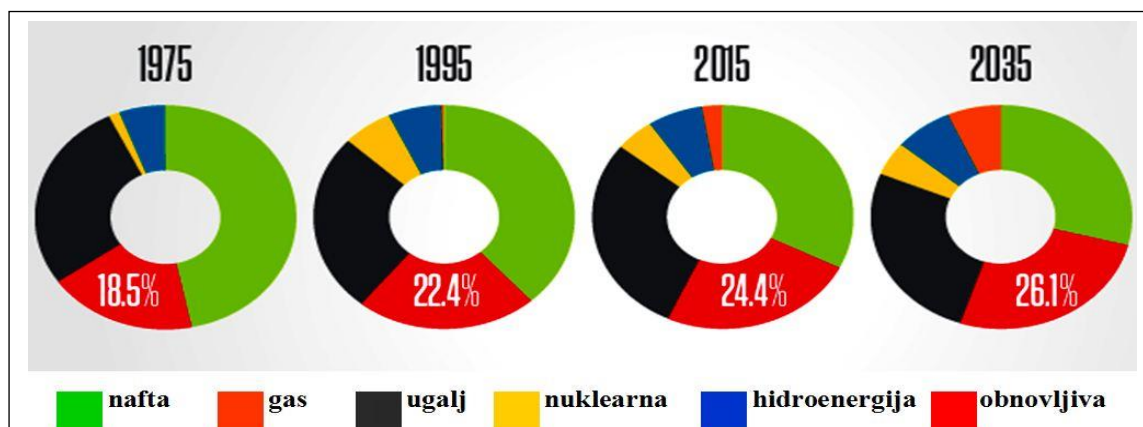
Osnovu daljeg razvoja energetike u svetu, prema Svetskom savetu za energetiku, predstavljaju tri kriterijuma, da je ona: pristupačna, raspoloživa i prihvatljiva. Kriterijum pristupačnosti se bazira na osnovi da ona mora biti dostupna svima građanima posmatrano prema ceni. Raspoloživost podrazumeva da postoji kontinuitet i kvalitet u njenom snabdevanju u dugom vremenskom periodu. A usklađenost društvenih ciljeva i ciljeva zaštite životne sredine predstavljaju osnovu kriterijuma prihvatljivosti razvoja energetike u svetu.

Smatra se da svaki region u svetu prilikom definisanja svoje strategije održivog energetskog razvoja mora da: podstiče energetsku efikasnost; podiže zainteresovanost javnosti za razvoj energetike i očuvanje životne sredine; definiše globalnu cenu za emisiju ugljenika; ostvari čvršću integraciju energetskih tržišta; stvori novi međunarodni poredak za transformaciju tehnologije... Procenjuje se da u prvoj polovini XXI veka ne predstoji nedostatak fosilnih goriva, ali će doći do smanjenja raspoloživosti nafte. Prirodni gas će beležiti povećanje učešća u ukupnoj količini energenata (Slika 1.20). Neminovan je razvoj tehnike i tehnologije eksploatacije prirodnog gasa, kad je reč o samoj eksploataciji gasa iz ležišta u moru u gasovitom stanju, ali u prvom redu iz nalazišta metana u formi hidrata, čije se rezerve sada procenjuju na izrazito velike količine.

Razvijene zemlje imaće povećanu zavisnost od uvoza energenata. Biće sve izraženije prisutna neravnomerna regionalna rasprostranjenost energetskog potencijala i potrošnje u svetu (Tabela 1.47. i 1.48). Doprema energenata biće sa sve većih rastojanja, što će neminovno direktno povećavati troškove transporta, a time i cenu energenata krajnjem potrošaču. Logistika energenata u svetu će imati jednu od dominantnih pozicija u zadovoljavanju potreba i zahteva kupca za njima.

<sup>433</sup> Hidrati su metan u čvrstom agregatnom stanju u okeanima i morima.

Sam transport i skladištenje energenata kao segmenti logistike imaće sve izraženiju, značajniju a u nekim slučajevima i dominantnu poziciju u snabdevanju tržišta energijom i energentima.



Slika 1.20. Grafička ilustracija procentualnog učešća energenata u svetu u ukupnoj potrošnji<sup>434</sup>

Procenjuje se da će u narednom periodu, usled neravnomerne regionalne raspoređenosti rezervi zemnog gasa u svetu, doći do njegove smanjene eksploatacije u određenim oblastima, ali istovremeno i do sve izraženijeg povećanja eksploatacije u regionima u kojima postoje njegove velike utvrđene rezerve. Reč je o regionima koji su bogati rezervama metana i realno je očekivati da će imati njegovu veću proizvodnju od potrošnje. Potreba za zemnim gasom onih tržišta koja njime ne raspolažu u dovoljnim količinama, biće zadovoljena dopremom sa sve većih rastojanja.

Tabela 1.47. Prognoza potrošnje prirodnog gasa u svetu prema zemljama i regionima (Tcf)<sup>435</sup>

	2010.	2020.	2025.	2030.	2035.
Afika	3.90	5.80	7.20	8.50	10.00
Kanada	3.30	3.80	4.30	4.50	5.10
Kina i Indija	5.70	10.60	13.50	15.00	16.80
Centralna Amerika	6.60	8.80	10.30	12.10	14.20
Evropa	19.20	20.60	20.90	22.10	23.10
Bivši SSSR	24.30	24.50	25.10	25.80	26.40
Koreja i Japan	5.00	5.20	5.80	6.20	6.40
Srednji istok	12.50	17.80	19.00	22.20	24.00
Okeanija	1.20	1.50	1.90	2.10	2.20
Jugoistočna Azija	7.40	10.00	11.90	13.90	15.20
SAD	23.80	25.10	25.10	25.90	26.50
SVET	112.90	134.00	145.00	161.00	170.00

Autor. Na osnovu više različitih godišnjih izveštaja.

Logistika danas u svetu neosporno ima i zauzima značajno mesto u snabdevanju tržišta zemnim gasom, a u narednom periodu ona će sigurno imati jednu od dominantnih i vodećih uloga kad je reč o ovom energentu. Samim time, sve izraženiju i značajniju poziciju u sistemu logistike snabdevanja kupaca zemnim gasom imaće transport i skladištenje, kao njegovi segmenti u cilju efikasnog, ekonomičnog i pouzdanog zadovoljavanja potreba i zahteva tržišta metanom. Na osnovu svega ovoga, danas se u svetu nastoji da se iznađu najbolja optimalna rešenja na području transporta i skladištenja gasa, jer su to realno dve oblasti (uz razvoj metoda, tehnika i tehnologija eksploatacije) koje mogu najviše da doprinesu boljem, sigurnijem i pouzdanijem snabdevanju tržišta gasom u budućnosti. Prognoza o potrošnji u određenim zemljama Balkana je različita (Tabela 1.49).

<sup>434</sup> Izvor: BP Statistical Review 2014, BP Energy Outlook 2035. Grafička ilustracija procentualnog učešća energenata u svetu u ukupnoj potrošnji (1975–2015.) i prognoza za 2035.

<sup>435</sup> Izraženo u trilionima kubnih fita (Tcf) u odnosu na 2010. godinu. <sup>435</sup>

Tabela 1.48. Prognoza potrošnje gasa (prema sektorima i ukupna) u svetu do 2030.<sup>436</sup>

godina	domaćinstvo, usluga	proizvodnja električne energije	saobraćaj	industrija ostalo	ukupna potrošnja
2020.	864	1357	42	1499	3762
2025.	906	1467	52	1644	4069
2030.	944	1592	59	1736	4331

Autor. Na osnovu više različitih godišnjih izveštaja.

Na poslovanje kompanija, koje privređuju u sektoru gasova, značajan uticaj ima internacionalizacija njihovog poslovanja. Danas, većina najvećih svetskih kompanija jesu internacionalne i deo svojih aktivnosti obavljaju izvan nacionalnih granica. Pred njima se pružaju različiti oblici i mogućnosti poslovanja izvan domaćeg tržišta. One u svom poslovanju nastoje da iznađu najpogodnije forme nastupa u inostranstvu. Koju će od formi svoga izlaska na određeno inostrano tržište odabrati kompanija, zavisi od niza determinanti: oblasti u kojoj posluje preduzeće, karakteristika preduzeća, obeležja tržišta, konkurencije, vrste proizvoda, raspoloživosti proizvoda, pravne regulative, karakteristika kupaca... Zato je neophodno da preduzeće pre svog nastupa izvan nacionalnih granica prvo detaljno uradi analizu poslovnog okruženja, pozicioniranje, da sagleda forme internacionalizacije poslovanja... Nakon toga, potrebno je izvršiti sagledavanje marketinga u funkciji uspešnog poslovanja preduzeća. Posebno mesto u nastupu preduzeća na tržištu predstavlja njegov marketing miks. Detaljnija analiza neminovno iziskuje sprovođenje analize distribucije, kao instrumenta marketing miksa preduzeća, jer ona ima značajan uticaj na ukupni nastup preduzeća na tržištu i na njegov poslovni rezultat. Sama analiza distribucije neminovno obuhvata detaljno sagledavanje logistike kao njenog segmenta, a posebno u okviru nje, njenih segmenata transporta i skladištenja gasa.

Tabela 1.49. Prognoza potrošnje zemnog gasa u nekim zemljama regiona Balkana

Države (1000 m <sup>3</sup> )	2010.	2020.	2025.	2030.
Albanija	0	786.055	1.455.485	229.395
Bosna i Hercego.	242.494	738.698	1.218.246	1.586.431
Crna Gora	0	133.918	225.567	570.603
Hrvatska	3.000.000	4.135.271	4.775.437	5.773.125
Makedonija	483.677	1.025.160	1.603.438	1.832.723
Srbija	1.881.141	3.635.879	5.325.395	7.191.873
Kosovo	0	50.068	274.784	554.064
Ukupno	5.607.312	10.505.050	14.878.352	19.718.215

Izvor: Frančić, G., „Ukapljeni plin značajan potencijal za regiju“, Peta međunarodna gasna konferencija regiona Jugoistočne Europe, naučni skup, Sarajevo, 2012.

### 3.8. Neka od značajnih pitanja koja imaju uticaj na realizaciju segmenata transporta i skladištenja gasa u sklopu aktivnosti logistike

Činjenica je da su razvoj svetske privrede, sa jedne strane, i povećanje broja stanovnika, sa druge, doprineli da tražnja i potrošnja energenata u svetu ima stalan rast. Istovremeno, raspoloživost rezervama fosilnih goriva svakoga dana je sve manja, što je doprinelo sve većem interesovanju za gasove i njihovom značaju. Za svim komercijalnim gasovima koji se plasiraju na tržištu (zemnim, tehničkim i naftnim) postoji konstantna povećana tražnja i potrošnja. Gasovi kao proizvodi imaju sve značajniju poziciju i mesto na tržištu. Polaznu osnovu analize proizvodnje gasa u budućnosti predstavlja sagledavanje: potrošnje, tražnje i proizvodnje u prošlosti, s jedne strane, i rezervi kojima

<sup>436</sup> Prognoza potrošnje zemnog gasa, izražena u milijardama m<sup>3</sup>.

se raspolože.<sup>437</sup> Logistika kao savremeni koncept realizacije distributivnih procesa ima izuzetno značajnu ulogu u njihovom plasmanu na tržištu.

Pored ovoga, značajno mesto u celovitoj analizi zauzimaju i: oblik poslovanja gasarskog preduzeća, njegov nastup na tržištu, sagledavanje poslovnog okruženja... Takođe, važno je i pitanje samog oblika i forme internacionalizacije poslovanja preduzeća jer je nastup velikog broja kompanija u ovoj oblasti izvan nacionalni granica. Poseban uticaj na uspešno poslovanje preduzeća koje se bavi proizvodnjom i plasmanom gasa ima distribucija kao instrument marketing miksa, a logistika u okviru nje. U okviru same logistike, potrebno je sagledati njegove segmente, funkcije i važne činioce: izbor kanala distribucije; parametre vezane za okruženje u logistici; upravljanje i koordinaciju lancima snabdevanja; uslugu potrošača; donošenje odluke o zalihama; transport; skladištenje; rukovanje (manipulacija) gasom; ambalažu; lokaciju objekata; kvalitet logističke usluge; organizaciju logistike; funkcionisanje logistike u međunarodnom nastupu<sup>438</sup>... Funkcije transporta i skladištenja gasa imaju izuzetno značajnu, u mnogim slučajevima i centralnu poziciju i ulogu u realizaciji logističkih aktivnosti u oblasti gasa i uticaja na snabdevenost tržišta.

Pružanje adekvatnog odgovora na uticaj i značaj logistike na plasman gasova jeste kompleksno pitanje. Ono iziskuje sveobuhvatnu, detaljnu i preciznu analizu. Neophodno je sagledavanje niza relevantnih i značajnih faktora koji direktno ili indirektno utiču na realizaciju same logističke aktivnosti. Između ostalog, u polaznoj osnovi, pri nastojanju pružanja adekvatnog i celovitog odgovora, vezanog za pitanja transporta i skladištenja gasa, kao najznačajniji činioci i faktori su odgovori o: karakteristikama i osobinama svakog od gasova, njihovoj proizvodnji, plasmanu, rezervi...

Komprimovanjem (sabijanjem) gasa na više pritiske u gasovitom agregatnom stanju, omogućuje se skladištenje veće količine gasa u istom volumenskom prostoru posude. Na taj način, što se veća količina gasa smesti u isti transportni i skladišni prostor (najčešće do 300 puta)<sup>439</sup> ostvaruje se efikasniji, pouzdaniji i jeftiniji prevoz i skladištenje.

Kao jedno od osnovnih pitanja, za savremeni način transporta i skladištenja gasa, predstavlja davanje odgovora da li je moguće i pod kojim uslovima prevesti gas iz gasovitog u tečno ili čvrsto agregatno stanje. Prevođenjem gasa iz gasovitog stanja u drugo agregatno stanje, gas zauzima manji zapreminski prostor nego kada se nalazi na normalnom pritisku ili je komprimovan. Na taj način, ostvaruje se preduslov za lakši, brži i efikasniji transport i skladištenje gasa. U prethodnom delu ovoga rada, prezentovano je na koji način i pod kojim uslovima je moguće konkretno prevesti svaki gas. Ovo predstavlja osnovu za dalju razradu, sagledavanje i pružanje adekvatnog odgovora na postavljena tri hipotetička pitanja u okviru ovoga rada.

Danas, kada je reč o funkciji transporta i skladištenja gasa, kao delu logističkog lanca snabdevanja tržišta, neizostavno je značajan u naučnim i stručnim krugovima veliki broj različitih pitanja, pogleda i razmišljanja o problemima vezanim za ova dva segmenta logistike. Pitanja su vezana za sve faze istraživanja, proizvodnje, distribucije i potrošnje gasa. Među njima, reč je o nizu kompleksnih pitanja koja trebaju da pruže adekvatne odgovore na postojeće i potencijalne probleme u ovoj oblasti, vezane za same segmente transporta i skladištenja gasa iz teoretskog i praktičnog pristupa. Iznalaženje i pružanje adekvatnog odgovora u cilju unapređenja logistike, poslovanja i nastupa preduzeća na tržištu, vezano za gasove kao proizvode, mora da ima sveobuhvatan pristup.

<sup>437</sup> Značaj rezerve gasa kojom se raspolože u prvom redu je za zemni gas i naftne gasove, dok za one tehničke gasove koji se dobijaju razlaganjem vazduha ovaj parametar nije značajan.

<sup>438</sup> Detaljnija analiza ovih pitanja nije sprovedena u okviru ovoga rada zato što je sam fokus istraživanja usmeren konkretno na postavljene predmet i cilj. Ali to ne znači da oni nisu značajni u realizaciji samih aktivnosti transporta i skladištenja gasa. Svi oni zajedno, u manjoj ili većoj meri, doprinose uspešnoj realizaciji ova dva segmenta u sklopu logistike, a logistika kao deo distribucije u okviru marketing miksa preduzeća.

<sup>439</sup> U zavisnosti od pritiska na kome se gas skladišti i transportuje. Pritisci se u praksi kreću najčešće do 300 bara.

U okviru ovoga rada, u samom centru pažnje i fokusu istraživanja jeste nastojanje da se sagleda, analizira, prezentuje i pruži odgovor na tri pitanja. Reč je o postavci tri hipotetička pitanja, koja su izuzetno važna, značajna i kompleksna sa aspekta transporta i skladištenja gasova. Prvo pitanje je **da li agregatno stanje gasa kao proizvoda ima uticaj na funkcije transporta i skladištenja gasa a time doprinosi i većoj efikasnosti logistike**. Posmatrano sa aspekta snabdevanja zemnim gasom regiona Balkana, neminovno se postavlja dugo pitanje: **da li se može formirati više strategija snabdevanja metanom (zemnim gasom) država Balkanskog poluostrva i Srednje Evrope u cilju boljeg i pouzdanijeg snabdevanja potrošača ovim energentom?** Kao treća značajna činjenica, vezana za oblast gasova, posmatrano sa aspekta zaštite životne sredine i problema sa kojim se susreće čovečanstvo, jeste jedno od često postavljanih pitanja: **da li se primenom adekvatne strategije u proizvodnji, upotrebi i skladištenju ugljen-dioksida u svetu može značajno doprineti ekologiji?**

Davanje preciznog odgovora na postavljena pitanja zahteva multidisciplinarn pristup samom problemu. Neophodno je, kao osnovu za sagledavanje i davanje odgovora na postavljena pitanja, imati zajednički globalni opšti pristup pitanjima u cilju pružanja adekvatnih odgovora. Potrebno je sveukupno, celovito i zajednički sagledati problem, a pojedinačno pružiti odgovore.

Neizostavno je potrebno sagledavanje problema: sa fizičkog i tehnološkog aspekta vezanog za karakteristike gasa (njegove eksploatacije, upotrebe...); sa aspekta tehničko-tehnoloških rešenja vezanih za proizvodnju, transport i skladištenje gasa; sa aspekta funkcije transporta i skladištenja gasa; zahteva tržišta i potrošača; energetskog stanja; ponude i tražnje; trgovine gasovima; ekološkog aspekta; uticaja i značaja za snabdevenost tržišta... Daljom prezentacijom, u okviru ovoga rada, nastaviće se kontinuitet (iz prve glave) sveukupnog sagledavanja problema u okviru date teme, sa akcentom fokusiranja na postavljena pitanja.

U dosadašnjem delu rada, pružen je deo odgovora na postavljenu prvu hipotezu – **da li agregatno stanje gasa kao proizvoda ima uticaj na funkcije transporta i skladištenja gasa a time doprinosi i većoj efikasnosti logistike**. Odgovor je potvrđan jer se iz dosada svega prezentovanog, neosporno vidi da svaki gas, komprimovanjem (sabijanjem), utešnjavanjem i prelaskom u čvrsto agregatno stanje, zauzima manju zapreminu. Volumen koji će zauzeti gas kada je u gasovitom stanju, zavisi u prvom redu od pritiska na kome se nalazi i fizičkih osobina konkretnog gasa. Kada se gas nalazi u tečnom ili čvrstom agregatnom stanju, prostor koji on zauzima zavisi od fizičkih osobina i karakteristika svakog gasa pojedinačno, za određeno agregatno stanje. Već je u analizi najznačajnijih parametara, karakteristika i vrednosti gasova utvrđena tačna količina gasa koja se može uskladištiti u određen volumen (Tabela 1.5. i Tabela 1.7). Preko koeficijenata (parametri: 3.  $\text{pg} - 1 \text{ m}^3 \text{ gasa u gasovitom stanju} = \text{kg}$ ; 4.  $\text{pt} - 1 \text{ m}^3 \text{ gasa u tečnom stanju} = \text{kg}$ ; 5.  $\text{pč} - 1 \text{ m}^3 \text{ gasa u čvrstom stanju} = \text{kg}$ ; 6.  $1 \text{ m}^3 \text{ tečnog gasa} = \text{m}^3 \text{ gasa}$ ; 7.  $1 \text{ m}^3 \text{ gasa u čvrstom stanju} = \text{m}^3 \text{ gasa}$ ; 8.  $1 \text{ litar tečnog gasa} = \text{m}^3 \text{ gasa}$ ; 9.  $1 \text{ kg tečnog gasa} = \text{m}^3 \text{ gasa}$ ; 10.  $1 \text{ kg čvrstog gasa} = \text{m}^3$ ) iskazane su vrednosti za svaki gas pojedinačno u zavisnosti od agregatnog stanja u kome se nalazi. Činjenica je da svaki gas zauzima manji prostor u odnosu na svoje stanje na normalnom pritisku, kada se nalazi u tečnom i čvrstom agregatnom stanju.

Analiza je sprovedena za sve najznačajnije tržišne gasove, u cilju da se pokaže, da li se i kako promena agregatnog stanja fluida odražava na funkcije transporta i skladištenja gasova, a u krajnoj distanci na efikasno poslovanje preduzeća i bolju snabdevenost tržišta. Tako da, kad je reč o transportu amonijaka, jedno prevozno sredstvo može da preveze do: 880 puta veću količinu gasa u tečnom stanju u odnosu na njegovo gasovito stanje na atmosferskom pritisku. Kod kiseonika taj odnos je 797, helijuma 700, zemnog gasa 600, ... Teoretski posmatrano, kada bi se gas preveo u čvrsto agregatno stanje, u isti volumen bi stala još veća količina nego kad se nalazi u tečnom agregatnom stanju. Tako da u isti zapreminski prostor bi stalo: 964 puta više vodonika, 909 puta više kiseonika, 756 puta azota, 680 puta više zemnog gasa, ... u odnosu kada se on nalazi u gasovitom

agregatnom stanje na atmosferskom pritisku.

Kao primer, u 1 m<sup>3</sup> prostora staje zemnog gasa (metana): u gasovitom agregatnom stanju na normalnom pritisku 0,71 kg, u tečnom stanju 424 kg i u čvrstom stanju 488 kg. Ovo predstavlja osnovu za pružanje odgovora na sva tri postavljena hipotetička pitanja i sagledavanje uticaja transporta i skladištenja gasa na snabdevenost tržišta Balkana. Promena količine gasa, koji se može smestiti u isti volumen, u zavisnosti od agregatnog stanja jeste baza i za realizaciju efikasne i uspešne logistike vezane za gas kao proizvod. Posebno se ovo odnosi na njegove segmente transporta i skladištenja.

U situacijama kada ne dolazi do promene agregatnog stanja, u funkciji transporta i skladištenja, nego se fluid komprimuje (sabija), količina koja će biti smeštena zavisi u prvom redu od samog pritiska. U praksi, kada je reč o većini gasova, taj odnos se najčešće kreće u rasponu između 150 i 300. To praktično znači, da u istu yapreminu staje od 150 do 300 puta više komprimovanog gasa.

U daljem delu rada, nastojaće se da se pruže detaljni adekvatni odgovori u okviru ovoga rada. Reč je o glavama rada koje sagledavaju segmente transporta i skladištenja gasa. Posebno mesto ima četvrti deo rada u kome se detaljno prezentuje unapređenje ova dva segmenta i pružanje celovitih odgovora na postavljene hipoteze, uzimajući u obzir sve prezentovano u dotadašnjem izlaganju, vezano za karakteristike i osobine gasova, u okviru prve glave. Sagledavanjem, analizom i pružanjem odgovora na ova tri centralna hipotetička pitanja u okviru rada, neizostavno kao deo celovitog sagledavanja problema, pružiće se i odgovor na niz drugih značajnih pitanja. Reč je o pitanjima i problemima koji direktno ili indirektno tangentiraju ovu problematiku, detaljno sagledavajući i prezentujući uticaj transporta i skladištenja gasa na snabdevenost tržišta regiona, koji dosad nikad nisu bili na ovaj način sveobuhvatno i detaljno analizirani i prezentovani iz ovog ugla.

## **II.**

glava

***Uticaj, specifičnosti i mogućnosti  
unapređenja transporta  
gasa u cilju bolje snabdevenosti tržišta  
Balkana***

1. Transport kao segment logistike preduzeća
2. Savremeni pristup transportu zemnog gasa u snabdevanju tržišta energentima
3. Mogućnost i transport tehničkih gasova u tri agregatna stanja
4. Specifičnosti transporta nafni





## **II.**

# **Uticaj, specifičnosti i mogućnosti unapređenja transporta gasa u cilju bolje snabdevenosti tržišta Balkana**

## **1. Savremeni pristup transportu zemnog gasa u sva tri agregatna stanja čiji je cilj bolja snabdevenost tržišta i veća efikasnost funkcije logistike**

Snabdevanje tržišta zemnim gasom kao energentom predstavlja kompleksnu i specifičnu aktivnost, koja je uslovljena karakteristikama samoga gasa kao energenta: njegovim ukupnim rezervama; lokacijama izvorišta energenta; njegovom raspoloživošću i mogućnostima eksploatacije sa same lokacije; tipom ležišta; agregatnim stanjem gasa; načinom transformacije u željeni oblik energije; prenosom i iskorišćenjem energije; zahtevima potrošača; mogućnostima transporta i skladištenja energenta, ekološkim aspektom, ekonomsko-tržišnim parametrima....

### **1.1. Tehnologije transformacije zemnog gasa u funkciji transporta**

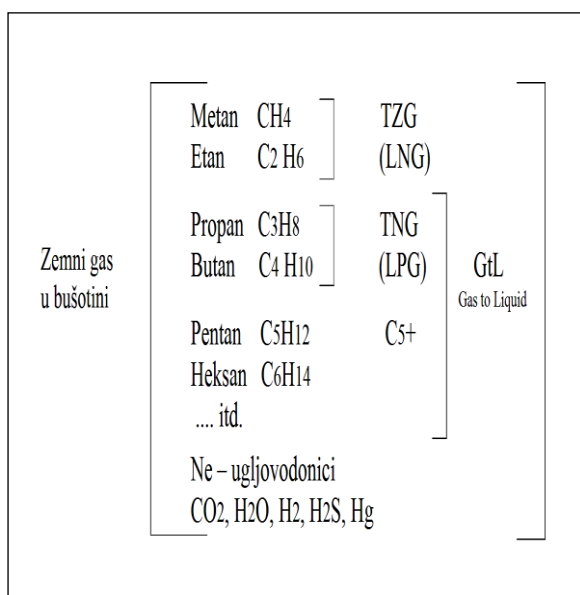
Neosporno je da je u svetu prisutan trend povećane tražnje za energentima i njihove povećane potrošnje, s jedne strane, ali i sve izraženijih problema vezanih za njih, s druge strane. To je posledica velikog broja faktora: stalnog porasta broja stanovnika u svetu, rasta i razvoja privrede i industrije, stalnog rasta potrošnje energije... Činjenica je da se proizvodnja energije bazira u velikoj meri na neobnovljivim izvorima, da su rezerve fosilnih goriva ograničene, da fosilnih goriva ima sve manje... Izražen je uticaj političkih činilaca u ovoj oblasti, prisutan je trend porasta cene energenta. ... Danas, na početku XXI veka, u periodu sve prisutnije izražene opšte globalizacije poslovanja, nije moguće posmatrati posebno i izdvojeno nijedno važno pitanje, naročito kada je reč o strateškim pitanjima, a pitanje energije se nalazi u fokusu interesovanja celoga sveta i predstavlja jedno od najznačajnijih globalnih strateških pitanja današnjice.

Učešće potrošnje energije koja potiče iz fosilnih goriva i dalje ima dominantnu ulogu u ukupnoj svetskoj potrošnji. Procentualno povećanje svog učešća u potrošnji energenta fosilnog porekla beleži jedino zemni gas. Danas zemni gas ima sve veći značaj, mesto i ulogu u svetskoj energetici sa tendencijom zadržavanja tog trenda i pozicije u narednom periodu na globalnom nivou. Njegova pozicija kao energenta sve je izraženija u energetsom bilansu mnogih zemalja, u prvom redu u velikom broju ekonomski najrazvijenijih država. Da bi se adekvatno sagledala proizvodnja i potrošnja zemnog gasa, potrebno je ove gasove precizno grupirati (Slika 2.1).

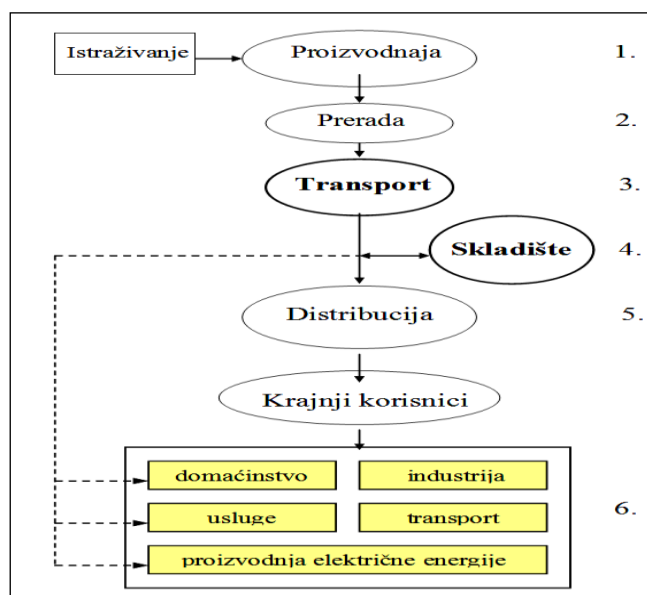
Problem koji nastaje zbog prostorne nepodudarnosti između same lokacije izvora prirodnog gasa i lokacije njegove finalne potrošnje (koje mogu biti udaljene više desetina, stotina ali i hiljada kilometara) rešava se funkcijom transporta. Teoretski, ali i praktično, nastoji se da se iznađu adekvatna rešenja u segmentu transporta kao dela logističkog lanca zemnog gasa (Slika 2.2).

Istovremeno, problem koji se javlja kao posledica vremenske nepodudarnosti između optimalne kontinuirane proizvodnje, s jedne strane, i prisutnog sezonskog karaktera potražnje za zemnim gasom na tržištu (od velikog broja krajnjih potrošača), s druge strane, prevazilazi se funkcijom njegovog skladištenja. Funkcije transporta i skladištenja zemnog gasa predstavljaju

njegove dve najvažnije funkcije u lancu uspešnog snabdevanja tržišta i krajnjih potrošača ovim energentom. Prostorna i vremenska nepodudarnost između proizvodnje i potrošnje uspešno se savlađuje i prevazilazi pomoću ovih aktivnosti. Ova dva segmenta logistike u snabdevanju tržišta zemnim gasom imaju izrazito značajnu ulogu i poziciju.



Slika 2.1. Grupisanje komponenti gasa<sup>1</sup>



Slika 2.2. Elementi gasnog lanca<sup>2</sup>

Iznalazjenje što povoljnijih rešenja za sve prisutniju tražnju za energentima, s jedne strane, i povećanje njihove cene, u prvom redu energenata fosilnog porekla (nafte i zemnog gasa), s druge strane, dozvolilo je poslednjih decenija ekonomsku opravdanost sve većih ulaganja u nove tehnike i tehnologije u sektoru energetike.

Najveća realizovana ulaganja u energetiku na nivou sveta jesu u oblasti fosilnih goriva. A kada je reč o ulaganjima u samu oblast fosilnih goriva, u prvom redu to se odnosi na naftu i gas. Fokus interesovanja, istraživanja i razvoja u ovom segmentu vezan je za pitanja njihovih rezervi, eksploatacije i snabdevanja tržišta.<sup>3</sup> Područje naučnog i primenjenog istraživanja ovih energenata u svetu obuhvata veliki broj različitih pristupa tehnikama, procesima, tehnologijama i transformacijama koje su vezane za njih.

Sve te aktivnosti mogu se grupisati u dve oblasti: 1. eksploataciju ugljovodonika i 2. fizičke i hemijske transformacije gasa.

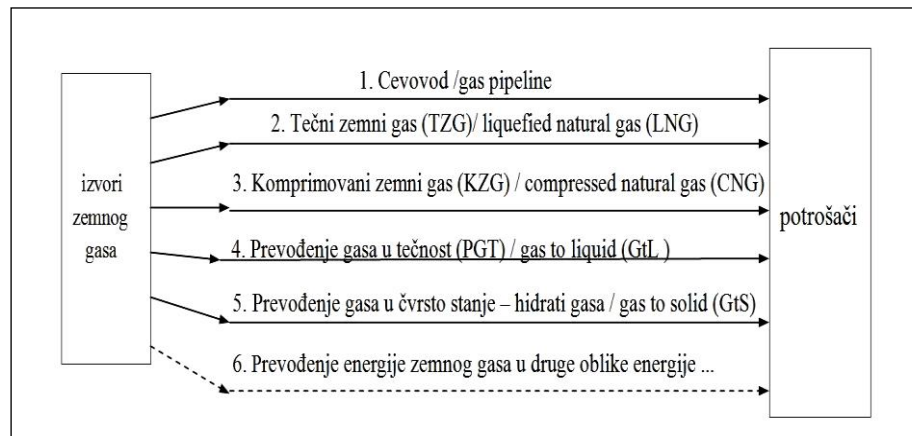
1. Na području eksploatacije ugljovodonika najveća pažnja i ulaganja posvećena su:
  - a) primeni savremenih tehnologija u tehnološkom procesu istraživanja, bušenja, razrade i proizvodnje nafte i gasa;
  - b) usavršavanju tehnika i tehnologija istraživanja, proizvodnje i eksploatacije metana iz hidrata.
2. U segmentu fizičke i hemijske transformacije zemnog gasa najznačajniji procesi jesu:
  - a) utečnjavanje prirodnog gasa (Liquid Natural Gas, LNG);
  - b) komprimovanje prirodnog gasa (Compressed Natural Gas, CNG);
  - c) prevođenje prirodnog gasa u čvrsto stanje – hidrate (Natural Gas Hidrat, NGH);
  - d) transformacija prirodnog gasa u tečne ugljovodonike (Gas to Liquids, GTL);
  - e) tečni ugljovodonici u zemnom gasu (Natural Gas Liquids, NGLs).

<sup>1</sup> Autor, na osnovu većeg broja radova. Grupisanje komponenti gasa u komercijalne nazive.

<sup>2</sup> Autor, na osnovu više izvora.

<sup>3</sup> Korišćen matrijal: Turčinec, F., *Plinovi kao energent, energetske transformacije i budući razvoj*, RNF, Zagreb, 2007.

Izrazite su i uočljive karakteristične razlike između određenih oblika fizičke i hemijske transformacije gasa u: njegovom sastavu, agregatnom stanju, tehnološkim procesima, tehničkim rešenjima u procesu proizvodnje, transporta, skladištenja, distribucije do krajnjeg potrošača... Primenom tehnologija fizičke i hemijske transformacije omogućuje se da se zemni gas, pored cevovoda, u nekim određenim i konkretnim situacijama, može nesmetano da prevozi do krajnog potrošača: lakše, brže, efikasnije, jeftinije, pouzdanije, sigurnije... u pogodnijem obliku (Slika 2.3).



Slika 2.3. Načini pretvaranja i transporta zemnog gasa<sup>4</sup>

Tečni zemni gas (Liquid Natural Gas, LNG) jeste prirodni gas koji ima u svom sastavu najviše metana. Sama tehnologija utečnjavanja uslovljena je neophodnim odstranjivanjem nemetanskih komponenti (ugljen-dioksida, vode, žive, pentana, butana... i težih komponenti) iz zemnog gasa koje se nalaze u njemu prilikom eksploatacije. Na temperaturi od približno  $-162^{\circ}\text{C}$ , prečišćen zemni gas prevodi se iz gasovitog u tečno agregatno stanje. Ovim postupkom utečnjavanja menja se sam volumen gasa. Na ovoj osnovi temelji se i počiva efikasnost i ekonomičnost transporta i skladištenja gasa u tečnom stanju. Tehnologijom procesa utečnjavanja, zapremina gasa u gasovitom stanju se smanjuje u odnosu na volumen u tečnom agregatnom stanju. Zapremina od  $600\text{ m}^3$  zemnog gasa na atmosferskom pritisku u gasovitom stanju, kada je utečnjen, skladišti se u prostor od jednog metra kubnog. Na taj način njegov zapreminski volumen se umanjuje šeststo puta.<sup>5</sup>

Komprimovani zemni gas (Compressed Natural Gas, CNG) jeste zemni gas koji se skladišti u zatvorenoj posudi (prostoru) pod visokim pritiskom (do 3600 psiga) i tako se transportuje. Sastav gasa je isti kao i gasa koji se transportuje cevovodima.

Transformacija gasa u tečne proizvode (Gas to Liquids, GtL) odnosi se na pretvaranje zemnog gasa u proizvode poput metanola, dimetil etana (DME), srednjih destilata (dizela i mlaznog goriva), amonijaka, posebnih hemikalija, voska... koji se kao takvi dopremaju do krajnjih potrošača. Tečni naftni gas (Liquid Petroleum Gas, LPG) jeste mešavina propana i butana u tečnom agregatnom stanju. Tečni ugljovodonici u zemnom gasu (Natural Gas Liquids, NGLs) uglavnom se sastoje od molekula ugljovodonika težih od metana, kao što je etan, propan, butan.<sup>6</sup>

Prevođenje gasa u čvrsto stanje – hidrati gasa (gas to solid – GtS) – nastaje kao produkt željenog mešanja zemnog gasa sa vodom, u kontrolisanim uslovima. U tehnološkom procesu, zemni gas i voda prelaze u čvrsto agregatno stanje pogodno za transport.

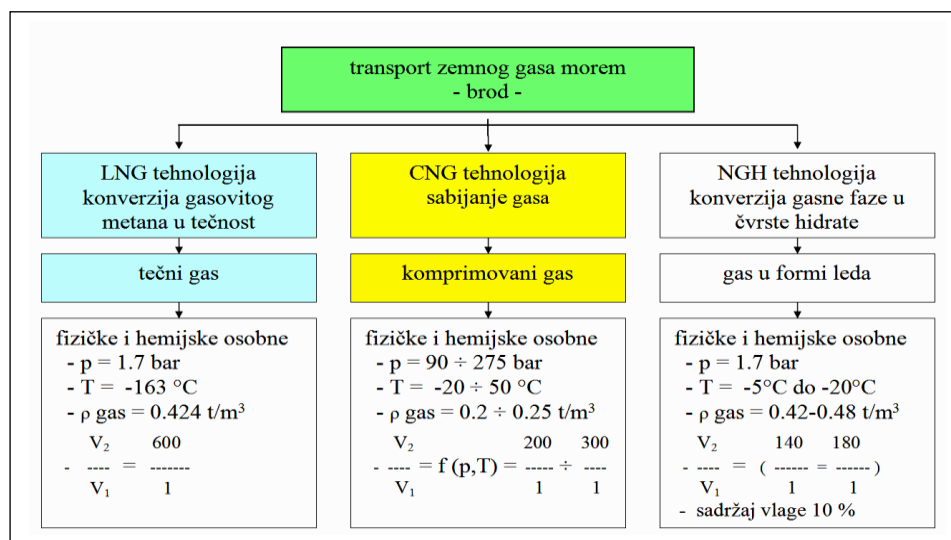
<sup>4</sup> Izvor: Thomas, S., Dawe, R. A., „Review of ways to transport natural gas energy from countries which do not need the gas for domestic use“, *Energy* 28, 2003, str. 1461–147; Shah Duur, Ch., „Monetizing Stranded Gas u Petroleum Engineering Handbook“, *Volume VI-emerging and peripheral tehnologies*, Society of Petroleum Engineers, Richardson, 2007, str. 355–389. Autor.

<sup>5</sup> Preciznije,  $1\text{ m}^3$  tečnog zemnog gasa (LNG) sadrži u sebi  $599,73\text{ m}^3$  zemnog gasa na atmosferskom pritisku. Radi lakšeg iskazivanja, s jedne strane, a realno veoma male razlike ( $0,27\text{ m}^3$ ) s druge, u literaturi je opšteprihvaćena vrednost kojom se ovaj iznos zaokružuje na  $600\text{ m}^3$ .

<sup>6</sup> O ovoj transformaciji neće biti opširnije reči u ovom radu zbog njene manje zastupljenosti na tržištu.

Pored segmenta fizičke i hemijske transformacije, sve značajnije mesto zauzimaju i neki drugi koncepti „uslovnog oblika“ prenosa gasa. Reč je o energetske transformaciji gasa u električnu energiju u termoelektranama u neposrednoj blizini ležišta i o njenom prenosu do krajnjeg korisnika.<sup>7</sup> Pored ovog pristupa, danas je sve izraženije razmišljanje o konceptu prevođenja gasa u druge različite proizvode, nenaftno-hemijskog baznog karaktera, u neposrednoj blizini izvorišta gasa.<sup>8,9</sup>

Postoji veliki broj različitih konceptijskih rešavanja transporta zemnog gasa u zavisnosti od mesta njegove eksploatacije, od vrste transportnog sredstva, od agregatnog stanja, od broja učesnika u lancu, od načina distribucije, skladištenja... Njihovom međusobnom kombinacijom unutar logističkog lanca može da se formira i uspostavi veliki broj različitih rešenja logističkih lanaca snabdevanja gasom i konkretnih praktičnih situacija, na putu ovog energenta od mesta proizvodnje do krajnjeg potrošača. Transport i skladištenje gasa veoma je kompleksna i sveobuhvatna aktivnost, mnogo zahtevnija nego kad je reč o najvećem broju proizvoda koji se danas nalaze na tržištu.



Slika 2.4. Komparativna analiza osnovnih karakteristika transporta i skladištenja velikih količina zemnog gasa brodovima u tri agregatna stanja<sup>10</sup>

U zavisnosti od toga gde se nalazi samo ležište zemnog gasa, proces njegovog prevoza može da se realizuje kopnom i morem. To je posledica činjenice da se nalazišta gasa nalaze na kopnu, ali i na otvorenom moru. Sa aspekta agregatnog stanja u kome se gas nalazi u ležištu, on može biti u gasovitom ili čvrstom stanju (hidrati). Posmatrano prema vrsti ležišta u kome se gas nalazi u

<sup>7</sup> U prvom redu, reč je o transformaciji energije zemnog gasa u električnu energiju u termoelektranama u neposrednoj blizini izvorišta gasa. Prevođenjem energije gasa u struju, ona se kao takva dostavlja do krajnjih potrošača. Zbog velikih gubitaka u distributivnoj mreži, na velikim rastojanjima od izvorišta gasa do krajnjeg potrošača, danas na ovom tehničkom stepenu elektro-mreža, ovaj vid nije značajno ekonomski isplativ. Ovaj koncept je suprotan uobičajeno prisutnom konceptu da se gas doprema do neposredne blizine potrošača električne energije, gde se grade termoelektrane i iz njih se isporučuje struja.

<sup>8</sup> Proizvode se u neposrednoj blizini izvorišta gasa proizvodi koji koriste veliku količinu energije koja se dobija iz gasa, i kao gotovi proizvodi se transportuju do kupca (vodonik, amonijak, građevinski materijal [cigla, crep...], staklo, prerada i proizvodnja metala...). Ovaj oblik transformacije može da se uslovno posmatra kao transformacija zemnog gasa u proizvod (njegovu proizvodnju) i kao takav dolazi do krajnjeg potrošača. U suprotnom, zemni gas se transportuje do mesta gde se realizuje proizvodnja tog proizvoda i tamo se koristi za njegovu proizvodnju.

<sup>9</sup> Opširnije izlaganje o energetske transformaciji prirodnog gasa u električnu energiju ili o proizvodnji proizvoda kao uslovnoj transformaciji energije gasa u proizvod u funkciji transporta, nije fokus istraživanja u ovom radu, ali se može videti u velikom broju drugih naučnih radova iz ove oblasti.

<sup>10</sup> Autor, na osnovu različitih izvora. Komparativna analiza osnovnih karakteristika: tehnoloških procesa, fizičke i hemijske osobine zemnog gasa u tri moguća agregatna stanja (gasovitom, tečnom i čvrstom agregatnom stanju) prilikom njegovog transporta. Ovo su fizičko-hemijske karakteristike gasa, nezavisno od vida transportnog sredstva (brod, voz, kamion...).

gasovitim stanju, ono može biti: naftno, naftno-gasno, gasno. Realizacija aktivnosti transporta zemnog gasa može se ostvariti u: gasovitom, tečnom ili čvrstom agregatnom stanju (Slika 2.4).

## 1.2. Tehnologija transporta zemnog gasa u gasovitom stanju cevovodima

Transport gasa predstavlja proces prenosa i kretanja gasa iz dubine samog ležišta do mesta njegove finalne potrošnje kroz sve njegove segmente, nezavisno od toga o kojem je procesu reč, od oblika prenosnog sredstva, od agregatnog stanja gasa i od oblika njegove transformacije. To je aktivnost prenosa zemnog gasa, za čiju realizaciju se koristi energija i upotrebljavaju različiti vidovi prevoznih sredstava i uređaja. Gas se transportuje u toku samog procesa proizvodnje, prenosi se od mesta proizvodnje do mesta distribucije i isporučuje se krajnjem potrošaču.<sup>11</sup> U ovom delu rada razmatra se samo tehnološki aspekt aktivnosti prenosa zemnog gasa u gasovitom agregatnom stanju, u procesu njegove proizvodnje i dopreme do krajnjeg potrošača cevovodima.<sup>12</sup>

Prevoz zemnog gasa jeste kompleksna aktivnost koja se realizuje u procesu svih njegovih faza, od same eksploatacije nalazišta, preko procesa proizvodnje do isporuke krajnjem potrošaču. To tehnološki predstavlja koncept prenosa gasa od izvorišta do krajnjeg kupca. On je prisutan u svim njegovim segmentima i fazama, od ležišta do dopreme na mesto potrošnje.

### 1.2.1. Proces dostave zemnog gasa cevovodom od izvorišta do potrošača

Celokupan lanac toka prirodnog gasa, od njegovog ležišta do finalne potrošnje, uslovno se može posmatrati kroz tri segmenta: proizvodnju, transport sa skladištenjem i distribuciju gasa potrošaču. Funkcija prevoza prožima i povezuje sve njegove faze i procese u okviru samih segmenata, ali istovremeno i sve segmente u okviru jedinstvenog sistema, formirajući na taj način gasni lanac.<sup>13</sup> Transport zemnog gasa u gasovitom stanju, u zavisnosti od toga u kom segmentu se realizuje<sup>14</sup>, možemo posmatrati i analizirati kao: a) transport zemnog gasa u toku proizvodnje, prerade i pripreme; b) prenos (transport) od mesta proizvodnje do mesta distribucije i c) transport u procesu distribucije krajnjem potrošaču (Slika 2.5).

Celokupan tok eksploatacije zemnog gasa, od početka istraživanja do napuštanja nalazišta ugljovodonika, obuhvata faze: istraživanja, otkrića, razrade, proizvodnje (primarne, sekundarne, tercijalne) i napuštanja samog ležišta.<sup>15</sup> Prvi korak u eksploataciji zemnog gasa predstavlja istraživanje nalazišta ugljovodonika, koje se sprovodi različitim metodama: refleksionom seizmikom (direktna merenja), refrakcionom seizmikom (gravitaciona merenja) i bušenjem.<sup>16</sup> Nakon sprovedenih, terenskih i laboratorijskih istraživanja, određuje se otkriće ležišta ugljovodonika,

<sup>11</sup> Veoma često se susreće, u praksi i literaturi, da se transportom gasa smatra samo prenos gasa, od mesta proizvodnje do mesta potrošnje. Ovo poimanje nije precizno, ono je neprihvatljivo jer se aktivnost posmatra delimično i neprecizno. Može se reći da je u tom slučaju reč o užem sagledavanju same aktivnosti.

<sup>12</sup> Zemni gas se transportuje cevovodom i u tečnom agregatnom stanju u delu samoga procesa njegove transformacije i aktivnosti manipulacije. Reč je o prenosu specijalnim cevovodima i fleksibilnim crevima u procesu proizvodnje LNG, njegovog transporta u procesu manipulacije od proizvodnog pogona do mesta skladištenja, o utovaru na brodove i istovaru, iz prihvatnog skladišta do isparivača, o pretakanju u cisterne, kamione, rezervoare... Najčešće, reč je o prevozu na manjim rastojanjima.

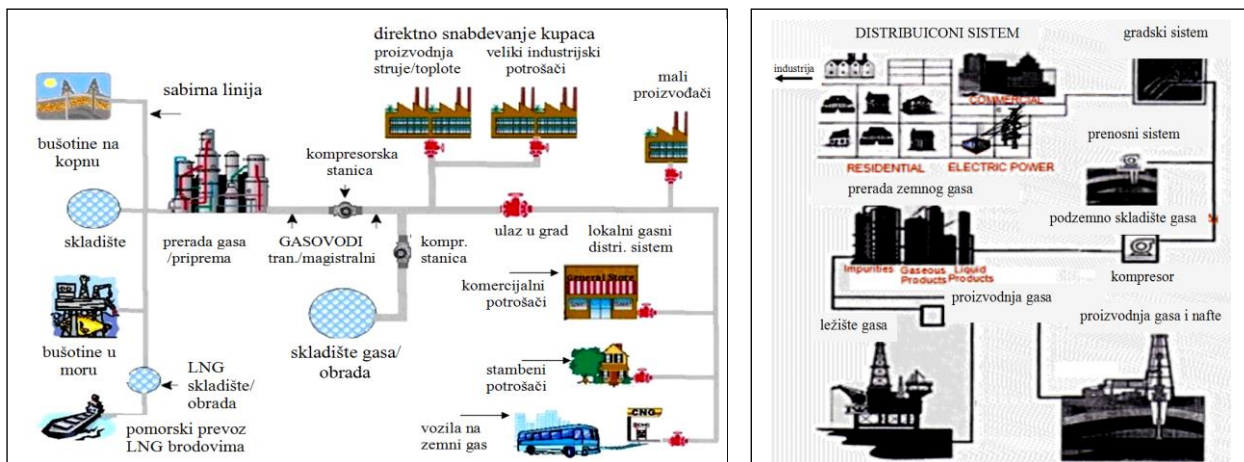
<sup>13</sup> Sama aktivnost transporta može se uslovno u užem smislu posmatrati kao realizacija samo prenosa gasa od segmenta proizvodnje do distribucije, što se veoma neopravdano često i čini, tako da se sa tim pojmom poistovećuje u praksi, ali i u velikom broju stručne literature.

<sup>14</sup> Opširnije o transportnim svojstvima gasova kao fluida videti: Genić, S., *Svojstva procesnih fluida*, Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Srbije, Beograd, 2014.

<sup>15</sup> Kod nekih potencijalnih bušotina i polja, u procesu eksploatacije ne realizuju se sve ove aktivnosti. Kod nekih se one završe u određenim fazama istraživanja, otkrića ili konkretne razrade kada se obustavlja dalji tok aktivnosti.

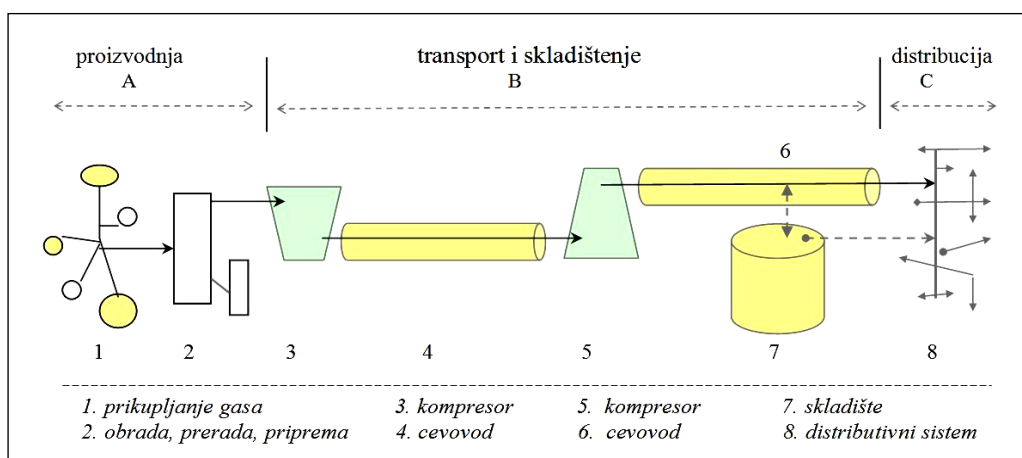
<sup>16</sup> Danas se bušenje vrši na dubini od više hiljada metra. Bušenja mogu biti vertikalna ali i horizontalna.

utvrđuju se moguće eventualne količine i ekonomska opravdanost proizvodnje.<sup>17</sup> U zavisnosti od vrste ležišta, proizvodnja gasa može biti primarna i sekundarna. Same vrste gasnih ležišta mogu biti: ležišta suvoga gasa, ležišta mokrog gasa, gasno-kondenzatna ležišta, ležišta nafte sa otopljenim gasom, ležišta s režimom gasne kape, ležišta s vodonapornim režimom (akvifer) i ležišta hidrata.



Slika 2.5. Grafičke ilustracije distribucije zemnog gasa od mesta proizvodnje do potrošača<sup>18</sup>

U procesu istražnih radova najčešće se sprovode i realizuju postupci zaceljivanja bušotina. Zaceljivanje se vrši teleskopski, od većeg promera ka manjem, najčešće u četiri do pet sekcija.<sup>19</sup> Nakon zaceljivanja same bušotine, na onim bušotinama za koje je određeno da se krene sa njihovom eksploatacijom ugrađuju se uređaji i instalira potrebna oprema.<sup>20</sup> Standardna oprema sadrži: erupcijski uređaj, glavni ventil, kolonu ulaznih cevi, inhibitor (ako je potreban) i proizvodni paker.



Slika 2.6. Ilustracija sistema transporta gasa cevovodom u gasovitom stanju<sup>21</sup>

Gotovo po pravilu, u ležištima zemnog gasa (ne računajući ležišta hidrata) vlada skoro uvek natpritisk<sup>22</sup> koji podiže gas kroz proizvodnu kolonu (cevni sistem bušotine) na njen vrh. U

<sup>17</sup> Šunić, M., *Znanost mijenja svijet a plin komoditet življenja*, BAUER GRUPA, Samobor, 2003, str. 106–132.

<sup>18</sup> Autor. Prilagodio na osnovu ilustracija preuzetih iz više stručnih inostranih radova.

<sup>19</sup> Često kod bušotina na velikim dubinama prečnik početne cevi iznosi 30 cola, a što se ide više u dubinu njegov prečnik se smanjuje: 18"5/8; 18"3/8; 9"5/6; do promera od 7 cola koji se najčešće nalazi na dnu cevog sistema.

<sup>20</sup> Opremanje zavisi od vrste ležišta, od mogućeg kapaciteta proizvodnje, od dubine bušotine, od pritiska i temperature u ležištu, ali i od toga da li se bušotina nalazi na kopnu ili u podmorskom području.

<sup>21</sup> Autor, na osnovu više izvora.

<sup>22</sup> Pritisci sirovog prirodnog gasa u samom ležištu mogu biti i iznad 300 bara (u zavisnosti od konkretnog ležišta) a temperatura na dnu same bušotine često je iznad 180 °C.

razdelnoj glavi se pritisak reguliše prema projektovanom zahtevu u sabirnim vodovima u skladu sa tehničko-tehnološkim procesom proizvodnje (Slika 2.6).

Prenos gasa u procesu proizvodnje često se naziva proizvodnim ili radnim transportom. Tehnologija prevoza u segmentu proizvodnje obuhvata kretanja gasa u svim aktivnostima i procesima njegovog: vađenja, prikupljanja, obrade, prerade i pripreme zemnog gasa za dalji prenos. Radi potpunog sveukupnog sagledavanja značaja, mesta i uloge transporta u lancu snabdevanja potrošača zemnim gasom, neizostavno je potrebno analizirati celokupni tehničko-tehnološki proces kroz sve njegove segmente i faze, od ležišta gasa do krajnje potrošnje.

### 1.2.2. Transport zemnog gasa u fazi njegove proizvodnje i prerade

Potpuno sagledavanje celokupnog procesa neizostavno iziskuje pristup u kome se polazi od opštih karakteristika procesa eksploatacije i prikupljanja zemnog gasa u okviru gasnog polja. Ležište u kome se gas nalazi može biti na dubini od nekoliko desetina do više hiljada metara. Prva aktivnost prenosa zemnog gasa realizuje se u samoj fazi njegove eksploatacije iz dubine ležišta na površinu zemljine kore. Reč je o transportu gasa koji se sprovodi u procesu crpljenja gasa iz samog ležišta i njegovog prenosa na površinu zemlje. Gas se iz bušotine „podize“ (transportuje) na površinu zemlje pod dejstvom eruptivne energije koja se nalazi u njoj. Fluid se posle crpljenja iz bušotine prikuplja cevnom sistemom radi njegove obrade, prerade i pripreme za dalji prenos do krajnjeg potrošača. Sistem sabiranja gasa iz gasnih bušotina možemo svrstati u tri grupe njegovog sakupljanja: pojedinačno, grupno i centralno.<sup>23</sup>

Najčešće, jedna bušotina nema toliki proizvodni kapacitet isporuke zemnog gasa da može da isporuči kontinuirano dovoljne količine fluida za proces rada jednog postrojenja u funkciji njegove prerade, koje bi se gradilo neposredno na njenoj lokaciji, samo za tu konkretnu bušotinu. U tom slučaju, kad pojedinačna bušotina ne obezbeđuje dovoljne količine, a to je uglavnom najčešći slučaj, zemni gas se nakon crpljenja iz bušotine prikuplja na jednom pogodnom sabirnom mestu iz više bušotina. Fluid se od bušotine do zbirnog mesta transportuje sabirnim cevovodima. To zbirno (sabirno) mesto je povezano sa više bušotina, na njemu se prikupljanja gas sa jedne lokacija, ali može i istovremeno da povezuje više eksploatacionih polja u neposrednoj blizini.

Proces sabiranja gasa sprovodi se zbog toga što najčešće ekonomski i tehnološki nije opravdano graditi postrojenja za preradu na jednoj bušotini. Nakon sabiranja, zemni gas se dalje transportuje od sabirnog mesta do mesta prerade, koje može biti u neposrednoj blizini sabirnog mesta, ali i više kilometara udaljeno od nekih od njih.<sup>24</sup> Izgradnja pojedinačnih preradnih postrojenja na svakoj bušotini finansijski bi povećala investicione troškove, a istovremeno i sama količina gasa koja se crpi iz jedne bušotine najčešće nije dovoljna za jedno ekonomski opravdano preradno postrojenje. Zato se preradno postrojenje gradi na najpogodnijoj lokaciji u odnosu na sve bušotine u neposrednoj blizini, nastojeći da se optimizira fizičko rastojanje svih bušotina u odnosu na njega, ali se istovremeno sagledava i pojedinačni kapacitet svake od bušotina u okviru gasnog polja. Tako se više bušotina konetuje u jedno sabirno mesto, a više sabirnih mesta se povezuje, međusobno ili direktno sa proizvodnim pogonom.<sup>25</sup> Nakon prenosa gasa od sabirnih mesta do proizvodnog pogona (u kome su instalisana proizvodna postrojenja), realizuje se aktivnost prerade, gde se u okviru samih

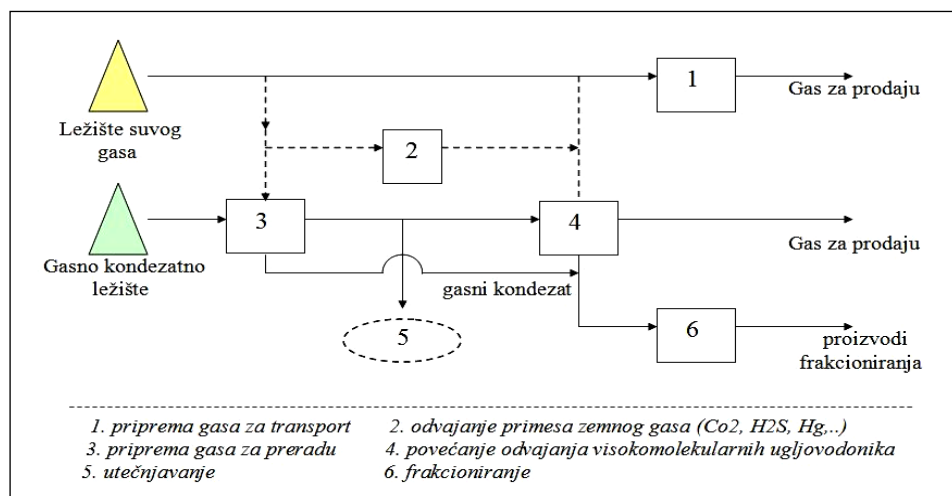
<sup>23</sup> Opširnije o sistemu skupljanja gasa iz gasnih bušotina: Zelić, M., *Tehnologija sabiranja i pripreme nafte i plina za transport*, INA, Zagreb, 1987, str. 251–280.

<sup>24</sup> Najčešće, ekonomski nije isplativo niti tehnički opravdano graditi kompletan preradni kapacitet na svakoj pojedinačnoj bušotini na lokaciji, ali ni u okviru svakog sabirnog mesta.

<sup>25</sup> Često se u praksi u okviru jednog proizvodnog postrojenja projektuje da postoji veći broj sabirnih mesta. Na taj način, proizvodni pogon se putem cevovoda povezuje sa više sabirnih mesta, a svako od tih sabirnih mesta cevovodom je povezano sa većim brojem bušotina iz kojih se prikuplja gas.



postrojenja takođe realizuje aktivnost transporta fluida. Ovaj prenos se odvija u procesu same tehnologije prerade i pripreme gasa za dalji transport prema krajnjim potrošačima (Slika 2.7).



Slika 2.7. Prikaz proizvodno-procesnog sistema zemnog gasa<sup>26</sup>

Eruptivni rad<sup>27</sup> u eksploataciji bušotine, polja, i u preradi zemnog gasa ekonomski je najpovoljnije razdoblje u njegovom proizvodnom procesu. U ovom periodu, za transport gasa koristi se pritisak iz samog ležišta na kome se gas nalazi. Iskorišćava se postojeća slojna energija u bušotini.<sup>28</sup> Vremenom se eksploatacijom zemnog gasa smanjuje slojna energija, a time i dinamički pritisak unutar bušotine opada, što prouzrokuje manji protok gasa. Onoga trenutka kada dinamički pritisak u ležištu, ili u više ležišta, počinje da opada, da bi se ublažio (smanjio) pad pritiska i produžio eruptivni rad bušotine, upotrebljava se više različitih metoda i načina za produženje eruptivnog rada u procesu eksploatacije.

Jedan od metoda jeste zamena prvobitnih cevi na kolonama novim, manjeg poprečnog prečnika. Na taj način se postiže da se podiže brzina protoka gasa. Takođe, može se ugraditi koncentrična dodatna kolona. Da bi se iskoristila mogućnost eruptivne eksploatacije, u procesu crpljenja fluida iz bušotine i njegove prerade, u praksi se primenjuju neke od metoda za produženje eruptivnog rada, kojima se tehnološki u bušotinu dovodi dodatna energija. To se može postići korišćenjem: injektora, sapnica, uvođenjem površinski aktivnih stvari u bušotinu.<sup>29</sup> Nakon iskorišćenja ovih mogućnosti za podizanja pritiska gasa i za njegov transport u proizvodnom segmentu, upotrebljavaju se kompresori za podizanje pritiska.<sup>30</sup> Konačno, tehničko-tehnološki posmatrano, bušotina se može u poslednjoj fazi eksploatacije spojiti na usisnu stranu kompresora.<sup>31</sup>

Konkretnu realizaciju procesa proizvodnje gasa iz konvencionalnih ležišta možemo posmatrati na osnovu tipa bušotine iz koje se eksploatiše gas. Proizvodnja zemnog gasa može biti iz

<sup>26</sup> Autor, na osnovu: Bauk, A. i dr., *Prirodni plin*, INA, 1989, str. 182.

<sup>27</sup> Eruptivni rad predstavlja razdoblje eksploatacije bušotine, polja... kada se sam gas pod dejstvom pritiska koji se nalazi u bušotini podiže (izlazi na površinu) i dalje se transportuje u okviru proizvodnog sistema. Erupcioni uređaj se sastoji uglavnom od niza regulacionih ventila.

<sup>28</sup> Najčešće se ranije, kada se slojni pritisak spuštao na pritisak od 1 do 5 MPa, nalazište napuštalo. Smatralo se da eksploatacija fluida više nije isplativija. Danas se primenom različitih mera i postupaka u proizvodnji i korišćenju bušotine to ne čini, već se iznalaze mogućnosti za veću iskorišćenost ležišta.

<sup>29</sup> Bauk, A. i dr., *Prirodni plin*, INA, 1989, str. 178.

<sup>30</sup> U ovoj situaciji, kada se upotrebljava kompresor za proizvodnju zemnog gasa, pri nastojanju da se iznađe optimalan nivo pritiska, potrebno je odabrati najpovoljniji tip kompresora (centrifugalni ili klipni), u zavisnosti od količine i pritiska u bušotini; najpovoljniji kompresorski odnos i optimalan broj stepeni komprimovanja. Opširnije videti o kompresorskoj proizvodnji zemnog gasa u radu: Bauk, A. i dr., *Prirodni plin*, INA, 1989, str. 214–217.

<sup>31</sup> Na ovaj način, crpljenje fluida iz ležišta se postiže principom „isisavanja“. Ovaj način eksploatacije bušotine nije sa geološkog aspekta opravdan iako se u praksi, prilikom neodgovorne eksploatacije ležišta, često upotrebljava.

naftno-gasnih bušotina i iz gasnih bušotina.<sup>32</sup> Kod proizvodnje gasa na naftno-gasnim bušotinama, najčešće postoji više bušotina u sklopu ležišta, koje se povezuju posebnim cevovodom sa sabirnom stanicom. Nafta i gas, koji su dovedeni iz bušotine putem priključnih i sabirnih cevovoda na jedno mesto, obrađuju se i pripremaju za transport. Obrada obuhvata: separiranje (odvajanje) nafte i gasa; dehidriranje (odvodnjavanje, sušenje) nafte i gasa; desulfiriranje (odsumporavanje); odvajanje CO<sub>2</sub> iz gasa; odvajanje mehaničkih nečistoća iz nafte i gasa; izdvajanje težih ugljovodonika iz gasa (degasoliranje). Postupci separacije i dehidracije uvek se realizuju na naftno-gasnom ležištu, dok se drugi tehnološki postupci odvijaju i realizuju<sup>33</sup> često na otpremnim i kompresorskim stanicama. Posebna pažnja u procesu eksploatacije posvećuje se stalno količini proizvedene nafte i gasa iz svake bušotine, ali istovremeno i pritisku u ležištu. Pritisak u ležištu i dobijena količina fluida usko su povezani sa transportom sirovina od bušotine do sabirnog mesta. Sa jednog centralnog mesta, kod naftno-gasnih ležišta, pritisak gasa se pomoću kompresora podiže na određeni pritisak, vrši se njegova dehidracija i transportovanje na dalju preradu, proces degazilonaže.

Proces proizvodnje gasa iz gasnih bušotina realizuje se najčešće na taj način što se veći broj bušotina, u okviru plinskog ležišta, povezuje cevovodima sa centralnom gasnom stanicom. Pomoću regulatora količine protoka gasa, koji se nalaze na priključnim vodovima svake od bušotina, reguliše se transport do sabirnog cevovoda. Pomoću njih se reguliše pritisak i količina gasa koja se eksploatiše iz svakog ležišta. Sistem skupljanja gasa na gasnim bušotinama može da bude: pojedinačan, grupni i centralni. Sabirni cevovod dovodi gas do plinske stanice, gde se odvijaju procesi filtriranja i dehidriranja gasa. U zavisnosti od gasnog ležišta (veliçine i proizvodnog kapaciteta), na jednom plinskom polju može da bude jedna gasna stanica ili više gasnih stanica, ali može da postoji i centralna gasna stanica koja povezuje više gasnih stanica. U okviru gasne stanice, ili u okviru centralne gasne stanice, vrši se: odvajanje slobodnih kondenzata i vode od gasa, izdvajanje visokomolekularnih ugljovodonika, dehidracija gasa, merenje protoka gasa i tečnosti.

Sami tehničko-tehnološki postupci, metode i karakteristike, vezani za konkretne aktivnosti u sklopu proizvodnje: eksploatacija gasa iz bušotine, priprema za transport; osnovni procesi za odvajanje gasa od težih ugljovodonika i vode; hlađenje gasa u rashladnim postrojenjima; separacija; odvajanje mogućih uzročnika formiranja hidrata; dehidracija gasa... veoma su značajne aktivnosti u okviru procesa prikupljanja, obrade, prerade i pripreme zemnog gasa.<sup>34</sup> Oni predstavljaju sastavne elemente sistema proizvodnje. Proizvodnja gasa zajedno sa prenosom i distribucijom formira sistem za plasman proizvoda na tržište i njegovu dopremu krajnjem potrošaču. To predstavlja gasni koncept, lanac snabdevanja zemnim gasom.

### **1.2.3. Prenos zemnog gasa cevovodom od mesta njegove proizvodnje do sektora distribucije krajnjim potrošačima ovog energenta**

Mesto same eksploatacije (i proizvodnje) zemnog gasa, s jedne strane, i potreba za njim i za njegovom finalnom potrošnjom, s druge strane, najčešće nisu u neposrednoj blizini. Sama prostorna nepodudarnost između mesta eksploatacije i krajnjeg kupca može biti veoma velika. Prostorno rastojanje između mesta vađenja gasa i mesta njegove potrošnje savlađuje se njegovim transportom. Najčešće primenjivan način prenosa gasa jeste putem sistema cevovoda. Sam prenos zemnog gasa

<sup>32</sup> U ovom delu rada nije posvećena pažnja eksploataciji zemnog (prirodnog) gasa iz nekonvencionalnih ležišta.

<sup>33</sup> U zavisnosti od sastava gasa i nafte, od geografskog položaja ležišta i od načina upotrebe dobijenih sirovina.

<sup>34</sup> Opširnije o svakoj od ovih tehnoloških aktivnosti i postupaka videti u radovima koji se bave detaljno ovom problematikom vezanom za sam proces proizvodnje. Reč je o delima: 1. Zelić, M., *Tehnologija sabiranja i pripreme nafte i plina za transport*, INA, Zagreb, 1987; 2. Vučković, J., *Priprema sirove nafte i prirodnog plina za transport*, Poslovno udruženje Nafta, Zagreb, 1968; 3. Tanasković, P., *Transport sirove nafte i gasa, 1. deo*, Naftagas, Novi Sad, 1976; 4. Škrbić, B., *Tehnologija proizvodnje i pripreme gasa*, Tehnološki fakultet u Novom Sadu, Novi Sad, 2002; Bauk, A. i dr., *Prirodni plin*, INA, 1989...

cevovodima od mesta njegove proizvodnje do distribucione mreže kompleksna je i značajna aktivnost u lancu snabdevanja krajnjeg potrošača. Najčešće, to je istovremeno aktivnost transporta zemnog gasa na velika rastojanja i u velikim količinama. Prenos gasa cevovodima najjednostavniji je oblik transporta za povezivanje proizvodnih i prihvatnih mesta. Transportovanje gasa cevovodima može da se realizuje sistemom cevovoda koji se prostiru na kopnu i ispod površine vode (mora, jezera, reke). Cevovodi koji se grade na kopnu mogu biti instalisani u zemlji ili na površini tla. Najveći procenat izgrađenih cevovoda položen je i prostire se ispod površine zemlje. Tehničko-tehnološki lanac transporta zemnog gasa cevovodima i njegov prenos od mesta gde se gas nalazi do distributivne mreže, čini jedinstven sistem koji obuhvata: 1. proizvodnju (eksploataciju, sabiranje gasa sa proizvodnih bušotina, pripremu gasa za transport [separacija, dehidracija, moguće uklanjanje kiselih gasova...]); 2. kompresorsku stanicu na početku transporta (ukoliko je pritisak nakon izlaska iz procesa proizvodnje niži od potrebnog za početak njegovog transportovanja cevovodima); 3. cevovod; 4. kompresorske stanice (ukoliko je reč o većim rastojanjima, nalaze se na proračunatim optimalnim međusobnim udaljenostima) na trasi cevovoda, koje su neophodne za podizanje transportnog radnog pritiska usled njegovog pada koji nastaje u prenosu gasa dužinom cevovoda; 5. prihvatnu stanicu (ako je potreban dodatni tretman kako bi se gas prilagodio zahtevima distribucijske mreže); 6. skladištenje (ako postoji u sistemu prenosa) i transfer gasa prema distributivnoj mreži.

Prenos zemnog gasa cevovodom datira još iz druge polovine XIX veka. U početku se sam transport gasa vezuje za aktivnost prenosa gasa koji se upotrebljavao za rasvetu, a dobijao se tehnološkom preradom uglja i proizvodnjom koksa. Reč je o transportu gasa livenim cevima od gvožđa, na manja rastojanja i pri niskim pritiscima. Otkriće zemnog gasa, njegova proizvodnja i potreba za transportom do potrošača, koji nisu bili u neposrednoj blizini samog mesta eksploatacije, usloveli su primenu cevnog vida transporta. Pošto je bila reč o prenosu gasa na manje prostorne distance, nije bilo potrebe za dodatnom energijom za transport gasa jer je na raspolaganju bio potencijal gasnog ležišta, u kome se gas nalazio na relativno visokim pritiscima. Pritisak unutar samog ležišta omogućavao je prenos gasa do mesta potrošnje. Zbog same visine pritiska gasa, gasovodi koji su bili u to vreme od cevi livenog gvožđa koje su međusobno spajane tadašnjom tehnologijom (gde se u postupku koristila kudelja, olovo...), nisu bili pogodni i adekvatni za pouzdan i bezbedan transport zemnog gasa. Vremenom, došlo je do neminovnog razvoja na području tehničkih i tehnološki rešenja, vezanih za cevovode, u segmentima: izgradnje cevi, tehnike spajanja, projektovanja i izgradnje cevovoda, polaganja, održavanja, kompresije, eksploatacije....

U procesu transporta zemnog gasa cevovodima dolazi do opadanja pritiska gasa koji se prenosi. Pad nastaje kao posledica smanjenja potencijalne energije gasa koji se transportuje (pad pritiska javlja se zbog trenja koje nastaje između zidova cevovoda i samoga strujanja gasa u njemu), ali i zbog savlađivanja visinskih rastojanja, turbulentnog strujanja, promene samog prečnika cevovoda... Zbog pada pritiska u cevovodu, kada se gas prenosi na velika rastojanja, neophodno je da se fluidu dovede dodatna energija da bi se omogućio njegov dalji prenos. Dovođenje dodatne energije, radi transporta zemnog gasa, realizuje se ponovnom njegovom kompresijom, tj. podizanjem transportnog radnog pritiska u cevovodu. Ponovna kompresija fluida ostvaruje se i postiže tako što se na određenim rastojanjima duž samog cevovoda, prema tačno utvrđenim proračunima, instaliraju adekvatne kompresorske stanice u skladu sa zakonitostima dinamike fluida. U kompresorskim stanicama se korišćenjem odgovarajućih kompresora, u zavisnosti od smanjenja pritiska, ponovo podiže pritisak fluida do određene vrednosti potrebne za realizaciju prenosa gasa do krajnjeg odredišta. Ovim konceptom dopreme gasa, na ovaj način, primenom ovakvih tehničko-tehnoloških rešenja u transportu fluida u gasovitom stanju, tehnički posmatrano, moguće je realizovati njegovog prenos na izuzetno velika rastojanja u velikom fizičkom obimu. Njegovi ograničavajući faktori su, u prvom redu, ekonomski parametri i pokazatelji vezani za njihovu izgradnju, održavanje i eksploataciju.

Ovaj koncept transporta gasa pokazuje da je ovo najjednostavniji tehnološki oblik prenosa zemnog gasa (potrebno je instalirati samo cevovod za prenos gasa od mesta proizvodnje i prihvatnog mesta); dugoročan vid transportnog sistema; nefleksibilan način prevoza zemnog gasa (jedna dolazna distanca, prestanak proizvodnje u slučaju prekida rada gasovoda); razgranata mreža gasovoda u svetu<sup>35</sup>; prosečno se u svetu danas gradi 20.000 km novih gasovoda godišnje (reč je uglavnom o transnacionalnim); ovaj koncept transporta zahteva geopolitičku stabilnost u zemljama kroz koje prolazi cevovod...

Sami gasovodi, kojima se gas prenosi od mesta proizvodnje do krajnjeg potrošača, u literaturi su veoma često različito klasifikovani. Određena podela, u prvom redu, zavisi od pristupa i od parametara na osnovu kojih se klasifikacija vrši. Podela se vršiti na: 1. osnovu radnog pritiska; 2. prema nameni; 3. prema načinu polaganja; 4. na osnovu teritorije kojom se gasovod prostire; ...

1. Prema njihovom najvećem dozvoljenom radnom pritisku, cevovodi se mogu klasifikovati na gasovode: a) niskog pritiska (najviše 100 mbara [0,1 bar]), b) srednjeg pritiska (područje I: od 0,1 do 1,0 bara, područje II: od 1,0 do 4,0 bara), c) visokog pritiska (područje I: od 4 do 16 bara, područje II: od 16 do 63 bara, područje III: od 63 do 100 bara).<sup>36</sup>

2. Prema nameni, gasovodi se mogu podeliti na: a) magistralne (to su gasovodi visokog pritiska kojima se prenosi gas od izvora do velikih potrošača, tj. do primopredajnih merno-regulacionih stanica [PPMRS]), za snabdevanje gasom većih ili manjih snabdevača ili velikih potrošača; b) razvodne ili distributivne (I – primarni [visokopritisni gasovodi za prenos gasa od PPMRS-a do većih primarnih stanica za regulaciju radnog pritiska većeg od 4 bara], II – sekundarni [cevovodi srednjeg pritiska za prenos i snabdevanje od PPMRS-a ili primarnih regulacionih stanica do industrijskih i ostalih potrošača ili do tercijarne snabdevačke mreže, odnosno do sekundarne regulacione stanice; radni pritisak do 4 bara], III – tercijarni gasovod [cevovodi srednjeg i niskog pritiska i priključci namenjeni za snabdevanje, distribuciju, gasom krajnjih potrošača; radni pritisak za srednji pritisak je do 4 bara, a za niski pritisak do 100 mbara]).

3. Sa aspekta postavljanja cevovoda u prostoru, odnosno mesta njihovog polaganja, gasovodi mogu biti: podzemni, nadzemni, podmorski ili podvodni.

4. U zavisnosti od teritorije kojom se prostiru, ali i od namene prenosa gasa do konkretnog subjekta, gasovodi mogu da budu: a) međudržavni, b) nacionalni i c) distributivni (ili razvodni).

Jedna od najčešćih podela jeste ona koja ima višedimenzionalni ukupni pristup samom procesu prenosa gasa. Ona sagledava i obuhvata: aspekt teritorije kojom se gasovod prostire, njegov radni pritisak, prečnik cevovoda i primaoca zemnog gasa kome se on doprema. Na osnovu ovih pokazatelja, gasovodi se dele na<sup>37</sup>: a) tranzitne, b) magistralne i c) distributivne. a) Tranzitni (transnacionalni) gasovodi povezuju dve države ili više država (prelazeći preko njihovih teritorija), relativno su velike dužine, njima se transportuju velike količine gasa čeličnim cevovodima prečnika do 1500 mm<sup>38</sup>, imaju radni pritisak od 7 do 10 MPa, koji omogućuju instalisani kompresori velikog kapaciteta.<sup>39</sup> b) Pod magistralnim gasovodima podrazumevaju se transportni cevovodi kojima se transportuje gas u okviru jedne određene zemlje, od mesta proizvodnje ili uvoza, odnosno od mesta preuzimanja, do potrošačkih centara ili velikih industrijskih potrošača, pri čemu je pritisak niži od 7 MPa, čeličnim cevima prečnika do 1000 mm. c) Distributivni gasovodi služe za transport gasa od mesta preuzimanja od magistralnih cevovoda do mesta predaje krajnjim potrošačima; pritisak je niži od 0,8 MPa, promer cevovoda je od 50 do 600 mm.

<sup>35</sup> Ne računajući distributivnu mrežu, u svetu ima preko milion kilometara gasovoda. Od ukupne svetske dužine magistralnih i tranzitnih cevovoda za transport zemnog gasa, u Evropi se nalazi ¼.

<sup>36</sup> Prema: Karasalihović Sedlar, D., *Gospodarenje plinovima 1*, predavanje „Transport i skladištenje prirodnog plina“, RGNF, Zagreb, 2010.

<sup>37</sup> Prema: Zelenika, R., *Prometni sustavi*, Ekonomski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2001, str. 318–319.

<sup>38</sup> Reč je o gasovodima koji imaju najčešće dužinu više stotina a nekad i hiljada kilometara. Prečnik cevi novih tranzitnih gasovoda najčešće je do 1422 mm, ali nekad je i većeg promera.

<sup>39</sup> Jedinica za pritisak MPa, megapaskal (milon paskala); 1 MPa = 10 bara.

Tehnološki princip rada tranzitnih i magistralnih cevovoda gotovo je isti po velikom broju svojih parametara i karakteristika. Razlika između tranzitnih i magistralnih cevovoda ispoljava se: u teritoriji kojom se prostiru, uslovno ponekad u pritisku i prečniku samog cevovoda. Tranzitni i magistralni gasovodni sistem čine<sup>40</sup>: glavna kompresorska stanica sa pripadajućim procesnim i razvodnim uređajima, međukompresorske podstanice, čelični cevovod sa pratećom armaturom, redukcijske podstanice, remontno-popravne podstanice, podstanice katodne i drenažne zaštite, sigurnosno-ispusni uređaji, daljinsko-upravljačko postrojenje. Značajna pitanja vezana za tranzitne i magistralne cevovode jesu: projektovanje trase, utvrđivanje trase, dinamika protoka fluida u cevovodu<sup>41</sup>, hidraulični proračun gasovoda, temperaturni režim cevovoda, dimenzionisanje cevovoda, izbor optimalnog prečnika gasovoda, mehanički proračun cevovoda, kompresorska postrojenja, oprema, montaža, izgradnja cevovoda, zavarivanje, eksploatacija, kontrola, održavanje, čišćenje, zaštita od korozije i upravljanje gasovodom.<sup>42</sup>

Posebno mesto, ulogu i značaj u sistemu transporta zemnog gasa cevovodom imaju podvodni gasovodi. Reč je o nizu specifičnosti vezanih za njihovo: projektovanje, izgradnju, tehnologiju transporta i eksploataciju. Sama specifičnost i problem transporta gasa podvodnim gasovodom ogleda se u: taloženju hidrata i blokiranju cevovoda; radnom pritisku; kompresiji; zaštiti od korozije; merenju protoka... Svi ovi problemi se progresivno uvećavaju povećavanjem dubine mora i distance na koju se gas transportuje podvodnim cevovodom.

#### 1.2.4. Proces distribucije zemnog gasa cevovodima do potrošača

Pod sistemom distributivnog prenosa zemnog gasa podrazumeva se transport fluida od mesta preuzimanja sa magistralnog cevovoda do mesta isporuke krajnjem potrošaču. On obuhvata tehnički sistem koji preuzima gas iz magistralnog (retko tranzitnog) gasovoda pomoću primopredajno-merno-regulacione stanice (PPMRS) od dobavljača ili skladišta gasa, i prenosi ga do krajnjeg uređaja za korišćenje gasa, na pouzdan, siguran i ekonomičan način, nezavisno od vlasničkih odnosa.<sup>43</sup> Zadatak distributivnog sistema jeste da svakom potrošaču, u svakom trenutku, omogući potrebnu količinu gasa odgovarajućeg pritiska, toplotne vrednosti i adekvatnog sastava, da bi se omogućio nesmetan rad gasnih uređaja koji ga koriste. Neophodno je da fluid koji se preuzima od dobavljača i isporučuje distributeru bude već pripremljen za dalji prenos krajnjem potrošaču. Gas u sebi ne treba da ima tečnu fazu, treba da je ujednačeno konstantnog sastava, bez značajnijeg prisustva inertnih gasova, da je kontrolisan u skladu sa zakonom propisanim procedurama, da je njegov kvalitet u propisanim okvirima.... Distributer je u okviru svojih aktivnosti dužan da izvrši odorizaciju zemnog gasa, ako do tada nije sprovedena ova aktivnost, da bi se lakše uočilo nekontrolisano curenje.<sup>44</sup> Najčešće, distributer osigurava lokalno skladište za pokrivanje vršne potrošnje gasa. U većini zemalja,

<sup>40</sup> Zelić, M., *Tehnologija transporta nafte i plina magistralnim cevovodima*, INA, Zagreb, 2002, str. 131.

<sup>41</sup> Opširnije o merenju i regulaciji protoka gasa, opremi, uređajima, videti u radu: Prstojević, B., Đajić N., *Merenje i regulacija prirodnog gasa*, Rudarsko-geološki fakultet u Beogradu, Beograd, 1995.

<sup>42</sup> Opširnije o nekim od ovih pitanja biće reči u okviru ovoga rada. Detaljnije sagledavanje kompleksnosti pojedinačno svakog od ovih pitanja, ili kao deo sistema, vezano za gasovodni sistem, može da se vidi u velikom broju radova vezanih za ova pitanja: Prstojević, B., *Cevovodni transport nafte i gasa*, Rudarsko-geološki fakultet u Beogradu, Beograd, 2012; Perać, P., *Gasovodni sistemi*, JUGAS, Beograd, 2002; Prstojević, B., *Distribucija prirodnog gasa*, Rudarsko-geološki fakultet u Beogradu, Beograd, 2004.

<sup>43</sup> Prema: Šunić, M., *Znanost mijenja svijet a plin komoditet življenja*, Bauer grupa, Samobor, 2003, str. 173–198.

<sup>44</sup> Pod odorizacijom se podrazumeva dodavanje gasu određenih hemijskih jedinjenja da bi imao karakterističan miris radi lakšeg otkrivanja. Odoranti se ubacuju u zemni gas pre njegove distribucije krajnjem potrošaču da se u slučaju njegovog nekontrolisanog izlaza (curenja, isticanja) lakše oseti čulom mirisa. Jer metan je gas bez boje, ukusa i mirisa. Svi odoranti, koji se danas najčešće koriste, mogu se podeliti u dve grupe; a) sulfidi (trioeteri): dimetilsulfid, tetrahidrotiofen... b) trioli (merkaptani): etilmerkaptan, tercijarni butilmerkaptan... O odoriranju zemnog gasa može se videti u radu: Rawe, R., „Odoriranje zemnog gasa (istraživanja intenziteta mirisa različitih supstanci za odoriranje)“, Međunarodni znanstveno-stručni skup za plin, Opatija 2002.

zakonska obaveza distributera je da vodi brigu i da kontroliše sve uređaje i instalacije koje su u sastavu sistema do krajnje potrošnje, nezavisno od toga što možda i nije vlasnik nekih od uređaja i instalacija.

Gasna mreža za distribuciju zemnog gasa obuhvata cevovode različitog prečnika, uključujući i kućne priključke, regulacionu stanicu, primopredajnu-merno-regulacionu stanicu, sve uređaje koji se nalaze do krajnjeg korisnika (široke, industrijske ili individualne) potrošnje gasa. Sam oblik distributivne mreže zavisi: od broja i veličini potrošača, od njihove koncentracije i rasporeda, od gustine potrošača, od dinamike potrošnje, od pouzdanosti snabdevanja, od geografskih uslova i od fizičkih prepreka. Upotrebu materijala za sistem i broj regulacionih stanica utvrđuje distributer u skladu sa važećim zakonima, propisima, regulativama, stanjem tehnike i tehnologije kojom raspolaže, sagledavajući i uvažavajući vlastita iskustva, ali i iskustva drugih distributera. U praksi se, u zavisnosti od relevantnih parametara (potrošnje, rasporeda potrošača, gustine potrošača, upotrebe gasa...), susreće pet vrsta (oblika) distributivnih mreža: zrakaste, razgranate, prstenaste, umreženo zamkaste i umreženo prstenaste. Svaka od ovih mreža ima svoje prednosti i nedostatke.

Nivo pritiska u distributivnom sistemu važan je segment projektovanja, izgradnje i njegovog korišćenja. Sam međusobni odnos pritiska-protoka ima direktan uticaj na određivanje prečnika cevovoda. Pritisak gasa koji se preuzima iz magistralnog cevovoda, preko PPMRS i niza instalisanih regulacionih stanica prilagođava se (snižava) zahtevima potrošača da bi se obezbedila dovoljna količina gasa potrebnog pritiska.<sup>45</sup> U situacijama kada postoji potreba zbog pada pritiska u mreži, koriste se kompresori za njegovo podizanje na željeni nivo. Kreiranje gasnog distributivnog sistema jeste kompleksna aktivnost. Na njegovo kreiranje uticaj imaju: nivo radnog pritiska u sistemu, minimalno dopušten pritisak<sup>46</sup>, brzina proticanja gasa<sup>47</sup>, korišćenje konstantnog ili daljinski upravljano pritiska gasa koji se doprema, regulisanje pritiska u regulacionim stanicama, rastojanje između mesta preuzimanja i potrošnje gasa<sup>48</sup>, dozvoljeni pad pritiska u cevovodu.

Veliki je broj faktora koji utiču na sigurnost, pouzdanost i ekonomičnost distributivne mreže. Po pravilu, treba da se uvek, kad je god to moguće, projektuje i koristi mreža u obliku zatvorenih prstenova. Neophodno je i sagledati svu problematiku vezanu za instaliranje ventila za zatvaranje u okviru samog sistema. Važno je odrediti adekvatnu dispoziciju priključnih cevovoda za svakog potrošača. Potrebno je izabrati adekvatnu opremu i uređaje, kao i postaviti na odgovarajućim mestima regulacione stanice.

### 1.3. Tehnologija transporta zemnog gasa u tečnom stanju

Tečni zemni gas jeste prirodni gas koji je posebnim tehnološkim procesom iz gasovitog stanja preveden u tečno agregatno stanje na temperaturi od  $-162^{\circ}\text{C}$ . Zemni (prirodni) gas, prilikom eksploatacije iz klasičnih ležišta, nalazi se u gasovitom agregatnom stanju i sastoji se u najvećoj meri od metana (uobičajeno je 80–90%)<sup>49</sup> u ukupnom njegovom sastavu, što individualno zavisi od

<sup>45</sup> Pritisak koji dolazi iz dostavnog sistema reguliše se za distributivni sistem u odnosu na potrebe potrošača. Tako da je pritisak za snabdevanje većine kongeneracijskih potrošača 16 bara, za snabdevanje industrijskih potrošača 7 bara, ustanova 1–3 bara, široke potrošnje (domaćinstva) do 100 mbara.

<sup>46</sup> Minimalan pritisak u distributivnom sistemu za industrijske potrošače, zavisno od njihovih potreba, ako se oni mogu priključivati na niskopritisnu mrežu do 100 mbara. U zavisnosti od povećane potrošnje, može da bude od 1 do 3 bara, ali i na mrežu od 6 bara kad je reč o velikoj potrošnji. Za kvalitetno sagorevanje gasa potreban je pritisak od 18 mbara.

<sup>47</sup> Postoji ograničenje protoka gasa cevovodima. Za pritisak od 100 mbara do 1 bara brzina proticanja gasa treba da je od 12 do 20 m/s. Za veće pritiske brzina protoka gasa iznosi do 30 m/s. Iz bezbednosnih razloga, kod niskopritisnih distributivnih sistema brzina protoka se ograničava na iznos od 3 do 8 m/s.

<sup>48</sup> Pravilo je da jedna regulaciona stanica može snabdevati područje niskopritisne mreže od 1 do 1,5 km. U mrežama sa većim pritiskom, od 3 bara, rastojanje između stanica može da bude do 3 km. Kod pritiska od 6 bara, to rastojanje može da iznosi do 6 km.

<sup>49</sup> Procenat njegovog udela može varirati u zavisnosti od ležišta, on može i da je viši i niži od ovog procenta.

svakog konkretnog ležišta ovog energenta. Pored metana, u zemnom gasu može da se nalazi: voda, etan, propan i teži ugljovodonici, živa, manje količine azota, ugljen-dioksid, sumpor, helijum... Da bi se zemni gas uspešno utečnio, iz njega je potrebno prvo da se odstrane sve neophodne hemijske nečistoće<sup>50</sup> i voda.<sup>51</sup> Reč je o svim nečistoćama koje prelaze u čvrsto agregatno stanje na višim temperaturama nego što je „tačka rose“<sup>52</sup> na kojoj se utečnjava metan, ali i od drugih neželjenih elemenata koji se nalaze u zemnom gasu.

Formiranje hidrata može dovesti do neželjenog efekta, začepjenja vodova i druge opreme, u tehnološkom procesu, ali potrebno je odvojiti iz fluida i primese koje doprinose procesu stvaranja korozije.<sup>53</sup> Proces čišćenja gasa najčešće je u sastavu samog postrojenja za utečnjavanje. Kada se „očišćen“ zemni gas ohladi na temperaturu od približno  $-256^{\circ}\text{F}$  ( $-161,5^{\circ}\text{C}$ ), pri atmosferskom pritisku, on se kondenzuje, prelazi u tečno agregatno stanje (TZG (LNG)). U tečnom stanju, metan zauzima 600 puta manji volumen nego u gasovitom obliku. Neke od njegovih osnovnih karakteristika jesu: da nije korozivan, da je bez boje i mirisa, da njegova relativna gustina u odnosu na vodu iznosi 0,42%, da mu je kritičan pritisak 46 bara, kritična temperatura  $-82^{\circ}\text{C}$ , temperatura samozapaljenja  $585^{\circ}\text{C}$ , gustoća utečnjenog gasa je  $425\text{ kg/m}^3$ ...

### 1.3.1. Osnovne karakteristike prevoza zemnog gasa u tečnom agregatnom stanju i lanac snabdevanja

Ova tehnologija je posebno pogodna kod transporta prirodnog gasa brodovima u situacijama kada je reč o prenosu velikih količina gasa na velika rastojanja i kod eksploatacije gasa iz ležišta koja se nalaze u moru. Utečnjeni zemni gas (LNG) u prvom redu je namenjen i pogodan za transport brodovima, ali može da se transportuje i u specijalnim namenskim posudama: kamion-cisternama, vagon-cisternama, kontejnerima, mobilnim posudama i rezervoarima. U prvom redu, najveće količine LNG namenjenog tržištu transportuju se specijalnim brodovima. Reč je o količini koja iznosi oko 25–30% ukupne svetske trgovine zemnim gasom, na godišnjem nivou.<sup>54</sup> Procentualno učešće LNG u ukupnoj trgovini gasom u celom svetu ima stalnu tendenciju rasta.

Istorijski posmatrano, sam početak razvoja tehnologije utečnjavanja zemnog gasa u svetu vezuje se za kraj XIX i početak XX veka.<sup>55</sup> Prvi kompresorski rashladni uređaj napravljen je 1873. godine u Minhenu (Nemačka). U Zapadnoj Virdžiniji (SAD), 1912. godine, izgrađeno je prvo postrojenje za utečnjavanje zemnog gasa, koje je krenulo sa proizvodnjom 1917. godine. Kao pogonsko sredstvo za motorna vozila, utečnjeni zemni gas prvi put se upotrebio 1935. godine u Dnjepropetrovsku i Harkovu (Rusija).<sup>56</sup> Za širu komercijalnu proizvodnju, prvo postrojenje LNG krenulo je sa radom 1941. godine u Klivlendu (Ohajo, SAD).<sup>57</sup> Gas se tada namenski utečnjavao i

<sup>50</sup> Azot, živa, kiseli gasovi, ugljen-dioksid, sumpor i neki teži ugljovodonici.

<sup>51</sup> Voda se na niskim temperaturama smrzava i stvaraju se hidrati.

<sup>52</sup> Temperatura na kojoj gas prelazi iz gasovitog u tečno stanje.

<sup>53</sup> Opširnije videti o uticaju određenih komponenata u radu: McInthos, S. A., Nobl, P. G., „Moving Natural Gas Across Oceanis“, *Oilfield*, Richardson, Sumer 2008.

<sup>54</sup> U zavisnosti od toga o kojoj je godini reč, jer učešće LNG u svetskoj trgovini zemnog gasa zauzima svake godine sve veći procenat. Poslednjih godina, procenat učešća utečnjenog gasa u ukupnoj svetskoj trgovini prelazi 30%.

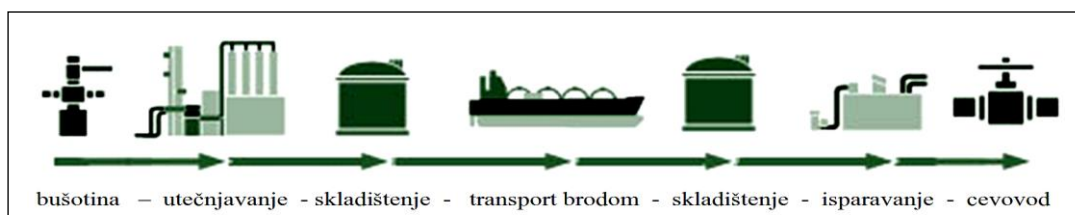
<sup>55</sup> Osnovu i temelje kriogene tehnike predstavlja 1863. godina kada je Andrews definisao pojam kritične tačke i odredio njene karakteristike crtanjem dijagrama za ugljen-dioksid u pV koordinatnom sistemu. Na osnovu ovog dijagrama bilo je moguće definisati uslove (temperaturu i pritisak) utečnjavanja gasa. 1877. godine Cailletet (Pariz) i Pictet (Ženeva) odvojeno su uspeli da utečne vazduh na osnovu Andrewsonovih rezultata. Daljem razvoju tehnike utečnjavanja gasa značajan doprinos, između ostalih, dali su svojim radom: Olzewski, Linde i Claude.

<sup>56</sup> Usled nedostatka goriva potrebnog za pogon traktora, započeto je alternativno korišćenje tečnog prirodnog gasa. Vuletić, V., „Tečni prirodni gas“, časopis *GAS*, br. 1, Beograd, 2002, str. 7.

<sup>57</sup> Videti u radu: Šourek, M., Vugrinec, J., „Aspekti sigurnosti prihvata, skladištenja i uplinjavanja LNG“, Naučni skup o plinu, Opatija, 2006.

uskладиštio u rezervoarima za potrebe lokalne distribucije zemnog gasa.<sup>58</sup> Prvi brod (tanker) za prevoz LNG izgrađen je 1959. godine, pod nazivom *The Methane Pioneer*.<sup>59</sup> Saradnja između Alžira i Velike Britanije dovela je do početka eksploatacije metana na gasnom polju Hassi R' Mel u Alžiru. Energent sa ovog gasnog polja predstavljao je input za novoinstalirane kapacitete za utečnjavanje gasa.<sup>60</sup> Početak rada ovog postrojenja omogućio je da se od 1964. godine uspostavi trgovina LNG između ove dve države. Uspostavljanjem ovog trgovinskog odnosa, trgovine utečnjanim zemnim gasom, Alžir postaje prva zemlja izvoznik LNG a Velika Britanija prvi uvoznik u svetu.

Uopšteno posmatrano, transportni lanac prirodnog gasa u tečnom stanju, od same eksploatacije i proizvodnje do krajnjeg potrošača, sastoji se od nekoliko segmenata sistema: proizvodnje, utečnjavanja, skladištenja tečnog gasa, utovara na brod, prevoza brodom, istovara, skladištenja u skladišta za tečni gas, postrojenja za isparavanje i cevovodnog distributivnog sistema do krajnjeg potrošača. Sama postrojenja za utečnjavanje i isparavanje zemnog gasa, posmatrano sa aspekta lokacije gde se oni fizički nalaze, mogu biti instalirana na kopnu i na moru.<sup>61</sup>



Slika 2.8. Šematski prikaz LNG lanca<sup>62</sup>

Uslovno posmatrano, klasični lanac snabdevanja kupaca zemnim gasom u tečnom agregatnom stanju obuhvata eksploataciju gasa na kopnu, njegovo utečnjavanje, transport gasa u tečnom stanju brodovima do druge lokacije (kopna) gde se vrši prevođenje gasa iz tečnog u gasovito stanje i distribucija do krajnjeg potrošača (Slika 2.8).<sup>63</sup> Tehnički posmatrano, od mesta proizvodnje gas se cevovodima<sup>64</sup> transportuje u gasovitom agregatnom stanju do postrojenja za utečnjavanje gasa. Postrojenje za utečnjavanje (u kome se gas iz gasovitog stanja tehnološki prevodi u tečno agregatno stanje) nalazi se u neposrednoj blizini obale, i iz njega se nakon procesa utečnjavanja gas skladišti u specijalnim kriogenim skladištima za utečnjeni gas. Skladišta su locirana u neposrednoj blizini samog pristaništa za brodove<sup>65</sup>, u lukama sa većom dubinom mora<sup>66</sup>, iz kojih se tečni gas

<sup>58</sup> Krajem 30-ih godina XX veka, firma *East Ohio Gas Co*, koja je od proizvodne bušotine (izvorišta) snabdevala grad Klivlend gasom sa dva cevovoda (dužine 250 km, NO 300 mm), krenula je sa izgradnjom postrojenja za utečnjavanje gasa u samom gradu. Cilj je bio da se povećana potražnja za gasom u zimskom periodu, u odnosu na letnji, prevaziđe tako što će se u letnjem periodu višak gasa utečniti, uskladištiti i čuvati za zimski period. Postrojenje je moglo da utečni 115.000 m<sup>3</sup>/h gasa (oko 200 m<sup>3</sup> tečnog gasa). Kompresorska stanica imala je šest kompresora snage 2400 kW. Tečni gas se skladištio u tri sferna rezervoara od 2500 m<sup>3</sup>. Postrojenje za isparavanje moglo je da prevede 115 m<sup>3</sup> tečnog gasa iz tečne u gasnu fazu za jedan sat. Bronzan, B., „LNG“, Energetika marketing, Zagreb, 1999, str. 38.

<sup>59</sup> Reč je o teretnom brodu iz Drugog svetskog rata koji je specijalno namenski preuređen za ovu namenu. Imao je pet aluminijumskih prizmatičnih rezervoara, zapremine 7000 bbl, sa drvenim potpornjima, izolacijom od šperploče i uretana. Prva količina utečnjelog zemnog gas (LNG) transportovana je na relaciji od Lake Charlesa u Canveyu do Islanda u Ujedinjenom Kraljevstvu. Taj događaj, transport preko okeana, pokazao je da se velike količine mogu sigurno i bezbedno transportovati na velika rastojanja. Opširnije o transportu i o brodovima za LNG u 4 delu rada.

<sup>60</sup> Reč je o postrojenju Camel, koje je imalo kapacitet od 0,5 x 10<sup>6</sup> tona/god. po jedinici za utečnjavanje.

<sup>61</sup> Detaljnije o instaliranju kapaciteta za utečnjavanje i isparavanje (regasifikaciju) zemnog gasa na kopnu (u neposrednoj blizini same obale) i na otvorenom moru, u sedmom delu ovoga rada.

<sup>62</sup> Izvor: ilustracija preuzeta iz većeg broja inostranih stručnih radova i prilagođena od strane autora.

<sup>63</sup> Posebno mesto u transportnom lancu LNG ima primena LNG RV tankera. Detaljnije o njima u nastavku ovog rada.

<sup>64</sup> Ako je reč o proizvodnji gasa na kopnu, dužina cevovoda u nekim slučajevima iznosi i više stotina kilometara. Ako je reč o proizvodnji gasa na gasnim platformama u moru, u tom slučaju se gas nakon proizvodnje direktno doprema u postrojenje za utečnjavanje koje može da se nalazi na istoj platformi ili u neoprednoj njenoj blizini.

<sup>65</sup> Kad je reč o transportu gasa koji se eksploatiše na kopnu, gas se doprema do postrojenja za utečnjavanje, koje se zajedno sa skladištem i sistemom za utovar nalazi na samoj obali. Uz samu obalu uvek je izgrađena specijalna luka za



utovara na specijalne brodove za njihov transport. Nakon utovara, gas se brodovima prevozi do krajnjeg namenskog specijalnog pristaništa. U pristaništu se LNG pretače u specijalne kriogene skladišne prihvatne rezervoare<sup>67</sup> koji se nalaze na obali. U zavisnosti od potrebe, tečan gas se iz njih otprema do postrojenja za isparavanje, gde se prevodi u gasovito stanje i cevovodom dalje otprema do krajnjeg potrošača. U deo transportnog lanca zemnog gasa, između njegove dopreme u luku i krajnjeg potrošača, mogu biti uključena i skladišta za skladištenje gasa na duži period da bi se tržište pouzdanije i ekonomičnije snabdevalo.<sup>68</sup> Ta skladišta mogu biti namenjena za skladištenje gasa u gasovitom, ali i u tečnom stanju. Ključne segmente (celine, faze) koncepta transportnog lanca zemnog gasa u tečnom agregatnom stanju, sa tehnološkog aspekta, čine: proces utečnjavanja gasa, transport brodovima i proces isparavanja.<sup>69</sup>

### 1.3.2 Procesi utečnjavanja zemnog gasa u funkciji transporta

Tehnički posmatrano, u postrojenju za utečnjavanje, nakon procesa prečišćavanja, gas se odvodi u deo postrojenja u kome se odvija sam tehnološki proces prevođenja gasa iz gasovitog u tečno agregatno stanje. Najčešće se u sklopu postrojenja nalaze dve jedinice ili više jedinica za utečnjavanje. Učinak postrojenja za utečnjavanje u znatnoj meri zavisi od: rashladnog sredstva, kompresora i izmenjivača toplote koji učestvuju u procesu (slike 2.9. i 2.10). Način utečnjavanja i oprema koja se pri tome koristi određuju efikasnost, pouzdanost i cenu<sup>70</sup> celog postrojenja. Uslovno, svi tehnološki procesi za utečnjavanje gasa mogu se svrstati u jednu od tri grupe koje se danas susreću u praksi: kaskadni procesi, procesi sa mešanim rashladnim sredstvom i procesi sa ekspanzijom.<sup>71</sup> Tehnološki procesi koji se danas najčešće koriste jesu: procesi s mešanim sredstvom uz pothlađivanje propanom; modifikovani procesi s mešanim rashladnim sredstvom uz pothlađivanje propanom; optimizirani kaskadni procesi; kaskadni procesi s mešanim fluidima; procesi sa dva mešana sredstva; Liquefni procesi, PRICO procesi...<sup>72</sup>

U svetu najčešće zastupljena tehnološka postrojenja za utečnjavanje gasa jesu ona koja su zasnovana na procesu s mešanim rashladnim sredstvom uz pothlađivanje propanom (C3MR). Odlika ovog tehnološkog procesa (C3MR)<sup>73</sup> jesu dva glavna ciklusa hlađenja. Prvi ciklus je pothlađivanje u kome se kao rashladno sredstvo koristi propan, dok se u drugom ciklusu (objedinjuje utečnjavanje i dohlađivanje gasa) koristi mešavina<sup>74</sup> rashladnih sredstava. U prvom ciklusu pothlađivanja, korišćenjem propana i promenom radnog pritiska (3–4 puta) ostvaruje se sniženje temperature zemnog gasa do  $-35^{\circ}\text{C}$ . U drugom glavnom ciklusu hlađenja, tako pothlađen gas prolazi kroz cevni spiralni izmenjivač toplote (glavni kriogenički izmenjivač) gde se uz pomoć mešavine rashladnih sredstava utečnjava i dohlađuje (drugi ciklus utečnjavanja). U ovom delu procesa, u nekoliko

---

pristajanje brodova. Nastoji se da se ovi objekti, pošto se posebno namenski grade a istovremeno zahtevaju niz specifičnih uslova, lociraju izdvojeni od drugih objekata u prostoru uz obalu.

<sup>66</sup> Zbog prihvatanja brodova veće zapremine.

<sup>67</sup> Najčešće se LNG pretače u kriogena skladišta, ali može i direktno da se vrši njegovo isparavanje (proces prevođenja iz tečnog u gasovito stanje) i dalji transport cevovodom.

<sup>68</sup> U ovaj deo transportnog lanca, od istovara do krajnjeg potrošača, mogu biti uključena i skladišta za prirodni gas u gasovitom, ali i u tečnom stanju.

<sup>69</sup> Pitanja vezana za skladištenje prirodnog gasa u tečnom stanju i transport LNG brodovima, kao segmentima logističkog lanca, detaljnije su obrađena u posebnim delovima ovoga rada

<sup>70</sup> Procenjuje se da 30–40% ukupnog ulaganja otpada na postrojenje za utečnjavanje.

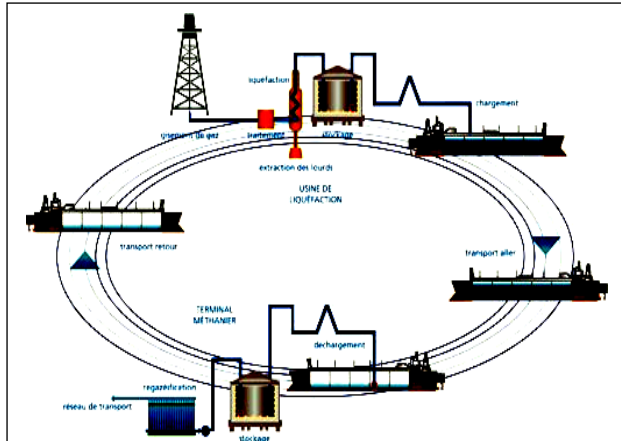
<sup>71</sup> Prema: Simon, K., Malnar, M., Vrzić, V. „Pregled procesa ukapljavanja prirodnog plina“, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, broj 21, Zagreb, 2009, str. 93–102.

<sup>72</sup> Opširnije i detaljnije o svakom od ovih tehnoloških procesa može se videti u većem broju radova iz ove oblasti. Bronzan, B., *LNG, Energetika marketing*, Zagreb, 1999, str. 44–54.

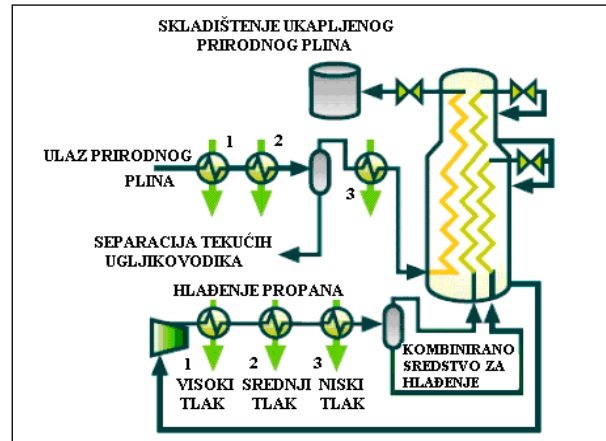
<sup>73</sup> Ovaj proces razvila je kompanija *Air Products & Chemicals Int.* (APCI) i postao je dominantan krajem sedamdesetih godina. Primenjuje se u najvećem broju postrojenja u svetu.

<sup>74</sup> Reč je o mešavini: azota (1%), metana (27–30%), etana (50%), propana (18–20%) i butana (1–2%).

segmenata, koristeći struju mešanog rashladnog sredstva zemni gas prolazi kroz sistem cevi, seperator, prigušnice, izmenjivače toplote, pothlađivanjem i naizmeničnim strujanjem u nekoliko navrata. Gas se prvo hladi i delimično utečnjava, zatim se delimično utečnjen gas ponovo vraća u izmenjivač toplote, dok se potpuno ne utečni na temperaturi od  $-161,5^{\circ}\text{C}$ .<sup>75</sup>



Slika 2.9. Lanac snabdevanja tržišta zemnim gasom u tečnom stanju brodovima<sup>76</sup>



Slika 2.10. Blok shema postrojenja za utečnjavanje zemnog gasa<sup>77</sup>

Danas su u svetu ukupni instalisani kapaciteti za utečnjavanje zemnog gasa u iznosu od  $383,9 \times 10^9$ . Posmatrano prema regionima: Bliski istok 136,1; Azija–Pacifik 123,2; Afrika 76,2; Amerika 28,7; Rusija i Centralna Azija 14,1 i Evropa 5,6.<sup>78</sup> Istovremeno, ukupni kapaciteti za regasifikaciju tečnog zemnog gasa u svetu bili su  $904,4 \times 10^9$ . Posmatrano prema regionima: Azija–Pacifik 459; Amerika 231,5; Evropa 199,7; Bliski istok 14,1.

### 1.3.3. Savremeni procesi isparavanja tečnog gasa u funkciji prevoza

Utečnjeni zemni gas, koji se transportuje specijalno namenjenim brodovima, doprema se u prihvatnu luku. U prihvatnoj luci se tečni gas pretače iz brodova, skladišti se u specijalne rezervoare i isparava.<sup>79</sup> Prihvatni terminali predstavljaju treći glavni segment u lancu prevoza i snabdevanja tržišta tečnim zemnim gasom. Osnovni zadaci prihvatnog terminala jesu<sup>80</sup>: prihvat tankera i tečnog gasa sa njih, pretakanje i skladištenje tečnog gasa, isparavanje LNG (sa mogućnošću podešavanja njegovog sastava) i otprema (isporuka) ugovorenih količina gasa u gasovitom ili tečnom stanju. Najčešće se tečni zemni gas iz prihvatnog terminala isporučuje u gasovitom agregatnom stanju cevovodnim sistemom, ali u zavisnosti od potreba, moguće je gas transportovati: specijalnim cisternama, tankovima, kontejnerima i posudama u tečnom stanju. Gas koji se nalazi u prihvatnom skladišnom rezervoaru u tečnom stanju, pre njegovog daljeg transporta i isporuke tržištu, ako je reč o isporuci cevovodima, prevodi se u gasovito stanje.

Tehnologija prevođenja tečnog gasa u gasovito stanje naziva se isparavanje.<sup>81</sup> Za potrebe daljeg transporta, neophodno je tečni gas prevesti u gasovito stanje, i tako dobijeni gas dodatno

<sup>75</sup> Opširnije i detaljnije o ovom i o drugim najznačajnijim procesima utečnjavanja gasa u sedmom delu ovoga rada.

<sup>76</sup> Izvor: ilustracija preuzeta iz većeg broja stručnih inostranih radova iz ove oblasti.

<sup>77</sup> Izvor: Mokhtab, S., Economides, M. J., „Onshore LNG Production Process selection SPE“, *Annual Technical Conference and Exhibition*, San Antonio, Texas, U.S.A., 2006. *SPE's eLibrary*, 102160, pages 1–10. Preuzeto iz rada: Talić, Lj., *Ekonomika transporta plina tehnologijom LNG-a i uticaj termina za LNG na hrvatsko gospodarstvo*, RGN fakultet u Zagrebu, Zagreb, 2008, str. 13.

<sup>78</sup> Podaci se odnose na 2013. godinu. Postrojenja za utečnjavanje gasa u Evropi ima jedino Norveška, kapaciteta 5,6.

<sup>79</sup> Bronzan, B., *LNG*, Energetika marketing, Zagreb, 1999, str. 202.

<sup>80</sup> Smontara, N., *Terminali za uplinjavanje ukapljenog plina*, RGNF, Zagreb, 2010, str 3.

<sup>81</sup> Engleski: evapotate (vaporise, gasify...).

zagrijati približno do temperature od 15°C. Potrebna toplotna energija koja se utroši može da se podeli na onu koja je potrebna za isparavanje (da se gas prevede iz tečnog u gasovito stanje) i onu koja je potrebna da se taj gas ugrije do temperature od 15°C. Gas je neophodno podgrejati jer tranzitni gasovodi visokog pritiska<sup>82</sup> za prenos fluida nisu predviđeni za niske radne temperature transportovanja gasa kroz njih.<sup>83</sup>

Danas u svetu postoji više različitih tehničko-tehnoloških rešenja postrojenja za prevođenje LNG u gasovito stanje.<sup>84</sup> Reč je u prvom redu o tehničkim rešenjima konstrukcije isparivača u funkciji prilagođavanja korišćenja toplote iz različitih izvora. Celokupna tehnička rešenje, svakog tehnološkog procesa izmenjivača, predstavljaju objedinjen celovit sistem za isparavanje gasa u okviru jednog postrojenja. U literaturi se susreću različite podele i grupisanja postrojenja za isparavanje gasa.<sup>85</sup> Prema konstrukcionim rešenjima i principu rada, isparivači se mogu podeliti na<sup>86</sup>: potopljene isparivače sa dodatnim grejanjem; isparivače otvorenog tipa; vazdušne isparivače i oklopno-cevne isparivače. Sa tehničko-tehnološkog aspekta tehnologije za prevođenje tečnog zemnog gasa u gasovito stanje u praksi su u primeni:<sup>87</sup> isparavanje pomoću potopljeni komora sa grejanjem; isparavanje pomoću morske vode bez dodatnog grejanja; isparavanje pomoću sistema izmene vazduha u kombinaciji sa posrednim vodovima; tornjevi za posredno zagrevanje sa vodom; generatori sa gasnom turbinom koji koriste višak toplote i kružni proces generatora s parnom turbinom; kombinovano isparavanje grejanjem i mešavinom fluida voda/etilen-glikol.<sup>88</sup>

Svaka od ovih tehnologija ima svoje prednosti i nedostatke u procesu eksploatacije.<sup>89</sup> Prilikom izbora odgovarajuće tehnologije za isparavanje tečnog gasa, u obzir treba uzeti više različitih parametara: zahtev za potrebnom količinom gasa koju treba isporučiti, kapacitet i tehnologija postrojenja, tehnički uslovi i mogućnosti, prostorne dimenzije, ekonomski parametri...

#### **1.4. Komprimovanje zemnog gasa u funkciji savremenog načina snabdevanja potrošača ovim energentom**

Jačanjem tržišta prirodnog gasa, povećanjem njegove cene, sve većom zainteresovanošću za eksploataciju manjih i dosad neatraktivnih ležišta, otkrićem novih materijala i njihovom primenom, došlo je pred kraj XX veka do obnavljanja interesa za komercijalizaciju tehnologije komprimovanja zemnog gasa.<sup>90</sup> Koncept transporta zemnog gasa primenom tehnologije komprimovanja (Compressed natural Gas, CNG) zasniva se na principu smanjenja njegovog volumena prostora posude, postupkom komprimovanja (sabijanja) u gasovitom stanju. Tehnologija se bazira na postupku da se, pri određenoj temperaturi i pritisku, zemni gas u gasovitom stanju komprimuje (sabija) na viši

<sup>82</sup> Cevovodi su izrađeni od ugljeničkog čelika koji nije predviđen za niske temperature. Radni pritisak je 75–110 bara.

<sup>83</sup> Rožić, Ž., „Napredne mogućnosti rasplinjavanja ukapljenog plina kongeneracijskim postrojenjima na LNG terminalu“, *Vijesti* 30, Zagreb, 2009, str. 50–3.

<sup>84</sup> Opširnije i detaljnije o razvoju može se videti i u radu: Bukowski, J. i dr., *Innovationis in Natural Gas Liquefaction Technology for future LNG plants and floating LNG facilities*, Air Products and Chemicals, Inc., 2011.

<sup>85</sup> Sama podela zavisi od pristupa i gledišta problema od strane autora.

<sup>86</sup> Haung, S., Chiu C-H., Elliot, D., *LNG: Basics of Liquefied Natural Gas*, Austin, Texas, University of Texas, Continuing Education, Petroleum Extension Service, 2007.

<sup>87</sup> Prema: Lopac, A. A., Vugrinec, M., „Nove tehnologije uplinjavanja ukapljenog prirodnog plina (LNG-a)“, Naučni skup u Opatiji, 2010.

<sup>88</sup> Opširnije o svakoj tehnologiji, o njenim prednostima i nedostacima može se videti u radovima: Lopac, A. A., Vugrinec, M., „Nove tehnologije uplinjavanja ukapljenog prirodnog plina (LNG-a)“, Naučni skup u Opatiji, 2010; Rožić, Ž., „Napredne mogućnosti rasplinjavanja ukapljenog plina kongeneracijskim postrojenjima na LNG terminalu“, *Vijesti* 30, Zagreb, 2009, str. 50–53; Smontara, N., *Terminali za uplinjavanje ukapljenog plina*, RGNF, Zagreb, 2010.

<sup>89</sup> Opširnije pojedinačno o najzastupljenijim tehnologijama isparavanja LNG u 7. delu ovoga rada.

<sup>90</sup> Prvi pokušaji komercijalne upotrebe ove tehnologije bili su 60-ih godina XX veka. Početkom 90-ih, dalji doprinos razvoju dale su kompanije: *Cran & Stenning Technology Inc.* sa konceptom „Coseltem“ Trans ocean Gas, *Canadian Enterprise, Knutsen Shipping of Norway...*

pritisak. Na taj način se postiže da se u istom volumenu smesti veća količina gasa. Tehničko-tehnološka rešenja ove tehnologije relativno su jednostavna. Ona se može lako primenjivati u komercijalne svrhe.<sup>91</sup> Osnovne karakteristike ove tehnologije transporta zemnog gasa jesu: da je ona lako izvodljiva za praktičnu primenu, jednostavna u procesu korišćenja i ekonomski prihvatljiva. Ona je mnogo prikladnija za praktičnu primenu od LNG tehnologije. Pored osnovne tehnološke aktivnosti komprimovanja gasa, u procesu može da se primeni i tehničko rešenje hlađenja gasa na niže temperature da bi se komprimovale veće količine gasa u isti prostor.<sup>92</sup>

Globalno, sama tehnologija počiva na procesima komprimovanja i na prenosu (transportu) gasa u gasovitom stanju. Procesom komprimovanja (sabijanja) gasa na više pritiske omogućuje se da se u isti prostor (zapreminu) smesti veća količina gasa. Kod neki metoda komprimovanja i transportovanja zemnog gasa on se i hladi. Snižavanjem temperature gasa omogućuje se i da se smanji volumen potreban za smeštaj jedinične količine zemnog gasa.<sup>93</sup> Istovremeno, komprimovanjem i hlađenjem gasa znatno se smanjuje potreban volumen za smeštaj jedinične količine zemnog gasa, što znatno olakšava njegovo skladištenje i transport.<sup>94</sup> Zapremina gasa, primenom ove tehnologije, smanjuje se do 300 puta u odnosu na njegov volumen u normalnim uslovima.<sup>95</sup> U zavisnosti od temperature okoline i od pritiska, gas se najčešće transportuje na pritisku koji se kreće u rasponu između 1200 i 3500 psi (82,7–241,3 bara).<sup>96</sup> Visina temperature zavisi od metode koja se konkretno koristi za transport, ali i od tehničkih karakteristika prostora za skladištenje na brodu, i kreće se u granicama od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+45^{\circ}\text{C}$ .<sup>97</sup>

Ova tehnologija je pogodna za primenu prilikom eksploatacije zemnog gasa iz manjih nalazišta<sup>98</sup> kod kojih trenutno nisu isplative tradicionalne metode prenosa gasa od njih do krajnjeg potrošača.<sup>99</sup> Može se efikasno primenjivati kod nalazišta koja se nalaze na kopnu i na moru. Rešenja CNG tehnologije primenjuju se u trgovini gasom u situacijama kada nisu u pitanju veliki kapaciteti bušotine.<sup>100</sup> Korišćenje ove tehnologije transporta prikladno je za ovakve tipove ležišta jer njenom upotrebom eksploatacija ovakvih nalazišta postaje ekonomski isplativa i opravdana.<sup>101</sup> Komprimovani gas se može transportovati: brodovima, kamionima i vozovima. Njihova sama konstrukcija može biti različitog spektra tehničkih rešenja.

<sup>91</sup> Kasanić, I., *Transport stlačenog plina*, diplomski rad, RGNF, Zagreb, 2008.

<sup>92</sup> To praktično znači da se ova tehnologija može realizovati na dva načina: 1. samo komprimovanjem zemnog gasa, 2. smanjenjem njegove temperature i komprimovanjem.

<sup>93</sup> U zavisnosti od temperature, menja se i gustina gasa. Ilustracija: na istom pritisku od 120 bara, na temperaturi  $+40^{\circ}\text{C}$  gustina zemnog gasa je  $80\text{kg/m}^3$ , dok je na temperaturi  $-40^{\circ}\text{C}$  gustina  $180\text{kg/m}^3$ .

<sup>94</sup> Dunlop, J. P., White, C. N., „CNG Transport Technology is Delivering on promises“, SPE annual Technical conference and Exhibition, Denver, Colorado, USA, 5–8 October 2003. SPE-s eLibrary, 84254, str.1–7.

<sup>95</sup> Kod tehnologije LNG, zapremina koju gas zauzima smanjuje se 600 puta u odnosu na gasovito stanje.

<sup>96</sup> Ali i na višim vrednostima. U zavisnosti od vrste broda i prostora za skladištenje, pritisak može da bude 275 bara.

<sup>97</sup> Pri istom pritisku, ali na različitim temperaturama, količina zemnog gasa u gasovitom stanju koja može da stane u isti volumen je različita. Promenom temperature menja se gustoća gasa, a time i količina koja se može skladištiti u istom zapremnom prostoru. Konkretno, ovaj odnos se može videti u dijagramu metana. Na već navođenom primeru, pri pritisku zemnog gasa od 120 bara i temperaturi  $-40^{\circ}\text{C}$ , gustina  $\rho = 180\text{kg/m}^3$ , dok na  $+40^{\circ}\text{C}$   $\rho = 80\text{kg/m}^3$ . Promena gustine gasa od  $100\text{kg/m}^3$  posledica je razlike u temperaturi od  $80^{\circ}\text{C}$ . Ova činjenica decidno ukazuje na zavisnost količine gasa koju je moguće uskladištiti od njegove temperature.

<sup>98</sup> Reč je o nalazištima za koja se upotrebljava termin „stranded gas“ (napušteni, ostavljeni, izgubljeni gas). Po nekim procenama, danas se 1/3 svetskih rezervi nalazi u ovakvim ležištima.

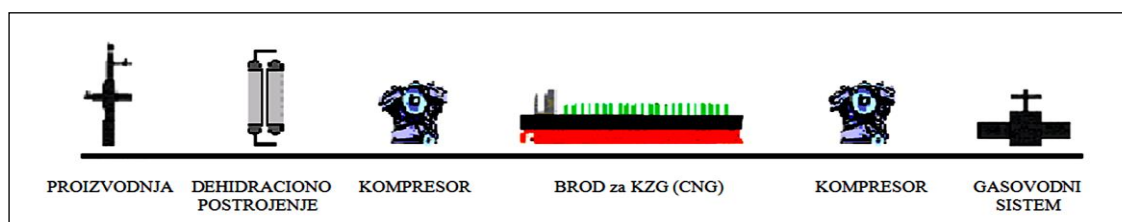
<sup>99</sup> Reč je, u prvom redu, o ležištima zemnog gasa od kojih se gas transportuje putem cevovodnog sistema u gasovitom ili tečnom agregatnom stanju brodovima. Kada je reč o ležištima gasa na kopnu, gas se može od njih transportovati do obale, gde se utovara na brodove za prevoz CNG.

<sup>100</sup> Danas je ova tehnologija prihvatljiva za transport gasa od manjih bušotina i graničnih gasnih polja sa malim eksploatacionim kapacitetom, do tri miliona  $\text{m}^3/\text{dan}$ .

<sup>101</sup> Dekanić, I. i dr., *Studija o primjeni stlačenog prirodnog plina u Republici Hrvatskoj. Diverzifikacija dobavnih pravaca SPP-a brodovima*, Zagreb, 2008.

Danas se transport određenih količina zemnog gasa brodovima u komprimovanom stanju, na određena rastojanja i pod određenim uslovima, smatra ekonomski prihvatljivim i pogodnim. Primenjuje se u situacijama, kada se proceni da je neekonomičan transport gasa u gasnom stanju cevovodima ili u tečnom agregatnom stanju brodovima. Ovaj način transporta gasa ima relativno minimalne zahteve i uslove; sama karakteristika tehnologija manje je složena a uređenje terminala za prihvat brodova mnogo jednostavnije. Neka tehnička konstrukciona rešenja postrojenja, koja primenjuju ovu metodu, omogućuju da brodovi preuzimaju gas direktno sa odobalnih proizvodnih bušotina (postrojenja na otvorenom moru). Ova činjenica čini još prihvatljivijim ovaj koncept transporta zemnog gasa.

Pojednostavljeno, celokupna linija dopreme gasa brodom, tehnologijom komprimovanja, od proizvodnje gasa na kopnu do prekomorskog potrošača, realizuje se kroz faze: same proizvodnje gasa, pripreme gasa za prevoz (dehidracija, merenje, komprimovanje), dopreme do utovarnog mesta (luka), pomorskog transporta (ukrcavanje gasa, plovidba, iskrcavanje gasa), prenosa gasa do procesnog postrojenja (i/ili skladišta), njegove pripreme za tržište i distribucije (Slika 2.11).<sup>102</sup>



Slika 2.11. Šematski prikaz KZG (CNG) lanca<sup>103</sup>

Za transport na veća prekomorska rastojanja koriste se posebno dizajnirani brodovi, koji imaju različite tipove projektovanih sistema za skladištenje gasa.<sup>104</sup> Danas je prisutan transport CNG gasa brodovima. Pogodan je za regionalni prevoz gasa. Početne studije pokazuju da je ovaj koncept konkurentan LNG tehnologiji na određenim rastojanjima.<sup>105</sup>

Razvoj ove tehnologije bio je u dosadašnjem periodu usmeren u pravcu: razvoja procesa pripreme gasa za transport sa ciljem da se snize troškovi; razvoja novih materijala koji omogućuju transport na većim pritiscima (povećanjem pritiska povećava se količina); maksimiziranja pritiska kompresije s ciljem da se uskladišti veća količina zemnog gasa. Danas su najpoznatije u svetu tehnologije za komprimovanje i skladištenje zemnog gasa: Coselle-Cran & Senning, VOTRANS – EneSea, GTM – Trans Canada, CRPV tehnologija;<sup>106</sup> ...

Takođe, ova tehnološka metoda može da se primenjuje i u prenosu gasa na samom kopnu, od bušotina do potrošača, gde se gas transportuje drumskim ili železničkim sredstvima prenosa u specijalno konstruisanim sudovima koji se nalaze na njima. Reč je o bušotinama koje su manjeg proizvodnog kapaciteta i rezervi, ili su na velikim udaljenostima, gde se ne isplati izgradnja i njihovo povezivanje cevovodom sa kupcem.

Posebno je izraženo, i u praksi sve više primenjivana, u poslednje vreme ova tehnologija, kod koncepta distribucije gasa krajnjim potrošačima, u onim regionima, gde nije ili nije još dovoljno izgrađena gasovodna distributivna mreža. Gas koji se doprema cevovodom do distributera

<sup>102</sup> Dekanić, I. i dr., *Studija o primjeni stlačenog prirodnog plina u Republici Hrvatskoj. Diverzifikacija dobavnih pravaca SPP-a brodovima*, Zagreb, 2008, str. 8.

<sup>103</sup> Autor, na osnovu rada: Dekanić, I. i dr., *Studija o primjeni stlačenog prirodnog plina u Republici Hrvatskoj. Diverzifikacija dobavnih pravaca SPP-a brodovima*, Zagreb, 2008, str.7.

<sup>104</sup> Takođe, pored samih brodova za CNG, koji su opremljeni odgovarajućim skladišnim kapacitetima, grade se i „barže“ za prevoz komprimovanog zemnog gasa koje nemaju sopstveni pogon. Njih vuku ili guraju tegljači.

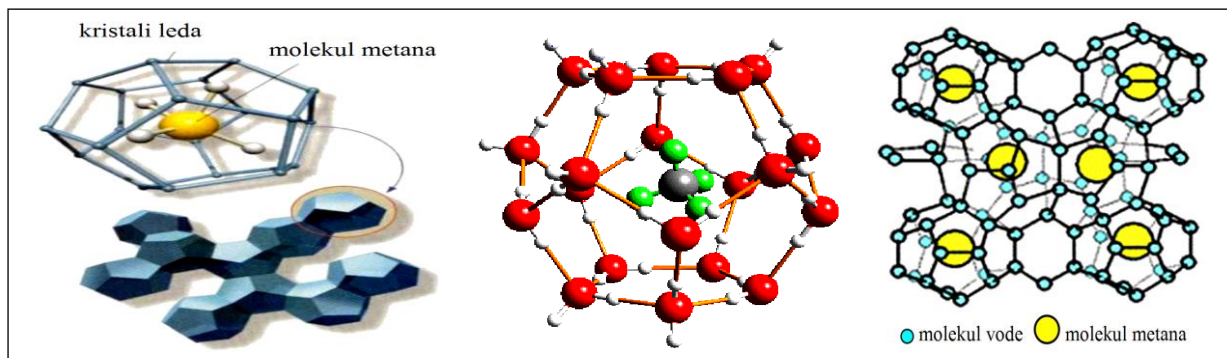
<sup>105</sup> Ljubaš, D. i dr., „Mogućnosti transporta i skladištenja prirodnog plina u obliku plinskih hidrata“, Skup u Opatiji, 2011.

<sup>106</sup> Nešto opširnije o ovim tehnologijama može se videti u sedmom delu ovoga rada. Detaljnije o svakoj od metoda može se videti u nizu radova koji detaljnije sagledavaju ovo pitanje.

komprimuje se i specijalnim kamionima (ređe vozovima) isporučuje krajnjim potrošačima.<sup>107</sup> Sami transportni kamioni i vozovi mogu da imaju različita tehnička rešenja (trajler, baterije, solo vozila, sedlaste prikolice...) za dostavu gasa krajnjem potrošaču.

### 1.5. Tehnologija prevoza zemnog gasa u čvrstom agregatnom stanju i lanac snabdevanja tržišta

Kao jedan od mogućih koncepata transporta zemnog gasa, koji je još u fazi primenjenog istraživanja, ali se prema dosad uočenim i ispoljenim karakteristikama značajno nameće, jeste način njegovog prevoza kad je u obliku hidrata (tzv. Gas to Solid). U inostranoj literaturi ova tehnologija se skraćeno najčešće označava NGH (eng. Natural Gas Hydrates). Tehnološki lanac<sup>108</sup> transporta zemnog gasa u formi hidrata čini: proizvodnja hidrata, prevoz i prevođenje hidrata u prvobitno (regasifikacija, isparavanje) gasovito stanje. Hidrati su produkti mešanja zemnog gasa sa vodom. Oni su stabilne kristalne strukture.<sup>109</sup> Nastaju tako što se molekuli  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2$ ,  $\text{C}_3$ , stabilizuju vodonikovim vezama i na taj način formirajući 3D rešetkastu strukturu u kojoj su „zarobljeni“ (uhvaćeni) molekuli gasa okruženi sa više molekula vode. Hidrat se formira pod određenim uslovima. Određeni nivo temperature i pritiska uslovljava fiziko vezivanje gasa i vode (Sl. 2.12).<sup>110</sup>



Slika 2.12. Grafička ilustracija hidrata, pozicija „zarobljenog“ metana u strukturi vode<sup>111</sup>

Kod koncepta transporta gasa u formi hidrata reč je o željenoj i kontrolisanoj tehnološkoj aktivnosti njihovog formiranja.<sup>112</sup> U jednoj proizvedenoj toni hidrata (cca.  $1 \text{ m}^3$ ) ima  $\sim 165 \text{ m}^3$  zemnog gasa.<sup>113</sup> Tehnički posmatrano, uspostavljanje lanaca dopreme, prema fazama realizacije aktivnosti, počinje proizvodnjom gasnih hidrata, tj. tehnološkim procesom prevođenja zemnog gasa iz gasovitog u čvrsto agregatno stanje.<sup>114</sup> Potrebno je prvo, za uspešnu realizaciju koncepta u formi

<sup>107</sup> Poseban segment, mesto i oblast u vezi sa komprimovanim zemnim gasom u gasovitom agregatnom stanju, pripada primeni ovog gasa u ovom stanju za pogon motornih vozila (automobili, kamioni, autobusi...). U ovom radu nije posvećivana pažnja ovom segmentu jer pripada oblasti finalne potrošnje.

<sup>108</sup> Opširnije o lancu snabdevanja tehnologijom hidrata može se videti u radu: Tomonori, N. i dr., „Development of natural gas ocean Transportation chain by means of natural gashydrate (NGN)“, Proceedings of 6th International Conference on Gas Hydrates (ICGH), Vancouver, British Columbia, Canada, July 2008.

<sup>109</sup> Osnovu saznanja vezanih za formiranje gasnih hidrata predstavlja otkriće do koga je došao Humphrey Davy (1811) da se gas u rastvoru sa vodom lakše zamrzava. Faradej je ovo potvrdio 1823. Hidrat je stabilna kristalna struktura slična snegu.

<sup>110</sup> Gasni hidrati imaju formulu  $M_n (\text{H}_2\text{O})_p$ , gde je Mn oznaka za n molekul hidrat-formera M povezanih sa p molekula vode. Najčešće strukture u kojima se javljaju hidrati jesu: struktura I (Tip I), struktura II (Tip II) i struktura III (Tip H).

<sup>111</sup> Autor, na osnovu ilustracija preuzetih iz većeg broja stručnih radova.

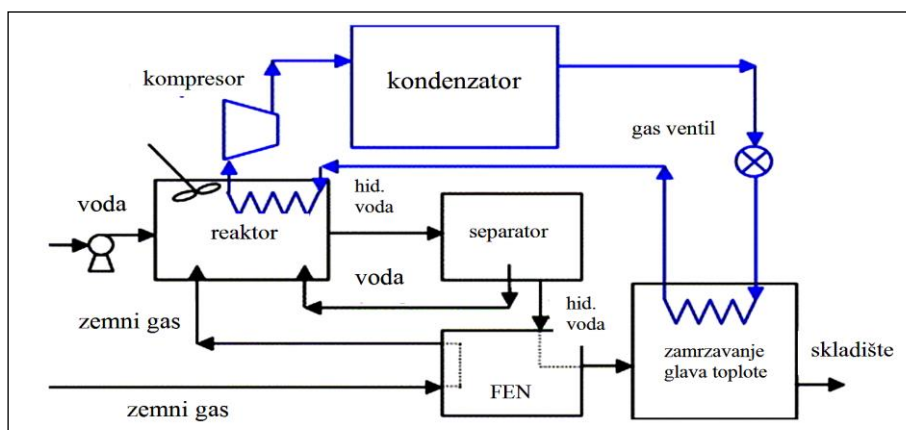
<sup>112</sup> Formiranje hidrata u procesu eksploatacije i transporta gasa cevovodima jeste neželjena aktivnost.

<sup>113</sup>  $1 \text{ m}^3$  hidrata sadrži u sebi od  $150\text{--}180 \text{ m}^3$  zemnog gasa i oko  $0,8 \text{ m}^3$  vode, u zavisnosti od pritiska i temperature na kojoj se proizvodi. Engelezos, P., *Energy Pontencial of Natural Gas Hydrates*, Department of Chemical and biological Engineering, The Universty of Britsh Columbia, 2010.

<sup>114</sup> Ljubaš, D. i dr., „Mogućnosti transporta i skladištenja prirodnog plina u obliku plinskih hidrata“, Skup, Opatija, 2011.

gasnih hidrata, izvršiti njihovo formiranje. U samom tehnološkom procesu proizvodnje hidrata vrši se neophodno mešanje prirodnog gasa i vode u reaktorima, što predstavlja osnovu samog procesa.

Tehnološki proces mešanja zemnog gasa u gasovitom stanju i vode, realizuje se u proizvodnim reaktorima (Slika 2.13). Aktivnost se sprovodi u kontrolisanim uslovima, pri određenim pritiscima (najčešće, 2–10°C, 80–100 bara) i temperaturama dok se ne formira (nastane) hidratni talog.<sup>115</sup> Hidratni talog se u proizvodnom postrojenju (uređajima, mašinama), pod pritiskom, prevodi u čvrste kompaktne geometrijske oblike. Tehnički posmatrano, hidrati se mogu proizvesti, transportovati i skladištiti u različitim fizičkim oblicima. Sama hidratna masa iz reaktora može se prevesti u praškast, loptast i valjkast oblik pomoću proizvodnih mašina. Kao najpogodnija geometrijska forma hidrata u primeni se pokazala ona kad je on u obliku peleta. Pomoću peletizera, mašine za proizvodnju, od hidratne mase proizvode se peleti.<sup>116</sup> Peleti mogu da bude različitog geometrijskog oblika i dimenzija. Pelet koji je obliku lopte, najotporniji je na destabilizaciju.



Slika 2.13. Dijagram tehnološkog procesa proizvodnje hidrata (GtS)<sup>117</sup>

Talog hidrata prirodnog gasa moguće je održavati u specijalno izolovanim kontejnerima, bez značajne degradacije, ako je ohlađen na temperaturu od  $-20^{\circ}\text{C}$  do  $-15^{\circ}\text{C}$  (253–258 K) uz atmosferski pritisak<sup>118</sup>, duži vremenski period.<sup>119</sup> Taj vremenski period predstavlja dovoljno vreme za prevoz hidrata do tržišta gde postoji tražnja za zemnim gasom. Transport se može realizovati u specijalnim posudama, posebno izolovanim, u koje se smeštaju hidrati.

Na krajnjoj destinaciji (odredištu), potrebno je izvršiti na prikladan način destabilizaciju hidrata kako bi se iz njega dobio prirodan gas. Na samoj lokaciji prihvatanja, obezbeđuju se adekvatna postrojenja u kojima se vrši kontrolisana destabilizacija hidrata. Regasifikacija predstavlja aktivnost u kojoj se zemni gas prevodi iz čvrstog u gasovito agregatno stanje. To je tehnološki proces u kome se pomoću adekvatne infrastrukture iz hidrata izdvaja zemni gas u gasovitom i voda u tečnom agregatnom stanju. Najčešće, tehničko rešenje je grejanje hidrata pomoću vode.<sup>120</sup>

<sup>115</sup> Kanda, H., „Economic study on Natural Gas Transportation with Natural Gas Hydrate (NGH) pellets“, Japan, prezentovano na 23<sup>rd</sup> world Gas Conference, Amsterdam, 2003.

<sup>116</sup> Nakata, T. i dr., „Study of natural gas hydrate (NGH) carries“, 6th International Conference on Gas Hydrates Vancouver, British Columbia, Canada, 2008. Pelet može da bude u različitoj formi i veličini: lopta, valjak (šipka), ...

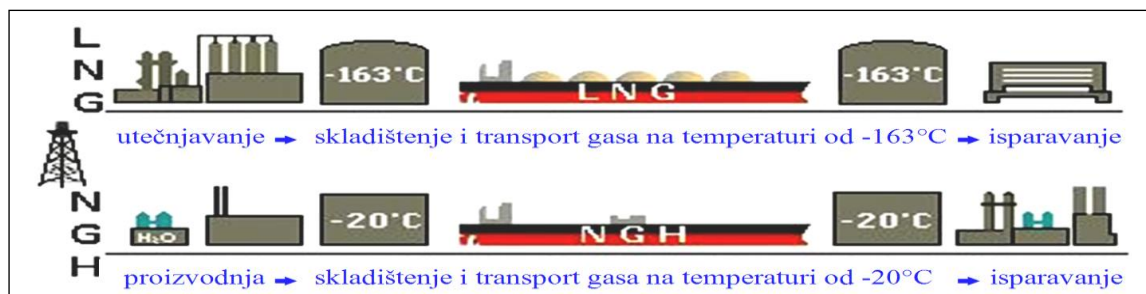
<sup>117</sup> Autor, prema: Javanmardi, J. i dr., „Economic evaluation of natural gas hydrate as an alterative for natural gas transportation“, *Applind Themal Engineering*, 25, 2005, str. 1708–1723.

<sup>118</sup> Javanmardi, J. i dr., „Economic evaluation of natural gas hydrate as an alterative for natural gas transportation“, *Applind Themal Engineering*, 25, 11–25, 2005, str. 1708–1723.

<sup>119</sup> Hidrat se može zadržati u čvrstom agregatnom stanju i do 15 dana. Sun, Z. i dr., „Natural gas storage in hydrates withe the presnse of promoters“, *Energy Conversion and management*, 44, 2003, str. 2733–2742.

<sup>120</sup> Opširnije o tehnologiji transporta hidrata može da se vidi u radu: Dawe, R. A. i dr., „Hidrante technology for transporting natural gas“ sa Departmana za hemijski inženjering Univerziteta West Indies Trinidad, objavljenom u *Engineering Journal of the university of Qatar*, Vol. 16, 2003, str. 11–18.

Danas se smatra da je primena tehnologije transporta zemnog gasa u čvrstom stanju, u obliku hidrata, pogodna i prihvatljiva za razvoj gasnih polja male i srednje veličine.<sup>121</sup> Reč je u prvom redu o prevozu hidrata pomorskim, ali i železničkim i drumskim prevoznim sredstvima.<sup>122</sup> Ova tehnologija ima svojih tehničkih i ekonomskih prednosti u nekim segmentima, u odnosu na druge oblike transporta zemnog gasa (Slika 2.14).<sup>123</sup> Eksperimentalna faza ovakvog oblika transporta pokazuje da ona može da bude alternativa, u nekim slučajevima prenosa gasa, cevovodima u gasovitom i brodovima u tečnom stanju. U odnosu na gasovode i LNG, ovaj koncept dopreme ima niže kapitalne i operativne troškove po jedinici transporta. Brodovi za prevoz hidrata tehnički su manje zahtevni, konstrukciono jednostavniji, a samim time i jeftiniji. Ovo je i veoma prikladan oblik skladištenja zemnog gasa u kraćem vremenskom periodu.<sup>124</sup>



Slika 2.14. Grafička ilustracija komparativne analize lanca snabdevanja tržišta zemnim gasom u tečnom stanju (LNG) i u obliku hidrata (NGH)<sup>125</sup>

## 1.6. Tehnologija transport zemnog gasa prevođenjem u tečna goriva (GtL)

Primenom tehnologije prevođenja zemnog gasa u tečna goriva (Gas to liquid, GtL) menjaju se hemijska svojstva gasa.<sup>126</sup> U postupku prevođenja gasa u tečnost hemijskim postupkom, a ne samo promenom agregatnog stanja kao što je to u slučaju LNG, iz zemnog gasa proizvode se tečna jedinjenja.<sup>127</sup> Obično se iz metana, u procesu mešanja s parom, dobija sintetički gas (nastaje mešavina CO i H<sub>2</sub>), a iz njega različitim postupcima (Fischer-Tropschovom sintezom,...) nastaju tečna goriva, koja se mogu skladištiti i transportovati kao i sva konvencionalna naftna goriva. Ova tehnologija je u svetu dobijala sve veći praktični značaj od 90-ih godina XX veka.<sup>128</sup>

GtL tehnologija se sastoji od tri osnovna tehnološka procesa: 1. konverzije zemnog gasa u sintetički gas (tzv. Syngas); 2. Fischer-Tropschove sinteze sintetičkog gasa u dugolančane ugljovodonike i 3. hidrokrekinga i hidroizomerizacije, odnosno proizvodnje tečnih goriva.<sup>129</sup>

<sup>121</sup> Watanabate, S. i dr., „A demonstration project of NGH land Transportation system“, Proceedings of 6th International Conference on Gas Hydrates (ICGH), Vancouver, British Columbia, Canada, July 2008.

<sup>122</sup> Reč je o transportu metana u formi hidrata brodovima, ali on se može prevoziti i železnicom i kamionima.

<sup>123</sup> Bliže o aspektu transporta zemnog gasa, kao alternative, u formi hidrata može se videti u radovima: Javanmardi, J. i dr., „Economic evaluation of natural gas hydrate as an alternative for natural gas transportation“, *Applied Thermal Engineering* 25, 2005, str. 1708–123; Gumundsson, J. i dr., „Hydrate non-pipeline technology for transport of natural gas“, 22nd world Gas Conference, Tokyo, 2003.

<sup>124</sup> Karasalihović Sedlar, „Gospodarenje plinovima 1“, *Transport i skladištenje prirodnog plina*, RGNF, Zagreb, 2010.

<sup>125</sup> Autor je prilagodio ilustraciju preuzetu iz većeg broja stručnih radova iz ove oblasti.

<sup>126</sup> Nasuprot GtL tehnologiji, kod procesa LNG tehnologije menja se fizikalno svojstvo zemnog gasa.

<sup>127</sup> Najčešće metanol, amonijak i dr. Holman, A., „Direct conversion of methane to fuels and chemicals“, *Catalysis Today*, 142, 2009, str. 2–8.

<sup>128</sup> Postupak konverzije zemnog gasa i/ili ugljena u tečna sintetička goriva poznat je od 1920. godine u Nemačkoj. Zbog relativno niske cene nafte i visoke cene tehnoloških postupaka, ova tehnologija nije imala značajniju komercijalnu primenu. Tek povećanje cene nafte i uspostavljanje visokih standarda za kvalitet doprineli su da ova tehnologija dobije veliki značaj.

<sup>129</sup> Materijal: Turčinec, F., *Plinovi kao energent, energentske transformacije i budući razvoj*, RNF, Zagreb, 2007.



1. Konverzija (prevođenje) zemnog u sintetički gas. Parcijalnom oksidacijom sa kiseonikom zemni gas se u autotermalnom-reformskom reaktoru prevodi u sintetička goriva. U samom procesu realizacije oksidacije može da se koristi čist kiseonik ili kiseonik iz vazduha. Rezultat konverzije je sintetički gas, koji je mešavina ugljen-monoksida i vodonika. U tehnološkom procesu konverzije nastoji se da odnos ugljen-monoksida i vodonika u dobijenom sintetičkom gasu bude u razmeri 2:1.

2. Fischer-Tropschova sinteza. U reaktoru, katalitičkim procesom, iz sintetičkog gasa dobijaju se tečni ugljovodonici, različitih dužina svoga lanaca. Tehnološki proces se realizuje na temperaturama 200–300°C i na pritisku 10–40 bara. Danas se u savremenim postrojenjima kao katalizator upotrebljava kobalt. Kao tehničko rešenje u starijim pogonima korišćeno je gvožđe.

3. Hidrokreking i hidroizomerizacija. Primenom u proizvodnji tehnoloških procesa hidrokrekinga i hidroizomerizacije, na različitim temperaturama i pritiscima, iz već dobijenih lanaca ugljovodonika (različitih dužina, nastalih Fischer-Tropschovom sintezom) može da se proizvede veliki broj raznovrsnih tečnih goriva. Tehnološkim procesima hidrokrekinga i hidroizomerizacije dobijaju se goriva visokog kvaliteta i čistoće.<sup>130</sup>

Primenom GtL tehnologije u procesima proizvodnje, mogu da se dobiju različiti proizvodi, kao produkti određenih procesa: sintetička nafta, kerozin<sup>131</sup>, dizel-gorivo, tečni naftni gas, etanol, dimetil-etar, urea, razna maziva, voskovi, sirovine za petrohemiju... Ova tehnologija (GtL) omogućava iskorišćavanje komercijalno nezanimljivih, od tržišta udaljenih ležišta gasa, pošto se konverzijom zemnog gasa mogu dobiti profitabilna tekuća sintetička goriva. Neki od tehnoloških procesa za dobijanje ovih proizvoda energetski su visokointenzivni, dok drugi procesi iziskuju tehnički zahtevna savremena postrojenja. Ovom tehnologijom dobijaju se proizvodi koji imaju fizičko-hemijske karakteristike približno slične proizvodima rafinerijske proizvodnje. Tako dobijeni proizvodi, koji imaju slične karakteristike produktima rafinerijske prerade, mogu se transportovati istim transportnim sredstvima kojima se i oni transportuju. Nisu potrebna posebno konstruisana i izgrađena prevozna sredstva niti skladišni prostori za proizvode koji se dobijaju ovom tehnologijom. Ovi proizvodi ne zahtevaju posebne tehničke uslove za prenos i uskladištenje, što značajno povoljno utiče na ukupne logističke troškove.

## **2. Mogućnost transporta tehničkih gasova u tri agregatna stanja u funkciji efikasnije logistike i boljeg snabdevanja potrošača**

Transport tehničkih gasova predstavlja složenu i specifičnu aktivnost, koja je uslovljena nizom različitih i posebnih karakteristika i parametara vezanih za gas kao proizvod. Jedna od osobina tehničkih gasova jeste da u gasovitom agregatnom stanju imaju malu zapreminsku masu. Ova činjenica, u osnovi, određuje i upućuje na određene aktivnosti, procese i radnje vezane za oblasti prevoza i manipulacije gasovima kao proizvodom.

Sam transport tehničkih gasova može se posmatrati sa više aspekata. Prema prostoru gde se aktivnost odvija, on može biti: interni i eksterni. Pod internim prevozom podrazumevamo sve aktivnosti njegovog prenosa koje se odvijaju u samom procesu proizvodnje, skladištenja i punjenja gasa u posude, koje se realizuju u okviru proizvodno-skladišnih aktivnosti njegove proizvodnje i manipulacije na lokaciji proizvođača. Aktivnost eksternog transporta obuhvata prenos gasa od mesta proizvodnje do krajnjeg potrošača, i sve radnje vezane za realizaciju ovog procesa. Aktivnost eksternog prevoza, sa aspekta ko ga obavlja, može da bude realizovana sopstvenim dostavnim sredstvima ili angažovanjem trećih lica specijalizovanih za ovu aktivnost. Posmatrano sa aspekta

<sup>130</sup> Dizel-gorivo, koje se dobija ovim postupkom (na temperaturi 180–250°C), znatno je kvalitetnije nego ono koje se dobija rafinerijskim procesom prerade nafte. Dizel-gorivo koje se dobija na ovaj način iz zemnog gasa visokog je kvaliteta i značajno je čistije. U sebi ne sadrži značajnije količine: sumpora, azota, benzena...

<sup>131</sup>Primenom GtL tehnologije u procesu proizvodnje dobijaju se izuzetno kvalitetna i visoko čista goriva (bez polutanata). Ona se danas smatraju za ekološka goriva.

agregatnog stanja u kojem se transportuje tehnički gas, realizacija njegovog prenosa može biti u gasovitom, tečnom i čvrstom agregatnom stanju (Tabela 2.1).<sup>132</sup>

Tabela 2.1. Mogućnost transporta tehničkih gasova<sup>133</sup>

	gasovito stanje	tečno stanje	čvrsto stanje
posude	– boce – baterije boca – trajleri – cevovodi	– termo sud – kriogene posude – cisterne	– stiropor kutije – kontejneri
vid transporta	– drumski – železnica – cevovod	– drumski – železnica – cevovod	– drumski – železnica

Autor.

## 2.1. Transport tehničkih gasova u gasovitom agregatnom stanju

Prilikom prevoza u gasovitom stanju, gas se može transportovati u specijalno konstruisanim sudovima ili cevovodima. Realizacija dopreme gasa u posudama, u gasovitom stanju, na atmosferskom pritisku, iziskuje sudove enormno velike volumenske zapremine. Ali istovremeno, to neminovno znači da se u tom slučaju na atmosferskom pritisku prenosi veoma mala težina gasa u odnosu na veličinu i masu posude. Da bi se povećala težina gasa koji se doprema, gasovi se u gasovitom stanju komprimuju u posudama na visoke pritiske. Kompresijom gasa povećava se pritisak u posudi, i na taj način u isti volumenski prostor smešta se veća količina gasa jer se on ovom aktivnošću sabija. Na taj način se omogućuje, da se veća količina gasa smesti i prenese u istom zapreminskom skladištno transportnom prostoru.

Kod prevoza gasa u gasovitom stanju u specijalnim sudovima, reč je o tehnologiji komprimovanja gasa na visoke pritiske i njegovog skladištenja i transporta. Kada je reč o posudama u kojima se transportuju gasovi u gasovitom stanju pod pritiskom, one mogu biti u obliku: boca, baterija i trajlera različite zapremine i tehničkog rešenja, namenjene za različite pritiske.

Boca predstavlja samostalan sud za skladištenje i prevoz komprimovanog gasa. Količina gasa koja se može transportovati u jednoj boci zavisi od njene zapremine, maksimalno dozvoljenog radnog pritiska i vrste gasa koji se u nju skladišti. Zapremina boce se iskazuje u litrima, i ona se kreće u rasponu 1–100 litara. U praktičnoj primeni, najčešće zapremina pojedinačne boce ne prelazi više od 50 litara, a razlog je otežana manipulacija zbog same njene težine (Tabela 2.2). Težina boce zavisi od njene zapremine, materijala koji se koristi za njenu izradu i radnog pritiska za koji je boca namenjena.<sup>134</sup> Danas se u svetu najviše koriste čelične boce. Težina čelične boce, za pritiske do 200 bara, zapremine od pedeset litara, iznosi između 48 i 55 kg.<sup>135</sup>

Baterija predstavlja tehničko rešenje koje međusobno tehničko-tehnološki povezuje veći broj boca u jednu kompaktnu celinu. Baterija se formira u sklopu čvrste konstrukcije, od samostalnih boca, najčešće od 12 do 36 boca, koje su međusobno povezane u sekcije. Trajler je prevozno rešenje

<sup>132</sup> Radiš, D., *Sistem marketing logistike u proizvodnji i distribuciji tehničkih gasova*, magistarski rad, Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd, 1999, str. 133–142.

<sup>133</sup> Podela je izvršena u zavisnosti od agregatnog stanja, posude i transportnog sredstva. Autor.

<sup>134</sup> Radni pritisak boce jeste pritisak do koga je dozvoljeno punjenje suda komprimovanim gasom. Pritisak na kome se testira svaka boca prilikom njenog ispitivanja naziva se ispitni pritisak suda. Ispitni pritisak je uvek iz sigurnosnih razloga za 50% veći od radnog pritiska. Tako za bocu od 200 bara pritisak kojem se ona podvrgava prilikom ispitivanja (testiranja) iznosi 300 bara. Redovno ispitivanje boca je propisano zakonom, i ono se kreće 10 godina za inertne gasove, a pet godina za zapaljive (vodonik).

<sup>135</sup> Ovo je težina ambalaže bez gasa i ona zavisi od proizvođača boce.

u kome je povezan veći broj boca u jedinstvenu celinu, koje se nalaze na transportnom sredstvu kao njegov jedinstven neodvojiv sistem, najčešće namenjen drumskom saobraćaju. Trajlери mogu biti različitih tehničkih rešenja. Pritisци na kojima se danas komprimuju gasovi u trajlerima kreću se između 150 i 300 bara.

Tabela 2.2. Teoretski, količina gasa ( $m^3$ ) u gasovitom stanju koja se može komprimovati i transportovati u boci (u zavisnosti od pritiska i njene zapremine)

pritisak zapremina	10 (bar)	50 (bar)	100 (bar)	150 (bar)	200 (bar)	300 (bar)	500 (bar)
10 (litara)	0,1	0,5	1	1,5	2	3	5
20 (litara)	0,2	1	2	3	4	6	10
40 (litara)	0,4	2	4	6	8	12	20
50 (litara)	0,5	2,5	5	7,5	10	15	25
60 (litara)	0,6	3	6	9	12	18	30

Autor.<sup>136</sup>

Kao tehničko rešenje u procesu dopreme pojedinačnih boca, u praksi se koriste i palete za smeštaj pojedinačnih boca. U čelične, posebno konstruisane palete, smešta se veći broj samostalnih boca radi lakšeg, sigurnijeg i bezbednijeg transporta i manipulacije. Boce u paleti nisu međusobno tehničko-tehnološki povezane. Danas, realizacija prevoza tehničkih gasova, kad se transportuju u gasovitom stanju, sprovodi se u najvećoj meri kamionima i cevovodima. Boce, palete i baterije najčešće se prevoze kamionima iako je njihov prevoz takođe moguć železnicom i brodovima. Evropska industrija gasova raspolaže sa preko 14.000 vozila za isporuku gasova. Na evropskom tržištu, u upotrebi je oko četrdeset miliona boca za komprimovane gasove u gasovitom stanju.<sup>137</sup>

Primeru radi, kao ilustracija može da se uzme jedan sud vodene zapremine od 40 litara. U ovu posudu, na atmosferskom pritisku, može da se smesti  $0,04 m^3$  gasa u gasovitom stanju. Istovremeno to znači, kad je reč o kiseoniku, da se na pritisku od 1 bara u ovom sudu težinski nalazi  $0,0566 kg$  gasa. U istu volumensku posudu, sabijanjem (komprimovanjem) gasa, može da se smesti veća količina istog fluida. Povećanjem pritiska na 10 bara, u sud staje  $0,4 m^3$  gasa, što na primeru kiseonika iznosi  $0,56 kg$ . Kompresijom gasa na pritisak od 150 bara, u posudu staje  $6 m^3$  gasa ili maseno  $8,5 kg$ . Povećanje pritiska gasa neminovno prouzrokuje kao posledicu i povećanje debljine zida posude, a samim time i njenu veću masu. U zavisnosti od toga o kojim je pritiscima i gasovima reč, odnos od težine komprimovanog gasa i posude, kreće se u razmeri od 1:2 do 1:100. U nekim slučajevima, ovaj odnos u praksi je i veći u zavisnosti od vrste gasa i pritiska u njoj.<sup>138</sup> Ovo dovodi do toga da, i pored sabijanja gasa, kod transporta i skladištenja komprimovanih fluida, odnos gasa koji se doprema i same težine posude nije najpovoljniji sa aspekta logistike (Tabela 2.3).<sup>139</sup>

Specifičnost transporta tehničkih gasova u gasovitom stanju u bocama predstavlja doprema ugljen-dioksida. Ovaj gas prilikom prevoza u bocama, zbog svojih fizičkih karakteristika, može da se nalazi u ravnotežnom stanju, istovremeno u tečnom i gasovitom stanju. Boca može da se puni tečnim duboko hlađenim ili gasovitim  $CO_2$ . Tako da je samo kod ovoga gasa, prilikom dostave u

<sup>136</sup> Reč je o teorijskoj veličini gasa koja se može smestiti u konkretni prostor pod određeni pritiskom. Tačna količina zavisi od konkretnog gasa i kreće se približno oko teoretske vrednosti. Autor.

<sup>137</sup> Bogner, M., Isailović, M., *Tehnički i medicinski gasovi*, ETA, Beograd, 2005, str. 24.

<sup>138</sup> Kao primer i ilustracija negativnog odnosa komprimovanog gasa i ambalaže može da posluži vodonik. Na pritisku od 100 bara u sud (boci) od 40 litara staje  $4 m^3$  gasa težine od 340 grama. Ukupna težina same boce za komprimovani gas je 50 kg. Na ovom primeru odnos težine posude i gasa iznosi 147:1. Kod helijuma ovaj odnos je još nepovoljniji. Povećanjem količine komprimovanog gasa u posudi, punjenjem boca na više pritiske ovaj odnos se poboljšava.

<sup>139</sup> Povoljniji odnos gasa i ambalaže ostvaruje se dopremom gasa u tečnom stanju. O ovome, detaljnije u nastavku rada.

bocama, radni pritisak fluida na kome se on nalazi u sudu uslovljen fizičkim osobinama samoga gasa i iznosi maksimalno 60 bara.<sup>140</sup>

Smanjenje potrebnog prostora za skladištenje i dopremu gasa u gasovitom stanju postiže se njegovim komprimovanjem. Tako se prostor koji zauzima gas u gasovitom stanju smanjuje njegovim komprimovanjem (sabijanjem). Koliki će prostor zauzeti gas u komprimovani stanju, zavisi od pritiska na kome se on nalazi nakon sabijanja. Pored toga što u tečnom stanju zauzima manje prostora, transport i skladištenje gasa u tečnom stanju istovremeno su, prema nekim parametrima<sup>141</sup>, bezbedniji nego kada je gas u gasovitom agregatnom stanju. Povećanjem pritiska gasa u gasovitom stanju povećava se opasnost od eksplozivnosti tokom transporta, skladištenja, manipulacije i rukovanja.

Tabela 2.3. Količina određenog komprimovanog gasa (u kg) koji se može dopremiti u boci u zavisnosti od zapremine i pritiska

	10/200 (lit/bar)	40/150 (lit/bar)	40/200 (lit/bar)	50/150 (lit/bar)	50/200 (lit/bar)	50/300 (lit/bar)
Kiseonik	2,9	8,5	11,4	10,7	14,3	21,4
Azot	2,2	6,9	8,9	8,7	11,8	15,3
Argon	3,6	10,5	14,3	13,4	17,8	25,5
Helijum	0,31	0,94	1,23	1,18	0,75	2,2
Vodonik	0,15	0,46	0,6	0,58	0,75	1,06

Autor.<sup>142</sup>

**Cevovodi za transport tehničkih gasova** mogu se posmatrati i analizirati sa različitih aspekata i na osnovu većeg broja relevantnih parametara. Prema agregatnom stanju fluida koji se njima prenosi, cevovodi mogu da budu namenjeni za prenos gasa u gasovitom i tečnom agregatnom stanju fluida. U zavisnosti od gorive karakteristike samog fluida, razlikujemo cevovode za inertne i zapaljive gasove. Prema vrsti gasa koji se doprema, cevovodi mogu da budu za: kiseonik, azot, ugljen-dioksid, vodonik... Sa aspekta lokacije prostornog položaja cevovoda, oni mogu da budu instalirani nadzemno i podzemno. Posmatrano prema vrsti materijala od koga su izrađeni, cevni vodovi mogu da budu: čelični, bakarni, prohromski...

Sama namena cevovoda za transport tehničkih gasova može da bude za dopremu gasa u gasovitom ili u tečnom stanju. U praksi, za prevoz gasa na veća rastojanja najčešće se koriste cevovodi za transport fluida u gasovitom stanju. Cevovodi za dopremu gasova u tečnom stanju zahtevaju specijalno izolovane cevovode za izrazito niske temperature, niže od  $-180^{\circ}\text{C}$ . Svaki cevovodni sistem za prenos gasa u osnovi čini sam instalirani cevni sistem i kompresor (ili pumpa) za transport fluida.

Cevovodi za prenos gasa mogu da budu proizvodni i distributivni. Pod proizvodnim cevovodima se podrazumevaju cevni razvodi koji su instalirani u procesu proizvodnje, prenosa, skladištenja i u okviru same punionice za tehničke gasove. Distributivno-transportni cevovodi tehničkih gasova namenjeni su prenosu i snabdevanju gasovima potrošača. Oni se, u zavisnosti od svoje funkcije, dele na: magistralne, razvodne i ogranke.<sup>143</sup> Magistralni cevovod je cevni vod koji služi za transport gasa od mesta proizvodnje, ili mesta za snabdevanje, do razvodnog cevnog voda. Razvodni cevni vodovi (razvodna mreža) jesu vodovi pomoću kojih se gas iz magistralnog cevovoda

<sup>140</sup> Ugljen-dioksid se smešta u bocu na pritisku do 60 bara. U boci od 40 litara njegova težina gasa iznosi 25 kg.

<sup>141</sup> U prvom redu reč je o opasnosti koja proističe iz visine pritiska pod kojim gas može da se nalazi (i do 300 bara).

<sup>142</sup> Autor. Analiza je urađena da bi se sagledala masena (težinska) količina gasova (kg) u gasovitom stanju koji se mogu prevoziti u bocama. Reč je o bocama različite zapremine, na različitim pritiscima. U analizi su sagledani određeni tehnički gasovi.

<sup>143</sup> Pored ovih osnovnih cevovoda, u procesu prenosa gasa koriste se još: privremeni cevni vodovi, savitljivi cevni vodovi, vodovi za izduvanje...

transportuje do mesta potrošnje. Ogranak cevnog voda jeste deo razvodne mreže kojim se gas iz razvodnog voda prenosi do samog priključnog mesta, mesta potrošnje gasa.

Prema radnom pritisku, cevni vodovi se dele na: vodove niskog pritiska (do 1 bara), vodove srednjeg pritiska (od 1 do 40 bara) i vodove visokog pritiska (preko 40 bara). Preporučuje se za cevne vodove od ugljeničkog nelegiranog čelika najveća brzina strujanja fluida, pri maksimalnoj potrošnji i najmanjem radnom pritisku. Tako da je preporučena maksimalna brzina strujanja fluida, za cevovode kojima se prenose zapaljivi gasovi, u cevnim vodovima niskog pritiska 25 m/s, a u cevnim vodovima srednjeg pritiska 15 m/s. Danas su u Evropi instalirani cevovodi za razvod tehničkih gasova veće dužine od 5000 kilometara.<sup>144</sup>

Maksimalni protok gasa cevovodom, u radnim uslovima, izračunava se prema formuli za izračunavanje maksimalnog protoka u radnim uslovima  $Q_r$  ( $m^3/h$ ). Parametri u formuli (2.1) jesu:  $Q_o$  ( $m^3/h$ ) – maksimalni protok fluida u normalnim uslovima ( $T_o, P_o$ );  $T_r$  (K) – usvojena radna temperatura;  $T_o$  (K) – temperatura normalnog stanja;  $P_o(K)$  – pritisak normalnog stanja;  $P_r$  (K) – usvojeni radni pritisak (apsolutni).

Kod izračunavanja vezanog za transport fluida cevovodom, aktivnost obuhvata proračun hidraulički (unutrašnji prečnik) i mehanički (debljinu zida). Unutrašnji prečnik  $D_{ur}$  računa se prema formuli (2.2) prema poznatom protoku u radnim uslovima i dozvoljenoj brzini strujanja fluida.  $D_{ur}$  (mm) – računski dobijen unutrašnji prečnik cevovoda;  $Q_r$  ( $m^3/h$ ) – maksimalni protok pri radnim uslovima;  $W_d$  ( $m^3/h$ ) – dozvoljena ili proračunata brzina strujanja.

$$Q_r = \frac{Q_o \times P_o \times T_r}{T_o \times P_r} ; \quad D_{ur} = \sqrt{\frac{4 \times 100}{3.6} \frac{Q_r}{W_d \times \pi}} ; \quad \delta r = \frac{D_s \times P_i}{20 \times K/S \times V + P_1} + C_1 + C_2 ;$$

formule: (2.1)

(2.2)

(2.3)

Potrebna debljina zida cevi izložene unutrašnjem pritisku računa se prema formuli (2.3)  $\delta r$  (mm).  $D_s$  (mm) – spoljni prečnik usvojene cevi;  $P_i$  (bar) – ispitni pritisak (apsolutni);  $K$  ( $N/m^2$ ) – proračunata čvrstoća;  $S$  – stepen čvrstoće (obično je 1,1 za ispitni pritisak od 40 bara);  $V$  – koeficijent valjanosti zavarenog spoja ili koeficijent slabljenja;  $C_1$  (mm) – dodatak zbog smanjenja debljine;  $C_2$  (mm) – dodatak na koroziju i habanje.<sup>145</sup>

## 2.2. Uticaj agregatnog stanja gasa na efikasnost prevoza tehničkih gasova u tečnom i čvrstom agregatnom stanju prilikom snabdevanja potrošača

Transport tehničkih gasova u gasovitom stanju ima niz praktičnih nedostataka. Problem koji se ispoljava prilikom transporta tehničkih gasova u prvom redu se manifestuje u količini gasa koji se transportuje i u bezbednosti vezanoj za aspekt opasnosti u rukovanju visokim pritiscima. „Imajući u vidu malu gustinu gasova (čak i u komprimovanom stanju), postavilo se pitanje kako snabdevati potrošače koji su udaljeni od mesta proizvodnje gasova ili prirodnih izvora nekih od gasova. Rešenje je bilo u prevođenju gasova u tečno stanje tako da se oni mogu isporučivati u transportnim rezervoarima odnosno auto-cisternama, železničkim cisternama, kontejnerima za prevoz u drumskom ili železničkom saobraćaju ili specijalnim brodovima na kojima su ugrađeni rezervoari za tečni gas.“<sup>146</sup> Zahvaljujući fizičkoj činjenici da se svi gasovi teoretski, određenim tehnološkim postupcima, mogu prevesti u sva tri agregatna stanja, u praksi je moguće značajno unaprediti proces

<sup>144</sup> Bogner, M., Isailović, M., *Tehnički i medicinski gasovi*, ETA, Beograd, 2005, str. 24.

<sup>145</sup>  $C_2 = 0$  za cevi od nerđajućeg čelika i bakra.

<sup>146</sup> Bogner, M., Isailović, M., *Tehnički i medicinski gasovi*, ETA, Beograd, 2005, str. 24.

njihovog transporta. Svi tehnički gasovi se mogu transportovati, i danas se transportuju, pored gasovitog i u tečnom agregatnom stanju.

Prevođenjem gasa iz gasovitog u tečno stanje gas zauzima manji volumen (prostor). Tako da se prilikom transporta i skladištenja gasa zauzima značajno manji prostor. Kao ilustracija ovih odnosa može da se uzme gas kiseonik. Kiseonik zauzima 797 puta manji volumen u tečnom agregatnom stanju nego kad je u gasovitom stanju na normalnom pritisku. Prilikom transporta (skladištenja) iste količine gasa, posuda u kojoj se ovaj gas transportuje (skladišti) u gasovitom stanju treba da je 797 puta veća nego kada je on tečan. Tako da je za transport 1140 kg kiseonika u tečnom stanju potreban prostor od 1 metra kubnog, a istovremeno za istu količinu gasa u gasovitom agregatnom stanju potreban je prostor od 797 m<sup>3</sup> (Tabela 2.4). Za transport i skladištenje iste količine zemnog gasa u tečnom stanju potreban je 600 puta manji volumen nego kad je u gasovitom stanju. Posmatrano sa aspekta potrebnog prostora za skladištenje i prevoz, oni su neosporno značajno ekonomičniji i efikasniji kad se sprovede sa gasom u tečnom ili čvrstom agregatnom stanju. Ovo direktno doprinosi sigurnijem, efikasnijem i ekonomičnijem snabdevanju tržišta.

Tabela 2.4. Parametri tehničkih gasova u tečnom agregatnom stanju

	temperatura (na kojoj se tečan gas nalazi) °C	1 litar tečnog gasa = kg	1 kg (tečnog) = m <sup>3</sup> gasovitog	1 litar (tečnog) = m <sup>3</sup> gasovitog	1 m <sup>3</sup> (tečnog) = kg	1 m <sup>3</sup> (tečnog) = m <sup>3</sup> (gasovitog)	prostorni odnos tečnost- gas <sup>147</sup>
Kiseonik	-182,9	1,14	0,77	0,80	1140	797,76	797
Azot	-195,7	0,81	1,06	0,65	808	646,40	646
Argon	-185,8	1,33	0,62	0,77	1374	770,18	770
Vazduh	-192,0	0,86	*	0,67	861	667,44	667
Ugljen-dio.	-78,5	1,15	0,66	0,58	1153	583,21	583
Helijum	-268,9	0,125	*	0,70	125	700,28	700
Vodonik	-252,7	0,071	1,15	0,79	70,9	788,65	788
Acetilen	-83,6	0,613	1,37	0,52	613	520,59	520
Amonijak	-33,4	0,68	*	0,89	683	885,40	885

Autor.<sup>148</sup>

Ovi prezentovani podaci predstavljaju potvrdu druge postavljene hipoteze **da agregatno stanje gasa, kao proizvoda, ima uticaj na funkcije transporta i skladištenja gasa i time doprinosi većoj efikasnosti logistike.**

Doprema tehničkih gasova u tečnom stanju može se realizovati u posudama različite zapremine i tehničkog rešenja. Tečni tehnički gasovi mogu se transportovati u: termo sudovima, kriogenim posudama (rendžeri, palet tankovi) i cisternama. Termo posude<sup>149</sup> su izolovani sudovi zapremine 1–200 litara u kojima se transportuju tečni gasovi na atmosferskom pritisku. Kriogene posude su sudovi u kojima se gas nalazi u tečnom stanju na određenim pritiscima (1,2–25 bara) u ravnotežnom gasnom stanju. Ovi sudovi mogu biti rendžeri i palet tankovi. Rendžeri su samostalni sudovi, najčešće zapremine 100–300 litara. Palet tankovi su posude zapremine 300–10.000 litara, čvrstom vezom smeštene u fiksnu konstrukciju, i kao takve se prenose transportnim sredstvom (Tabela 2.5). Cisterne su sudovi koji su sastavni integralni deo transportnog drumskog ili

<sup>147</sup> Ovaj parametar pokazuje koliko puta manje zauzima prostora (volumena) gas u tečnom stanju nego kad je u gasovitom stanju na normalnom pritisku. Tako helijum zauzima 700 puta manje prostora u tečnom stanju nego u gasovitom. Sud u kome bi se gas transportovao u gasovitom stanju treba da je 700 puta veći. Ovaj odnos je kod: kiseonika 797, azota 646, argona 770, CO<sub>2</sub> 583, vodonika 788...

<sup>148</sup> Na osnovu više izvora.

<sup>149</sup> Termo posude često se u praksi i literaturi nazivaju kontejneri za tečne gasove. Ovaj pojam se najčešće susreće u praksi u oblastima: medicine, veterine i biologije.

železničkog sredstva, zapremine 5000–60.000 litara. Značajno mesto u prevozu tečnih gasova zauzima sama potreba i neophodnost procesa pothlađivanja kriogenih sudova pre utakanja gasa.

Transport cevovodima tečnih tehničkih gasova na niskim temperaturama veoma je specifičan u odnosu na aktivnost transporta fluida u gasovitom stanju (Tabela 2.5). Temperatura na kojoj se tečni gas transportuje može da budu i do  $-270^{\circ}\text{C}$ .<sup>150</sup> Cevovodi za transport gasova u tečnom stanju mogu da budu namenjeni prenosu na manja (u procesu proizvodnje, skladištenja, pretakanja u transportne sudove...) i veća rastojanja. Kriogeni gasovi se na manjim rastojanjima transportuju bez većih problema specijalno izolovanim fiksnim sistemom cevovoda i fleksibilnim crevima<sup>151</sup> za izrazito niske temperature. Izolacija cevovoda, za transport kriogenih tečnih gasova na veća rastojanja (preko 500 m), radi se identičnom tehnologijom kao kod izrade izolacije kriogenih rezervoara. Reč je o sistemu kod koga se jedna cev nalazi unutar druge, a u prostoru između njih se nalazi izolacija. Kriogena izolacija može da bude realizovana visokim vakuumom i superizolacijom. Gradnja cevovoda za dopremu kriogenih gasova na veća rastojanja izvodi se u sekcijama radi lakšeg održavanja. Tečni gasovi u cevovodu struje prema različitim mogućim oblicima dvofaznog strujanja tečnosti: „strujanje tečnosti sa mehurovima pare, strujanje sa čepovima pare, strujanje u slojevima, talasno strujanje, jako talasno strujanje, anularno (prstenasto) strujanje, strujanje pare sa kapljicama tečnosti...“<sup>152</sup> Za dopremu tečnih kriogenih gasova cevovodom značajno je i sagledavanje: pada pritiska kod dvofaznog strujanja kriogenog fluida, procesa pothlađivanja kriogenih cevni vodova...

Tabela 2.5. Prevoz tehničkog gasa (azota) u tečnom stanju u kriogenim posudama

Posuda	zapremina (litre)	količina tečnog gasa (kg)	količina gasa u gasovitom stanju $\text{m}^3$
termo sud	1	0,81	522
termo sud	10	8,1	5220
termo sud	20	16,2	10.440
Rendžer	200	162,0	104.400
palet tank	600	486,0	313.200
palet tank	2000	1620,0	1.044.000
auto-cisterna	10.000	8100,0	5.220.000
auto-cisterna	22.000	17.820,0	11.484.000
auto-cisterna	27.000	21.870,0	14.094.000

Autor.<sup>153</sup>

Sve posude u kojima se dopremaju tečni gasovi specijalno su izolovane posude, namenjene za transport određenog konkretnog gasa. U njima se mogu uspešno uskladištiti i transportovati tečni gasovi koji su na temperaturama do  $-271^{\circ}\text{C}$ . Izolacija na ovim posudama urađena je u zavisnosti od vrste gasa koji se u njima nalazi. Ona omogućava njihov transport bez značajnijih gubitaka. Kod izrade izolacije značajna je konkretna temperatura na kojoj se gas nalazi u tečnom stanju. Tako da izolacija za posudu u kojoj se transportuje tečni ugljen-dioksid treba da obezbedi uspešno skladištenje i transport gasa u tečnom stanju na temperaturi od  $-80^{\circ}\text{C}$ . Za prevoz kiseonika, azota i argona u tečnom agregatnom stanju transportna posuda treba da omogućuje održavanje njegove temperature u intervalu od  $-182^{\circ}\text{C}$  do  $-200^{\circ}\text{C}$ . Kad je reč o vodoniku i helijumu, posuda u kojoj se oni dopremaju mora da ima izolaciju koja omogućuje da se gas nalazi na temperaturama (od  $-260^{\circ}\text{C}$

<sup>150</sup> Kod tečnog helijuma.

<sup>151</sup> Kada je reč o fleksibilnim crevima, najčešće se radi o crevima za utakanje i pretakanje gasa iz auto i železničkih cisterni u skladišne rezervoare.

<sup>152</sup> Rašković, Lj., *Osnove kriogene tehnike*, Akademska misao, Beograd, 2005, str. 229–237.

<sup>153</sup> Prikazane su različite zapremine posuda u litrima za transport tečnog azota. Količina gasa koja se u njima transportuje iskazana je u kilogramima. Takođe je i iskazano koliko ta količina utečnog gasa iznosi u gasovitom stanju  $\text{m}^3$ . Ovakve, ili slične posude, primenjuju se i za transport drugih tehničkih gasova (kiseonik, argon, helijum,  $\text{CO}_2$ ...).

do  $-271^{\circ}\text{C}$ ) koje su približne apsolutnoj nuli. Sve posude su napravljene na principu duplih zidova između kojih se nalazi izolacija. U zavisnosti od vrste gasa, izolacija može da bude: a) od pur pene (ili nekog sličnog materijala) ili b) vakuum prostor između zidova posude (u kome se najčešće nalazi perlit ili specijalna folija).<sup>154</sup>

Danas se najveći broj gasova prevozi u gasovitom i tečnom stanju, izuzev ugljen-dioksida koji se prenosi i ima praktičnu primenu u sva tri agregatna stanja. Suvi led se proizvodi u specijalnim mašinama pelitezerima iz tečne faze ugljen-dioksida. Tečna faza ugljen-dioksida u mašini za proizvodnju suvoga leda prvo expandira, a nakon toga se sabija u željenu formu pod pritiskom.<sup>155</sup> Suvi led može da bude u obliku kocke, valjka ili snega. Najčešće se proizvodi suvi led u obliku valjka. Prilikom proizvodnje leda u obliku valjka (peleta), on u zavisnosti od potrebe i zahteva može da bude različitih dimenzija, debljine od 3 do 16 mm i dužine od 15 do 60 mm. Transportuje se u specijalno izolovanim kontejnerima (kutijama) različitih dimenzija i tehničkog rešenja. Kao izolacioni materijala za posude se koriste različiti materijali: stiropor, pur pena... najčešće debljine od 3 do 12 cm. Zapremina sudova je u rasponu od 1 do 600 litara. U zavisnosti od vrste izolacije i zapremine posude, suvi led može da se očuva relativno duži vremenski period.<sup>156</sup>

### 2.3. Optimizacija dopreme tehničkih gasova potrošačima u različitim agregatnim stanjima radi efikasnijeg i ekonomičnijeg snabdevanja

U nastojanju optimizacije snabdevanja potrošača tehničkim gasovima i davanja adekvatnog odgovora, ovo pitanje mora se analizirati i posmatrati iz više aspekata i uglova. Posmatrano sa aspekta transporta, neophodno je uzeti u obzir: vrstu gasa, zahtev potrošača, agregatno stanje gasa, rastojanje između mesta proizvodnje i potrošnje, količinu, posudu i transportno sredstvo... Ovo pitanje „može se analizirati, sagledati i sprovesti kroz nekoliko nivoa donošenja strateških, poslovnih i operativnih odluka: o neposrednoj proizvodnji ili posrednoj distribuciji; agregatnom stanju gasa, snabdevanju preko distributivnog centra ili gasifikacione stanice kod potrošača; o vrsti i zapremini posude; tokovima proizvoda između većeg broja mesta i rutiranju kretanja vozila...“<sup>157</sup>

Distribucija gasa do krajnjeg kupca može da se realizuje: neposredno i posredno. Neposredno snabdevanje može da se realizuje u gasovitom i u tečnom agregatnom stanju cevovodom. Postrojenja za proizvodnju gasa (azota, kiseonika...), u ovom slučaju, nalaze se u neposrednoj blizini ili u okviru kompleksa potrošača. Reč je o potrošačima koji imaju kontinuiranu konstantnu potrošnju velikih količina. Posredno snabdevanje se realizuje preko: a) distributivnih centara i b) gasifikacionih stanica. a) Distributivni centri mogu da budu u sopstvenom vlasništvu proizvođača gasa ili posrednika (poslovnih partnera, dilera) koji plasiraju gas na tržištu. Iz njih se gas kupcima distribuira (prodaje) u gasovitom i tečnom stanju u: bocama, paletama, baterijama, rendžerima i palet tankovima. b) Gasifikacione stanice su u vlasništvu proizvođača ili potrošača i nalaze se uglavnom u okviru samih proizvodnih celina kupaca.

Gas se do gasifikacionih stanica doprema od proizvođača u tečnom stanju kamionima. U sastavu gasifikacione stanice nalaze se kriogeni rezervoari u koje se skladišti gas u tečnom stanju. Iz gasifikacione stanice, gas se distribuira cevovodom do mesta potrošnje u okviru proizvodnih pogona potrošača. Najčešće, gas se transportuje u gasovitom stanju (putem isparivača, koji su sastavni deo

<sup>154</sup> Kad se kao dodatak prilikom izolacije u vakuum prostoru između dva zida posude koriste specijalne folije, često se ovakav vid izolacije naziva i „superizolacija“. Funkcija folije je da se u prostoru koji je vakumiran dodatno oteža kretanje zaostalih molekula, ako se još nalaze u izolacionom prostoru nakon vakumiranja. Slobodno kretanje molekula u vakumiranom prostoru prenosi toplotnu energiju sa spoljnog zida, i na taj način zagreva unutrašnji zid posude.

<sup>155</sup> Radni pritisak zavisi od tipa mašine za proizvodnju leda i kreće se do 200 bara.

<sup>156</sup> Skladištenje i očuvanje suvog leda može da bude i do 7 dana, uz manje gubitke.

<sup>157</sup> Radiš, D., *Sistem marketing logistike u proizvodnji i distribuciji tehničkih gasova*, Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd, 1999, str. 137–142.



svake gasifikacione stanice, i koji tečni gas prevode u gasovito stanje) cevovodom do mesta krajnje potrošnje. Gas se može transportovati do mesta potrošnje i u tečnom stanju putem cevovoda bez upotrebe isparivača. Šematski prikaz optimizacije snabdevanja potrošača tehničkim gasovima u zavisnosti od: agregatnog stanja, vida transporta, posude i količine gasa koju potrošač troši, može da se vidi u prilogu ovoga rada P.13.

Tabela 2.6. Neke od vrsta posuda za skladištenje i prevoz tehničkih gasova

posuda	agregatno stanje	tehničko rešenje	posuda zapremina litar	težina gasa (kg)	pritisak (bar)
boca	gas/kompri.	boca	1–60 litara	1–30	1–300
paleta	gas/kompri.	više boca samostalnih	4–12 boca	60–360	1–300
baterija	gas/kompri.	više boca povezanih	4–36 boca	40–400	1–300
trajler	gas/kompri.	više boca povezanih	12–30 boca	150–2000	1–250
termo sud	tečno	kriogena sud	1–100 litara	1–150	atmosfe.
rendžer	tečno	kriogena sud	50–300 litara	50–450	1–25
palet tank	tečno	kriogena sud	200–1000 litara	150–1500	1–25
cisterna	tečno	kriogena sud	10.000–30.000 l	do 30.000	1–25
rezervoar	tečno	kriogena sud	10.000–3.000.000	10–3200 t	1–25
kontejner	čvrsto CO <sub>2</sub>	termo kutija	1–600 litara	1–550 kg	atmosfe.

Autor.<sup>158</sup>

Značajno pitanje za optimizaciju snabdevanja potrošača tehničkim gasovima predstavlja agregatno stanje. U prvom redu, reč je o gasovitom i tečnom stanju gasa. Agregatno stanje gasa ima značajan uticaj na funkcije transporta i skladištenja tehničkih gasova. Prevođenjem gasa iz gasovitog u tečno agregatno stanje, smanjuje se, u zavisnosti od agregatnog stanja, zapreminski prostor za skladištenje i transport gasa od 583 puta (ugljen-dioksid) do 797 puta (kiseonik). Tačan odnos između tečnog i gasovitog stanja za sve gasove može se videti u Tabeli 2.6. Prevođenjem gasa iz gasovitog u tečno agregatno stanje smanjuje se zapreminski prostor do 800 puta, za transport i skladištenje iste količine gasa. Smanjivanje zapreminskog prostora gasa ima direktan uticaj na funkciju i skladištenje gasa, a time značajno doprinosi transportu gasa i snabdevanju potrošača.

Tabela 2.7. Odnos ambalaže i gasa na primeru kiseonika kod upotrebe različitih oblika posuda i vidova dopremanja gasa radi efikasnog snabdevanja kupca

Posuda	agregatno stanje gasa	zapremina posude litara (l)	težina gasa kilogram (kg)	ukupno gas + sud (kg)	odnos bruto težine/gasa
Sedlasta cisterna	tečno	24.000	22.500	34.000	1,95
Kontejner	tečno	19.230	17.900	28.480	1,81
Kontejner	tečno	8480	7900	14.080	1,27
Palet tank	tečno	714	666	1274	1,09
Cisterna na vozilu	tečno	14.000	13.000	26.000	1,00
Boca (50/200)	gasovito	50	14,1	64	0,28
Boca (40/150)	gasovito	40	8,5	60	0,16
Baterija 36 boca (40/150)	gasovito	1440	306	2472	0,14

Autor.<sup>159</sup>

<sup>158</sup> Komparativna analiza za različita agregatna stanja (gas, tečnost i čvrsto). Zapremina posuda je u litrima.

<sup>159</sup> Autor. Istraživanje je sprovedeno na gasu kiseoniku. Najbolji odnos transportovane bruto težine (sud + gas) i neto težine gasa jeste prilikom dostave gasa u tečnom stanju cisternom. Ovaj odnos iznosi 1,51. Najnepovoljniji odnos, sa aspekta transportovane težine gasa i suda, jeste kod prenosa gasa u gasovitom stanju u bocama (u bateriji). Taj odnos

Posmatrani efekat transporta gasa u tečnom i gasovitom agregatnom stanju može da se sagleda posmatranjem odnosa između ukupne bruto težine koja se transportuje i gasa. Kod transporta tečnog gasa cisternom, odnos je 1,95. Na jedan kilogram suda transportuje se 1,95 kg gasa. Ovaj odnos predstavlja najpovoljniji odnos. Nasuprot ovom odnosu, najnepovoljniji odnos težine suda i gasa jeste kod transporta gasa u gasovitom stanju u bocama u baterijama 0,14. U ovom slučaju, na jedan kilogram transportovane ambalaže transportuje se 140 grama gasa. Detaljniji odnos ambalaže i gasa može se videti u Tabeli 2.7.

Jedan od uticaja agregatnog stanja gasa kao proizvoda na funkciju transporta može se sagledati komparativnom analizom transporta kiseonika u gasovitom i tečnom agregatnom stanju. Ako se realizacija transporta 21 tone kiseonika, od proizvođača do potrošača, realizuje u tečnom agregatnom stanju, aktivnost se ostvaruje jednom transportnom turom kamionom. Za prevoz iste količine gasa u komprimovanom stanju u bocama (50 litara, 150 bara, 10,7 kg) potrebno je 1962 boce. Prevoz se ostvaruje u sedam tura (280 boca po turi). Direktni učinak agregatnog stanja vidi se kroz efekat manjeg broja potrebnih tura za realizaciju prevoza. Na ovom primeru vidi se sedam puta veći efekat transporta gasa u tečnom stanju nego u gasovitom komprimovanom stanju u bocama.

Tabela 2.8. Optimizacija snabdevanja potrošača tehničkim gasovima na primeru kiseonika

	vid snabdev.	agregatno stanje	karakteristike	kapacitet kg – t	nedeljno posuda	nedeljno kg	mesečno kg	godišnje kg	god. pot. t
1.	Boca	gas	50 l/ 200 bar	14,3	do 17	250	1000	12.000	do 10
2.	palette	gas	50 l/200 bar 12 boca	171	1–6	250 > 1026	1000 > 4000	12000 > 48000	10–50
3.	Baterije	gas	40 l/150 bar 36 boca	306	2–5	612 > 1530	2400 > 6000	28800 > 72000	30–70
4.	djuarova posuda	tečnost	10–50 l/ atmos. priti	10–50	1–5	40 > 250	160 > 1000	1920 > 12.000	1–12
5.	rendžer	tečnost	200 l/ 20 bar	185	1–6	185 > 740	740 > 3000	8880 > 36.000	8–36
6.	palet tank	tečnost	660 l	650	1–4	650 > 2600	2600 > 10000	31200 > 12.000	30– 120
7.	palet tank	tečnost	1000 l	1200	1–4	1200 > 4800	4800 > 19200	57600 > 230.400	50– 230
8.	palet tank	tečnost	2000 lit	2,4 tone	1-4	2,4 - 9,6 t	9,6 - 38,5 t	115,2 - 462 t	100- 500
9.	kamion cisterna	tečnost	različiti zapremina	5-25 tona	1-2	5-50 tona	20-200 tona	240- 2400 t	100– 2400
10.	cevovod postr. na/ili pored lo. p.	gas/ tečnost	različiti kapaciteta	5 > tona dnevno	konstantna potroš.	35 > tona	140 > tona	1680 > tona	1500 >

Autor.<sup>160</sup>

Pored ovih efekata, vezanih za sam prevoz, značajan efekat se ogleda u potrebnom vremenu vezanom za manipulaciju. Za utakanje jedne cisterne tečnim gasom iz rezervoara kod proizvođača, potrebno je maksimalno jedan sat, sa svim aktivnostima vezanim za merenje i odvagu cisterne. Za punjenje jedne boce potrebno je 0,45 h; najčešće se u punionicama komprimovanog gasa istovremeno se puni 40 boca. Tako da je za realizaciju punjenja iste količine potrebno radno vreme od

je 8,07, što znači da je prilikom snabdevanja kupca na ovaj način osam puta veća ukupna bruto težina koja se transportuje od samoga gasa. Ovo je najnepovoljniji način snabdevanja sa aspekta odnosa ambalaže i gasa.

<sup>160</sup> Analiza je urađena na primeru kiseonika. Približno slična analiza je i za azot kao proizvod.

22 sata i angažovanje dva radnika. Efekat kod manipulacije vidljiv je i prilikom istovara kod potrošača. Pored ovih efekata, agregatno stanje gasa kao proizvoda ima uticaj na: sigurnost, bezbednost, tačnost, pouzdanost u snabdevanja, niže troškove transporta, nižu cenu proizvoda...

Sagledavanjem i analizom svih relevantnih parametara vezanih za potrošača, potrebnih količina, vrste gasa... da bi se optimizovalo snabdevanje potrošača, donosi se odluka o tome da li se kupac snabdeva gasom u: boci, bateriji, rendžeru, palet tanku, cisternom ili cevovodom. U situacijama kada je potrošnja atmosferskih gasova (kiseonik, azot) konstantna i velika, donosi se odluka o izgradnji postrojenja za proizvodnju na lokaciji kupca. Videti rešenje optimizacije snabdevanja kupca kiseonikom u Tabeli 2.8. Grafičku ilustraciju optimizacije snabdevanja potrošača tehničkim gasovima videti u prilogu ovoga rada (Slika P.13).

Tabela 2.9. Komparativna analiza stava potrošača o načinu transporta i snabdevanja gasom

	Karakteristike	boce	palete	baterije	rendžer	palet tank	cisterna	cevovod
1.	Kapacitet dopreme	7	6	5	4	3	2	1
2.	Elastičnost prevoza	1	2	4	3	5	6	7
3.	Brzina dopreme	3	4	5	6	7	2	1
4.	Pouzdanost-urednost	7	6	4	5	3	2	1
5.	Sigurnost snabdeva.	7	6	5	4	3	2	1
6.	Frekventnost	1	2	4	3	5	6	7
7.	Manipulacija	7	6	5	4	3	2	1
8.	Operativni troškovi	5	6	7	4	3	2	1
9.	Gubici gasa	6	7	5	4	3	2	1
10.	Bezbednost	7	6	5	4	3	2	1
11.	Troškovi transporta prema jedinici mere	1	2	3	4	5	6	7
12.	Cena gasa prema jedinici mere	7	6	5	4	3	2	1

Autor.<sup>161</sup>

Poseban efekat realizacije aktivnosti transporta gasa u tečnom agregatnom stanju u odnosu na transport gasa u komprimovanom stanju, može se videti sagledavanjem pozitivnih efekata vezanih za segment riversne logistike.<sup>162</sup> Kod transporta gasa u gasovitom stanju (21 tone kiseonika), gas se doprema kriogenom cisternom, i kod ovog načina snabdevanja potrošača nema transporta u funkciji povratka prazne ambalaže kao u situaciji kod komprimovanog gasa. Kad se potrošači snabdevaju gasom u bocama, težina ambalaže (1962 boce) koju treba vratiti iznosi 98.100 kg.

Potrošač na osnovu različitih karakteristika (kapaciteta dopreme, elastičnosti prevoza, brzine dopreme, pouzdanosti, sigurnosti snabdevanja...) formira stav o načinu transporta i snabdevanja gasom (Tabela 2.9). On polazi od svojih potreba i zahteva, a na osnovu njih, različito ih rangira u zavisnosti od načina transporta i snabdevanja tehničkim gasovima.

<sup>161</sup> Komparativna analiza je urađena na osnovu sprovedenog istraživanja stava potrošača tehničkih gasova, na teritoriji Srbije. Istraživanje je sprovedeno metodom ankete od strane autora rada. Veličina reprezentativnog uzorka je bila 50 anketiranih subjekata. Anketom su bili obuhvaćeni, prema količini potrošnje gasa: mali (20), srednji (20) i veliki (10) potrošači. Analiza je sprovedena sistemom rangiranja od 1 do 7. Vrednost 1 (jedan) u tabeli ima najviši rang, a 7 najniži. Istraživanje je realizovano u periodu mart–juni 2014. Anketom su obuhvaćeni potrošači koji se snabdevaju gasom u tri agregatna stanja. Doprema gasa do njih se realizuje, sa aspekta ambalaže u: bocama, paletama, baterijama, rendžerima, palet tankovima, cisternama, cevovodima i kontejnerima. Sa aspekta vida transporta, doprema gasa do potrošača vrši se drumom (kamioni sandučari, tegljači i cisterne) i cevovodima.

<sup>162</sup> Reverzna (povratna logistika).

### 3. Specifičnosti transporta tečnog naftnog gasa u snabdevanju potrošača

#### 3.1. Osnovna obeležja i mogućnosti snabdevanja tržišta naftnim gasovima

Tečni naftni gas (TNG)<sup>163</sup> jeste mešavina zasićenih ugljovodonika, koji su pri normalnim uslovima (15°C i pritisku od 1.0132 bara) u gasovitom stanju.<sup>164</sup> Ovi gasovi se proizvode iz nafte i naftnih gasova u rafinerijskoj preradi ili prilikom degazoliranja zemnog gasa. TNG je u prvom redu mešavina propana (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) i butana (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) u različitim odnosima, uz prisustvo drugih jedinjenja (propena, butena, etana i etena) u manjim koncentracijama.<sup>165</sup> Ovaj gas je u normalnim uslovima u gasovitom stanju i teži je od vazduha.<sup>166</sup> Prelazi u tečno agregatno stanje na pritiscima od 1,7 do 7,5 bara na normalnoj ambijentalnoj temperaturi u zavisnosti od mešavine ugljovodonika. Za razliku od metana (-162 °C), ovi gasovi se utečnjavaju na ambijentalnoj temperaturi pri malim pritiscima.

Zahvaljujući ovoj svojoj fizičko-hemijskoj osobini, da se može veoma lako prevesti iz gasovitog u tečno stanje, počiva savremena tehnologija njegovog transporta i skladištenja. On je u tečnom stanju veoma pogodan za transport i skladištenje. Gas se nalazi u posudama u ravnotežnom stanju tečne i parne (gasne) faze. U tečnom agregatnom stanju, na relativno niskom pritisku i temperaturi okruženja, zauzima oko 260 puta manju zapreminu od one koju bi zauzeo u svom standardnom gasovitom (izvornom) stanju.<sup>167</sup> Najčešće se transportuje i skladišti u tečnom stanju, a koristi u gasovitom. Njegova najveća upotreba je: u domaćinstvima (za grejanje, toplu vodu i kuvanje), u industriji (proizvodnja, gorivo), za pogon motornih vozila<sup>168</sup>, u privredi (gorivo u poljoprivrednim i industrijskim pogonima)<sup>169</sup> ... Kao energent TNG ima visok stepen mogućnosti iskorišćenosti svoje energije.<sup>170</sup>

Tabela 2.10. Karakteristike četvoroosovinskih vagon-cisterni za TNG

volumen cisterne (m <sup>3</sup> )	dužina (m)	m. osovinsko (m)	visina (m)	dopuštena nosivost (t)		
				<i>propan</i>	<i>butan</i>	<i>TNG</i>
62	12,7	9,2	4,25	25,7	29,5	27,5
80	15,0	10,2	4,26	43,0	39,2	36,6
90	15,5	10,6	4,22	38,8	44,8	39,3
110	17,9	13,8	4,26	47,0	47,4	47,4

Izvor: Muštrović, F., *Propan-butan*, IBC, Sarajevo, 2006, str. 6.

Transport propana, butana i njihovih mešavina u gasovitom i tečnom stanju vrši se u unutrašnjem i eksternom transportu.<sup>171</sup> Eksterni prevoz se realizuje na više različitih načina u zavisnosti od potrošača i njihove udaljenosti od rafinerije, degazolinaže i skladišta gasa.<sup>172</sup> Industrija TNG imala je svoj brzi razvoj zahvaljujući, između ostalog, i razvoju opreme i metoda njegovog transporta i skladištenja. Potrebno je izvršiti usklađivanja i sinhronizaciju između proizvodnje i

<sup>163</sup> Koristi se veoma često i samo naziv propan-butan. Razlog je taj što u najvećem meri njegov sastav čini dominantno mešavina ova dva gasa. Danas je sve češće prisutan i engleski naziv LPG (Liquefied Petroleum Gas).

<sup>164</sup> Pri različitim pritiscima (0,8–8 bara) svaki od ovih gasova prelazi u tečno stanje na temperaturi okruženja.

<sup>165</sup> U zavisnosti od zahteva i potreba tržišta, procentualni odnos ova dva gasa je različit.

<sup>166</sup> Ovaj gas nije otrovan, bez boje je i mirisa. Da bi se lakše otkrilo njegovo nekontrolisano isticanje, dodaju mu se odoranti jakih, lako uočljivih i karakterističnih mirisnih nota.

<sup>167</sup> Opširnije: Šunić, M., *Znanost mijenja svijet a plin komoditet življenja*, Bauer grupa, Samobor, 2003, str. 533–548.

<sup>168</sup> Opširnije videti: Muštrović, F., *LPG auto-plin*, IBC, Sarajevo, 2008.

<sup>169</sup> U svetu, procentualno, potrošnja propan-butana se godišnje kreće oko: 50% u domaćinstvu, u hemijskoj industriji 22%, u industriji 12%, za transport automobilima 8%, u rafinerijama 6%, u poljoprivredi 2%.

<sup>170</sup> Kod nekih uređaja stepen iskorišćenosti energije iznosi do 95%.

<sup>171</sup> Opširnije videti: Vučković, J., *Transport nafte i plina cjevovodom*, INA Nafta plin, Zagreb, 1971, str. 121–128.

<sup>172</sup> Tanasković, P., *Transport sirove nafte i gasa, III deo, Naftagas* Novi Sad i Rudarski fakult. u Beogradu, 1976, str. 69.

potrošnje naftnog gasa.<sup>173</sup> U situaciji kada u jednoj zemlji postoji veća potrošnja od sopstvene proizvodnje, gas se uvozi iz inostranstva.

Transport gasa od proizvođača do potrošača može se realizovati: železničkim saobraćajem (vagon-cisternama); drumskim saobraćajem (auto-cisterne, boce); vodenim putevima (brodovi-tankeri i barže za TNG) i cevovodima (ilustracija u prilogu rada, P.12),.

### 3.2. Osnovna obeležja i specifičnosti transporta naftnog gasa u zavisnosti od samoga vida prevoznog sredstva i posuda

**Transport tečnog naftnog gasa železnicom.** Sprovođenje dostave tečnog naftnog gasa železnicom ekonomičan je i efikasan način transporta ovog derivata. Ovaj oblik je posebno prikladan kada je reč o savlađivanju većih prostornih distanci u distribuciji energenta. Prenos TNG železnicom realizuje se vagon-cisternama, specijalno konstruisanim sredstvima.<sup>174</sup>

U odnosu na klasične vagon-cisterne za prevoz dizel-goriva i benzina, cisterne koje se koriste za prenos TNG razlikuju se prema konstruktivnom rešenju i instalisanoj opremi. One su različitog tehničkog rešenja i nosivosti. Reč je o više tipova vagon-cisterni različitog modela, sa projektovanim kapacitetima nosivosti tečnog naftnog gasa 25–50 tona (Tabela 2.10). Tehnički, to su horizontalni cilindrični rezervoari, specijalno pričvršćeni<sup>175</sup> za noseću vagonsku četvoosovinsku ili dvoosovinsku konstrukciju (kolni slog). Radni pritisak cisterne je 17,3 bara.<sup>176</sup> Cisterna je izrađena od materijala koji mogu da istrpe velike sile udaraca i na relativno niskim temperaturama. Reč je o čeličnim tablama, fino zrnaste strukture, čvrstoće 36 do 46 kp/cm<sup>2</sup>, koje su međusobno spojene zavarivanjem. Na svim cisternama za tečne naftne gasove, nalaze se na vrhu spolja postavljeni distancirani plaštovi lima debljine 2 mm radi sigurnosne zaštite od direktnog dejstva sunčevog zračenja.<sup>177</sup> Na cisternama se uvek nalaze revizioni otvori. Instalirana je zaporna, sigurnosna i merna armatura za pretakanje gasa. Na cisterni su instalirani: ventili za manipulaciju tečnom i gasnom fazom; mehanički pokazivači nivoa, manometri, termometar i sigurnosni ventili. Gas može da se pretače pomoću pumpi, kompresora i na bazi razlike pritiska između parne faze u cisterni i parne faze u skladišnim rezervoarima.

**Drumski transport tečnog naftnog gasa.** Prevoz naftnog gasa cisternama na manja rastojanja i u manjim količinama pogodan je vid dopreme derivata. Konstrukcionim tehničkim rešenjem, cisterne za dopremu TNG su slične vagon-cisternama. Posude za drumski prevoz auto-cisternama imaju kapacitet 2–30 tona. Njima se TNG dostavlja u prvom redu od centralnih distributivnih skladišta do skladišta, ali većih i srednjih potrošača.

Cisterne su horizontalno cilindričnog rešenja, montirane na šasiju vozila.<sup>178</sup> Drumske cisterne mogu biti tipa: auto-cisterne, šleperi i kamioni auto-cisterne. Radni pritisak posuda je do 20 bara. Imaju instalirane sigurnosne ventile, termometre, manometre i merače nivoa gasa. Na cisternama su montirane elektro-pumpe za pretakanje gasa.

**Transport tečnog naftnog gasa brodovima.** Dopremanje većih količina naftnih gasova vodenim saobraćajem realizuje se specijalnim brodovima ili baržama (plovni šlepovi). Ovo je jedini vid prevoza kada je reč o međukontinentalnom transportu ovog energenta, ali i veoma pogodan vid prenosa velikih količina ovog derivata rečnim tokovima.<sup>179</sup> Predstavlja veoma ekonomski isplativ

<sup>173</sup> Opširnije videti: Vučković, J., *Transport nafte i plina cevovodom*, INA Nafta plin, Zagreb, 1971, str. 121–125.

<sup>174</sup> Muštrović, F., *Propan-butan*, IBC, Sarajevo, 2006, str. 5.

<sup>175</sup> Cisterna je specijalnim vezama ili obujmicama pričvršćena za kolni slog.

<sup>176</sup> Ovo je pritisak koji odgovara parnom pritisku propana na temperaturi od +50°C.

<sup>177</sup> Cisterne su prekrivene limovima koji su postavljeni na rastojanju od 60 do 100 mm. Ovo rešenje onemogućuje direktno dejstvo sunčevih zraka na samu cisternu i njeno zagrevanje, ali i nesmetano strujanje vazduha radi hlađenja.

<sup>178</sup> Tanasković, P., *Transport sirove nafte i gasa, III deo*, Naftagas Novi Sad i Rudar. fakultet u Beogradu, 1976, str. 74.

<sup>179</sup> Prvi brod za TNG pušten je u saobraćaj 1947. godine. Bio je vlasništvo kompanije *Warren Petroleum CO SAD*.

način dostave gasa. Brod ima na sebi instalirano više rezervoara (cilindrični ili kuglasti – sferni), međusobno povezanih i instaliranih u okviru konstrukcije samoga korita broda. Na posudama se nalaze instalirane zaporne, sigurnosne merne armature neophodne za siguran, bezbedan i adekvatan način dopreme i manipulacije energentom. Iz brodova u pristaništima se TNG pretaču u skladišno-distributivne rezervoare, vagon-cisterne, auto-cisterne ili direktno u rezervoare koji se nalaze kod velikih potrošača. Pretakanje se vrši pomoću instaliranih kompresora ili pumpi.

Danas se mogu susresti specijalno izgrađeni tankeri za prevoz propana na temperaturi od minus 50°C.<sup>180</sup> Na ovaj način se propan, ohlađen pomoću specijalnih uređaja, nalazi na atmosferskom pritisku, i tako je moguće prevoziti veće količine tečnog propana pomorskim putevima. Ovim tankerima moguće je prevoziti i druge proizvode: amonijak, monovinilhlorid...

**Cevovod kao vid transporta naftnog gasa.** U svim situacijama gde je, posmatrano sa ekonomskog aspekta, moguće realizovati dopremanje velikih količina naftnih gasova, cevovodi su se pokazali kao najefikasniji vid transporta ovog derivata. Izuzetno su efikasni kod povezivanja proizvođača i distributivnih skladišta, skladišta i velikih potrošača... Uspostavlja se cevovodima direktna veza koja je u dužini od više desetina kilometara.<sup>181</sup> Prevoz TPG se u osnovi ne razlikuje od transporta naftnih derivata ovim vidom prenosa fluida.<sup>182</sup>

Gas se transportuje pomoću pumpi i kompresora koji su instalirani u podstanicama dužinom samoga cevovoda. Projektovanje konkretnog cevovodnog sistema za TNG, sam raspored podstanica sa pumpama u okviru njega, radi se na osnovu projektovanog kapaciteta, pada pritiska u okviru njega i konfiguracija terena na kome je on instaliran.<sup>183</sup>

Cevovodom se može transportovati energent u tečnom i u gasovitom stanju. Kod proračuna dopreme gasa u tečnom stanju potrebno je primenom odgovarajućih formula izračunati: potrebni prečnik cevovoda, pad pritiska u cevovodu, koeficijent trenja, uzeti u obzir turbulentnost strujanja... za željenu količinu tečnog gasa koji je potrebno isporučiti.<sup>184</sup> Ako su rastojanja manja, cevovodom se mogu transportovati fluidi i u gasovitom stanju. U slučaju transporta fluida u gasovitom stanju, postoje ograničenja vezana za njegovu temperaturu koja je uslovljena tačkom rosišta, i iz tog razloga temperatura fluida ne sme da padne ispod 15,6°C.

**Boce.** Za transport manjih količina TNG i za snabdevanje potrošača upotrebljavaju se posude u obliku boce. Reč je o sudovima različite zapremine i izgleda. To su čelične posude u koje se najčešće može smestiti: 2, 3, 5, 7,5, 10, 35 i 50 kilograma gasa.<sup>185</sup> U zavisnosti od zapremine boce, debljina samoga lima od kojeg je izrađena posuda kreće se u rasponu od 2,5 do 8 mm.<sup>186</sup>

**Prenosni rezervoari (kontejneri).** Predstavljaju mobilne sudove različitog tehničkog rešenja i zapremine. Najčešće se u njih može smestiti od 250 do 2000 kg gasa.<sup>187</sup>

<sup>180</sup> „Klasičan“ tip tankera za TNG ima kapacitet od oko 7000 tona. Dužine 170 m, širine 22 m, kapacitet sudova 5000 m<sup>3</sup>.

<sup>181</sup> Jedan od najdužih cevovoda TNG jeste cevovod u Alžiru L22. Namenjen je za transport iz jednog od najvećih gasnih polja Hassi Rmel do luke Arzew na obali Sredozemnog mora. Dužina cevovoda je 505 km, prečnika 24 cola (600 mm), koji ima projektovani kapacitet od petnaest miliona tona godišnje.

<sup>182</sup> Tanasković, P., *Transport sirove nafte i gasa, III deo*, Naftagas Novi Sad i Rudarski fakul. u Beogradu, 1976, str. 86.

<sup>183</sup> Opširnije o propisima vezanim za cevovode, boce...: Bogner, M., *Propan i butan*, ETA, Beograd, 2004.

<sup>184</sup> Opširnije: Škribić, B., *Transport nafte i gasa*, Tehnološki fakultet u Novom Sadu, Novi Sad, 2006, str. 153–207.

<sup>185</sup> Maksimalno dozvoljeno punjenje boce određeno je njenom zapreminom. Za svaki kilogram propana ili mešavine propan-butana potrebno je obezbediti minimalno 2,47 litare zapremine. Za 1 kg butan potrebno je 2,12 litara suda.

<sup>186</sup> Opširnije videti: Labudović, B., *Osnove tehnike ukapljenog naftnog plina*, Energetika marketing, Zagreb, 2007.

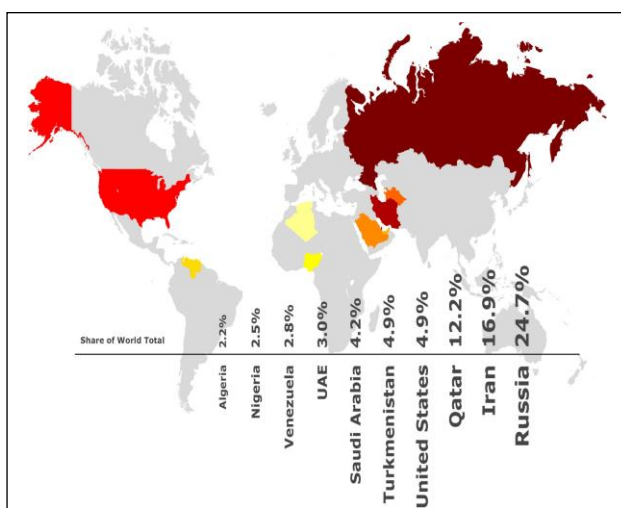
<sup>187</sup> U zapreminski prostor od 2,47 litara maksimalno može da se smesti 1 kg propana ili mešavine propan-butana. Kad je reč o čistom butanu, u zapreminski prostor od 2,12 litara maksimalno moguće dozvoljeno je da se uskladišti 1 kg.

## 4. Formiranje novih strategija snabdevanja balkanskog prostora i država Srednje Evrope zemnim gasom sa aspekta transporta

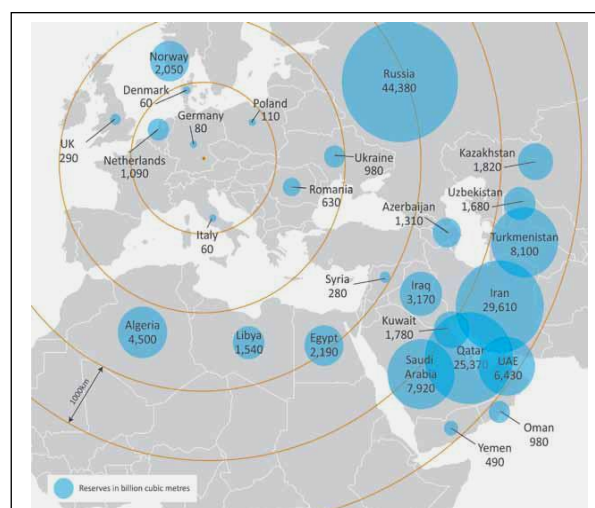
Pojam i funkcija tržišta danas se definiše, sagledava i analizira na različite načine. Prema jednim: tržište predstavlja prostor na kome se obavlja razmena robe i usluga...; tržište predstavlja oblik razmene različitih proizvoda i usluga posredstvom novca... Uz opštu karakteristiku svih tržišta da se na njima vrši trgovina određenim proizvodima i uslugama, sva ona imaju i svoje specifične osobine, obeležja i karakteristike u većoj ili manjoj meri. Tržište energenata se odlikuje nizom specifičnih osobina i parametara u odnosu na tržišta drugih proizvoda. Sama trgovina zemnim gasom kao energentom ima veliku sličnost sa trgovinom naftom, ali se istovremeno i u znatnoj meri razlikuje od njega u nekim elementima. Neosporno je da je u svetu prisutan trend povećanja tražnje za energentima i njihove potrošnje, s jedne strane, ali i sve izraženijih problema vezanih za njih, s druge strane. Primena zemnog gasa kao energenta danas je veoma rasprostranjena. On se upotrebljava u velikom broju privrednih grana i u domaćinstvima. Koristi se: za proizvodnju električne energije u termoelektranama, kao sirovina u hemijskoj i petrohemijskoj industriji, za grejanje, u saobraćaju...<sup>188</sup>

### 4.1. Aktivnost i značaj transporta zemnog gasa u funkciji svetske trgovine i uloga gasnih hubova u realizaciji njegovog prometa

Izražena je koncentracija rezervi konvencionalnih izvora zemnog gasa u određenim oblastima sveta. Procenjuje se da se 65% ukupnih svetskih rezervi gasa nalazi u tri regiona: Ruska Federacija, Srednji istok (prvenstveno Katar i Iran) i Severna Amerika. Ukupne svetske konvencionalne rezerve gasa 2013. godine procenjene su na  $202,75 \times 10^{12} \text{ m}^3$ . Posmatrano sa aspekta država, 78% procenjenih svetskih rezervi nalazi se u deset zemalja. Od svih procenjenih svetskih rezervi, 53,4% se nalazi u tri države (Rusija – 49.541 milijarda  $\text{m}^3$ , Iran – 33.948 milijardi  $\text{m}^3$  i Katar – 24.936 milijarde  $\text{m}^3$ ) (Slika 2.15).<sup>189</sup> Procenjuje se da se 80% procenjenih konvencionalnih rezervi prirodnog gasa u svetu nalazi na rastojanju do 5000 km od teritorijalnog središta Evropske unije (Slika 2.16).



Slika 2.15. Zemlje sa najvećim % rezervi gasa<sup>190</sup>



Slika 2.16. Raspored rezervi u odnosu na EU<sup>191</sup>

<sup>188</sup> Čvorović, D., *Razvitak tržišta prirodnog plina*, RGNF, Zagreb, 2013.

<sup>189</sup> O & G, Eni, 2014. str. 43–44.

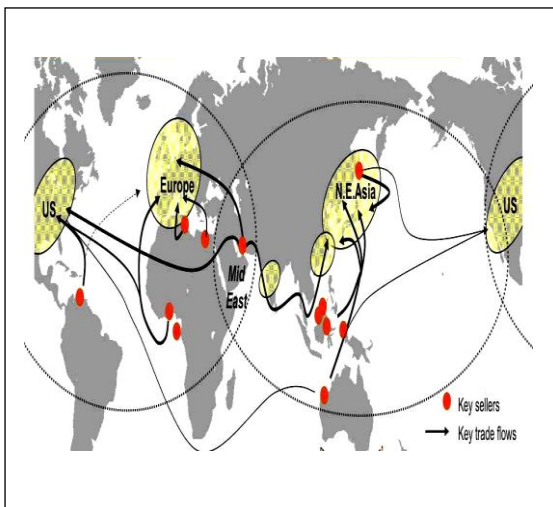
<sup>190</sup> Izvor: *O & G World Review* 2015. Procentualno, 10 zemalja sa najvećom rezervom zemnog gasa u svetu u 2014. god.

<sup>191</sup> Izvor: *The Future Role of Natural Gas*, Xynteo, 2011. str. 10. Količina rezervi gasa i rastojanje od Zapadne Evrope.

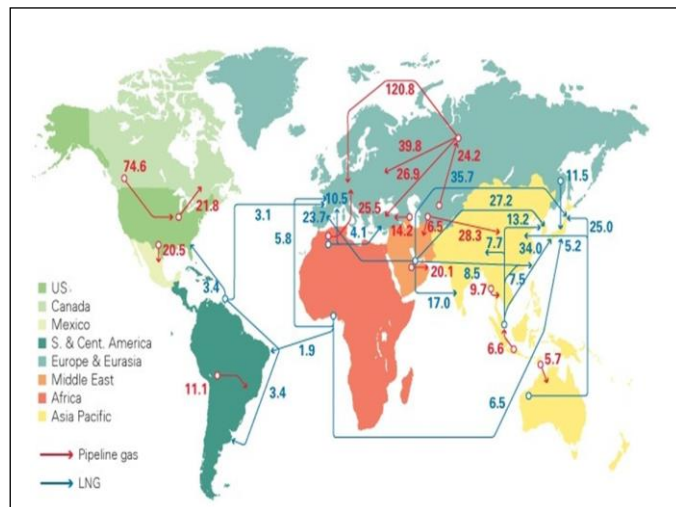
Osnovna obeležja i karakteristike tržišta zemnog gasa uslovljeni su: fizičko-hemijskim parametrima gasa kao proizvoda; ukupnom njegovom proizvodnjom u svetu i regionima; tražnjom za zemnim gasom kao energentom; udaljenošću između mesta proizvodnje i potrošnje gasa; stepenom tehničko-tehnološkog razvoja transportnih sredstava i tehnologija; rezervom zemnog gasa; mogućnostima eksploatacije ležišta; njegovom potrošnjom na domaćem tržištu; agregatnim stanjem gasa kao proizvoda; ekološkim aspektom; ekonomsko-tržišnim parametrima drugih energenata; neprestanim porastom broja stanovnika u svetu; rastom i razvojem industrije; stalnim rastom potrošnje energije; činjenicom da se proizvodnja energije bazira u velikoj meri na neobnovljivim izvorima; ponudom, cenom i rezervama drugih neobnovljivih fosilnih goriva; političkim odnosima; dostupnošću i cenom drugih energenata; državnom regulativom...

Slobodna trgovina zemnim gasom u svetu je počela sredinom 80-ih godina. Posledica deregulacije i otvaranja slobodnog pristupa gasovodima trećoj strani. Ovim činom zemni gas postaje roba. Ovo dovodi do razvoja spot tržišta („dnevno tržište“ na kome se gas kupuje i prodaje „odmah“) i trgovanja sa terminskim ugovorima („futures“) najčešće za period od 1 do 36 meseci unapred.<sup>192</sup>

U svetu postoje tri glavna regionalna tržišta zemnog gasa: Severna Amerika, Azija i Evropa (uključujući Rusiju i sever Afrike) (Slika 2.17). Danas se, pored ova tri glavna tržišta gasa u svetu, uspostavljaju i nova tržišta zemnog gasa. Najveća trgovina gasom, na svetskom nivou, odvija se između ova tri regiona, njegovim plasmanom cevovodom i brodovima (LNG) (Slika 2.18). Svako od ovih tržišta ima svoje karakteristike i obeležja. Kao što je opštepoznato da se u svetu trguje naftom kao energentom, u međunarodnoj trgovini na spot, cash i futures tržištima, isto tako postoje i tržišta gasa na kojima se trguje zemnim gasom. U okviru tri glavna regionalna tržišta gasa u svetu, može da postoji više trgovinskih gasnih hubova (čvorišta).



Slika 2.17. Pravci trgovine gasom u svetu<sup>193</sup>



Slika 2.18. Pravci i količine trgovine gasom u 2014.<sup>194</sup>

Trgovina zemnim gasom, ne računajući direktnu trgovinu i ugovore, realizuje se na gasnim hubovima. Gasni hubovi (gasna čvorišta)<sup>195</sup> jesu mesta gde se: trguje, isporučuje, preuzima i meri (protok i pritisak) zemni gas. Trgovinsko čvorište gasa (hub) jeste utvrđena (ugovorena, određena) tačka (mesto) gde se vrši transakcija zemnog gasa između prodavaca i kupaca. Gasna čvorišta mogu

<sup>192</sup> Matić, D., prezentacija *Prirodni plin u svijetu i evropsko i plinsko gospodarstvo Republike Hrvatske*, 2013, str. 29.

<sup>193</sup> Izvor: ilustracija preuzeta iz većeg broja stručnih radova.

<sup>194</sup> Izvor: *BP Statical Review of Worl Energy*, 2015. Izraženo u milionima kubnih metara.

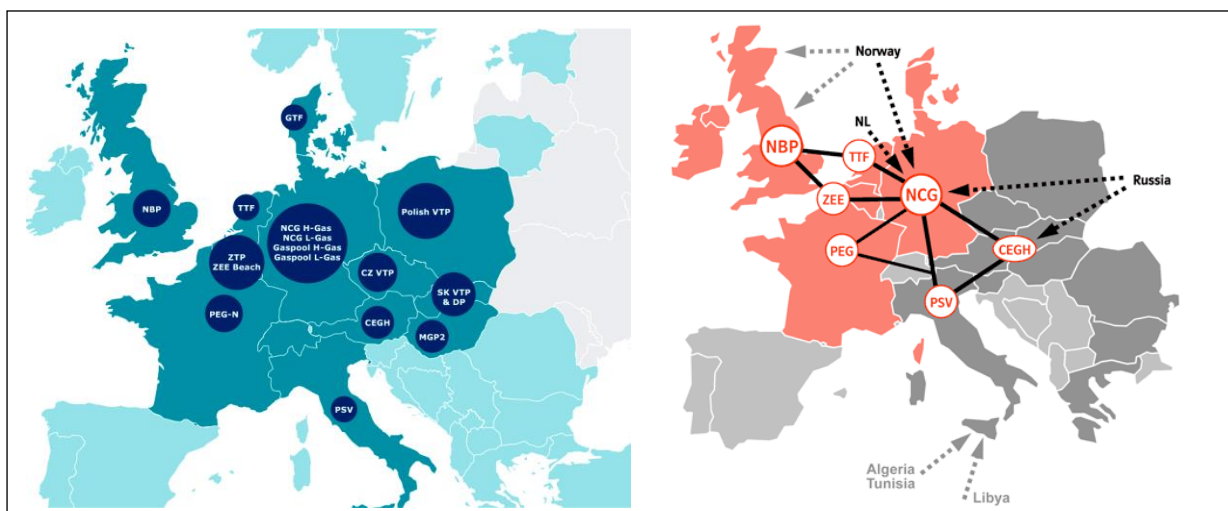
<sup>195</sup> Čvorište (čvor) – raskršće; gasni hub (engleski).



biti fizička ili virtuelna.<sup>196</sup> Fizičko gasno čvorište ili hub; tj. tržišni prostor, jeste fizičko raskršće nekoliko cevovoda gde kupci i prodavci mogu predati ili preuzeti isporuku gasa.<sup>197</sup> Kod virtuelnog huba, menja se samo vlasništvo nad zemnim gasom.

Tržište gasa može da se nalazi na samom mestu (ili u neposrednoj blizini) čvorišta (raskršća) fizičkog prometa gasa, ali i da se nalazi daleko od njega, kad je reč o virtuelnom hubu.<sup>198</sup> Osnovu efikasnog trgovinskog huba čini uslov: 1. da ono mora da obezbedi lako kretanje gasa prema tržištu i sa tržišta, nezavisno od toga da li je reč o fizičkom ili o virtuelnom tržištu, 2. da je na njemu prisutan veći broj učesnika, 3. da je dozvoljen slobodan pristup prodavcima i kupcima... Samim trgovinskim čvorištem upravlja operater huba koji organizuje prodaju i kupovinu, a u nekim slučajevima i transport iz čvorišta/u čvorište. U zavisnosti od operatera huba, pored same prodaje i kupovine gasa, on može da pruža i široku lepezu različitih drugih usluga<sup>199</sup>: „praćenje prava i vlasništva, nadzor, izdaje potvrdu o isporuci i preuzimanju, daje izveštaje o realizovanim transakcijama, vrši uravnoteženje između učesnika (trgovina manjkovima/viškovima između učesnika), ispostavlja račune, proveru i potvrdu trgovačkih nominacija, finalno određivanje svake isporuke, čuvanje i pozajmljivanje (kratkoročno skladištenje i pozajmljivanje), koordinacija, satno profilisanje dopreme i otpremanje gasa, satno uravnoteženje u priključenju gasnoj mreži OTS-a, pružanje usluge mešanja gasa različitog kvaliteta“.

Paralelno sa aktivnostima usmerenim na diversifikaciju pravaca snabdevanja zemnim gasom, da bi se povećala sigurnost snabdevanja EU zemnim gasom, razvija se fleksibilniji tip trgovine, putem spot tržišta ili berzi, koje realizuje preko trgovinskih čvorišta gasa.



Slika 2.19. Značajna gasna tržišta (hubovi) u Evropi<sup>200</sup>

Globalno posmatrano, tržište gasa u Evropi se oslanja na dugoročne ugovore, a pristup transportu cevovodima je ograničen. Karakteristično za tržište Azije jeste da se oslanja na dugoročne ugovore, a cena se formira u odnosu na cenu nafte. Tržište Severne Amerike oslanja se na spot tržišta, a transport gasa cevovodima dopušten je svim zainteresovanim. Najznačajniji hubovi u Americi jesu čvorišta u Kaliforniji (AECO-C), u istočnoj Alberti i Henry hub u Luizijani (gde se

<sup>196</sup> Fizičko čvorište je mesto (lokacija) preko kojeg se transportuje gas; to je mesto gde se spaja (ukršta, ulazi i izlazi) više gasovoda. Virtuelno čvorište je geografska trgovinska platforma koja obuhvata određeno veće područje ili celu državu. Ono se ne mora fizički nalaziti na samom mestu raskršća gasovoda.

<sup>197</sup> Čvorović D., *Razvitak tržišta prirodnog plina*, RGNF, Zagreb, 2013, str. 4–17.

<sup>198</sup> Pavlović, D., *Optimizacija plinskog sustava Republike Hrvatske integrisanjem terminala za ukapljeni prirodni plin*, doktorska disertacija, RGNF, Zagreb, 2011, str. 72.

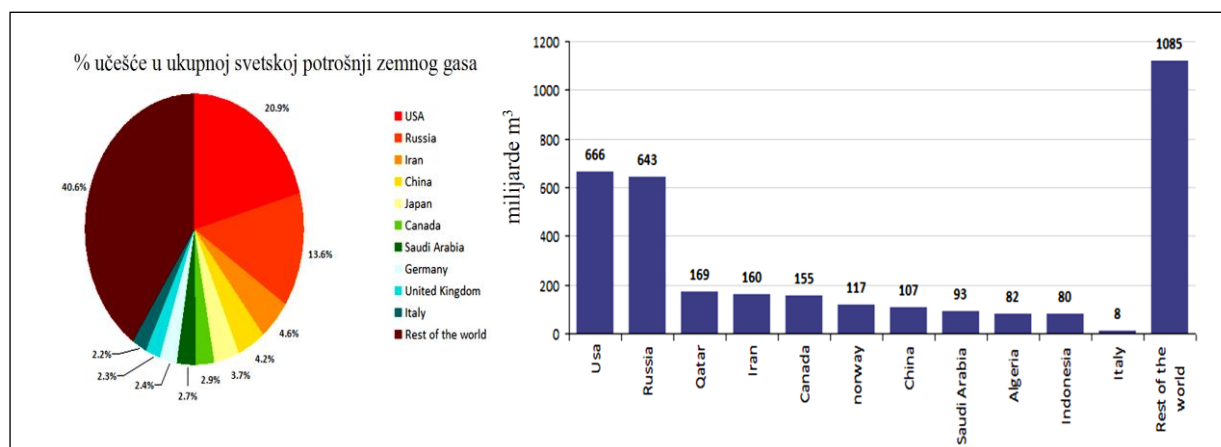
<sup>199</sup> Prema: Veće evropskih energetske regulatora (Concil of European Energy Regulators – CER) iz 2003. godine.

<sup>200</sup> Izvor: ilustracije preuzete iz većeg broja inostranih stručnih radova.

iznajmljuje skladišni prostor za gas).<sup>201</sup> Značajna tržišta zemnog gasa (Slika 2.19) u Evropi jesu: Zebbruge u Belgiji (najveći fizički gasni hub); Bunden (Holandija), Emden (Nemačka), TFF (Holandija), CEGH (Central European Gas Hub, u Baumgaretu, Austrija)<sup>202</sup>... Virtualni hubovi su: NBP (Nacional Balancing Point, Velika Britanija)<sup>203</sup>, TTF (Title Transfer Facility, Holandija), MS-ART (Mercado Secundario – Acceso de Terceros a la Red, Španija)<sup>204</sup>, PSV (Punto di Scambio Virtuale, Italija); PEG (Francuska); BEB (Nemačka)... Povećanje broja trgovinskih čvorišta doprinelo je jačanju njihove međusobne konkurencije, otvaranju tržišta, porastu ukupne količine zemnog gasa kojim se trguje...

Zbog neravnomerne raspoređenosti, proizvodnje, potrošnje i tražnje za zemnim gasom u svetu, funkcija marketing logistike ima značajan uticaj u međunarodnoj trgovini ovim energentom. U okviru samog sistema logistike zemnog gasa, njegovi podsystemi, transport i skladištenje imaju dominantnu poziciju u plasmanu ovog proizvoda na međunarodno tržište i snabdevanje krajnjeg potrošača. Sav tržišni višak koji se proizvede u određenim državama plasira se u regione i zemlje u kojima postoji tražnja za njim.

Tendencija je porasta međunarodne trgovine zemnim gasom u apsolutnom iznosu, ali istovremeno i njegovog procenta koji se plasira na inostrana tržišta u odnosu na ukupnu svetsku proizvodnju. Od ukupne svetske proizvodnje zemnog gasa u 2000. godini, 21,74% ovog energenta plasirano je u inostranstvu, 2005. godine 22,81%... 2013. godine 30,75% od celokupne svetske proizvodnje isporučeno je drugim zemljama. Države najveće izvoznice gasa 2013. godine bile su u svetu: Rusija 206,53 milijarde m<sup>3</sup>; Katar 128,08; Norveška 103,77; Kanada 80,97... Istovremeno, zemlje najveće uvoznice gasa jesu: Japan 122,95; Nemačka 94,87; SAD 79,59; Italija 60,54... (Slika 2.20). Deo gasa koji se plasira u međunarodnoj razmeni prodaje se putem direktnih ugovora, a deo preko međunarodnog tržišta gasa.



Slika 2.20. Zemlje najveći potrošači i proizvođači zemnog gasa u svetu 2012. godine<sup>205</sup>

Pored toga što međunarodnu trgovinu zemnim gasom u svetu karakteriše stalni rast, koji je 2013. godine iznosio 1045,33 milijarde m<sup>3</sup>, nju obeležava i pojava novih zemalja na tržištu, kao i promena učešća agregatnog stanja gasa u ukupnoj strukturi trgovine ovim energentom. Učešće gasa koji se isporučuje kupcima u tečnom stanju brodovima ima stalni rast u odnosu na količine koje se dopremaju cevovodom (Tabela 2.11). Danas se u svetu u međunarodnoj trgovini gasom, gotovo 70%

<sup>201</sup> U SAD ima više od 30 gasnih čvorišta, najznačajniji je Henry Hub u Luizijani.

<sup>202</sup> Ovo je danas najbliže tržište zemnog gasa tržištu Balkana.

<sup>203</sup> Ovo je najveće gasno virtualno tržište osnovano 1996. godine. Imalo je (2006) promet od šezdeset pet milijardi m<sup>3</sup> i trgovinu od petsto devedeset milijardi m<sup>3</sup>. Velika količina doprema se norveškim offshore cevovodima, kojima je omogućen pristup sa proizvodnih platformi.

<sup>204</sup> Obuhvata i trgovinu LNG.

<sup>205</sup> Izvor: preuzeto iz većeg broja stručnih radova.

energenata transportuje cevovodima u gasovitom stanju, dok se 30% transportuje u tečnom stanju. Najveći izvoznici su: Katar, Malezija, Australija, Indonezija, Trinidad i Tobago, Rusija... (Slika 2.21). Među državama najvećim kupcima tečnog zemnog gasa u svetu 2013. godine bili su: Japan (122,82 milijarde m<sup>3</sup>), Severna Koreja (53,16), Kina (24,68), Indija (16,68)... (Slika 2.22).

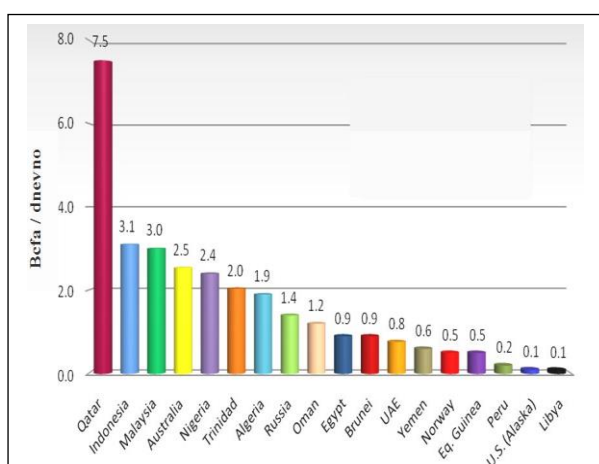
Ukupni kapaciteti za utečnjavanje (prevođenje zemnog gasa iz gasovitog u tečno agregatno stanje) (TZG/LNG), namenjeno u prvom redu za transport na udaljena inostrana tržišta brodovima, u svetu, bili su 2013. godine u iznosu od 383,3 milijarde m<sup>3</sup>. Prema instaliranim kapacitetima za utečnjavanje zemnog gasa najveća postrojenja u ukupnom iznosu imali su: Katar (104,8 milijardi m<sup>3</sup> na godišnjem nivou), Indonezija (43,2), Australija (35,0), Nigerija (30,1), Alžir (27,4), Trinidad i Tobago (20,6)... Istovremeno, ukupni instalirani kapaciteti za prihvatanje brodova za prevoz LNG u svetu, iznosili su 904,4 milijarde m<sup>3</sup>. Zemlje sa najvećim ukupnim kapacitetima za prihvatanje brodova sa tečnim zemnim gasom, i za njegovo prevođenje (postrojenjima za regasifikaciju) u gasovito stanje, bile su: Japan (259,2 milijarde m<sup>3</sup>), SAD (174,4), Severna Koreja (100,4)...

Tabela 2.11. Međunarodna trgovina zemnim gasom u svetu

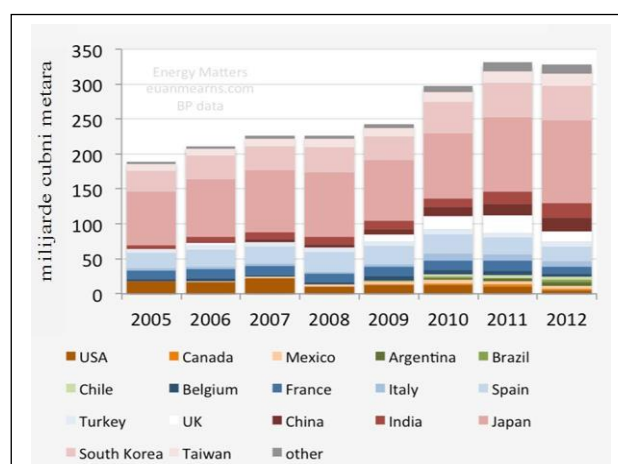
godine	trgovina LNG/ukupna trgovina gasom (%)	trgovina cevovodom/ ukupna trgovin. (%)	trgovina gasom/ proizvodnja (%)	trgovina LNG gasom/ proizvodnja (%)	trgovina gasom cevovod/ proizvodnja (%)
2000.	21,74	78,26	26,14	5,68	20,46
2005.	22,81	77,19	30,04	6,85	23,19
2010.	30,35	69,65	30,64	9,30	21,34
2014.	32,56	67,44	29,09	9,47	19,62

Autor. Na osnovu O&G, Eni, 2014.

Danas u svetu najznačajnije kompanije<sup>206</sup>, prema svojim rezervama gasa, jesu: *Gazprom* (Rusija), *NIOC* (Iran), *Qatar Petroleum* (Katar), *Saudi Aramco* (Saudijska Arabija), *ADNOC* (UAE), *Sonatrach* (Alžir), *PDVSA* (Venecuela), *NIOC* (Irak), *Petronas* (Malezija)... Posmatrano prema proizvodnji, najveće kompanije poslednjih godina jesu: *Gazprom* (Rusija), *Qatar Petroleum* (Katar), *INOC* (Irak), *Royal Dutch Shell* (Holandija –V. Britanija), *ExxonMobil* (SAD), *Sonatrach* (Alžir), *NIOC* (Iran), *Saudi Aramco* (Saudijska Arabija), *Petronas* (Malezija), *Total* (Francuska), ...



Slika 2.21. Zemlje izvoznice TZG 2010.<sup>207</sup>



Slika 2.22. Zemlje potrošači TZG 2005–2012.<sup>208</sup>

Pored toga što se, globalno posmatrano, tržište zemnim gasom razlikuje i ima svoje specifičnosti u odnosu na tržišta drugih proizvoda, istovremeno i sama određena tržišta zemnog gasa

<sup>206</sup> Kompanije nisu strogo rangirane prema veličini rezervi i proizvodnji gasa.

<sup>207</sup> Izvor: godišnji izveštaj Internacional Gas Union, 2012. godine.

<sup>208</sup> Izvor: izveštaj za period 2005–2012. godine, publikovan u većem broju stručnih inostranih radova.

moгу se međusobno razlikovati. Tržišta zemnog gasa, pored svih svojih međusobnih sličnosti i karakteristika, često se istovremeno i međusobno razlikuju, i imaju svoje specifičnosti na nivou: sveta, regiona, između zemalja u okviru istog regiona, ali i u okviru iste države mogu da budu prisutne određene značajne razlike, karakteristike i obeležja.

**Tržište gasa u Severnoj Americi** prvo se formiralo i najstarije je u svetu. Sam razvoj tržišta u Severnoj Americi vezuje se za SAD u kojima je nastanak tržišta bio podstaknut pojavom sistema međudržavnih cevovoda koji su se koristili za snabdevanje lokalnih distributera. U SAD i Kanadi formirano je veliko spot tržište gasa na kome se u velikoj meri cena formira na osnovu ponude i tražnje. Takođe, na ovom tržištu postoje i dugoročni ugovori, ali su oni manje zastupljeni u trgovini.<sup>209</sup> Potrebe za ovim gasom na ovom tržištu u najvećoj meri podmiruju se iz sopstvenih kapaciteta. Pored razvijenog cevovodnog sistema za transport gasa, u SAD postoji veliki broj pristaništa za LNG, što dodatno daje sigurnost ovom tržištu na duži period i mogućnost snabdevanja i iz drugih regiona.<sup>210</sup> Najveće procenjene rezerve na ovom tržištu imaju: SAD od  $9,170 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$  gasa, Venecuela 5,595 i Kanada 1894. Najveći proizvođači gasa na ovom tržištu 2013. godine bile su SAD – 673,51 milijarda  $\text{m}^3$  i Kanada –  $153,78 \times 10^9 \text{ m}^3$ . Najveći potrošač bile su SAD – 724,67 milijardi  $\text{m}^3$ , koje su svoju razliku između sopstvene proizvodnje i potrošnje od  $79,59 \times 10^9 \text{ m}^3$  nadoknadile uvozom. Sam zemni gas ima značajnu poziciju u energetici SAD.

**Tržište gasa u Aziji.** Samo tržište Azije i Pacifika ima deficit između svoje godišnje proizvodnje i potrošnje<sup>211</sup> prirodnog gasa ( $495,75\text{--}661,62$  milijarde  $\text{m}^3$ ) koji nadoknađuju uvozom gasa sa udaljenih destinacija. Danas su najveći potrošači u ovom regionu Kina (153,29) i Japan (126,15). Najveći uvoznici su: Japan (122,95), Koreja (56,85) i Kina (51,90). Smatra se da se na ovom tržištu najveće potencijalne rezerve gasa nalaze u Kini. Očekuje se sve veća potrošnja gasa na ovom tržištu (Kina, Indija...). Značajno mesto zauzima snabdevanje ovog tržišta TZG. Na ovom tržištu dominiraju dugoročni ugovori o trgovini gde su cene gasa vezane za cenu nafte. U poslednje vreme sve značajniju ulogu i perspektivu u snabdevanju tržišta ima uvoz gasa cevovodom. Reč je u prvom redu o Kini, i o više sklopljenih bilateralnih ugovora između Rusije i Kine.<sup>212</sup> U slučaju realizacije više potpisanih sporazuma o energetske saradnji između ove dve zemlje, količina gasa koja bi se isporučivala iz Rusije znatno bi nadmašila izvoz Rusije u zemlje E.U..

## 4.2. Osnovne karakteristike evropskog tržišta zemnog gasa

Podsticaj razvoju tržišta gasa u Evropi bilo je otkriće gasnog polja Gronigen u Holandiji 1959. godine. Iz Alžira su brodovima prve količine tečnog zemnog gasa dopremljene šezdesetih godina prvo u Englesku, a zatim i u Francusku. Prve količine gasa iz Rusije bile su isporučene na tržište zemalja Zapadne Evrope 1968. godine Austriji. Evropsko tržište zemnog gasa u pravom smislu se formiralo 1973. godine kao reakcija na embargo na izvoz nafte, koji je bio proglašen od strane zemalja OPEC-a. Doneta je odluka o vezivanju cene gasa za naftu.<sup>213</sup> Poslednjih petnaest godina, tri su značajna procesa koja se odvijaju u energetskom sektoru Evrope: restrukturiranje energetskog sektora, privatizacija i liberalizacija tržišta zemnog gasa i električne energije.

Evropa, bez Rusije, danas ne raspolaže značajnim konvencionalnim rezervama zemnog gasa. Procenjene rezerve Evrope 2013. godine iznosile su  $5,53 \times 10^{12} \text{ m}^3$ , dok su one istovremeno u Rusiji sa Centralnom Azijom iznosile  $64,47 \times 10^{12} \text{ m}^3$ . Najveće rezerve gasa procenjene su u dve

<sup>209</sup> Krstičević, T., *Budući razvoj tržišta prirodnog plina*, RGNF, Zagreb, 2013, str. 31.

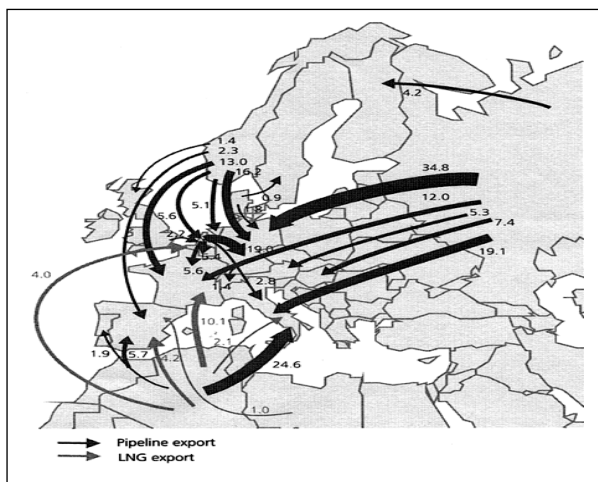
<sup>210</sup> U sagledavanju ove problematike analiziran je i rad: Ratner, M. i dr., *U.S. Natural Gas Exports: New Opportunities, Uncertain Outcomes*, Congressional Research Service, 2013.

<sup>211</sup> Godine 2013. proizvodnja je bila 495,75 (milijardi  $\text{m}^3$ ). Istovremeno, potrošnja je iznosila 661,62, što predstavlja deficit od 165,87 milijardi  $\text{m}^3$ .

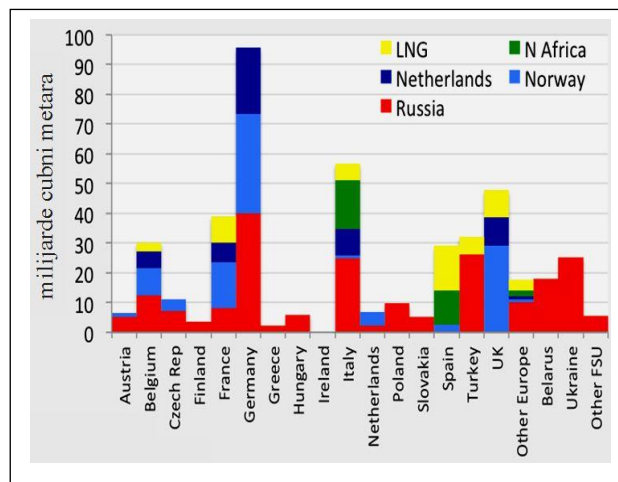
<sup>212</sup> Reč je o dva nova pravca, „Snaga Sibira“ i „Zapadna Altaj ruta“.

<sup>213</sup> Krstičević, T., *Budući razvoj svjetskog tržišta prirodnog plina*, RGNF, Zagreb, 2013, str. 33.

zemlje, Norveškoj ( $2,71 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ) i Holandiji ( $1,13 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ). Činjenica, da se 80% ukupnih svjetskih rezervi gasa nalazi na rastojanju do 5000 km od središta evropskog tržišta, pruža relativno dobru poziciju za snabdevanje ovog prostora u budućnosti. Primenom adekvatnih savremenih sistema transporta i iznalaženjem novih načina i mogućnosti prenosa gasa, ostvariće se uspešno snabdevanje tržišta i potrošača ovim energentom.

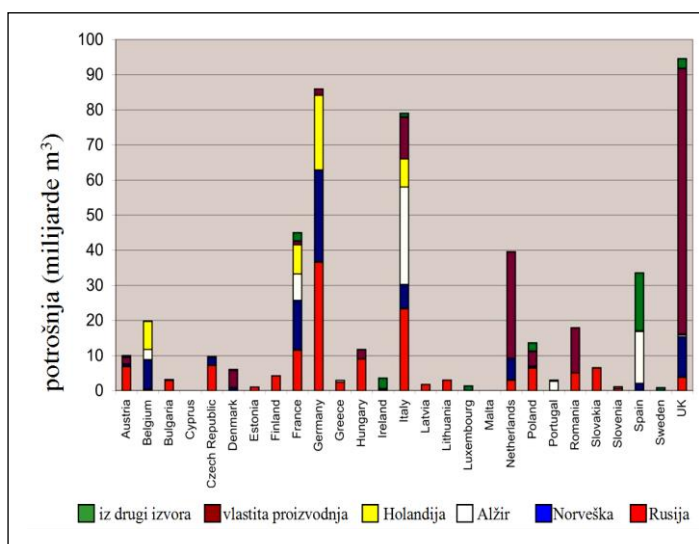


Slika 2.23. Pravci snabdevanja Evrope gasom<sup>214</sup>

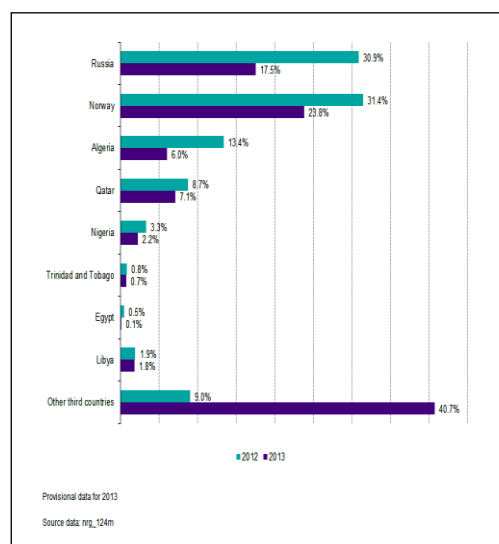


Slika 2.24. Struktura uvoznog gasa u zemlje EU<sup>215</sup>

Na teritoriji Evrope, 2013. godine (bez Rusije), proizvedeno je  $286,44 \times 10^9 \text{ m}^3$  zemnog gasa, a potrošeno  $590,75 \times 10^9 \text{ m}^3$ . Deficit gasa, između sopstvene proizvodnje i potrošnje, nadoknadile su uvozom od 304,31 milijarde  $\text{m}^3$ . Zemlje najveći proizvođači gasa 2013. godine bile su u Evropi: Norveška ( $109,78 \times 10^9 \text{ m}^3$ ), Holandija ( $73,67 \times 10^9 \text{ m}^3$ ), Velika Britanija ( $39,15 \times 10^9 \text{ m}^3$ ), Nemačka ( $11,41 \times 10^9 \text{ m}^3$ ), Rumunija ( $10,08 \times 10^9 \text{ m}^3$ )... Istovremeno, države najveći potrošači na godišnjem nivou bile su: Nemačka ( $87,25 \times 10^9 \text{ m}^3$ ), Italija ( $68,45 \times 10^9 \text{ m}^3$ ), Francuska ( $46,30 \times 10^9 \text{ m}^3$ ), Holandija ( $39,42 \times 10^9 \text{ m}^3$ ).... Da bi zadovoljile svoje potrebe za gasom kao proizvodom, deficit su nadoknadile uvozom gasa od 304,31 milijarde  $\text{m}^3$ . Pojedinačno, zemlje najveće uvoznice su:



Slika 2.25. Potrošnja gasa u zemljama EU i poreklo njegovog izvora<sup>216</sup>



Slika 2.26. Procenat porekla uvoza zemnog gasa u EU<sup>217</sup>

<sup>214</sup> Izvor: preuzeto iz većeg broja stručnih inostranih radova.

<sup>215</sup> Izvor: BP Statistical 2014. Struktura porekla uvoznog gasa u EU 2013. Posmatrano prema državama iz kojih je dopremljen.

<sup>216</sup> Izvor: više različitih radova. Potrošnja gasa u određenim zemljama i njegovo poreklo.

Nemačka ( $94,87 \times 10^9 \text{ m}^3$ ), Italija ( $60,54 \times 10^9 \text{ m}^3$ ), Francuska ( $50,71 \times 10^9 \text{ m}^3$ ), Holandija ( $23,07 \times 10^9 \text{ m}^3$ )... (slike: 2.24, 2.25. i 2.26). Uočljiva je činjenica da su neke zemlje istovremeno uvoznici, ali i izvoznici gasa. Te zemlje se bave trgovinom gasom. One količinu viška gasa kojim raspolažu<sup>218</sup> prodaju drugim zemljama.

Savlađivanje prostornih distanci između udaljenih mesta proizvodnje i potrošnje ostvaruje se adekvatnom primenom segmenta transporta u okviru logističkog sistema u snabdevanju zemnim gasom. Činjenica da su sve složeniji zahtevi i veća rastojanja na kojima se prenosi gas, daje sve veći značaj i poziciji same aktivnosti transporta. Iznalaženjem i primenom adekvatnih načina i vidova transporta zemnog gasa, pruža se i ostvaruje sve uticajnija i značajnija pozicija transporta u međunarodnoj trgovini ovim proizvodom.



Slika 2.27. Najznačajniji cevovodi za transport zemnog gasa i terminali za TZG/LNG u Evropi<sup>219</sup>

Gasovodima se na evropsko tržište zemni gas doprema iz četiri glavna pravca (Slika 2.23)<sup>220</sup>: 1. iz pravca Severne Evrope, gas se doprema za Nemačku, Holandiju, Belgiju i Francusku: interkonektorom Bacton (V. Britanija) – Zeebrugge (Belgija)<sup>221</sup>, gasovodom BLL (Holandija–V. Britanija), sistemom gasovoda *Norway gas hub* (više cevovoda iz Norveške<sup>222</sup> za Nemačku, Francusku i V. Britaniju), TENP i Transigas (povezuje Norvešku i Holandiju sa Srednjom i Južnom Evropom, preko Švajcarske prema Nemačkoj i Italiji); 2. gasovodi iz Severne Afrike za Italiju i

<sup>217</sup> Izvor: više različitih radova. Poreklo uvoznog gasa koji je plasiran u državama EU u 2012. i 2013. godini.

<sup>218</sup> To je razlika između sopstvene proizvodnje + uvoz sa jedne strane, i potrošnja sa druge.

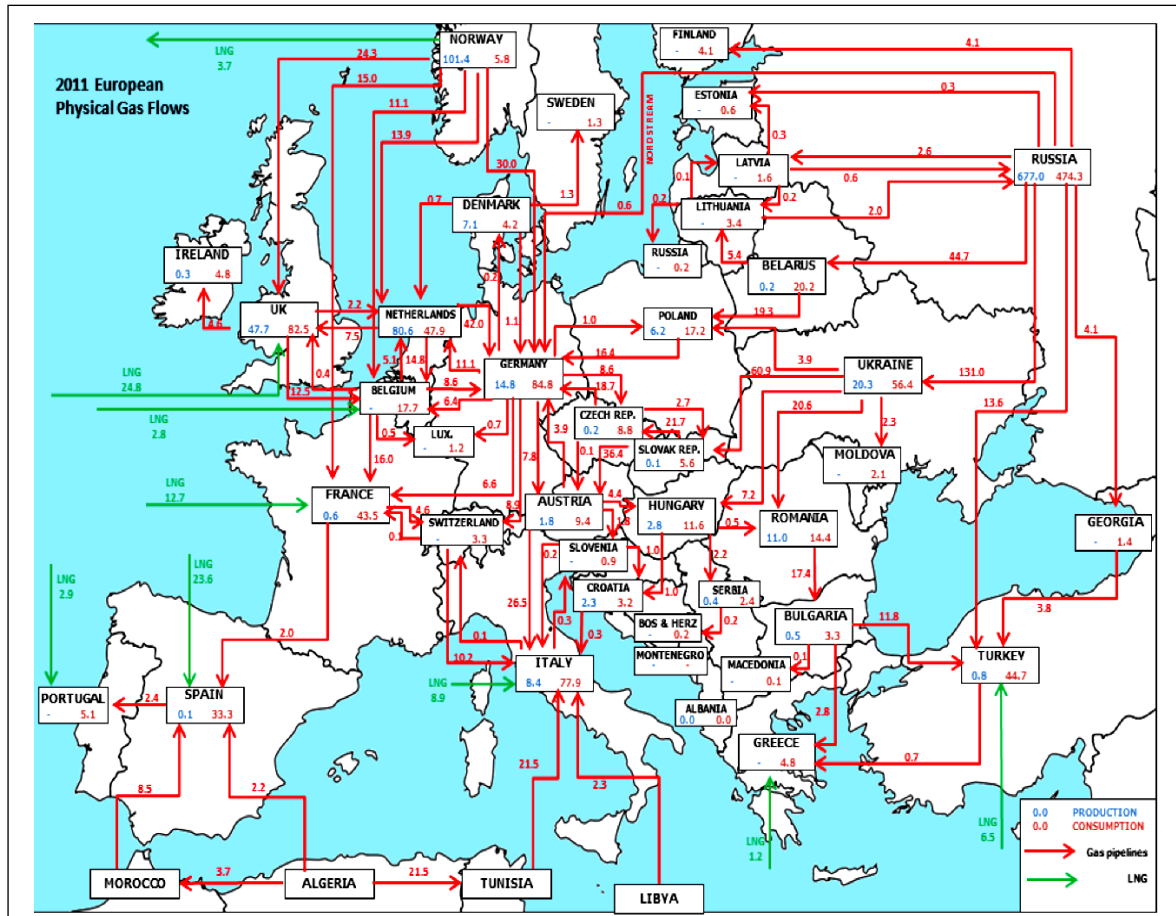
<sup>219</sup> Izvor: preuzeta iz većeg broja stručnih radova.

<sup>220</sup> Barić, N., *Dobavni pravci prirodnog plina za opskrbu Evrope*, RGNF, Zagreb, 2010, str. 12.

<sup>221</sup> Dvosmerni gasovod, izgrađen 1998. godine, dužina 235 km, ispod mora, kapacitet  $23,5 \times 10^9 \text{ m}^3$  i  $20 \times 10^9 \text{ m}^3$

<sup>222</sup> Reč je o više podvodnih gasovoda. To su cevovodi: Norpipe, Statpipe, Europipe I i II, Zeepipe I i II, Franpipe, Oseber gas, Asgard, Langeled...

Španiju: Transmed<sup>223</sup> (od Alžira – preko Tunisa – podvodno ispod Mediterana – Sicilija – do Italije); Megaz<sup>224</sup> (Alžir – podvodno do Španije); Magreb–Europa (Alžir – Maroko – Sredozemno more – Gilbertar, gde se razdvajaju prema Portugalu i Španiji); Greenstream<sup>225</sup> (Libija – ispod Sredozemnog mora – Sicilija – Italija); 3. doprema gasa iz područja Srednjeg istoka i Kaspijskog regiona prema



Slika 2.28. Proizvodnja, potrošnja, trgovina i transport gasa (cevovod i LNG) u Evropi<sup>226</sup>

Turskoj: cevovod South Caucasus Pipeline<sup>227</sup> (Baku–Tursaka) i cevovod iz Rusije Blue Stream;<sup>228</sup> 4. uvoz gasa iz Ruske Federacije prema Srednjoj Evropi, gas se doprema cevovodima: Trans Austrija<sup>229</sup> (TAG), West Austrija Gasleitung<sup>230</sup>, Eustrem (kroz Češku i Slovačku), Yamal–Evropa<sup>231</sup>, Nord Stream<sup>232</sup>... Gasnu infrastrukturu Evrope čine gasovodi i terminali za TZG (Slika 2.27).

<sup>223</sup> Izgrađen 1981. godine, dužina 2845 km, ispod mora 155 km, kapacitet  $33,5 \times 10^9 \text{ m}^3$

<sup>224</sup> Podvodni gasovod, dužina 210 km, kapacitet  $8 \times 10^9 \text{ m}^3$

<sup>225</sup> Projekat Greenstream spaja libijsko gasno polje Bahar Essalam Wafa, ispod Sredozemnog mora preko Sicilije do Italije. Ovo je jedan od najdužih podvodnih cevovoda (550 km), kapaciteta  $11 \times 10^9 \text{ m}^3$ , vrednost izgradnje 6,6 milijardi evra. Ravnopravni vlasnici su kompanija ENI i *Libyan National Oil Corporation*.

<sup>226</sup> Izvor: Eu anmearns, UK Europe gas, 2013.

<sup>227</sup> Povezuje Baku sa Turskom, izgrađen 2006. godine, dužina 692 km, ispod mora, kapacitet  $8,8\text{--}20 \times 10^9 \text{ m}^3$ .

<sup>228</sup> Plavi tok. Izgrađen 2003. Dužina iznosi 1213 km, ispod Crnog mora trasa je od 385 km, kapacitet  $16 \times 10^9 \text{ m}^3$ .

<sup>229</sup> Izgrađen početkom 1970. god., kapacitet  $39 \times 10^9 \text{ m}^3$

<sup>230</sup> Izgrađen 1970. god., dužina 245 km, kapacitet  $11 \times 10^9 \text{ m}^3$

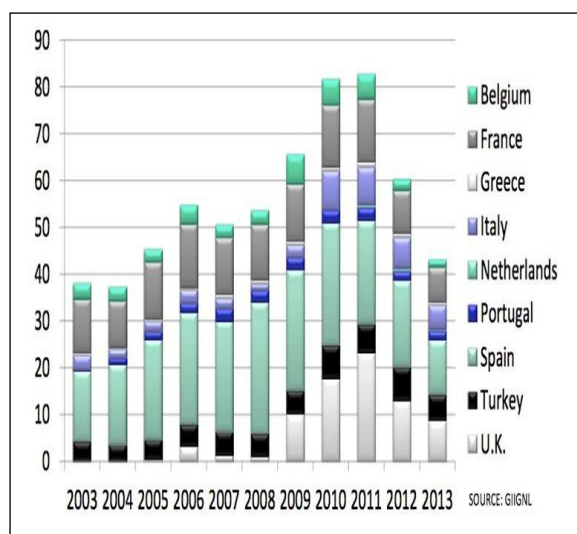
<sup>231</sup> Izgrađen 1999. god., dužina 4196 km, kapacitet  $33 \times 10^9 \text{ m}^3$ , vrednost 14 milijardi eura. Yamal II-23  $\times 10^9 \text{ m}^3$

<sup>232</sup> Severni tok je gasovod između Viborg (Rusija)- Graifswald (Nemačka). Pušten u rad 8 novembra 2011. Celom dužinom prolazi ispod Baltičkog mora, dužine 1224 km. Jedna cev ima kapacitet  $27,5 \times 10^9 \text{ m}^3$  gasa godišnje (ima dve paralene cevi). Ukupan kapacitet ima 55 milijarde  $\text{m}^3$  na godišnjem nivou. Predviđen je njegov vek eksploatacije u naredni 50 godina. Vlasnici su: Gazprom (51%), E.ON Ruhrgas (15,5%), Wintershall (15,5%), Nedelandse Gasuine

Države Evropske unije svoje potrebe u prvom redu nastoje da zadovolje iz sopstvene proizvodnje. Istovremeno, pošto većina zemalja nema dovoljnu sopstvenu proizvodnju, nastoje najčešće da gas uvezu iz zemalja u okviru same Unije. Trgovina koja se ostvaruje unutar samih zemalja članica Unije nije dovoljna za podmirenje celokupnih potreba država, neminovno nameće podmirenje deficita uvozom izvan EU. Uvoz gasa se obavlja putem cevovoda u gasovitom stanju i brodovima u tečnom agregatnom stanju (tečni zemni gas, LNG). Tokovi gasa u Evropi, Slika 2.28.

Pored uvoza gasa na tržište Evrope cevovodima, u gasovitom stanju, ovaj energent se doprema do njega i brodovima, u tečnom agregatnom stanju (LNG). Strategijom uvoza gasa i u tečnom stanju ostvaruje se sigurnije snabdevanje i diverzifikacija nabavke ovog proizvoda. Snabdevanje tržišta tečnim zemnim gasom zauzima sve značajniju poziciju za zemlje Evrope. Doprema ovog energenta brodovima u utečnjenom stanju je sa sve udaljenijih destinacija. Zemlje najveće uvoznice zemnog gasa (LNG) u Evropi 2013. jesu: Španija ( $15,45 \times 10^9 \text{ m}^3$ ), Velika Britanija ( $9,28 \times 10^9 \text{ m}^3$ ), Francuska ( $7,80 \times 10^9 \text{ m}^3$ ), Turska ( $6,08 \times 10^9 \text{ m}^3$ ), Belgija ( $5,66 \times 10^9 \text{ m}^3$ )... (Slika 2.29).

Najznačajniji terminali za prihvatanje brodova sa LNG jesu: u Španiji (u mestu Huelvi, u Kartageni, Barseloni, Bilbao, Sagurtu, Mugardosu), Portugaliji (u Sinesu), Francuskoj (Fos Tonkin, Montoir de Bretagne, Fos Cavaouu), Turskoj (Marmara Ereğlisiu, Aliga), V. Britaniji (Grain, South Hook<sup>233</sup>, Dragon), Belgiji (Zeebrugge), Grčkoj (Revithoussi), Italiji (Panigaglia, Porto Levante) (Slika 2.30). Ukupni instalirani kapaciteti postrojenja za prihvatanje LNG brodova (regasifikaciju gasa) u Evropi 2013. godine iznosili su 199,7 milijardi  $\text{m}^3$ . Posmatrano pojedinačno po zemljama, oni su bili na godišnjem nivou u: Španiji (63,6 milijardi  $\text{m}^3$ ), Velikoj Britaniji (52,0), Francuskoj (24,2), Holandiji (12,7), Italiji (12,3), Turskoj (12,3), Belgiji (9,0), Portugaliji (8,3) i Grčkoj (5,4). Istovremeno, u Evropi instalirane kapacitete za utečnjavanje zemnog gasa imale su samo dve države, Norveška (5,6) i Rusija (14,1).



Slika 2.29. Uvoz LNG u zemlje Evrope<sup>234</sup>



Slika 2.30. Terminali za LNG u Evropi<sup>235</sup>

Značajnu ulogu u snabdevanju Evrope zemnim gasom imaju njegova tržišta, tj. hubovi. Fizički najbliže tržište gasa državama Balkana jeste CEGH u Baumgaretu u Austriji. Iz ovog huba, gas (koji je u najvećem obimu poreklom iz Rusije)<sup>236</sup> transportuje se cevovodom TAG (Trans

(9%) i GDF SUEZ (9%). Verdnost 10,2 milijarde eura. Ima samo jednu kompresorsku stanicu. Prečnik cevovoda: spoljni 1200 mm, a unutrašnji 1153 mm. 2015. godine ugovorena je izgradnja Severnog toka 2 istok kapaciteta.

<sup>233</sup> South Hook je najveći prihvatni terminal za LNG u Evropi kapaciteta  $21 \times 10^9 \text{ m}^3$ .

<sup>234</sup> Izvor: izveštaj EU o uvozu gasa. Posmatran uvoz LNG prema godinama i zemljama EU.

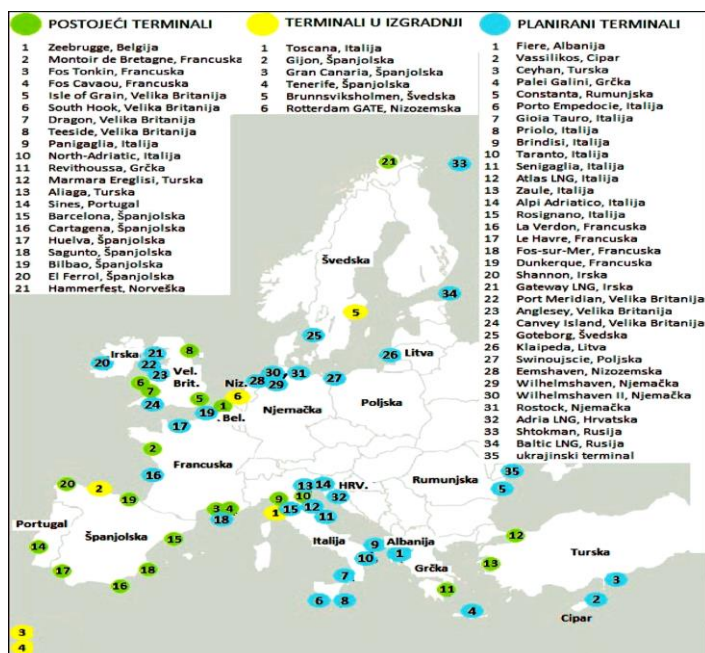
<sup>235</sup> Izvor: ilustracija preuzeta iz više radova. Terminali za LNG u Evropi.

<sup>236</sup> Gas iz Rusije doprema se do ovog huba cevovodima Brotherhood i Transgas, gde se ukrštaju ovi gasovodi.

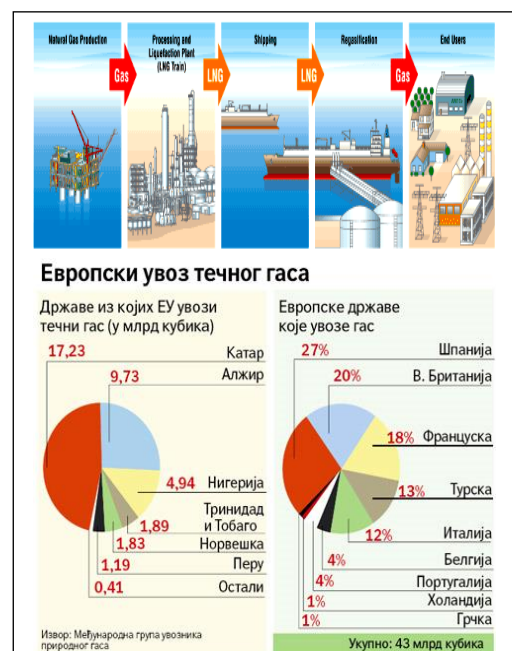


Austria Gas pipeline) za Italiju, a cevovodom WAG (West Austria Gas pipeline) u Nemačku. Ovo tržište do sada nije dovoljno iskorišćeno od strane svih zemalja Balkanskog poluostrva, niti je omogućilo globalno bolju snabdevenost svih država ovog regiona. Razvoj tržišta gasa u značajnoj meri zavisi i direktno je uslovljen funkcijom transporta, a ostvarivanje još većeg njegovog efekta postiže se unapređivanjem segmenta skladištenja. Transport ima dominantan uticaj na trgovinu i snabdevanje tržišta gasom. Razvojem i unapređenjem transporta, zemlje Balkana omogućiće bolju, kvalitetniju i efikasniju snabdevenost svog prostora ovim energentom po prihvatljivijim cenama. Bolja snabdevenost po nižim cenama omogućiće veću tražnju i potrošnju. Neminovno, povećanje tražnje i potrošnje doprinelo bi razvoju i formiranju novog tržišta gasa na teritoriji Balkana. Istovremeno, formiranje novog huba doprinelo bi boljoj snabdevenosti i povećanju potrošnje. Ove dve aktivnosti su međusobno zavisne. Unapređenje transporta gasa ima značajan uticaj na snabdevenost tržišta Balkana.

Svoje potrebe za zemnim gasom zemlje Evrope, pored sopstvene proizvodnje i međusobne trgovine, u znatnoj meri zadovoljavaju, u prvom redu, njegovim uvozom iz Rusije i iz zemalja u njenom neposrednom okruženju iz Centralne Azije. Pored uvoza gasa iz Rusije, gas se na evropsko tržište doprema se iz zemalja Afrike (slike 2.31. i 2.32).



Slika 2.31. Prihvatni postojeći, planirani i LNG terminali u izgradnji u Evropi<sup>237</sup>



Slika 2.32. Lanac snabdevanja LNG, poreklo i uvoznici u Evropi<sup>238</sup>

### 4.3. Značaj i uticaj Rusije na snabdevenost evropskog tržišta zemnim gasom

Ukupne procenjene rezerve Rusije i Centralne Azije 2013. godine iznosile su  $64,475 \times 10^{12} \text{ m}^3$ , a rezerve samo Rusije bile su  $49,541 \times 10^{12} \text{ m}^3$ . Rezerve Rusije su veće osam puta nego ukupne rezerve svih drugih zemalja Evrope zajedno. Godišnja proizvodnja gasa u Rusiji, iste godine, bila je  $657,66 \times 10^9 \text{ m}^3$ . Ta ostvarena proizvodnja bila je više od dva puta veća nego celokupna proizvodnja u ostatku Evrope.<sup>239</sup> Istovremeno, potrošnja je u Rusiji bila  $457,53 \times 10^9 \text{ m}^3$ , a izvoz  $206,53 \times 10^9$

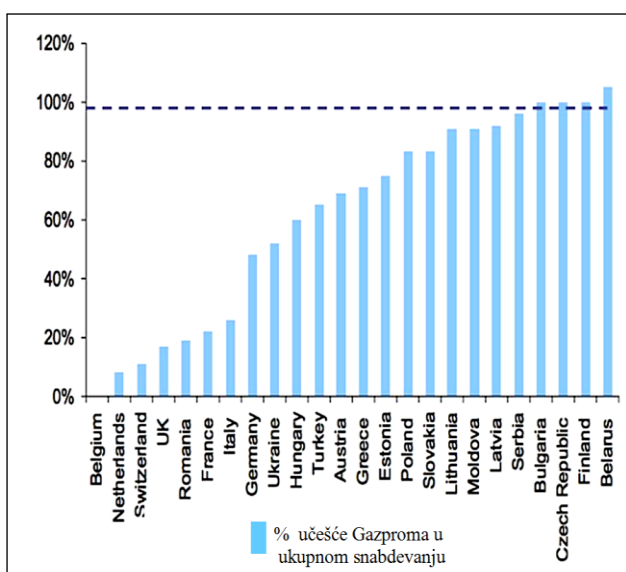
<sup>237</sup> Izvor: Veselić, M. i dr., „Analiza dostupnosti kapaciteta terminala za uplinjavanje UPP-a radi osiguranja sigurnosti opskrbe Evrope prirodnim plinom“, RGN zbornik 23, 2011, 25–38.

<sup>238</sup> Izvor: Međunarodna grupa uvoznika LNG, preuzeto iz novina *Politika*.

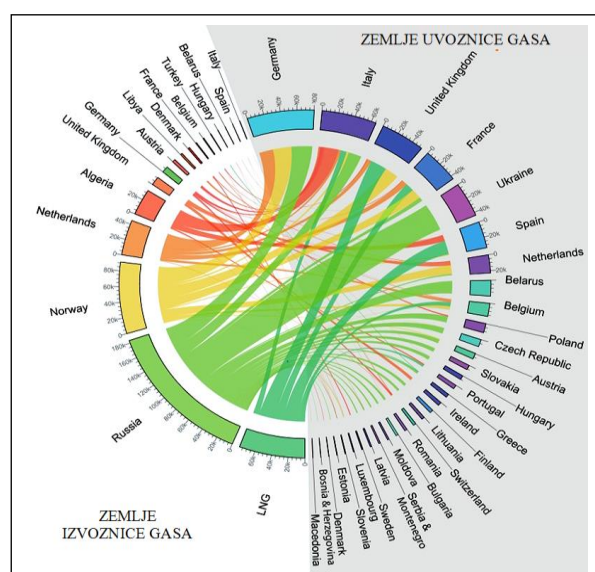
<sup>239</sup> U procesu proizvodnje zemnog gasa velike količine ovog energenta se uništavaju. U proizvodnji nafte, vezeni gas je metan, koji se nalazi u nafti. Njenom preradom on postaje nusproizvod. Veoma često u svetu on se spaljuje na baklji.

m<sup>3</sup>. U ukupnoj potrošnji primarne energije u Rusiji zemni gas učestvuje sa 56%. Rusija je najveći izvoznik gasa u svetu. Ona je 2013. godine izvezla 206,53 milijarde m<sup>3</sup> zemnog gasa.

Rusija se u svojoj trgovini gasom istovremeno pojavljuje kao izvoznik u veliki broj zemalja, ali i kao kupac gasa iz zemalja kaspiskog regiona.<sup>240</sup> Rusija je 2010. godine izvozila svoj gas u zemlje bivše SSSR (Ukrajina četrdeset milijardi m<sup>3</sup>; Belorusija 20; Litvanija 3,4; Letonija 1,18...) i u evropske zemlje. Svoj gas, iste godine, Rusija je izvozila u zemlje Evrope: u Nemačku (34,02 milijarde m<sup>3</sup>); Tursku (25,99); Italiju (17,08); Poljsku (10,25); Francusku (9,53); V. Britaniju (8,16); Češku (7,59); Mađarsku (6,26); Slovačku (5,89); Austriju (5,43); Finsku (4,19); Holandiju (4,37); Grčku (2,9); Rumuniju (2,82); Bugarsku (2,81); Srbiju (1,39); Sloveniju (0,53); Švajcarsku (0,31); Bosnu i Hercegovinu (0,28); Makedoniju (0,13). Izvoz u zemlje Evrope, na godišnjem nivou, veći je od sto pedeset milijardi m<sup>3</sup>. Plasman ruskog gasa u tri zemlje, Nemačku, Tursku i Italiju, predstavlja polovinu njenog ukupnog izvoza.<sup>241</sup> Pored plasmata gasa cevovodom<sup>242</sup>, Rusija poseduje postrojenja za utečnjavanje gasa, i 2013. godine izvezla je LNG u: Japan (12,02), Severnu Koreju (2,59), Tajvan (0,07) i Poljsku (0,01).



Slika 2.33. Uvozna zavisnost od Gazproma<sup>243</sup>



Slika 2.34. Zemlje izvoznici i uvoznici gasa u EU<sup>244</sup>

Različit je stepen zavisnosti određenih zemalja Evrope od gasa iz Rusije. Procentualno posmatrano odnos ruskog gasa, prema ukupnoj količini kojom raspolaže (sopstveni + uvozni gas) određena država, kreće se od delimične do potpunog nivoa zavisnosti. Zavisnost nekih od država: Bugarska (100%), Finska (100%), Estonija (100%), Češka (80,5%), Srbija (80,0%), Grčka (54,8%), Austrija (52,2%), Mađarska (49,5%), Nemačka (40,0%), Hrvatska (37,1%), Rumunija (24,2%), Italija (19,8%), Francuska (17,2%)... (slike: 2.33, 2.34. i 2.35).<sup>245</sup>

Više je razloga za ovakvo ponašanje: nedostatak infrastrukture za odvajanje gasa na postrojenjima za preradu nafte, nedostatak slobodnih kapaciteta za transport gasa, finansijske kalkulacije... Procenjuje se da su 2010. godine spaljene količine gasa u svetu bile sto trideset četiri milijarde m<sup>3</sup>. Od toga 26,3% (5,2 milijarde m<sup>3</sup>) u Rusiji. Kuterova, E. A. i dr., „Associated Gas Utilization in Russia, Issues and Prospects“, *Annual Report Issue 3*, Moscow, 2011.

<sup>240</sup> Rusija kupuje gas u Kazahstanu, Turkmenistanu, Uzbekistanu, Azerbejdžanu. Ovaj gas koji kupuje u zemljama bivšeg SSSR plasira na inostrano tržište. 2011. godine uvezla je 30,9 milijardi m<sup>3</sup>.

<sup>241</sup> Gašić, I., *Plinska industrija u Ruskoj Federaciji*, RGNEF, Zagreb, 2012, str. 19–62.

<sup>242</sup> Najveći deo gasa isporučuje se cevovodima: Brastvo, Yamal-Evropa I i Plavi tok.

<sup>243</sup> Izvor: ilustracija preuzeta iz više izvora. Uvozna zavisnost zemalja koje uzimaju gas iz Rusije.

<sup>244</sup> Izvor: izveštaj o trgovini gasom EU. Zemlje članice EU, izvoznice i uvoznice LNG-a.

<sup>245</sup> O zavisnosti Evrope od ruskog gasa može se detaljnije videti u radu: Anderson, R., „Zavisnost Evrope od ruskog prirodnog gasa – perspektive i preporuke za dugoročnu strategiju“ publikovanom pod nazivom „Evrope’s Dependence on Russian...“ objavljenom u časopisu *The Marshall Center Occasional Paper Series*, No 19, 2008.

Cena ruskog gasa je različita za određene zemlje. Ona je uslovljena vrstom ugovora, dinamikom isporuke, transportnim troškovima<sup>246</sup>... Cene za evropsko tržište određuju se sklapanjem dugoročnih međudržavnih ugovora<sup>247</sup>. Cena se formira na osnovu ugovora koji sadrži određene parametre i uslove za njeno formiranje: eskalacijsku formulu<sup>248</sup>, dužinu trajanja ugovora, klauzulu koja sprečava jednostrano raskidanje ugovora, odredbu uzmi ili plati<sup>249</sup>, konstantan ili periodični obim isporuke gasa... Cena gasa beleži stalni rast na tržištu.<sup>250</sup>

Sistem Rusije za snabdevanje zemnim gasom najveći je transportni sistem u svetu. On predstavlja jedinstven tehničko-tehnološko inženjerski kompleks, koji formiraju mreža magistralnih i distributivnih cevovoda, postrojenja za preradu gasa, kompresorske stanice i podzemna skladišta. Transportni sistem Rusije čini: 164.700 km magistralnih i distributivnih cevovoda; 215 kompresorskih stanica (ukupne snage 42 GW); 25 podzemnih skladišta gasa. Rusija raspolaže velikim brojem značajnih magistralnih cevovoda, ali istovremeno i planira izgradnju novih radi snabdevanja zemnim gasom potrošača u Evropi i Aziji.

Danas su u Evropi najznačajniji gasovodi koji su u upotrebi, koji se grade ili se planira njihova izgradnja, je sa ciljem da se zadovolje zahtevi i potrebe kupaca država Zapadne Evrope iz pravca Rusije. Pored plasmana svoga gasa na tržište Evrope, Rusija danas sve više razmišlja i o novim tržištima koja bi snabdevala cevovodima, ali i brodovima (slike 2.35. i 2.36).

U poslednje vreme, značajno mesto u strategiji razvoja izvoza gasa iz Rusije zauzimaju dva nova planirana cevovoda kojima će se ona povezati sa Kinom. O izgradnji ova dva cevovoda potpisani su ugovori između dve zemlje. Na ovaj način će se prvim planiranim cevovodom, *Snaga (moć) Sibira*, dužine 4000 km, isporučivati godišnje trideset osam milijardi m<sup>3</sup> gasa. Njegova izgradnja bi koštala oko četiristo milijardi dolara, a finansiraće ga obe zemlje. Trasa se prostire približno pravcem postojećeg Istočnosibirskog naftovoda. Cena gasa, koji će se isporučivati njime, treba da bude 370–390 američkih dolara, ugovor je potpisan na 30 godina. Drugi cevovod koji je planiran, *Altaj – zapadni tok*, isporučivaće trideset milijardi m<sup>3</sup> gasa, na godišnjem nivou, kineskim potrošačima. Pored ova dva cevovoda, u razmatranju je i izgradnja cevovoda iz Rusije za Indiju.

Sam razvoj gasnog sektora prirodnog gasa u Rusiji veže se za početak njegovog istraživanja koje je otpočeto 30-ih godina prošlog veka u Saratskoj oblasti. Prvi cevovod u dužini od 16 km (od gasnog polja Elishansoj do mesta Saratova) izgrađen je 1942. godine. Cevovod koji je postavljen i instaliran 1946. godine povezao je Elshanskoj i Moskvu. Prve količine prirodnog gasa iz Rusije za zemlje Zapadne Evrope isporučene su 1974. godine novoizgrađenim cevovodom za Italiju<sup>251</sup> preko Ukrajine, Čehoslovačke, Austrije.<sup>252</sup> U tom periodu, sve aktivnosti i nadležnosti vezane za zemni gas bile su pod direktnom ingerencijom države i Ministarstva za energetiku. Godine 1989. Ministarstvo gasne privrede, državnom odlukom, reorganizovano je u državni koncern *Gazprom*, a 1992. godine on je prešao u deoničarsku kompaniju OAO *Gazprom*. Ova kompanije je nasledila celokupnu infrastrukturu i rezerve gasa koje su bile u nadležnosti države Rusije. Danas je *Gazprom* najveća kompanija u Rusiji, a u svetu najveća u proizvodnji i plasmanu zemnog gasa. To je kompanija koja

<sup>246</sup> Kao ilustracija, orijentaciono može da posluži cena gasa u 2011. godini. Cena gasa za rusko tržište iznosila je 66,7 evra za 1000 m<sup>3</sup>; tržište bivšeg SSSR-a 190 evra za 1000 m<sup>3</sup> i evropsko tržište 224,8 evra za 1000 m<sup>3</sup>. Ovo su prosečne cene po kojima je Rusija prodavala gas. Na ovu cenu se dodaju svi troškovi transporta, poreza i akciza u svakoj zemlji. Najčešće u svim zemljama postoji razlika između cena za individualnu potrošnju i industriju.

<sup>247</sup> Maksimalna dužina ugovora je 20–25 godina.

<sup>248</sup> Određuje cenu na osnovu fluktuacije cene nafte u poslednjih 6–9 meseci.

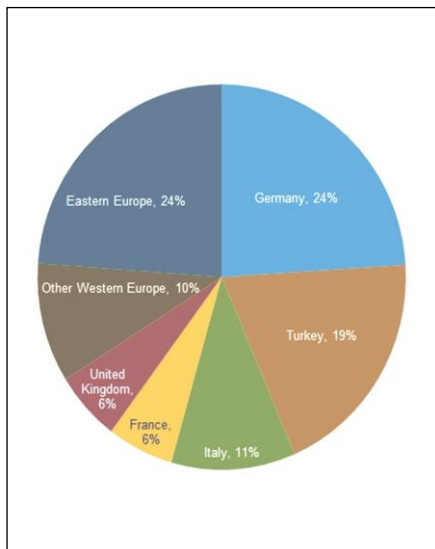
<sup>249</sup> Odredba prema kojoj je kupac dužan da plati i količinu gasa koju nije preuzeo za ugovorenu dinamiku isporuke. Često se ostavlja kao mogućnost pravo da naknadno preuzme gas, ali uz određenu doplatu.

<sup>250</sup> Izrazita je promena cene gasa posle 2006. godine. Za evropsko tržište 2007. godine cena 1000 m<sup>3</sup> gasa iznosila je 140 evra; 2008. bila je 206,6; 2009. – 168,9; 2010. – 184,3; 2010. – 224,8; 2012. – 350...

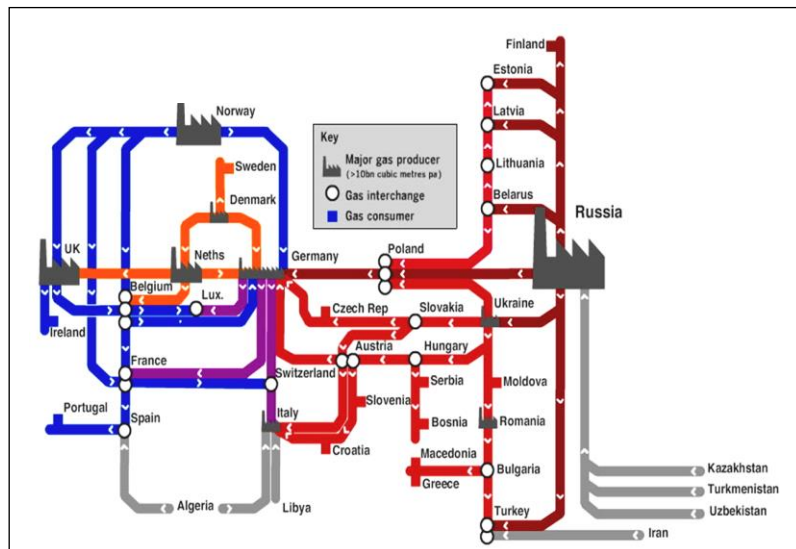
<sup>251</sup> Kao partner učestvovala je italijanska kompanija ENI.

<sup>252</sup> Do tog trenutka prirodni gas iz Rusije je korišćen za potrebe ruskog tržišta i izvožen u zemlje koje su bile članice istočnog bloka.

se bavi: istraživanjem, proizvodnjom, preradom, transportom i trgovinom gasom, gasnim kondenzatom i naftom, proizvodnjom i prodajom toplotne i električne energije. Rezerve gasa kojima *Gazprom* raspolaže iznose trideset pet biliona m<sup>3</sup>, a to predstavlja oko 72% ruskih rezervi, a 18% ukupnih svetskih rezervi. Trenutno, na godišnjem nivou, *Gazpromova* proizvodnja gasa je oko 77% od ukupne proizvodnje ovog energenta u Rusiji, što predstavlja istovremeno 15% ukupne svetske produkcije. Ova kompanija ima zaposlenih 400.000 radnika. Pored kompanije *Gazprom*<sup>253</sup> značajno mesto u Rusiji zauzima i nezavisna kompanija *Novatek*.



Slika 2.35. Izvoz gasa iz Rusije<sup>254</sup>



Slika 2.36. Šematski prikaz snabdevanja zemlja Evrope zemnim gasom cevovodom<sup>255</sup>

#### 4.4. Uticaj geopolitike na svetsko tržište zemnog gasa i njegova cena

Globalno posmatrano, cena zemnog gasa u svetu razlikuje se između određenih svetskih tržišta, ali i država u okviru istog regiona. Cena gasa zavisi od: raspoloživih rezervi ovog energenta; proizvodnje; konkurencije drugih energenata na istom tržištu; ponude i tražnje za ovim energentom; postojećeg tržišta zemnog gasa određene zemlje; tradicije; stava i politike vezane za energetiku i zemni gas; učešća uvoznog gasa u ukupnoj potrošnji; agregatnog stanja gasa; kvaliteta gasa kao proizvoda; trenutnog kretanja cene drugih energenata; kupoprodajnih ugovora; dinamike isporuke gasa; međunarodnih političkih odnosa; geopolitike; da li je gas dopremljen cevovodom ili brodom; mogućnosti skladištenja gasa; trokova transporta gasa; ukupnih troškova logistike; klimatskih uslova; godišnjeg doba; načina formiranja cena; politike cena; metoda ekonomske regulacije; pozicije kupca; promena na tržištu... U daljem delu ovoga rada, nešto detaljnije, biće sagledane samo geopolitika i cena zemnog gasa.

U manjoj ili većoj meri, gde god ima trgovine, prisutna je i politika, direktno ili indirektno. Kod međunarodne trgovine ona je uvek prisutna. Kada je reč o sektoru energetike, uticaj politike u međunarodnoj trgovini je izrazit.<sup>256</sup> Prilikom donošenja odluka o strategijama snabdevanja zemnim gasom, pored niza različitih činilaca i faktora,<sup>257</sup> značajan uticaj ima i sama politika.<sup>258</sup>

<sup>253</sup> *Gazprom* je jedina kompanija koja ima dozvolu Vlade Ruske Federacije za izvoz gasa na inostrano tržište, što je postavlja u monopolistički položaj. Opširnije videti u radovima iz ove oblasti.

<sup>254</sup> Izvor: Izveštaj *Gazproma*. Procenat od ukupnog izvoza ruskog gasa prema destinacijama.

<sup>255</sup> Schematic derivad from 2007. European Physical Gas Flows chat from UK Depet of Energy and Climate Change.

<sup>256</sup> Smatra se da u međunarodnoj trgovini energentima odnos uticaja politike i ekonomije može da se kreće i u odnosu 50:50. Dok je u segmentu vezanom za zemni gas sam uticaj politike često još izraženiji i značajniji.

<sup>257</sup> O uticaju i značaju dugih činilaca opširnije videti u radovima koji tretiraju određenu problematiku.

**Geopolitika** je pojam koji povezuje geografiju i politiku. Ona sagledava i proučava uticaj prostora i prostornih činilaca na politiku.<sup>259</sup> Geopolitika ima veoma značajan uticaj na trgovinu zemnim gasom.<sup>260</sup> Takođe, sam zemni gas ima značajnu ulogu u geopolitičkim odnosima vezanim za energetska bezbednost.<sup>261</sup> Uticaj i implikacije gasa na politiku, ali i obrnuto, dobro i ilustrativno mogu da se sagledaju kroz prizmu trgovine ovim energentom tranzitnim gasovodima.<sup>262</sup> Posebno mesto zauzimaju problemi vezani za trase kojima će se prostirati novi cevovodi prilikom izgradnje novih tranzitnih gasovoda. Jedno od pitanja koja su danas često prisutna u javnosti, koje je izašlo iz okvira same trgovine zemnim gasom, vezano je za izgradnju više različitih gasovoda iz Rusije prema Evropi (Južni tok, Južni koridor, Severni tok...). Posebno mesto u odnosima Evrope i Rusije zauzima Treći energetska paket EU, donet 2009. godine.<sup>263</sup> Geopolitika energije ima sve veću i značajniju ulogu u savremenim privrednim tokovima u svetu.<sup>264</sup>

**Način formiranja cena gasa.** Osnovni pristupi u formiranju cene zemnog gasa<sup>265</sup> baziraju se na: 1) tržišnim načelima u formiranju cene gasa; 2) troškovnom načelu (ekonomska regulacija cene); 3) upoređivanju sa cenom sirove nafte i 4) administrativnom načinu (državna regulacija).

Kada je reč o regulaciji cena tarifnim sistemom, postoji više različitih metoda koje se koriste za njihovo regulisanje. Sve one mogu da se grupišu u: podsticajne i nepodsticajne metode ekonomske regulacije. Od nepodsticajnih metoda regulacije cene gasa najčešće primenjivana je metoda stopom povratka.<sup>266</sup> Od podsticajnih metoda regulacije cene najčešće primenjivane metode jesu: a) regulacija maksimalnih veličina (regulacija maksimalne cene; regulacija maksimalnog prihoda); b) metoda klizne skale; c) komparativna regulacija; d) regulacija pokazatelja.<sup>267</sup>

**Cena zemnog gasa na svetskom tržištu** beleži značajne oscilacije, posmatrano u dužem vremenskom periodu.<sup>268</sup> Sama cena gasa u velikoj meri prati trenutnu cenu drugih energenata, u prvom redu nafte (Slika 2.37), ali ne uvek i u svim situacijama. Najčešće promene cene ovog energenta nisu toliko nagle, dinamične i velike kao kada je reč o promeni cene nafte. Koliko su zapravo velike oscilacije cene sirove nafte na svetskom tržištu, može se videti iz podatka da je ona u jednom trenutku 2008. godine na nekim tržištima dostigla rekordnu cenu od preko 140 dolara za

<sup>258</sup> Opširnije se može videti u radu: Dekanić, I. i dr., *Stoljeće nafte, veza između novca i moći koja je promijenila svet.*

<sup>259</sup> Odnosno na pojavu i razvoj političke moći i političkog uticaja.

<sup>260</sup> Uticaj politike najbolje može da se vidi na primeru krize koja je nastala između EU i Rusije u vezi sa Ukrajinom. Ovaj problem se brzo prelio na polje energenata, u prvom redu nafte i gasa, između ove dve strane, a veoma brzo i na svetsko tržište ovih ugljovodonika. U prvom redu, podstaknuto uticajem SAD, cena sirove nafte dostigla je rekordno nizak nivo od 30 dolara za 1 barel. Smatra se da SAD nastoje da obaranjem cene nafte dovedu u podređeni položaj privredu Rusije. Ovi događaji su se odrazili i na cenu zemnog gasa. Tako da je cena LNG u Evropi pala sa 9,86 \$ u martu 2013. godine, na 6,30\$ u junu 2015. za milion BTU. Istovremeno, cena 1000 m<sup>3</sup> gasovitog zemnog gasa, koji se isporučuje cevovodima iz Rusije u Evropsku uniju, pala je sa nekih rekordnih 450 \$ na oko 200 \$, u zavisnosti od toga o kojim je kupcima reč. Ovo je dokaz da cena zemnog gasa nije odraz samo realnih ekonomskih parametara i izdataka vezanih za proizvodnju, transport i plasman ovog energenta, već sredstvo u funkciji politike.

<sup>261</sup> Opširnije: Kolev, D., „Geopolitička dimenzija energetske bezbednosti“, *Ekonomija i tržišne komunikacije*, 1. str. 45.

<sup>262</sup> Opširnije: Bariš, K., *Cevovodi, politika i moć*, Centar za evropsku reformu, 2009.

<sup>263</sup> Njegove norme su tako propisane da vlasnik gasa ne može da investira u sisteme za transport gasa. To treba da čini drugi investitor. Ovih normi EU se ne pridržava kada je reč o gasovodima za koje su oni u značajnoj meri direktno zainteresovani. U tim slučajevima ih posebnim odlukama izuzimaju iz Trećeg energetske paketa ( Severni tok 2).

<sup>264</sup> Videti opširnije u radu: Dekanić, I., *Geopolitika energije*, Golgen marketing – Tehnička knjiga, Zagreb, 2011.

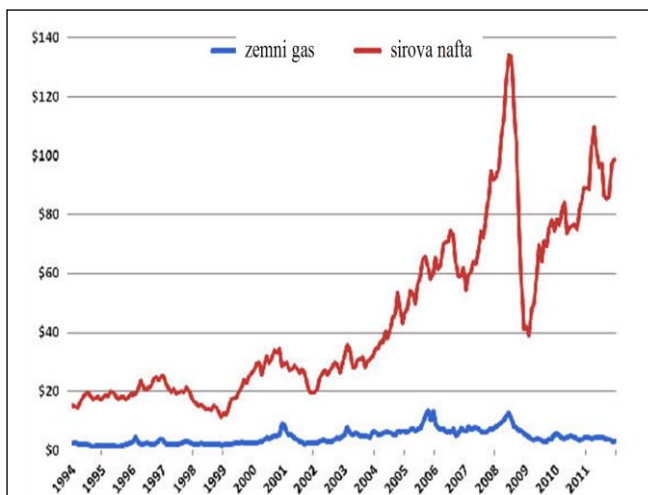
<sup>265</sup> Način formiranja cene (ili politika cene) može se definisati kao „filozofija u čijoj su nadležnosti odluke o cenama ili akcije (aktivnosti) koje su osmišljene da se na cenu utiče na različite načine“.

<sup>266</sup> Ova metoda „Rate of Rate“ (kojoj je drugi naziv „Cost of service“, „Cost plus“) jeste klasični način regulacije monopolskog položaja. Regulatorno telo dozvoljava da se u cenu usluge uključe svi neophodni i opravdani troškovi za obavljanje aktivnosti, određuje stopu povratka investicionog ulaganja...

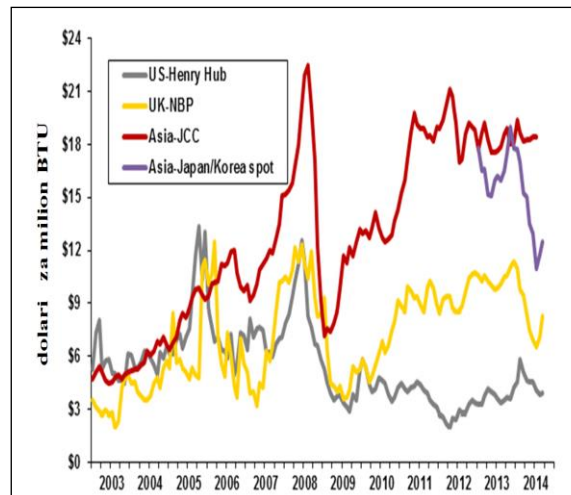
<sup>267</sup> Opširnije i detaljnije o: formiranju cene zemnog gasa, visini same cene, njihovom kretanju, prognozi... videti u većem broju stručnih radova iz ove oblasti.

<sup>268</sup> U 2011. cene nafte su se krteale oko 100 američkih \$ po barelu (1 bbl = 0,54 m<sup>3</sup>), dok je cena gasa na Henry Hubu bila niža od 5 \$ po MMBtu (1MMBtu = 28,263 m<sup>3</sup>). Ako uzmemo u obzir energetska vrednost nafte i energetska vrednost gasa, cena 0,159 m<sup>3</sup> nafte bi iznosila 6 puta više od cene 28,286 m<sup>3</sup> zemnog gasa, međutim to nije slučaj.

jedan barel, a da je 2015. godine pala na nivo od 30 dolara. Na ove promene značajan uticaj u velikoj meri imaju često ne samo ekonomski faktori.

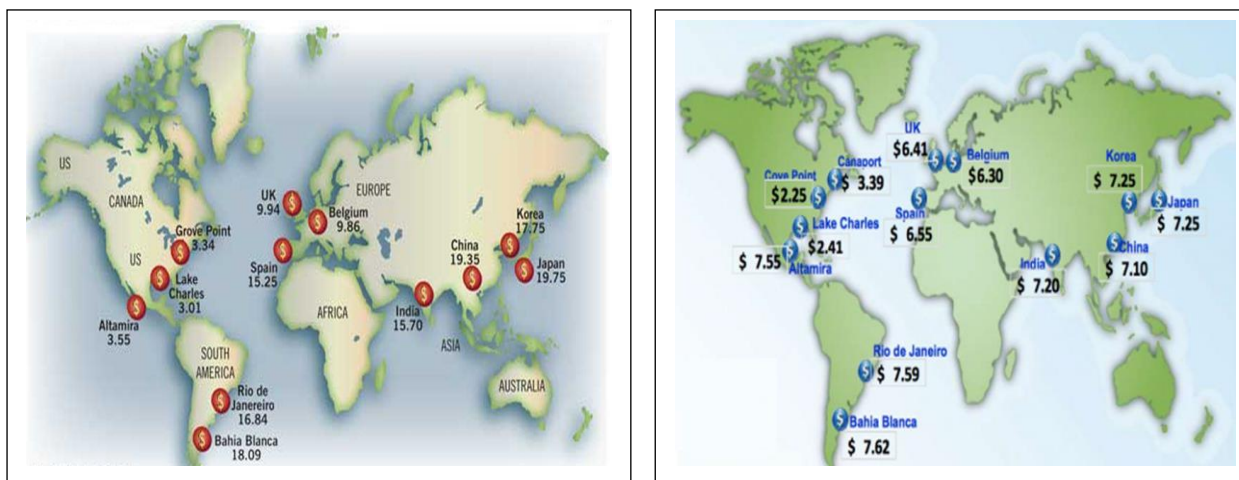


Slika 2.37. Kretanje cena nafte i gasa u svetu<sup>269</sup>



Slika 2.38. Cena zemnog gasa u svetu<sup>270</sup>

Karakteristično je da su cene tečnog prirodnog gasa, posmatrano na globalnom svetskom tržištu, najčešće i najviše na tržištu Japana, a najniže u SAD (Slika 2.38). Na svetskom tržištu cena ovog energenta kretala se od 80-ih godina XX veka do danas u rasponu od 2 do 17,5 dolara (za milion btu).<sup>271,272</sup> Kretanje cene gasa u prošlosti imalo je u manjoj ili većoj meri trend stalnog rasta, sa periodičnim odstupanjima. Značajno odstupanje je zabeleženo u periodu 2013–2015. kada je cena



Slika 2.39. Promena cene tečnog gasa na tržištima sveta: mart 2013 – juni 2015. (za milion BTU)<sup>273</sup>

ovog energenta zabeležila značajan pad na celokupnom svetskom tržištu, ali i na svim značajnijim regionalnim tržištima. Posebno je to uočljivo na primeru tečnog zemnog gasa (LNG), što se može

<sup>269</sup> Izvor: veliki broj različitih stručnih izveštaja. Reč je o sagledavanju kretanja cene zemnog gasa i nafte na svetskom tržištu u periodu između 1994. i 2012. godine.

<sup>270</sup> Cene iskazane u dolarima \$ (SAD) za 1 MMBtu. MMBtu – milion British thermal unit (milion britanskih termalnih [toplotnih] jedinica), jedinica koja se često koristi u trgovini zemnim gasom u svetu. U Evropi je u upotrebi jedinica zapremine m<sup>3</sup>, u obračunu najčešće 1000 m<sup>3</sup>. Konverzija 1 MMBtu = 28,02135 m<sup>3</sup> (35,38109 MMBtu = 1000 m<sup>3</sup>).

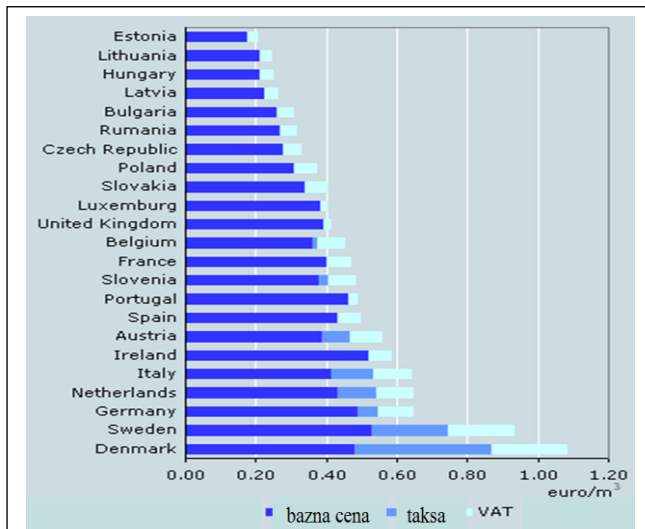
<sup>271</sup> Milon British thermal unit (milion britanskih termalnih [toplotnih] jedinica).

<sup>272</sup> U literaturi i praksi, često se susreće kod proizvodnje, transporta i skladištenja LNG-a, da se količina izražava i u metričkim tonama (t) ili kubnim metrima (m<sup>3</sup>), jer se zemni gas izražava u standardnim ft<sup>3</sup> ili standardnim m<sup>3</sup>. Jedna metrička tona LNG jednaka je 48,7 hiljada standardnih ft<sup>3</sup> gasa.

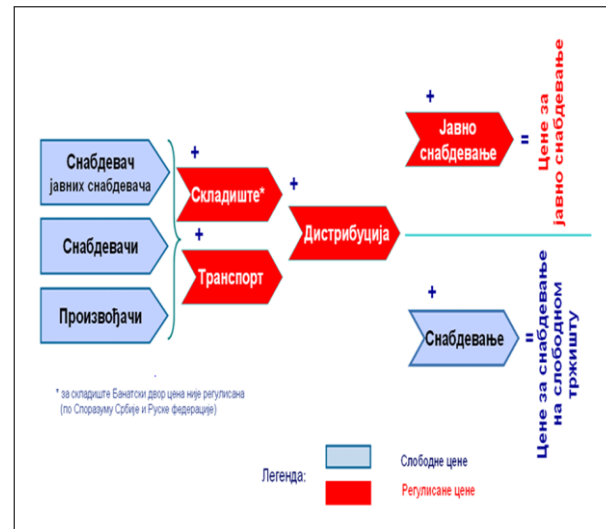
<sup>273</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova iz ove oblasti.

videti na Slici 2.77. U ovom posmatranom periodu, cena LNG je pala na tržištu Japana sa 19,75 \$ na 7,25 \$; u Španiji sa 15,25 na 6,55 \$; u Belgiji sa 9,86 na 6,30 \$... (Slika 2.39).

Cena zemnog gasa, za krajnjeg potrošača, različita je između zemalja Evrope (Slika 2.40). Kolika je cena u određenoj državi, zavisi od toga da li ta zemlja ima ili nema sopstvenu proizvodnju ovog energenta; od procenta pokrivenosti ukupne potrošnje gasa iz sopstvenih izvora; od razvijenosti tržišta; od dobavljača; od sklopljenog ugovora vezanog za snabdevanje; od načina dopreme uvoznog gasa; od rastojanja na koje se gas transportuje; od vrste transportnog sredstva; od agregatnog stanja gasa; od troškova skladištenja; od načina formiranja cena; od taksi, marži i poreza... U Srbiji, cena gasa za krajnjeg korisnika formira se na osnovu utvđenog konceptualnog okvira (Slika 2.41).



Slika 2.40. Cene zemnog gasa u nekim zemljama Evropske unije za krajnje kupce



Slika 2. 41. Koncept formiranja cene gasa za krajnjeg kupca u Srbiji<sup>274</sup>

Sama cena gasa je prihvatljiva u odnosu na druge energente, naročito ako se u obzir uzmu sve njegove komparativne prednosti: efekat iskorišćenosti, način korišćenja i upotrebe, ekološki aspekt, komoditet... Postoji objektivna mogućnost još povoljnijeg odnosa cene zemnog gasa prema drugim energentima u budućnosti.

#### 4.5. Plasman zemnog gasa na prostoru regiona Balkana i potreba za formiranjem njegovog jedinstvenog tržišta

Sam prostor regiona Balkanskog poluostrva nije formalno formiran niti uspostavljen kao jedinstveno tržište zemnog gasa. Sve države do sada su u najvećoj meri same pregovarale o uvozu gasa za svoje potrebe direktno sa proizvođačem ili sa firmom koja ga zastupa (posrednik). Sav gas koji se uvozi iz Rusije kompanija *Gazprom* plasira preko dugoročnih ugovora, u kojima se pored svih elemenata konkretno regulišu i svi parametri vezani za transport.

Četiri zemlje (Slovenija, Crna Gora, BiH i Makedonija) od njih trinaest u 2013. godini nisu imale sopstvenu proizvodnju zemnog gasa, a proizvodnja tri države (Bugarska, Grčka i Albanija) bila je izuzetno mala. Ukupna proizvodnja svih zemalja zajedno 2013. godine iznosila je 16,49 milijardi m<sup>3</sup>. Najveći proizvođači gasa bile su: Rumunija (10,08), Hrvatska (1,8), Mađarska (1,8) i Austrija (1,34). Istovremeno, ukupna potrošnja bila je 86,64 milijarde m<sup>3</sup>. Najveći potrošači bili su: Turska (44,82), Rumunija (12,02), Mađarska (8,35) i Austrija (8,35). Deficit između sopstvene proizvodnje i potrošnje nadoknađen je uvozom gasa u iznosu od 73,71 milijarde m<sup>3</sup>. Najveći uvoznici su bili: Turska (44,46), Austrija (10,19), Mađarska (8,07), Grčka (3,86)... (Tabela 2.12).

<sup>274</sup> Izvor: Agencija za energetiku Republike Srbije.

Učešće uvoznog gasa u ukupnoj potrošnji na tržištu regiona Balkana iznosilo je 85,07%, što predstavlja izuzetno visok stepen zavisnosti ovog tržišta od uvoza ovog energenta. Nijedna od zemalja Balkana, ovoga trenutka, koja ima značajniju potrošnju gasa, nije u mogućnosti da zadovolji svoje potrebe iz sopstvenih izvora. Realno, njihova potrošnja metana bila bi sigurno značajno i veća da imaju mogućnost njegove nabavke iz inostranstva.

Tabela 2.12. Tržište gasa u regionu Balkana<sup>275</sup>

	zemlja	proizvo- dnja (x 10 <sup>9</sup> )	uvoz (x 10 <sup>9</sup> )	izvoz (x 10 <sup>9</sup> )	potrošnja (x 10 <sup>9</sup> )	% učešće uvoza gasa u potrošnji
1.	Hrvatska	1,80	1,23	0,36	2,66	46,24
2.	Slovenija	0	0	0	0	0
3.	Bosna i Hercegovina	0	0,18	0	0,18	100,0
4.	Srbija	0,55	1,84	0	2,39	76,98
5.	Crna Gora	0	0	0	0	0
6.	Makedonija	0	0,15	0	0,15	100,0
7.	Rumunija	10,08	1,38	0	12,02	11,48
8.	Bugarska	0,27	2,65	0	2,94	90,13
9.	Grčka	0,01	3,86	0	3,86	100,0
10.	Albanija	0,02	0	0	0,02	0
11.	Turska	0,62	44,46	0,64	44,82	99,19
12.	Mađarska	1,80	8,07	3,89	8,35	96,64
13.	Austrija	1,34	10,19	3,89	8,35	100,0
	prvih 10 zemalja	12,73	11,29	0,36	24,22	46,61
	ostale tri zemlje	3,76	62,42	5,96	64,42	96,89
	UKUPNO sve zemlje	16,49	73,71	6,32	86,64	85,07

Autor, na osnovu više izvora.

Godinama, sav gas koji je uvožen na tržište regiona Balkana bio je poreklom iz Rusije, odakle je bio dopreman cevovodom. Realno, sam postojeći cevovodni transportni sistem za izvoz gasa iz Rusije kako je koncipiran, nije bio adekvatan realnim i potencijalnim potrebama i zahtevima zemalja Balkana. Rusija je godinama svoju izvoznou infrastrukturu koncipirala, u prvom redu, prema zemljama Zapadne Evrope kao tržištu na kome je plasirala najveće količine svog izvoznog gasa. Veličina tržišta, razvijenost privrede, potrošnja energije, potražnja za gasom, cena koju je mogla da ostvari i politički razlozi, uslovili su da se Rusija u izvozu ovog energenta orijentisala u prvom redu prema državama Zapadne Evrope. Teritorija Balkana nije joj bila toliko interesantna za plasman zemnog gasa tako da nije toliko razvijala transportni sistem u ovom pravcu. Većina država sa ovog područja nalazila se na kraju magistralnih cevovodnih sistema kojima se gas izvozio, ili su oni prelazili preko njihove teritorije (Austrije, na putu prema Italiji, i Mađarske). Jedini dopremni pravaca gasa iz Rusije za zemlje centralnog Balkana išao je preko Ukrajine i Mađarske. Ovim cevovodom doprema metana nije bila omogućena do svih zemalja na njegovoj teritoriji jer ne postoji njegova konekcija sa svim zemljama. Sve zemlje nisu u mogućnosti da se povežu sa njim, ali i sam postojeći propusni transportni cevovodni kapacitet nije dovoljan da bi se zadovoljile sve potrebe potrošača ovog tržišta.

Posmatrano sa aspekta transportne infrastrukture, dominantnu poziciju u prenosu gasa, koji se uvozi na području Balkana, ima cevovodni sistem. Do 1994. godine i izgradnje prvog terminala za LNG u Turskoj (Marmala Egisil), sav gas je dopreman cevovodom. I danas, gotovo najveće količine gasa koji se uvozi na teritoriju Balkana dopremaju se cevovodima, što ovaj vid transporta gasa u međunarodnoj trgovini na ovim prostorima čini dominantnim. U zavisnosti od zemlje, cevovodni

<sup>275</sup> Apsolutne vrednosti iskazane su u milijardama (10<sup>9</sup>) m<sup>3</sup> zemnog gasa. Procentualno učešće uvoznog gasa u potrošnji je uslovno relativno kod država koje istovremeno uvoze i izvoze zemni gas. Podaci se odnose na 2013.



transportni i distributivni sistem je na različitom stepenu pokrivenosti teritorije konkretne države i na različitom tehničkom nivou. Najčešće on nije dovoljno izgrađen i prilično je star. Neke od država nemaju, ili gotovo da nemaju, cevovodni sistem adekvatan njihovim realnim potrebama i zahtevima.<sup>276</sup> Same već postojeće takve gasne mreže zemalja nisu međusobno dovoljno povezane u jedinstven zajednički odgovarajući potrebnim gasni sistem, što dodatno otežava pouzdano snabdevanje. One nemaju dovoljan potreban broj međusobno uspostavljenih interkonekcija<sup>277</sup>, koje bi omogućile sigurnije snabdevanje.

Albanija ima malu proizvodnju gasa, veći deo gasne infrastrukture je van upotrebe, nije povezana na međunarodne cevovode, nema podzemna skladišta gasa... Transportni sistem BiH je slabo razvijen, ima gasovod u dužini od 191 km (radni pritisak 30 bara) kojim uvozi gas iz Rusije preko Srbije, kapaciteta  $1 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{godišnje}$  i nema skladište gasa... Bugarska ima razvijeniji transportni magistralni sistem, veće dužine od 2000 km, jedno gasno skladište (kod Chirena)... Crna Gora nema razvijen transportni sistem zemnog gasa. Hrvatska ima cevovodni transportni sistem koji je dužine od 2100 km, kapaciteta  $5,4 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{g}$ , ima podzemno skladište (Okoli)... Makedonija ima slabo razvijen gasni sistem, povezana je od Bugarske granice (Deve Bairu) do Skoplja cevovodom kapaciteta  $800 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{g}$ ... Rumunija ima razvijenu proizvodnju zemnog gasa, gasnu industriju i transportni sistem, poseduje osam podzemnih skladišta gasa, 13.110 km transportnog sistema... Srbija ima gasnu mrežu u dužini od 2135 km, podzemno skladište (Banatski Dvor)...<sup>278</sup>

Danas je gas koji se uvozi na tržište regiona Balkana u prvom redu poreklom iz Rusije, iz koje se doprema cevovodom u gasovitom stanju. Od ukupne uvezene količine od 73,71 milijarde  $\text{m}^3$  zemnog gasa koliko je dopremljeno 2013. na tržište Balkana, 67,02 milijarde  $\text{m}^3$  je transportovano do njega cevovodom u gasovitom stanju. Preostali uvezeni gas, u iznosu od 6,69 milijardi  $\text{m}^3$  dopremljen je brodovima u tečnom agregatnom stanju (LNG). Uvoznici LNG na balkanskom tržištu bile su samo dve države koje imaju postrojenja za prihvatanje brodova sa LNG.<sup>279</sup> Tako da se tečni zemni gas uvezio na Balkansko poluostrvo samo u Tursku 6,09 (iz Alžira 3,92, Nigerije 1,27 i iz drugih zemalja izvoznica 0,89) i Grčku (iz Alžira 0,60 i iz Španije 0,01). Učešće tečnog gasa u ukupnom uvozu gasa na ovo tržište 2013. godine iznosilo je 9%, u odnosu na 91% gasa koji je dopremljen cevovodom u gasovitom stanju. Ovaj iznos realno predstavlja malo učešće LNG u ukupnom uvozu metana, imajući u vidu da on učestvuje sa 30% u ukupnoj međunarodnoj trgovini ovim energentom u svetu. Posebno je ovaj % učešća LNG u ukupnom uvozu nepovoljan imajući u vidu geografsku pogodnost koju ima Balkansko poluostrvo, koje je okruženo sa nekoliko mora.

Konvencionalne rezerve zemnog gasa, koje se nalaze na dostupnom ekonomski isplativom rastojanju sa aspekta transporta, predstavljaju realni potencijal snabdevanja cevovodima i brodovima tržišta država Srednje Evrope i regiona Balkana uvoznim gasom. Samo tržište regiona Balkana ima izuzetnu pogodnost da se, pored gasovoda (podzemni i podvodni, Slika 2.42), i preko Sredozemnog mora i Sueckog kanala do njegovih obala lako dopremi utečnjeni ili komprimovani metan brodovima. Gas bi se u tom slučaju iz prihvatnih terminala za brodove dalje distribuirao direktno kupcima ili indirektno preko skladišta. Transport od prihvatnog terminala može da se realizuje u gasovitom (cevovodima, kamionima i vozovima – CNG, NGN) ili u tečnom agregatnom stanju (kamionima i vozovima). Potrebno je prilikom planiranja sagledavati potrebe i mogućnosti da se

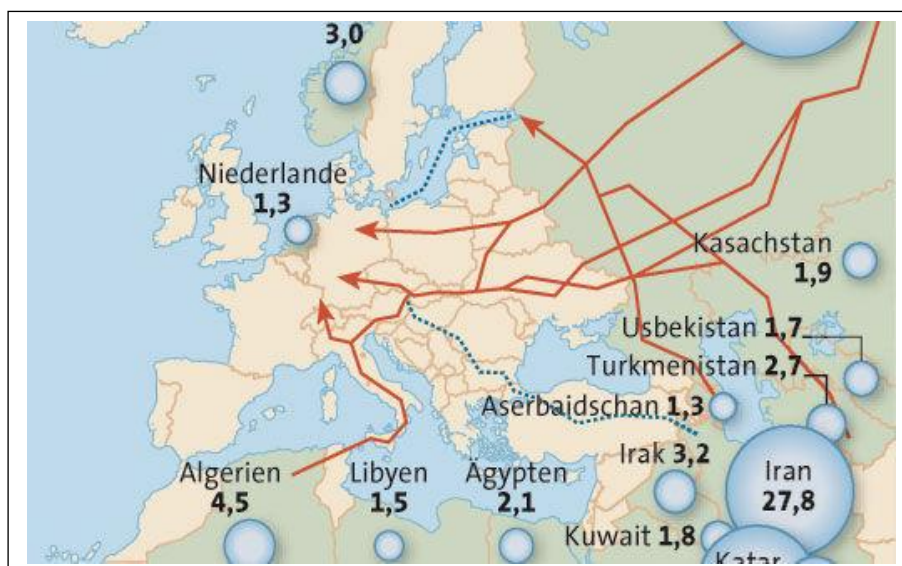
<sup>276</sup> Crna Gora, Makedonija, Albanija i Slovenija.

<sup>277</sup> Interkonekcija predstavlja različite nivoe tehničkog povezivanja, u prvom redu cevovodnog sistema. Može da se odnosi na aktivnost uspostavljanja veze: unutar mreže jednog operatera, između dva operatera, povezivanjem celokupnog sistema jedne države, između dve zemlje, celog regiona... Interkonekcija je umrežavanje koje omogućuje: bolje, pouzdanije i sigurnije snabdevanje. Ona pruža veću stabilnost celokupnom tržištu u slučaju nabavke gasa, transporta, skladištenja, snabdevanja, remonta, kvarova, havarija, nestašica...

<sup>278</sup> Eppert, M., *Budućnost plinskog tržišta Jugoistočne Evrope*, RGNF, Zagreb, 2012, str 38–54. Opširnije o transportnoj infrastrukturi zemnog gasa država Balkanskog poluostrva videti u velikom broju radova iz ove oblasti.

<sup>279</sup> U Turskoj danas postoje dva terminala za LNG: terminal Marmara Ereğlisi (izgrađen 1994) i Aliaga (2002). U Grčkoj se nalazi jedan terminal za LNG – Revithoussa (2000).

preko Balkana doprema gas u zemlje Srednje Evrope. Ovo je naročito važno kada je reč o uvozu gasa brodovima jer su obale Balkanskog poluostrva fizički dovoljno blizu državama Srednje Evrope da se sa njih može snabdevati. Najpogodniji uvoz i doprema gasa brodovima do Češke i Slovačke jeste preko Jadranskog mora.



Slika 2.42. Konvencionalne rezerve gasa, koje predstavljaju realni potencijal snabdevanja cevovodom tržišta država regiona Balkana<sup>280</sup>

Globalno posmatrano, u nastojanju da reše pitanje vezano za energiju, zemlje Balkanskog prostora prvo moraju da sagledaju i analiziraju u potpunosti sopstveni energetske potencijal. To uključuje mogućnosti koje im pružaju obnovljivi izvori energije u zadovoljavanju sopstvenih potreba za energijom u budućnosti, rezerve kojima trenutno raspolažu u vidu neobnovljivih izvora energije, ukupni uticaj i posledicu korišćenja određenog energenta na ekologiju<sup>281</sup>... Prilikom razmatranja mogućnosti formiranja strategija vezanih za neobnovljive izvore energije, radi snabdevanja balkanskog prostora, značajno mesto neosporno treba da zauzme zemni gas.<sup>282</sup>

Da bi se uspostavilo jedinstveno tržište i da bi snabdevenost zemnim gasom regiona Balkana bila bolja, treba učiniti veći niz različitih aktivnosti. Potrebno je: 1. doneti odluku o zajedničkom jedinstvenom nastupu država regionu Balkana; 2. doneti odluku o formiranju gasnog tržišta zemnog gasa u regionu Balkana; 3. formirati jedinstveno tržište i u njega uključiti sve zemlje regiona koje su zainteresovane; 4. da subjekti (države, kompanije...) u čijim su nadležnostima određena pitanja, donose zajedničke odluke i imaju jedinstven ili usaglašen nastup kad je reč o određenim strateškim pitanjima (infrastruktura, uvoz gasa, transport, skladištenje...); 5. formiranje zajedničke okvirne globalne strategije vezane za određena pitanja; 6. da u okviru globalnih strategija, svaki učesnik ima potpunu slobodu nastupa i zaštitu sopstvenih interesa; 7. rekonstruisati i poboljšati već postojeću gasnu infrastrukturu; 8. izvršiti gasifikaciju u zemljama koje još uvek ne koriste prirodni gas i završiti je u zemljama koje zemni gas koriste ograničeno; 9. izvršiti međusobnu gasnu konekciju

<sup>280</sup> Izvor: ilustracija preuzeta iz više različitih izvora. Konvencionalne rezerve zemnog gasa koje se nalaze na dostupnom ekonomskom rastojanju od regiona Balkana.

<sup>281</sup> Potencijal vetara, sunca, vode, vodonika... novi izvori, alternativna goriva.

<sup>282</sup> Ključni faktori za jačanje sigurnosti snabdevanja zemnim gasom balkanskog prostora je: 1. udruživanje svih zemalja u jedinstvenu zajednicu, 2. interkonekcija između zemalja, 3. zajednički nastup, 4. integracija nacionalnih tržišta u zajedničko tržište zemnog gasa u okviru Energetske zajednice, 5. diverzifikacija izvora i pravaca snabdevanja gasom, 6) izgradnja novih magistralnih transportnih cevovoda za snabevanje gasom, 7) izgradnja novih prijemnih terminala za LNG i CNG, 8. izgradnja podzemnih skladišta, 9. razvoj gasne infrastrukture na nivou država, 10. liberalizacija tržišta ... Prema: Pavlović, D., *Optimizacija plinskog sustava Republike Hrvatske integriranjem terminala za ukapljeni prirodni plin*, doktorska disertacija, RGNF, Zagreb, 2011, str. 51. i prošireno od strane autora ovog rada.

između država; 10. izgraditi i uspostaviti balkanski gasni cevovodni prsten; 11. realizovati postojeće projekte izgradnje i nove gasne infrastrukture (novi tranzitni gasovodi, izgradnja novih i proširenje postojećih terminala za tečni zemni gas, izgradnja pomorskih prihvatnih terminala za komprimovani gas (KZG/CNG)); 12. izvršiti diverzifikaciju snabdevanja (novi izvori, novi pravci, novi dobavljači); 13. ostvariti veće učešće i procentualnu zastupljenost utečjenog (TZG/LNG) zemnog gasa u ukupnom uvozu ovog energenta; 14. početi snabdevanje regiona Balkana uvoznim komprimovanim gasom (KZG/CNG) brodovima (ovaj vid transporta nije dosad bio zastupljen); 15. osigurati saradnju između operatora transportnih sistema, distributivnih sistema, podzemnih skladišta gasa i LNG terminala; 16. ostvariti dostupnost i povezati postojeća skladišta gasa sa svim potrošačima (putem međudržavnih konekcija i gasnog prstena); 17. proširiti skladišne kapacitete gasa u svim postojećim podzemnim skladištima gasa u kojima je moguće realizovati ovu aktivnost; 18. izgraditi nova skladišta gasa; 19. uspostaviti mehanizam nadzora nad stanjem na nacionalnim tržištima zemnog gasa radi ostvarivanja veće sigurnosti snabdevanja zemnim gasom; 20. poboljšati funkcionisanje nacionalnih tržišta zemnog gasa (veća transparentnost u radu, uspostavljanje i poštovanje tržišnih pravila, liberalniji pristup: mrežama, podzemnim skladištima i LNG terminalima); 21. razdvojiti transportne sisteme, podzemna skladišta gasa i terminala za LNG i CNG; 22. uspostaviti pravila za delovanje operatora transportnih sistema koji nadgleda sinhronizovano upravljanje sistemom, sigurnost mreža, preko granične trgovine i operativnog rada sistema; 23. osigurati saradnju nacionalnih regulatornih tela u okviru jedinstvene energetske zajednice.

#### **4.6. Novi mogući izvori, pravci i strategije snabdevanja zemnim gasom regiona Balkana i država Srednje Evrope**

Pod pojmom strategije, može se posmatrati opšti plan aktivnosti i akcija, čija je svrha postizanje određenih, jasno definisanih i utvrđenih ciljeva. Strategija predstavlja mogući način ostvarivanja postavljenog cilja. To je način na koji treba da se koristi neki od faktora (elemenata, činilaca, resursa...), sam ili u kombinaciji sa drugima koji stoje na raspolaganju, da bi se u najboljoj meri iskoristile njegove (ili njihove) komparativne prednosti, pojedinačno ili zajedno, u ostvarivanju željenog cilja.

Danas je jedan od dominantnih ciljeva na području energetike balkanskog prostora da se obezbedi potrebna količina zemnog gasa za njegovo tržište. Postavlja se pitanje da li se može formirati više strategija snabdevanja metanom (zemnim gasom) država Balkanskog poluostrva i Srednje Evrope da bi se potrošači bolje i pouzdanije snabdevali energentom.<sup>283</sup> Formiranjem više strategija snabdevanja zemnim gasom balkanskog prostora i zemalja Srednje Evrope<sup>284</sup>, pruža se mogućnost da se na najbolji način iskoriste pojedine prednosti koje trenutno stoje na raspolaganju. Sama osnova formiranja više novih strategija bazira se na potencijalnoj mogućnosti vezanoj za diverzifikaciju pravaca i izvora snabdevanja, korišćenjem različitih vidova transportnih sredstava za prenos ovog energenta u različitim agregatnim stanjima.

Prilikom razmatranja mogućnosti za formiranje novih strategija snabdevanja zemnim gasom određenog područja, potrebno je razmotriti i analizirati veliki broj parametara, karakteristika i činilaca koji direktno ili indirektno, u većoj ili manjoj meri, sada ili u budućnosti, imaju uticaj i značaj za snabdevanje tržišta i realizaciju njegovih logističkih aktivnosti u snabdevanju potrošača na tržištu područja Balkana i Srednje Evrope. Moraju se sagledati svi relevantni parametri vezani za: rezerve gasa, okruženje, proizvodnju, potrošnju, blizinu izvora iz kojih bi se dopremao gas, geopolitičku poziciju proizvođača i potrošača, udaljenost između izvora proizvodnje i mesta

<sup>283</sup> Ovo pitanje predstavlja prvo hipotetičko pitanje ovoga rada. Kroz ovaj rad, detaljnom prezentacijom, sagledavanjem i analizom sagledaće se šire i sveobuhvatnije problematika vezana za ovu oblast.

<sup>284</sup> U nekim radovima ovaj prostor se posmatra kao region Jugoistočne Evrope.

potrošnje, mogućnosti snabdevanja u budućnosti postojećih i potencijalnih novih kupaca u tom regionu, ekonomske trendove, potencijal već postojeće transportne infrastrukture za dopremu novih količina gasa, geopolitičke odnose...

Neophodno je: izvršiti analizu svih potencijalnih mogućnosti za transport gasa, sagledati prednosti i nedostatke svakog od vidova transporta koji bi se koristio za dopremu gasa, videti koji je od vidova prenosa najpogodniji za konkretnu dopremu gasa, koje je najpogodnije i ekonomski isplativije agregatno stanje gasa u kome bi se gas transportovao, ustanoviti geografsku konfiguraciju i karakteristike prostora kojim će se prostirati potencijalna buduća trasa cevovoda, razmotriti mogućnost izgradnje postrojenja za utečnjavanje i regasifikaciju LNG, prihvatilišta za CNG... Treba sagledati: koje su realne prednosti i nedostaci transporta gasa u komprimovanom (CNG), tečnom (LNG) ili čvrstom (hidrati NGH) agregatnom stanju, blizinu putnih pravaca, ukupne troškove transporta... dosadašnje stanje postojeće gasne infrastrukture (ako postoji), postojeće skladišne kapacitete, mogućnost izgradnje novih skladišta, nabavnu cenu gasa, troškove transporta i skladištenja, visinu taksi i drugih dažbina, razvijenost distributivne infrastrukture potrošača... Potrebno je oceniti i predvideti: realni potencijal tržišta, razvijenost privrede, rast i razvoj privrede u budućnosti, prostorni raspored i strukturu potrošača, broj stanovnika, stopu prirodnog priraštaja stanovnika, strukturu potrošnje energije, strukturu potrošača gasa, raspored potrošača, odnos industrijskih prema individualnim potrošačima, sezonski karakter potrošnje gasa...

Donošenje konkretne odluke predstavlja kompleksno i teško pitanje. Odluka koja se donosi ima dugoročni uticaj i posledice na energetski sistem. Doneta odluka o konkretnom snabdevanju od određenog proizvođača i o načinu transporta jeste dugoročna odluka za periodu od 10, 20, 30... godina, naročito kada je reč o snabdevanju zemnim gasom cevovodima. Veoma često, neki od činilaca mogu (ali i ne moraju) tek posle određenog vremena da se manifestuju u manjoj ili većoj meri. Konsekvence pogrešno donete strategijske odluke mogu da se manifestuju iznenada, nepredvidivo, periodično, konstantno.... od manjih otežavajućih problema u snabdevanju do potpune obustave isporuke gasa.

Realno posmatrano, države na teritoriji šireg Balkanskog poluostrva<sup>285</sup>, koje se u ovom radu posmatraju kao deo potencijalnog jedinstvenog tržišta zemnog gasa, ne raspolažu značajnijim rezervama gasa nit imaju veliku proizvodnju. Država Rumunija jedina među njima poseduje veće količine ( $102 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ) ovog energenta na svojoj teritoriji. Srbija ( $40 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ), Hrvatska ( $23 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ), Austrija ( $12 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ) i Mađarska ( $11 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ) imaju manje rezerve ovog energenta na svojoj teritoriji, dok preostale zemlje raspolažu znatno manjim količinama. Sopstvene rezerve i godišnja proizvodnja metana nisu dovoljni da danas, a ni u budućnosti, zadovolji realne potrebe pojedinačno svake države, a samim tim ni celokupnog ovog prostora.

Činjenica je da se većina zemlja regiona Balkana nalazi u nezavidnoj situaciji kad je reč o kupovini gasa iz inostranstva. Dva su izrazita problema većine država: broj proizvođača od kojih mogu da kupe metan i vid transporta. Većina zemalja ima samo mogućnost kupovine gasa od jednog prodavca (Rusija), koji tako ima potpun monopol. U toj situaciji, kupcu su smanjene pregovaračke pozicije i mogućnosti izbora, i nalazi se u nezavidnom položaju. Vid transporta koji se koristi za dopremanje gasa jeste magistralni cevovod. Ovaj cevovodni sistem koji je u nadležnosti Rusije, a ima ugovore sa svakom zemljom kroz koju prolazi gas u tranzitu, ispoljava sve svoje prednosti ali i velike nedostatke ovog vida transporta. Države koje kupuju gas iz Rusije, vezane su za nju i zavisne su od nje dvostruko. Tako da to čini da je većina zemalja potpuno zavisna od Rusije kada je reč o ovom energentu.

Neke od zemalja Balkanskog regiona gotovo da i ne poseduju gasovodni sistem, u drugim zemljama on je veoma slabo razvijen ili nije adekvatan potrebama. U prvom redu reč je o: Crnoj Gori, Albaniji i Sloveniji. Sam transportni cevovodni sistem gasa, kao osnovni i dominantni način

<sup>285</sup> Ova teritorija se često posmatra kao područje zemalja Jugoistočne Evrope.

dopreme danas zemnog gasa krajnjim potrošačima, u većini svih zemalja regiona Balkana nije dovoljno razvijen i ne pokriva adekvatno celokupnu njihovu teritoriju. Reč je o glavnim, ali i o njihovim distributivnim cevovodima gasa za široku potrošnju stanovništva. Gasovodnim sistemom nisu povezani veliki industrijski potrošači, ali ni individualni potrošači (domaćinstva). U nekim državama celi regioni nisu obuhvaćeni gasifikacijom. Postojeći gasovodni sistem u regionu Balkana nije adekvatan trenutnim realnim njegovim potrebama danas, a posebno ne u budućnosti.

Države tržišta zemnog gasa balkanskog prostora potrebno je da jedinstveno nastupaju u sagledavanju svojih mogućnosti, potreba i zahteva za uvozom gasa. Neophodno je da uvek uzmu u obzir i potrebe drugih država Srednje Evrope, i na taj način ojačaju svoju poziciju. Treba da nastupaju zajedno. „Potrebno je stvaranje regionalnog tržišta prirodnog gasa, na temelju Ugovora o osnivanju Energetske zajednice Jugoistočne Evrope iz 2006. godine, koje će se na kraju integrisati u jedinstveno tržište prirodnog gasa EU. Ono pruža pozitivne investicijske signale investitorima koji vrše izgradnju strateške gasne infrastrukture.“<sup>286</sup> Udruživanjem, utvrđivanjem zajedničke strategije, svojim jedinstvenim nastupom, formiranjem zajedničkog jedinstvenog tržišta gasa, uspostavljanjem nekoliko mesta trgovine ovim energentom (hubovi) na svom prostoru... tržište Balkanskog poluostrva postaje dovoljno veliko, respektivno, interesantno i ima jaču poziciju u globalnim odnosima vezanim za kupovinu i trgovinu metanom u Evropi i u svetu. Sama geografska pozicija Balkana ima značajno mesto u analizi i mogućnosti snabevanja Centralne Evrope cevovodima i brodovima, iz pravca Kaspijskog regiona, Rusije (preko Turske), ali i mogućeg potencijala iz Azerbejdžana, Iraka, Irana... kao i drugih udaljenih izvora. Transportom metana preko svog prostora zemlje Balkana mogu da ostvare značajne prihode od tranzita gasa prema drugim državama.

Interesi zemalja Balkana, vezani za zemni gas, u odnosu na Evropsku uniju, mogu da se po nekim pitanjima ili detaljima u nekom trenutku u potpunosti podudaraju, ali i da se, u nekim segmentima i stavovima, razlikuju. Raspon stavova i interesa može da se kreće od potpune podudarnosti do dijametralno suprotnih stavova. Udružene zemlje Balkana, kao jedinstven subjekt, treba zajedničkim nastupom da brane svoje interese i stavove vezane za pitanja gasa.

Zemlje balkanskog prostora, zbog nemogućnosti da svoje potrebe za gasom u narednom periodu zadovolje iz sopstvenih izvora, neminovno moraju da uvoze ovaj energent. Realna mogućnost za potencijalni uvoz gasa iz zemalja Evrope ne postoji jer su i one same uvoznice i nemaju značajne rezerve metana.<sup>287</sup> Rusija predstavlja realni potencijal<sup>288</sup> iz koga se može uvoziti gas u narednom periodu, ali istovremeno postoji i veliki broj potencijalnih problema kada je reč o ovom izvoru. Problemi se manifestuju kroz: samu količinu gasa koju je Rusija spremna da isporuči ovom tržištu, problem vezan za transportni kapacitet postojećeg cevovoda, teškoće prilikom isporuke gasa preko tranzitnih država<sup>289</sup>, monopolski položaj prodavca... Radi što pouzdanijeg snabdevanja svoga tržišnog prostora, zemlje Balkana moraju da se orijentišu ka novim pravcima, izvorima (Slika 2.43) i proizvođačima zemnog gasa, ali neminovno i drugim vidovima snabdevanja, transporta i skladištenja ovog energenta. U prvom redu treba da sagledaju potencijal Kaspijskog regiona, mogućnosti dopreme gasa iz Azerbejdžana, Kazahstana, Turkmenistana i Uzbekistana.<sup>290</sup> Potrebno je analizirati mogućnost dopreme gasa iz Iraka, Irana, Katara i Saudijske Arabije.<sup>291</sup> Sagledati realnu mogućnost transporta metana iz Alžira, Egipta, Nigerije... Zato je celokupno

<sup>286</sup> Pavlović, D., *Optimizacija plinskog sustava Republike Hrvatske integriranjem terminala za ukapljeni prirodni plin*, doktorska disertacija, RGNF, Zagreb, 2011, str. 53.

<sup>287</sup> Jedino značajniju rezervu gasa imaju Norveška ( $2715 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ) i Holandija ( $1039 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ), što nije dovoljno za duži period ni za samo tržište Evrope.

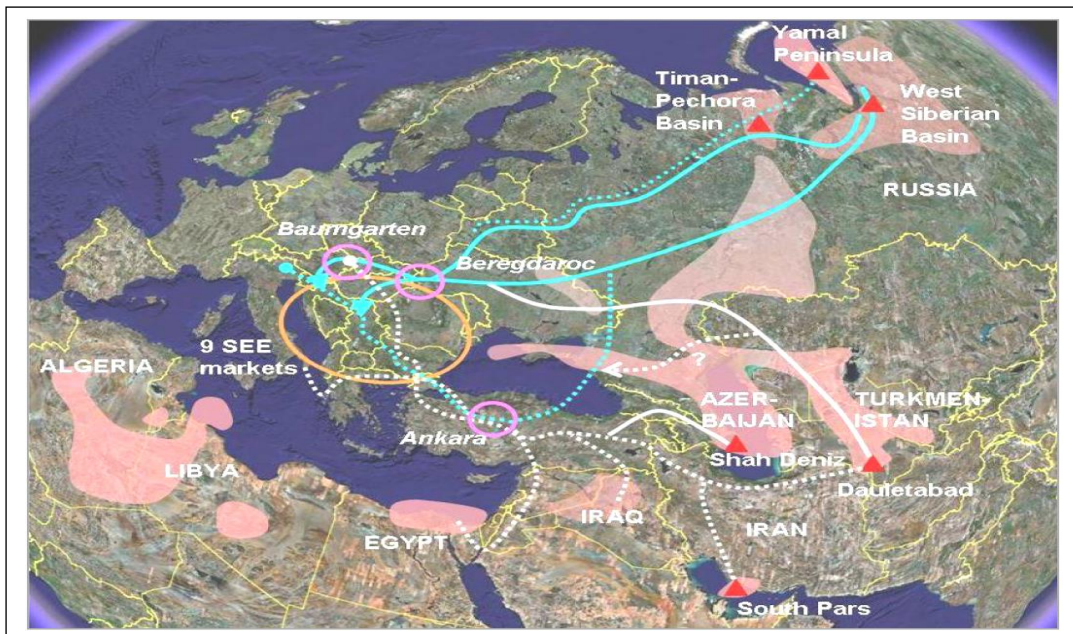
<sup>288</sup> Rezerve ruskog gasa procenjene su na  $49.541 \times 10^{12} \text{ m}^3$ .

<sup>289</sup> Trenutno je problem sa Ukrajinom, što ne znači da ne može da u narednom periodu bude sa nekom drugom državom.

<sup>290</sup> Procenjene rezerve su: Azerbejdžana  $1380 \times 10^{12} \text{ m}^3$ , Kazahstana  $1939 \times 10^{12} \text{ m}^3$ , Turkmenistana  $9967 \times 10^{12} \text{ m}^3$  i Uzbekistana  $1632 \times 10^{12} \text{ m}^3$ .

<sup>291</sup> Procenjene rezerve su: Iraka  $3158 \times 10^{12} \text{ m}^3$ , Irana  $33.948 \times 10^{12} \text{ m}^3$ , Katara  $24.936 \times 10^{12} \text{ m}^3$  i Saudijske Arabije  $8320 \times 10^{12} \text{ m}^3$ .

područje neminovno upućeno na značajniju nabavku metana danas, a posebno u budućnosti, na drugim tržištima. Moraju da planiraju da se orijentišu ka drugim tržištima, koja nisu u njihovoj neposrednoj blizini. Izuzev Turske, sve druge zemlje značajnije količine gasa najčešće će nabavljati sa rastojanja većih od 1000 km.<sup>292</sup> Ovo neminovno iziskuje da se za transport gasa, radi boljeg snabdevanja Balkana, pored cevovodnog sistema koristi i njegova doprema brodovima (danas tehnologijama LNG, CNG ali i NGH u budućnosti).



Slika 2.43. Neki gasni izvori pogodni za snabdevanje tržišta Jugoistočne Evrope i Balkana<sup>293</sup>

Na osnovu svih dosadašnjih iskustava vezanih za različita pitanja oko zemnog gasa (država regiona Balkana, zemalja EU, uvida u celokupno svetsko tržište i zbivanja na njemu, geopolitičkih odnosa...) poslednjih decenija, velikog broja publikovanih različitih stručnih radova iz ove oblasti, s jedne strane, a na osnovu sprovedenog istraživanja, sagledavanja i analize, takođe svega dosad prezentovanog u ovom radu, s druge strane, bilo bi bolje i uspešnije da sve države imaju stav i pristup da je bolje da nastupaju koordinirano ili zajedno, a ne odvojeno, kada je reč o nekim važnim strateškim i ključnim pitanjima da bi se ostvarilo bolje i pouzdanije snabdevanje regiona Balkana. U prvom redu, to se odnosi na: uspostavljanje međusobne gasne interkonekcije, izgradnju gasnog prstena, izgradnju novih tranzitnih gasovoda, uspostavljanje tržišta zemnog gasa, izgradnju terminala za TZG i KZG.... Takođe je potrebno da se: izvrši diverzifikacija uvoza gasa (obezbedi više pravaca dopreme gasa, veći broj različitih dobavljača); koriste različiti vidovi, savremene tehnologije i tehnička rešenja u realizaciji transportnih aktivnosti; obezbede adekvatni skladišni kapaciteti... Većinu ovih aktivnosti države mogu lakše, efikasnije, uspešnije i pod povoljnijim uslovima da ostvare ako nastupaju zajedno a ne pojedinačno. Ovo je sve s ciljem da se svi potrošači regiona Balkana snabdevaju sigurnije, pouzdanije, bezbednije i ekonomski prihvatljivije.

Sagledavajući realni potencijal, a radi sigurnog i pouzdanog snabdevanja tržišta Balkana i zemalja Srednje i Južne Evrope većom količinom gasa, pored dosad dominantnog uvoza iz Rusije cevovodom (preko Ukrajine), potrebno je i neophodno izvršiti diverzifikaciju snabdevanja ovog regiona ovim energentom (Slika 2.44). Reč je o novim pravcima snabdevanja gasom iz Rusije, Kaspiskog regiona (Azerbejdžan, Kazahstan, Turkmenistan i Uzbekistan), severne Afrike (Egipat, Libija i Alžir), sa Bliskog istoka (Irak, Iran) i drugih tržišta (Kuvajt, Malezija, S. Arabija...). U

<sup>292</sup> Turska u slučaju kad bi gas nabavljala iz Azerbejdžana, Iraka i Irana (rastojanje do 1000 km, a u nekim situacijama 2000 km), što predstavlja relativno povoljnu distancu.

<sup>293</sup> Izvor: ilustracija preuzeta iz više stručnih radova.

nekim analizama, smatra se da je neophodno „pronalaženje najmanje tri različita izvora prirodnog gasa, u cilju smanjenja zavisnosti od jednog snabdevača“.<sup>294</sup>



Slika 2.44. Postojeći magistralni cevovodi gasa (i nafte) na Balkanu i neki od planiranih cevovoda za snabdevanje država Balkanskog poluostrva i Jugoistočne Evrope zemnim gasom<sup>295</sup>

Na osnovu svih dosadašnjih svetskih iskustava vezanih za raspoložive rezerve i snabdevanje zemnim gasom; velikog broja stručnih analiza i studija; sprovedenih različitih istraživanja; niza objavljenih naučnih radova; kao i svega dosad prezentovanog u okviru ovoga rada, dolazi se do zaključka da je moguće formirati više različitih novih strategija čiji je cilj bolje, pouzdanije, efikasnije, sigurnije, bezbednije i u nekim slučajevima jeftinije snabdevanje Balkanskog poluostrva i Srednje Evrope zemnim gasom.<sup>296</sup> Nove strategije snabdevanja regiona Balkana mogu se posmatrati i analizirati u zavisnosti od: države iz koje se nabavlja gas, vida transportnog sredstva kojim se doprema energent, agregatnog stanja zemnog gasa, pravaca i trase kojom prolazi cevovod (maršrute), geopolitičkih odnosa, količine gasa koja se kupuje, dinamike i kontinuiteta isporuke...

Države balkanskog prostora i Srednje Evrope imaju četiri okvirne mogućnosti da formiraju strategije svog snabdevanja gasom iz uvoza. Prva mogućnost je da svaka zemlja Balkana pojedinačno za sebe formira svoju strategiju uvoza i dopreme gasa. Druga opcija je da sve države balkanskog energetskog prostora zajedno i udruženo formiraju svoju jedinstvenu strategiju dopreme gasa iz inostranstva. 3. opcija je da sve države balkanskog energetskog prostora zajedno i udružene (integrisane) u jedinstveno tržište gasa regiona, formiraju svoju jedinstvenu strategiju kupovine, dopreme i potrošnje ovog energenta iz inostranstva. 4. mogućnost je da sve države regiona, udružene u okviru energetske zajednice, nastupe u sklopu ukupne strategije Zapadne Evrope.<sup>297</sup>

Formiranje pojedinačne strategije svake zemlje, nezavisno od regiona, najčešće nije: ekonomično, efikasno, izvodljivo niti korisno, naročito kad je reč o uvozu većih količina gasa i izgradnji većih transportnih sistema i investiciono skupljih poduhvata u infrastrukturu. Neophodno je, u cilju efikasnog snabdevanja zemnim gasom, prvo da države ovog regiona zajedno sagledaju i analiziraju svoju trenutnu situaciju vezanu za ovaj energent.<sup>298</sup> Zatim da udružene formiraju

<sup>294</sup> Izjava M. Šeščovič iz Evropske komisije zadužene za energetske uniju, 2015.

<sup>295</sup> Izvor: ilustracija preuzeta iz više radova.

<sup>296</sup> U razmatranju i analizi formiranja strategija snabdevanja zemnim gasom, uzet je u obzir i dokument *Energy in the Western Balkan (The Path to Reform and Reconstruction)*, Internacional Energy Agency, UNDP, Paris, 2008), kao i niz drugih relevantnih istraživanja, dokumenata, studija, naučnih radova...

<sup>297</sup> Ova četvrta strategija u prvom redu odnosi se na nove gasovode koje treba graditi za transport zemnog gasa iz pravca Kaspiskog regiona, Bliskog istoka i Rusije, ali i na količinu gasa koja će se njima isporučivati. U većini slučajeva, veliki broj zapadnoevropskih zemalja nastoji da u značajnoj meri gasovodi koji prolaze regionom Balkana budu tranzitni za njihove zemlje, a da samo male količine budu namenjene državama Balkana kroz koje prolaze.

<sup>298</sup> Može u sklopu energetske zajednice za gas, ili nekog novog udruženja koje bi objedinilo sve države ovog regiona.

zajedničku dugoročnu strategiju svoga snabdevanja metanom, sagledavajući sve prednosti i nedostatke svakog potencijalnog vida i pravca snabdevanja. Nezavisno od toga da li će region nastupiti sam ili u sklopu sa zemljama Zapadne Evrope u uvozu gasa za svoje tržište.

Nove potencijalne strategije snabdevanje regiona Balkana zemnim gasom iz uvoza, u zavisnosti od agregatnog stanja energenta i njegovog vida transporta, mogu uslovno da se grupišu u:

- 1) strategije snabdevanja zemnim gasom cevovodima, u gasovitom stanju;
- 2) strategije snabdevanja zemnim gasom u tečnom stanju;
- 3) strategije snabdevanja zemnim gasom u gasovitom komprimovanom stanju;
- 4) strategije snabdevanja gasom u čvrstom agregatnom stanju i
- 5) kombinovane strategije snabdevanja zemnim gasom.

**1. Strategije snabdevanja zemnim gasom cevovodima.** Geografska pozicija balkanskog prostora u snabdevanju zemnim gasom Zapadne Evrope, iz pravca istoka, cevovodom iz Kaspijskog regiona Rusije i sa Bliskog istoka, ovom regionu daje značajnu stratešku poziciju jer bi većina planiranih gasovoda morala da prolazi njegovom teritorijom. Od marginalne pozicije koju Balkan ima danas u snabdevanja gasom cevovodom iz Rusije, koji ide preko Ukrajine (a on se nalazi na kraju samog transportnog sistema), postaje bitan tranzitni prostor u novim strategijama snabdevanja Centralne i Zapadne Evrope. Potrebno je da se zemlje balkanskog prostora postave tako da nemaju samo poziciju tranzitne teritorije kojom se prostire gasovod za Zapadnu Evropu, već da se ti cevovodi istovremeno projektuju i grade za namenu i podmirenje i njihovih potreba za gasom, iako je prikrivena namera Zapadne Evrope da se što veće količine ovog energenta dopreme na njihovo tržište uz što manju isporuku tranzitnim zemljama.

Strategije snabdevanja zemnim gasom Balkanskog poluostrva i Srednje Evrope cevovodom, orijentisane su na: nove izvore, pravce i države iz kojih se može dopremiti ovaj energent, u odnosu na već postojeće gasovode. Izgradnja nekih od ovih cevovoda bila bi strateški izuzetno važna za snabdevanje ovog regiona gasom. Neki od ovih cevovoda su relativno podudarni (u zavisnosti od izvora gasa ili trase kojom se prostiru), neki od njih su međusobno povezani, ali neki su u značajnoj meri međusobno konkurentni. Novi potencijalni izvori zemnog gasa sa kojih se može snabdevati tržište Balkana jesu: novi izvori u Rusiji, Kaspijski region, Azerbejdžan, Turkmenistan, Iran, Irak, Libija, Egipat...

Danas je realno prisutan veći broj potencijalnih strategija, u cilju snabdevanja Evrope zemnim gasom, vezanih za gasovode, o kojim se razmišlja, razgovara, analizira, pregovara, projektuje... Neki od tih pravaca za snabdevanje Zapadne i Centralne Evrope prostiru se preko teritorije Balkanskog poluostrva. Većina ovih cevovoda nalazi se u fazi razmatranja, analize, planiranja, pregovaranja... i potencijalne realizacije same izgradnje. Ovi gasovodi predstavljaju neke od strategija snabdevanja Balkanskog poluostrva i Srednje Evrope, kao samostalni projekti ili u sklopu dopremanja zemnog gasa prema Centralnoj Evropi. Izgradnjom novih gasovoda vrši se diverzifikacija pravaca i izvora snabdevanja. Reč je gasovodima: Južni tok (South Stream); Nabuko (Nabucco); Turski tok; Transjadranski cevovod (Trans-adriatic-Pipeline, TAP); Jonsko-jadranski (IAP); Tursko-grčko-italijanski cevovod (Turkey-Greece-Italy-Pipeline, TGI); Beli potok (White Stream, GLUEU); Panevropski cevovod (Pan European Gas Pipeline, PEGP); Plavi cevovod (Blue Line); Afrika-Mediteran-Balkan (AMB); Isting (Istočni prsten); TANAP; Gasni prsten Balkana; Interkonektor Turska-Grčka-Italija (ITGI); Interkonektor Grčka-Bugarska (IGB)<sup>299</sup>...

**2. Strategije snabdevanja zemnim gasom u tečnom stanju.** Strategije snabdevanja regiona Balkana LNG zasnovana je na veoma opravdanim realnim osnovama i prednostima. Snabdevanjem regiona LNG omogućuje se diverzifikacija dopremnih pravaca, veća sigurnost i pouzdanost. Ovaj region ima povoljnu geografsku poziciju u odnosu na zemlje izvoznice LNG. Balkansko poluostrvo

<sup>299</sup> Detaljnije o potencijalnim gasovodima u funkciji novih mogućih strategija snabdevanja tržišta regiona Balkana, u četvrtom delu ovoga rada, u okviru Pravaca unapređenja transporta zemnog gasa (Tačka 1.2).



istovremeno ima dugu obalu i relativno prihvatljive kopnene distance od obale, što mu omogućuje veliki broj potencijalnih lokacija za izgradnju terminala za brodove koji bi dopremali LNG na njegovu teritoriju. Većina država ima direktno izlaz na more ili su na relativno prihvatljivim distancama od njega, kojima bi mogle da se povežu sa njima i sa budućim terminalima za LNG. Strategija snabdevanja metanom u tečnom stanju pruža niz potencijalnih novih mogućih pravaca dopreme ovog energenta na prostor regiona. Na ovaj način može da se dopremi velika količina metana sa dalekih tržišta. Reč je o potencijalnim lokacijama terminala za prihvatanje tečnog metana u priobalnom i obalnom pojasu, u teritorijalnim vodama država: Hrvatske, Crne Gore, Albanije, Grčke, Bugarske, Rumunije i Turske. Direktno brodovima, gas se na ovaj način doprema do obala samoga regiona. Planiranje, projektovanje i gradnju terminala za LNG treba da planiraju zajedno zemlje Balkanskog regiona u sklopu zajedničke strategije snabdevanja. Na ovaj način, izgradnjom jednog terminala za LNG veći broj država rešava deo svojih potreba za metanom. Gas koji je dopremljen brodom iz luke može se direktno distribuirati potrošačima ili uskladištiti. Distribucija i skladištenje energenta može biti u tečnom ili u gasovitom stanju do krajnjih potrošača. Strategijom povećanja učešća tečnog zemnog gasa u uvozu ovog energenta na ovoj teritoriji, vrši se diverzifikacija snabdevanja; prisutan je veći broj prodavaca; ostvaruje se bolja snabdevenost tržišta; omogućuje se veći stepen nezavisnosti regiona od uvoza gasa iz Rusije, veća sigurnost od neželjenih efekata prenosa robe cevovodom kao vidom transporta... Neophodno je veće i značajnije snabdevanje prostora Balkana LNG u narednom periodu.

**3. Strategije snabdevanja zemnim gasom u gasovitom komprimovanom stanju.** Ovim pristupom snabdevanju prostora Balkana komprimovanim zemnim gasom (CNG) omogućuje se doprema gasa brodovima pomorskim putem do njegovih obala. Ova strategija omogućuje dopremu gasa sa srednje udaljenih izvorišta morskim putevima. Gas se od izvorišta cevovodom doprema do obale (ili se direktno prihvata na izvorištu ako je reč o eksploataciji na otvorenom moru) gde se on utovara u specijalno izgrađene brodove komprimovanjem na visoke pritiske. Brodovi kojima se gas transportuje dopremaju energent od polazne luke do posebno izgrađenih pristaništa na (ili u neposrednoj blizini) obali. Iz pristaništa zemni gas se „upumpava“ direktno u distributivni sistem, ili se otprema u skladišta iz kojih se naknadno otprema do krajnjeg potrošača. Ova strategija je u perspektivi pogodna za region Balkana zbog velikog broja pogodnih mesta za izgradnju prihvatnih terminala, zbog nižih troškova izgradnje infrastrukture u odnosu na sistem LNG i zbog pogodne udaljenosti izvora gasa za ovaj vid snabdevanja...

**4. Strategije snabdevanja zemnim gasom u čvrstom agregatnom stanju.** Vid transporta i snabdevanja tržišta zemnim gasom u čvrstom agregatnom stanju<sup>300</sup>, danas u svetu, na ovom nivou tehničkog razvoja i ekonomskih parametara (vezanih za njegovu proizvodnju i transport, s jedne strane, i za trenutnu cenu gasa na tržištu), ima više eksperimentalnu, razvojnu, oglednu ulogu i poziciju nego realno značajnije učešće u snabdevanju tržišta. Ovog trenutka, reč je više o potencijalnom načinu transporta zemnog gasa. Region Balkana, ovog trenutka, treba aktivno da prati, analizira i sagledava napredak i razvoj transporta zemnog gasa u čvrstom agregatnom stanju (hidrati, NGH)<sup>301</sup> kao potencijalnu mogućnost alternativnog snabdevanja svog prostora u budućnosti. U zavisnosti od razvoja tehnike i tehnologije u ovoj oblasti, eksploatacije gasa (u prvom redu iz mora u smrznutom stanju) i transportnih sistema, potrebno je detaljnije razraditi i planirati realizaciju ovog vida transporta kako bi se zadržao korak sa razvijenim zemljama u ovom segmentu.

<sup>300</sup> Transport zemnog gasa u čvrstom agregatnom stanju bazira se na tehnologiji prevođenja zemnog gasa u hidrate (engl. Gas To Solids – GTS). Hidrati su čvrsti kristali koje formiraju voda i zemni gas. Molekuli zemnog gasa nalaze se blokirani (zarobljeni) u unutrašnjosti molekula vode.

<sup>301</sup> U ovom radu, transport zemnog gasa u čvrstom stanju, kao potencijalna mogućnost snabdevanja tržišta, prikazan je u formi opšteg pregleda. Ovaj vid transporta gasa ima perspektivu u budućnosti, ali se procenjuje da on realno, na ovom stepenu tehničko-tehnološkog razvoja procesa, transportnih sredstava, visine troškova prevođenja u čvrsto stanje (smrzavanje) i logističkih troškova, neće imati značajniji tržišni uticaj u snabdevanju tržišta u periodu od 1–2 decenije.

**5. Kombinovana strategija snabdevanja zemnim gasom.** Osnova kombinovane strategije snabdevanja tržišta regiona Balkana zemnim gasom bazira se na postupku utvrđivanja i kombinovanja različitih elemenata, faktora i značajnih činilaca, kao što su: izvor; pravac; dobavljači; agregatno stanje gasa, vid transporta; transportno sredstvo; kapacitet prevoznog sredstva; količina; dinamika isporuke i snabdevanja; dužina i forma ugovora... u cilju postizanja što efikasnijeg, pouzdanijeg, sigurnijeg i ekonomski prihvatljivijeg načina snabdevanja potrošača ovim energentom. Ova strategija prvo neizostavno zahteva detaljnu pojedinačnu komparativnu analizu svakog elemenata i činioca. Nakon utvrđivanja svih pojedinačnih karakteristika svakog faktora, sagledava se njihov međusobni odnos. Donošenje konačne odluke bazira se na postupku da su pre donošenja konkretne odluke utvrđeni kriterijumi, nivo važnosti i značaja različitih elemenata i faktora značajnih za donošenje konačne odluke o snabdevanju regiona. Na osnovu tih kriterijuma, nastoji se da se iznađe takva međusobna kombinacija (miksovanje: izvora, pravaca, agregatnog stanja, sredstava transporta, načina skladištenja...) različiti činilaca i faktora koji će zajedno (a ne pojedinačno), kao jedinstvena celina, dati sveukupno najbolje moguće rešenje. Donošenje odluke o određenoj strategiji predstavlja dugoročnu stratešku odluku.

Okvirno posmatrano, najbolje rešenje je da sve države zajedno, u okviru jedinstvenog energetskeg tela, donesu odluku i formiraju jedinstvenu strategiju/strategije snabdevanja uvoznim gasom celokupnog regiona. Potrebno je da jedinstveno zajedno nastupe kada je reč o uvozu gasa. Pojedinačan nastup svake države najčešće ih dovodi u lošiju poziciju nego da su nastupili udruženo.

Kao što se vidi iz svega dosad prezentovanog (u prvom i drugom delu rada), na prvo postavljeno pitanje, posmatrano sa aspekta snabdevanja zemnim gasom regiona Balkana, **da li se može formirati više strategija snabdevanja metanom (zemnim gasom) država Balkanskog poluostrva i Srednje Evrope u cilju boljeg i pouzdanijeg snabdevanja potrošača ovim energentom, odgovor** je potvrđan. Da, može se formirati više strategija snabdevanja zemnim gasom regiona Balkana, u cilju boljeg snabdevanja njegovog tržišta i potrošača ovim energentom.

U daljem izlaganju, svi drugi značajniji elementi i činiooci, vezani za same aktivnosti transporta i skladištenja svih gasova koji mogu da imaju uticaj na snabdevanje tržišta (metanom, tehničkim gasovima i naftnim gasom) a imaju uticaj na strategije, biće detaljnije i sveobuhvatnije sagledani i analizirani u nastavku ovog rada (u glavama 3. i 4.). Potrebno je posebno napomenuti da je sve prethodno izloženo, ali i ono što će dalje biti prezentovano u segmentu transporta i skladištenja, u okviru ovoga rada, vezano u značajnoj meri za zemni gas. Sam akcenat u ovom radu značajno je postavljen i fokusiran na zemni gas, metan. On je usmeren i u pravcu da može da posluži i kao osnova za celokupno sagledavanje problematike koja je vezana za snabdevanje tržišta regiona Balkana ovim energentom, iz ugla trgovine i marketing logistike.<sup>302</sup>

<sup>302</sup> Celokupno izlaganje može da posluži kao polazna osnova i baza prilikom donošenja nekih novih strateških odluka u budućnosti, vezanih za distribuciju kao instrument marketing miksa i za samu logistiku.. Ovo izlaganje, između ostalog, treba da doprinese boljem i sveobuhvatnijem sagledavanju problema, pre donošenja konkretne strategije.

### **III.** **glava**

## **Značaj i novi pristup skladištenju gasa u funkciji efikasnijeg snabdevanja potrošača na tržištu Balkana**

1. Mesto i uloga skladištenja kao podsistema logistike preduzeća
2. Savremeni pristup skladištenje metana u funkciji bolje snabdevenosti tržišta
3. Specifičnosti i karakteristike skladištenje tehničkih gasova kao proizvoda
4. Skladištenje nafni gasova u cilju bolje snabdevenosti potrošača
5. Novi pristup u proizvodnji, skladištenju i potrošnji ugljen dioksida



### III.

## Značaj i novi pristup skladištenju gasa u funkciji efikasnijeg snabdevanja potrošača na tržištu Balkana

### 1. Savremeni pristup aktivnosti skladištenja zemnog gasa u gasovitom i tečnom stanju u funkciji realizacije efikasnijeg snabdevanja tržišta

Za ostvarivanje pouzdanog i sigurnog snabdevanja tržišta i krajnjih potrošača zemnim gasom veliki značaj i uticaj ima niz različitih pitanja i relevantnih faktora. Jedno od fundamentalnih pitanja, koje je uvek u većoj ili manjoj meri prisutno, jeste neophodnost da se iznađe rešenje između proizvodnje i ponude, s jedne strane, i potrebe potrošača, odnosno potrošnje, s druge strane. Opšte posmatrano, proizvodnja gasa se može posmatrati kao relativno konstantna veličina, dok potražnja i potrošnja ovog energenta iskazuju neravnomernost u određenom vremenskom intervalu. Postoji debalans između proizvodnje i potrošnje, naročito kada je reč o zimskom i letnjem periodu. U zimskom periodu postoji povećana potrošnja gasa (zbog grejanja) u odnosu na letnji period jer se ovaj energent u značajnom obimu koristi u funkciji grejanja (direktno, putem sistema toplana, energana, individualnih domaćinstva, ili indirektno, preko proizvodnje električne energije u termoelektranama; proizvedena električna energija, struja, posle se koristi za grejanje stanovništva).

#### 1.1. Mogući načini rešavanja problema nesklada između proizvodnje i potrošnje zemnog gasa

Zemni gas se primarno upotrebljava u najvećoj meri za proizvodnju električne energije i za grejanje objekata. Kao posledica ove činjenice, sama potrošnja zemnog gasa u mnogim delovima sveta ima značajno izraženo obeležje sezonskog karaktera. Ovo obeležje gasa kao proizvoda prihvata se kao njegova izuzetno značajna tržišna karakteristika i osobina.

Tehničko-tehnološko-ekonomski posmatrano, nije lako niti izvodljivo da se u toku godine značajno smanjuje količina proizvodnje gasa iz bušotina u zavisnosti od karaktera sezonske tražnje za ovim energentom. Da se regulacijom procesa proizvodnje usklađuje sezonski karakter tražnje za gasom – nije realno opravdano niti u praksi lako izvodljivo. Ležište gasa jednom pušteno u proizvodnju zahteva kontinuiranu proizvodnju zbog energetske režima u ležištu i konstantnog rada bušotine. „Proizvođači gasa ugovaraju kontinuirano snabdevanje gasom prema optimalnim proizvodnim mogućnostima ležišta u toku cele godine. Debalans u potrošnji gasa u zimskom periodu i viška u letnjem periodu moraju da rešavaju distributeri gasa. Veoma poznat način snabdevanja gasom koji primenjuju distributeri je 'pay or key' ('plati ili čuvaj').“<sup>1</sup>

Odstupanja u potrošnji zemnog gasa mogu da se posmatraju sa aspekta vremena, na nivou: sati, dana, nedelje, meseca ili sezone. Takođe, značajna odstupanja u potrošnji gasa mogu da se sagledaju i analiziraju na nivou: privrednih grana, preduzeća, individualnih potrošača...<sup>2</sup> Postizanje

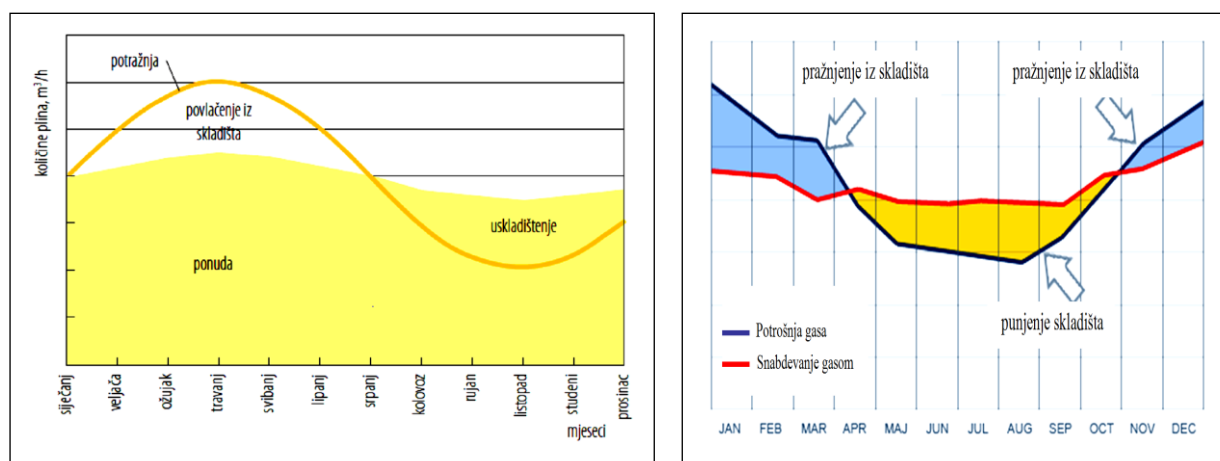
<sup>1</sup> Jovičić, D., *Gasno ležište Itebej „g3“ u funkciji podzemnog skladišta gasa*, magistarski, RGF, Beograd, 2009, str. 1.

<sup>2</sup> Detaljnije o načinu izračunavanja potrošnje gasa u različitim uslovima i situacijama pogledati u radu: Šunić, M., *Znanost mjenja svijet a plin komoditet življenja*, Bauer grupa, Samobor, 2003, str. 139–172.

najboljih rezultata poslovanja u snabdevanju tržišta gasom ostvaruje se pri što većem stepenu ravnomernije proizvodnje i potrošnje. Da bi potrošači imali ekonomski što povoljniju cenu gasa, potrebno je postići konstantno relativno visok stepen korišćenja, odnosno stepen opterećenja, proizvodnog, transportnog i distributivnog sistema gasa.<sup>3</sup>

Neosporno je da zemni gas kao proizvod ima sezonski karakter potrošnje. Posmatrano u vremenskom intervalu, države, regioni, gradovi, naselja, industrija, privreda u celini i domaćinstva neravnomerno troše gas (Slika 3.1). Da bi se preko godine, u svakom trenutku, zadovoljile potrebe svih potrošača, neophodno je imati dovoljne količine rezervi gasa na raspolaganju. Za ostvarivanje dovoljnih količina ovog energenta u svakom trenutku, potrebno je imati rezervne kapacitete u proizvodnji i transportu gasa, ili skladišta gasa u blizini velikih potrošača gde bi se uskladištio „višak gasa“ pri smanjenom obimu potrošnje, ali i da bi bio na raspolaganju pri povećanoj potrošnji.<sup>4</sup>

Potrebno je, pre prezentacije mogućih metoda za izravnjanje vršnih opterećenja i izbora odgovarajuće metode, naznačiti najznačajnije uslove i pretpostavke za dobro snabdevanje tržišta i potrošača zemnim gasom vođenjem ispravne „gasne politike“ jedne zemlje ili regiona<sup>5</sup>: korišćenje gasnog sistema na što stabilnijem nivou protočnih količina; optimalno vođenje proizvodne razrade gasnih ležišta i uklanjanje nepoželjnih kolebanja proizvodnje (Slika 3.2.); po potrebi, osigurati uvoz gasa (tečni ili gasoviti, cevovodom); u slučaju uvoza gasa, omogućiti veći broj različitih dobavljača i pravaca; uvoditi ekonomsku i strategijsku rezervu izgradnjom bilo koga tipa skladišta gasa i stalno unapređivati karakteristike izgrađenih skladišta gasa.



Slika 3.1. Dijagrami sezonske proizvodnje i potrošnje gasa u toku godine i njegovo korišćenje iz skladišta s ciljem ostvarivanja sezonskog uravnoteženja<sup>6</sup>

Rešavanje problema nesklada u dinamici proizvodnje, isporuke i potrošnje zemnog gasa, u praksi može da se reši primenom neke od metoda. Danas u svetu najčešće se susreće jedan od tri načina rešavanja problema debalansa između proizvodnje i potrošnje gasa primenom metode: 1. izravnavanja dijagrama potrebe za gasom, 2. skladištenja gasa i 3. korišćenjem zamene za prirodni gas.<sup>7</sup> 1. U metodu izravnavanja dijagrama potrebe za gasom spadaju sledeći načini<sup>8</sup>: a) uključivanje potrošača koji imaju kontinuiranu dnevnu i nedeljnu potrošnju ali povećanu potrošnju

<sup>3</sup> Prstojević, B. i dr., *Distribucija prirodnog gasa*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2005, str. 395–407.

<sup>4</sup> Jovičić, D., *Gasno ležište Itebej „g3“ u funkciji podzemnog skladišta gasa*, magistarski, RGF, Beograd, 2009, str. 3.

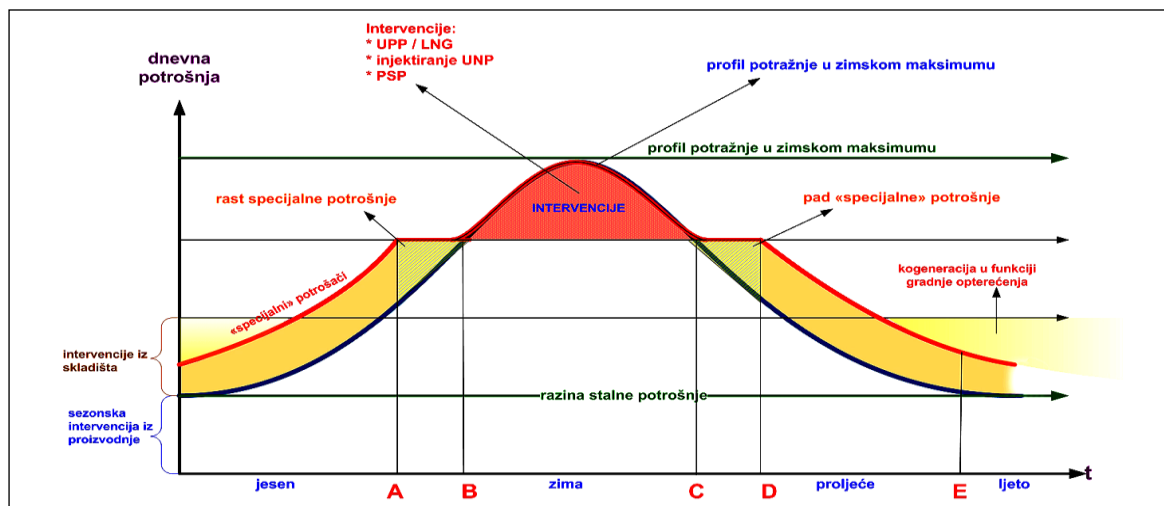
<sup>5</sup> Prema: Bauk, A., *Podzemno skladištenje plina*, INA Naftaplina, Zagreb, 2003, str. 16.

<sup>6</sup> Izvor: preuzeto iz većeg broja dostupnih stručnih radova.

<sup>7</sup> U fokusu ovog rada jeste metoda skladištenja zemnog gasa, kao najznačajnija metoda sa aspekta snabdevanja potrošača. Kao takva, biće detaljnije prezentovana i obrađena. Za prvu metodu, izravnjanje dijagrama potrebe za gasom, dati su samo osnovni načini njene realizacije. Metoda zamene za prirodni gas, korišćenjem mešavina tečnog naftnog gasa sa vazduhom, sintetičkog gasa... neće biti opširnije izlagana u ovom radu. Ona više pripada tehnološkom aspektu rešenja problema debalansa između proizvodnje i potrošnje gasa.

<sup>8</sup> Prstojević, B. i dr., *Distribucija prirodnog gasa*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2005, str. 396.

u toku letnjeg perioda (pivare, ciglane, sušare, i dr.); b) uključivanje potrošača na prekidnoj osnovi; ovi bi potrošači koristili gas u toku letnje sezone, a u zimskoj sezoni bi koristili alternativna goriva; c) programiranje i izvođenje remonta velikih industrijskih potrošača uz vođenje računa o njihovom uticaju na dinamiku preuzimanja gasa distributera (vođenje računa o preklapanju remonta i o mogućnosti njihovog izvođenja u periodima povećane potrošnje gasa); d) primena tarifne politike cena kojom se stimuliše organizovanost potrošača s ciljem da se smanje svi oblici neravnomernih potreba za gasom.



Slika 3.2. Grafička ilustracija profila godišnje potrošnje zemnog gasa<sup>9</sup>

## 1.2. Metod skladištenja zemnog gasa u funkciji snabdevanja potrošača

U praksi se, kao osnovno rešenje, s ciljem regulisanja neravnomernosti između proizvodnje i potrošnje, koriste metode skladištenja gasa. Efikasnost metode skladištenja gasa bazira se u nastojanju da se što veća količina ovog energenta smesti u istu jedinicu volumena. Nastoji se da se postigne što veća koncentracija mase zemnog gasa u jedinici zapremine. Tehničko-ekonomski proračuni i postojeće iskustvo u nizu zemalja pokazuju ovoga trenutka da je najracionalniji način regulacije sezonske neravnomernosti potrošnje gasa izgradnja skladišta. Često se pitanje regulisanja sezonske neravnomernosti potrošnje gasa rešava kompleksno, što podrazumeva da se uz korišćenje skladišta stvaraju i rezervni kapaciteti u proizvodnji i transportu gasa.

Ostvarivanje povećanja koncentracije mase gasa u volumenskoj jedinici i skladištenje zemnog gasa može da se realizuje sledećim fizičkim aktivnostima:

1. komprimovanjem gasa;
2. utečnjavanjem (likvefakcijom) gasa;
3. rastvaranjem u tečnom naftnom gasu (apsorpcijom) i
4. prevođenjem u čvrsto stanje (hidrate).

Tako da, posmatrano sa aspekta modela mogućnosti povećanja mase gasa u jedinici zapremine, sve vrste skladišta gasa mogu se svrstati na ona koja se baziraju na: komprimovanju, na rastvaranju u medijumu, na utečnjavanju i smrzavanju (Tabela 3.1).<sup>10</sup>

<sup>9</sup> Izvor: Tancer, D., „Izgradnja novog podzemnog skladišta plina“, časopis *EGE*, 2/2010, str. 86–88.

<sup>10</sup> Metod skladištenja zemnog gasa u čvrstom stanju za sada u praksi nema značajniju primenu i uticaj na rešavanje pitanja skladištenja gasa u velikim količinama, sa aspekta sezonskih varijacija i vršnih opterećenja u funkciji snabdevanja tržišta. Još se u praksi ova metoda skladištenja velikih količina gasa ne primenjuje, u aspektu rešenja problema velikih strateških debalansa između proizvodnje i potrošnje gasa. Iz ovog razloga ona u ovom delu rada nije detaljnije prezentovana, ali sigurno je da će u bliskoj budućnosti imati značajnije mesto u transportu i skladištenju ovog energenta u svetu.

Kontrolisanom promenom određenih parametara (temperature i pritisa) zemnog gasa menja se (najčešće i) agregatno stanje gasa, a time se automatski menja i potreban prostor za njegovo skladištenje. Na ovaj način menja se potreban volumen za skladištenje iste količine gasa. Kao ilustracija može da posluži komparativni prikaz delovanja određenih konkretnih fizičkih aktivnosti na volumen (Tabela 3.1). Samom aktivnošću komprimovanja, povećanjem pritiska gasa u funkciji skladištenja, vrši se njegovo sabijanje, i na taj način potreban je manji skladišni prostor.<sup>11</sup> Kad se 1000 m<sup>3</sup> zemnog gasa, koji zauzima na normalnom pritisku 1000 m<sup>3</sup>, komprimuje (sabije) na pritisku od 40 bara, smešta se u volumen od 25 m<sup>3</sup>. Metodom apsorpcije u tečnom naftnom gasu, ista količina zemnog gasa se može smestiti u prostor od 6,5 m<sup>3</sup>. Prevođenjem 1000 m<sup>3</sup> gasa u čvrsto agregatno stanje, on se skladišti u prostor od 5,9 m<sup>3</sup>. Ista količina metana, prevedena na temperaturi od -162°C u tečnost, skladišti se u volumen od 1,6 m<sup>3</sup>. Promenom agregatnog stanja gasa, menja se i volumen koji on zauzima. Potreban je šeststo puta manji prostor za skladištenje tečnog zemnog gasa u odnosu na potreban prostor za njegovo skladištenje u gasovitom stanju na normalnom pritisku. Zapreminski prostor veći 15,6 puta potreban je kada se gas skladišti u gasovitom stanju na pritisku od 40 bara nego kada se on skladišti u tečnom agregatnom stanju.

Tabela 3.1. Mogućnost promene skladišnog volumena za istu masu zemnog gasa (1000 m<sup>3</sup>)<sup>12</sup>

	1000 m <sup>3</sup> gasa zauzima m <sup>3</sup>	zauzima manji prostor x puta	temperatura [°C]	pritisk [bar]
u normalnom stanju	1000	-	0	1,01
utečnjavanje	1,6	600	-162	1,02
čvrsto (hidrati, led)	5,9	200	-1,67	30,58
apsorpcija u propanu	6,5	153	-46,5	60,77
komprimovanje	25,0	40	37,8	40,00

Autor. Na osnovu više različitih izvora i radova.

**1. Komprimovanje gasa u funkciji skladištenja.** Efikasnost ovog načina skladištenja zasniva se na postupku „sabijanja“ mase gasa u jedinici zapremine. Metan se u gasovitom stanju pod pritiskom sabija (komprimuje) i na taj način se u isti prostor (zapreminu, volumen) uskladišti (smesti) veća količina gasa. Gas se može skladištiti u gasovodima, nadzemnim rezervoarima, baterijama i geološkim formacijama. Uslovno, sva skladišta komprimovanog gasa mogu se grupisati na: a) nadzemna (visokog i niskog pritiska), b) podzemno-površinska (gasovodna mreža i skladišta visokog pritiska) i c) podzemna skladišta (skladišta u pornim i u nepornim sredinama).

a) Nadzemna skladišta gasa. Reč je o čeličnim rezervoarima u kojima se skladišti gas. Nadzemni rezervoari mogu da budu niskog i visokog radnog pritiska. Rezervoari niskog pritiska danas nisu u upotrebi, koristili su se kod ranijih starih tehnologija dobijanja gasa iz uglja i njegove distribucije na niskom pritisku. Danas se u upotrebi susreću rezervoari visokog radnog pritiska koji su se počeli koristiti nakon primene visokih radnih pritisaka u sistemima za transport gasa. Prema svome geometrijskom obliku, oni mogu biti cilindrični i sferični (loptasti). Tehnička rešenja rezervoara cilindričnog oblika koriste se za manju volumensku zapreminu (do 500 m<sup>3</sup>). Sferični rezervoari koriste se najčešće: na radnim pritiscima od 10 bara, prečnika do 28 m, zapremine od 11.500 m<sup>3</sup>, i na radnim pritiscima od 25 bara, prečnika do 14 m, zapremine od 14.500 m<sup>3</sup>. U praksi se susreću i veći rezervoari, prečnika do 40 m.

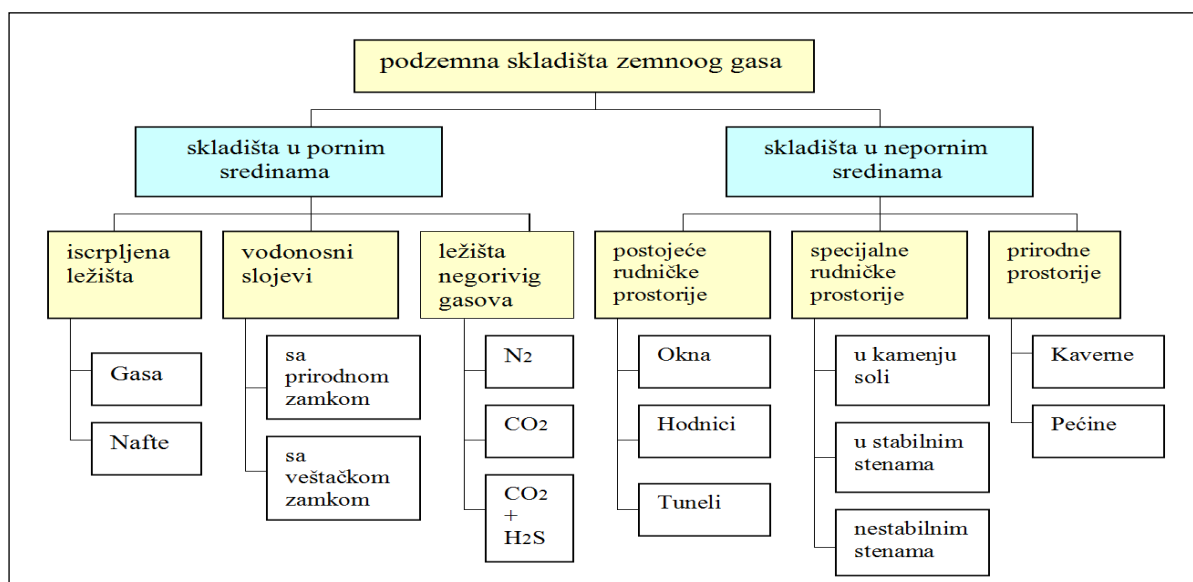
b) Podzemno-površinska skladišta. Reč je o skladištenju zemnog gasa u gasovodnoj mreži i baterijama cevi. Samom svojom funkcijom, cevovodni sistem kao vid transporta predstavlja istovremeno i skladišni prostor. Gasna mreža (cevovod) istovremeno predstavlja u stvari i skladište

<sup>11</sup> Komprimovanjem, u isti volumen se smešta veća količina gasa.

<sup>12</sup> Aktivnostima i procesima: komprimovanja, prevođenje gasa iz gasovitog u druga agregatna stanja (tečnost, led) ili mešanjem sa drugim medijumom (propan, tečni naftni gas...) smanjuje se potreban skladišni zapreminski prostor za odlaganje iste količine gasa.

gasa iz kojeg je moguće tokom kraćeg ili dužeg vremena uzimati više gasa nego što u njega dotiče. Akumulacijska (skladišna) sposobnost gasne mreže veća je što je veći njen volumen i što je veći pritisak zemnog gasa u cevovodu. Tako da se uvek cevovod može upotrebiti u funkciji skladišta. Ovo se posebno može iskoristiti u situacijama kad se gasovodni sistem koristi na nižim radnim pritiscima od projektovanih pritisaka i kad ima veći prečnik od potrebnog za projektovani kapacitet transporta. Takođe, skladište gasa može da se izgradi (formira) i kao samostalno skladište gasa, od više cevi. U ovom slučaju, najčešće se postavlja paralelno više cevi, većeg prečnika (najčešće u zemlju), u kojima se gas skladišti na visokim pritiscima. U ovom slučaju, reč je o skladištima u formi baterija cevi. Ono predstavlja oblik skladišnog prostora, međusobno povezanih ukopanih cevi velikog prečnika i relativno velike dužine<sup>13</sup>, u kojima se gas odlaže na visokim radnim pritiscima. Sastavni deo ovog skladišnog sistema predstavljaju i kompresorske stanice pomoću kojih se gas iz transportnog sistema skladišti na višim pritiscima.<sup>14</sup> Ovakva skladišta imaju relativno mali kapacitet. Najčešće se koriste u funkciji pokrivanja dnevnih oscilacija u potrošnji. Grade se u neposrednoj blizini distributivnih centara (naseljenih mesta) i velikih potrošača koji nemaju kontinuiranu potrošnju gasa tokom dana. Gas se u tom slučaju u njih odlaže za vreme smanjene potrošnje (a to je obično preko noći) a iz njih uzima (povlači) prilikom porasta potrošnje u jutarnjim satima.

c) Podzemna skladišta. Danas se u svetu, kada je reč o tehničkim rešenjima skladištenja komprimovanog gasa, najviše koriste podzemna skladišta s ciljem da se uspešno regulišu višednevne i sezonske neravnomernosti u potrošnji. Sva podzemna skladišta za komprimovani gas u geološkim formacijama dele se na: 1) skladišta u pornim sredinama i 2) skladišta u nepornim sredinama (Slika 3.3).<sup>15</sup> Skladišta u pornim stenama obuhvataju: a) iscrpljena ležišta energenata (gasa, nafte), b) vodonosne slojeve (sa prirodnom zamkom, sa veštačkom zamkom) i c) ležišta negorivog gasova ( $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO_2 + N_2S$ ). Nasuprot njima, skladišta u nepornim stenama čine: a) postojeće rudničke prostorije (okna, hodnici, tuneli), b) specijalne rudničke prostorije (u kamenju soli, u stabilnim stenama, nestabilnim stenama) i c) prirodne prostorije (kaverne, pećine...).



Slika 3.3. Podela podzemnih skladišta zemnog gasa zasnovana na komprimovanju<sup>16</sup>

<sup>13</sup> Cevi koje formiraju skladišnu bateriju mogu da budu dužine i preko nekoliko kilometara.

<sup>14</sup> Jedno od najvećih skladišta ovog tipa nalazi se u Švajcarskom gradu Arau, zapremine 136.000 m<sup>3</sup>.

<sup>15</sup> Detaljnije o nekim od rešenja biće reči u nastavku ovoga rada.

<sup>16</sup> Autor, na osnovu većeg broja radova: Prstojević, B. i dr., *Distribucija prirodnog gasa*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2005, str. 397; Bauk, A., *Podzemno skladištenje plina*, INA Naftaplin, Zagreb, 2003...



**2. Utečnjavanje gasa u funkciji skladištenja.** Posmatranje aktivnosti skladištenja tečnog zemnog gasa može da se izvrši sa više aspekata iz ugla logističkih aktivnosti u lancu snabdevanja ovim energentom prilikom realizacije tehničko-tehnoloških procesa. U logističkom lancu, skladištenje zemnog gasa u tečnom stanju može da se odvija: nakon samog procesa utečnjavanja zemnog gasa pre transporta gasa na tržište; u toku transporta (brod, voz, kamion, kontejner); nakon transporta gasa (iz broda u rezervoare) u cilju dalje distribucije; skladištenje tečnog zemnog gasa u neposrednoj blizini distributera i velikih potrošača... Sa aspekta rešavanja nesklada između proizvodnje i potrošnje u cilju rešavanja kolebanja tražnje za gasom, skladištenje tečnog zemnog gasa može da se realizuje: skladištenjem tečnog zemnog gasa koji je već dopremljen u tečnom agregatnom stanju (u neposrednu blizinu distributivne mreže i potrošača) ili utečnjavanjem (prevođenjem) gasovitog zemnog gasa koji je dopremljen u blizinu potrošača. Prva opcija skladištenja bazira se na mogućnosti da se već dopremljeni LNG kao takav uskladišti (na određeni period) i u ovakvom agregatnom stanju sačeka trenutak potrebe za njim. Duga varijanta podrazumeva koncept po kome se višak dopremljenog zemnog gasa u gasovitom stanju cevovodima, od mesta proizvodnje do neposredne blizine potrošnje, utečni i kao takav uskladišti na određeni vremenski period. Utečnjeni zemni gas se skladišti u adekvatnim skladištima različitih tehničkih rešenja, namenjenim za čuvanje gasa na temperaturi od  $-162^{\circ}\text{C}$ .

**3. Rastvaranje zemnog gasa u tečnom naftnom gasu.** Reč je načinu skladištenja gasa u specijalno izgrađenim i izolovanim apsorpcionim rezervoarima. Metodologija ove tehnologije bazira se na fizičkoj zakonitosti da se zemni gas apsorbuje u određenim jedinjenjima (tečnom naftnom gasu, propanu). Istovremeno, smanjivanjem do određene temperature tečnog gasa u kome se vrši uskladištenje i povećanjem pritiska gasa koji se skladišti, povećava se količina zemnog gasa koja se može uskladištiti. Apsorpcija gasa se vrši u rashlađenom tečnom medijumu (naftnom gasu, propanu), koji se nalazi na temperaturnom intervalu između  $-40$  i  $-60^{\circ}\text{C}$ . Pun efekat ove tehnike skladištenja zemnog gasa zasniva se na postupku da se gas skladišti u rezervoaru na pritisku od 40 bara u rashlađenom tečnom jedinjenju (naftni gas, propan...). Na ovaj način se pod pritiskom u rashlađenom jedinjenju može smestiti 4 do 6 puta veća količina zemnog gasa nego što bi se to moglo ostvariti u istom prostoru bez prisustva drugog jedinjenja (tečnog naftnog gasa, propana). U postupku režima izuzimanja, korišćenja (povlačenja) zemnog gasa iz ovakvih skladišta dolazi do razdvajanja metana (zemnog gasa) od tečnog naftnog gasa postupcima regulacije smanjenja pritiska, temperature i ispunjenosti unutar skladišta.<sup>17</sup>

**Tipovi skladišta gasa**, sa aspekta svoga mesta i pozicije u logističkom lancu, mogu biti: a) sezonska, b) dnevna, c) vršna, d) strateška i e) proizvodna.<sup>18</sup> a) Sezonska skladišta gasa imaju funkciju da se, u onom trenutku kada se u određenom dužem vremenskom razdoblju raspolože većom količinom gasa u distributivnoj mreži, on deponuje (smešta, utiskuje, skladišti) u njih. Ova pojava je karakteristična za letnji i zimski period (sezonu). U letnjem periodu, kada se raspolože većom količinom gasa, on se odlaže u skladišta, a zimskom periodu, kada postoji veća potrošnja, gas se izuzima iz sezonskog skladišta. b) Dnevna skladištenja gasa se koriste u situaciji kada su dnevne promene potražnje za gasom većih razmera nego godišnja. Zbog velikih oscilacija potrošnje u dvadeset i četiri časa, potrebna su dnevna skladišta gasa. Najčešće, u ova skladišta gas se utiskuje u toku noći, a u toku dana se koristi. c) Vršna skladišta namenjena su u situacijama kada se distribuira velika količina gasa u kratkom vremenskom periodu (nekoliko dana). Upotrebljavaju se u trenucima najveće potrošnje (u najhladnijim zimskim danima), a dopunjuju u

<sup>17</sup> Kao primer, na temperaturi od  $-60^{\circ}\text{C}$ , samo smanjenjem pritiska sa 40 na 5 bara smanjuje se udeo metana sa 97% na 90% dok ostatak čini tečni naftni gas. Samo ovom jednom promenom u radnom režimu skladišta dobija se oko 85% od uskladištenih količina zemnog gasa. Uticaj na izuzimanje količine gasa ima i ispunjenost rezervoara. Zemni gas koji izlazi iz apsorpcionih rezervoara ima veću toplotnu moć (u sebi ima i isparenja naftnih gasova), i iz tog razloga se svodi njegova toplotna moć na nižu vrednost (mešanjem sa vazduhom). Viša temperatura u rezervoaru dovodi do opadanja apsorpcione moći medijuma, a time dolazi do povećanja jedinjenja iz TNG, koja izlaze iz rezervoara. U tom slučaju je potrebno dopunjavati rezervoar jer izlaskom TNG smanjuje se kapacitet apsorpcije.

<sup>18</sup> Ovo je jedna od mogućih podela tipova skladišta zemnog gasa.

letnjem periodu. d) Strateška skladišta namenjena su da osiguraju dovoljne količine gasa u slučaju značajnijih većih prekida u procesu snabdevanja, koji su prouzrokovani tehničkim problemima (kvarovima na cevovodnom sistemu, na kompresorskim stanicama...) ili problemima u međunarodnom transportu i distribuciji.<sup>19</sup> Gas iz tih skladišta može da se ne upotrebljava godinama, koristi se samo u izuzetnim vanrednim (posebnim) situacijama. e) Proizvodna skladišta gasa jesu skladišni kapaciteti koji se nalaze u blizini gasnih proizvodnih polja. Najčešće se posmatraju kao deo proizvodnog segmenta same eksploatacije. Njihova funkcija je da obezbede konstantno željenu isporuku ovog energenta prema tržištu, ublažavajući neravnomernost u procesu njegove proizvodnje i isporuke. Njihovom upotrebom osigurava se potrebna količina gasa za isporuku prema potrošačima. U osnovi, njihova svrha je da obezbede sigurnu i pouzdanu potrebnu količinu gasa za dalji distributivni sistem (gasovod, prema postrojenjima za utečnjavanje...) u svakom trenutku.

Sa aspekta snabdevenosti tržišta zemnim gasom i njegovog skladištenja, posebno mesto, ulogu i značaj imaju neki tipovi podzemnih skladišta zemnog gasa u gasovitom agregatnom stanju i skladišta za tečni zemni gas.

### **1.3. Osnovna obeležja i karakteristike nekih značajnijih metoda skladištenja zemnog gasa u funkciji realizacije pouzdanog snabdevanja tržišta**

„Usklađivanje sezonskih vršnih opterećenja u potrošnji gasa može se, ali u veoma malom iznosu, regulisati promenama proizvodnje i eksploatacije gasnih ležišta. Dnevna kolebanja mogu da se delimično ublaže promenom pritiska u distributivnoj mreži, ali u zimskom periodu, kada je najkritičnije sa potrošnjom gasa, to je vrlo teško ostvarivo rešenje za višednevna vršna opterećenja.“<sup>20</sup> Obezbeđivanje sigurnog i pouzdanog snabdevanja gasom u značajnoj meri se postiže upotrebom skladišta. Jedna od najznačajnijih uloga skladišta jeste da vrši uravnoteženje sezonskih kolebanja potražnje i smanjenja vršnog opterećenja cevovodnog sistema. Skladišta imaju važnu ulogu u povećanju fleksibilnosti i sigurnosti snabdevanja ovim energentom.

U cilju sigurnog snabdevanja gasom potrošača, posmatrano sa aspekta svoga mesta u logističkom lancu i njihovog vremenskog radnog intervala, koriste se različiti tipovi skladišta: proizvodna, distributivna, dnevna, vršna, sezonska, strateška.... Svako od ovih skladišta ima svoje značajno mesto i ulogu u sigurnom snabdevanju zemnim gasom tržišta i potrošača.

Danas se u svetu, da bi se rešile realne i praktične potrebe vezane za sezonsko prilagođavanja potrošnje i dopreme zemnog gasa, ali i uravnotežnje fluktracije u dnevnoj i satnoj potrošnji, kao najefikasniji način koristi funkcija skladištenja, kao segment logističkog lanca ovog energenta od mesta proizvodnje do krajnjeg potrošača. Ovoga trenutka, na početku XXI veka, na ovom stepenu dostignutog tehničko-tehnološkog razvoja i rešenjima vezanim za skladištenje zemnog gasa a uslovljeno ekonomskom cenom isplatljivosti realizacije ove aktivnosti u praksi, svi najznačajniji metodi mogu se uslovno svrstati u dve grupe. Reč je o oblicima i metodama odlaganja zemnog gasa u:

- 1) podzemnim skladištima i
- 2) kriogenim skladištima.

#### **1.3.1. Podzemno skladištenje zemnog gasa**

Kao jedna od najznačajnijih tehničko-tehnološki mogućih aktivnosti u iznalaženju optimalnog rešenja, sa aspekta velikog obima količine uskladištenja zemnog gasa i relevantnih ekonomskih faktora, danas se u svetu primenjuju tehnike njegovog odlaganja u podzemna

<sup>19</sup> Problemi mogu biti na polju međunarodne trgovine, distribucije... iz političkih razloga, zbog sukoba i ratova...

<sup>20</sup> Bauk, A., *Podzemno skladištenje plina*, INA Naftaplin, Zagreb, 2003, str. 14.

skladišta. Podzemna skladišta gasa su strateški interes svake zemlje. Podzemna skladišta gasa u gasovitom agregatnom stanju imaju posebno, izuzetno značajno mesto i ulogu u snabdevanju tržišta. U prvom redu, u ovom tipu skladišta odlažu se velike količine zemnog gasa.

Podzemna skladišta imaju ulogu da obezbede uskladištenje trenutnog viška proizvedenog sopstvenog i uvoznog gasa koji se javlja u nekom vremenskom intervalu. Ona treba da obezbede sigurnost u snabdevanju, u slučaju nesklada koji može se da javi između potrošnje gasa sa jedne strane i optimalne proizvodnje domaćeg i uvezenog gasa, sa druge strane. Funkcija skladišta je i da pruže sigurnost u snabdevanju potrošača u vreme havarija, da eliminišu sezonske devijacije proizvodnje i potrošnje gasa, da pokrivaju vršnu potrošnju gasa, da eliminišu sezonski karakter potrošnje gasa, da omogućće optimalno korišćenje tranzitnog i transportnog kapaciteta gasovodnog sistema... Istovremeno, skladišta gasa doprinose eliminisanju troškova koji nastaju kao posledica ugovorenih a nepreuzetih i netranzitivnih količina uvezenog gasa, troškova zakupa uskladištenja u nekoj drugoj zemlji... Takođe, primenom skladišta u logističkom lancu zemnog gasa u potpunosti će biti zaokružen osnovni tehnološki koncept gasovodnog sistema (proizvodnja, transport, distribucija), omogućće se njegovo efikasnije funkcionisanje, obezbediti sigurnije snabdevanje tržišta zemnim gasom (velikih strateških potrošača, grada, oblasti, države, regiona)...<sup>21</sup>

Kada je reč o rešenjima za odlaganje ovog gasa u podzemna skladišta, sa aspekta vremenskog dejstva njihove namene, ona se najčešće koriste sa ciljem uspešnog regulisanja dužih vremenskih intervala uskladištenja ovog energenta. U prvom redu, reč je o uskladištenju gasa sa ciljem pružanja optimalnih rešenja za probleme koji se javljaju na poslovnom polju, vezano za pitanja strateškog, sezonskog i višednevnog problema u neravnomernosti potrošnje gasa.

Posebnu funkciju, mesto, razlog, namenu, ugao posmatranja, poslovnu filozofiju, položaj i aspekt imaju podzemna skladišta u nadležnosti proizvođača (proizvodna skladišta), trgovaca i firmi koje se specijalizovano bave skladištenjem zemnog gasa.

Opšta uslovna podela i klasifikacija podzemnih skladišta gasa u geološkim formacijama, najčešće se vrši na: a) skladišta u pornim i b) skladišta u nepornim sredinama. Grupu skladišta u pornim stenama obuhvataju: iscrpljena ležišta energenata (gasa, nafte), vodonosni slojevi (sa prirodnom zamkom, sa veštačkom zamkom) i ležišta negorivog gasa (N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>S). Skladišta u nepornim stenama grade se u: postojećim rudničkim prostorijama (okna, hodnici, tuneli), specijalnim rudničkim prostorijama (u kamennoj soli, stabilnim stenama, nestabilnim stenama) i prirodnim prostorijama (kaverne, pećine...).

Karakteristični parametri vezani za podzemna skladišta zemnog gasa jesu: a) radni volumen, b) potisni gas (gasni jastuk), c) obim crpljenja, d) vreme potrebno za upumpavanje/povlačenje gasa iz skladišta...<sup>22</sup> a) Radni volumen<sup>23</sup> (kapacitet, radni gas) jeste maksimalni volumen gasa koji se može iscrpiti iz punog skladišta. Reč je o količini gasa koja se u toku godine može više puta upumpati u konkretno skladište i povlačiti iz konkretnog skladišta. Od volumenskih karakteristika i visine maksimalnog dozvoljenog pritiska u ležištu zavisi i količina gasa koji se može uskladištiti. Što je veći dozvoljeni maksimalni pritisak, i korisna količina u skladištu se povećava. Kod iscrpljenih ili delimično iscrpljenih gasnih ležišta, maksimalno dopušteni pritisak jednak je početnom ležišnom pritisku (koji je vladao i na početku eksploatacije) uvećanom za pritisak proboja.<sup>24</sup> b) Gasni jastuk (potisni gas) održava minimalni potreban pritisak u skladištu kako bi crpljenje gasa iz njega bilo moguće. To je gas koji ostaje u gasnom ležištu i ne može se iz njega izuzimati u normalnom funkcionisanju skladišta. U situaciji kada se kao podzemno skladište želi da upotrebi iscrpljeno gasno ili naftno ležište, neophodni gasni jastuk se prvo formira utiskivanjem potrebne količine gasa radi postizanja potrebnog pritiska u skladištu.<sup>25</sup>

<sup>21</sup> Prema tekstu „Spremno podzemno skladište u Banatskom Dvoru...“, *Dnevnik*, 4. 9. 2006.

<sup>22</sup> Simon, K., *Skladištenje i potrošnja energenata, skladištenje prirodnog plina i nafte*, RGNF, Zagreb, 2010, str. 13.

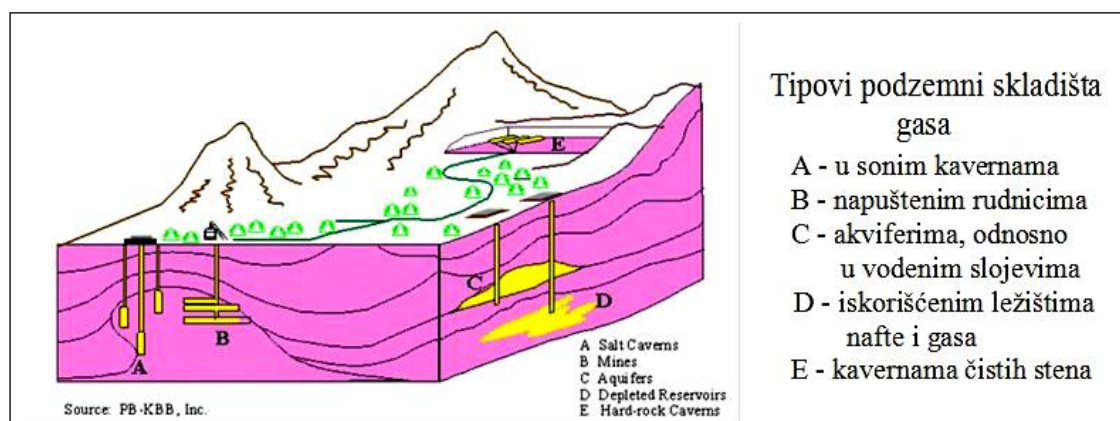
<sup>23</sup> eng. working gas capacity

<sup>24</sup> Pritisak proboja se određuje laboratorijski, na uzorku mase tla dobijene bušenjem tokom izrade bušotine.

<sup>25</sup> Danas se sve češće prilikom formiranja novih skladišta umesto zemnog gasa utiskuju CO<sub>2</sub>, azot, gasovi sagorevanja.

c) Obim crpljenja je količina gasa koja se može izuzeti (povući) iz skladišta u određenom vremenskom intervalu. Ova vrednost je konstantna tokom rada skladišta dok se u njemu nalaze uskladištene velike količine gasa, ona se smanjuje kada dođe do značajnog pada pritiska u skladištu. d) Obim utiskivanja gasa jeste količina zemnog gasa koja se može uskladištiti (utisnuti, upumpati) u skladište u jedinici vremena. Količina gasa koja se može „upumpati“ smanjuje se povećanjem popunjenosti ležišta. e) Vreme rada skladišta jeste odnos između radnog volumena (kapaciteta) i obima crpljenja ili radnog volumena i obima utiskivanja. On posredno pokazuje efekat i učinak instalisanih postrojenja.<sup>26</sup>

U svetu je prvo podzemno skladište gasa počelo sa radom u Kanadi 1915. godine u mestu Ontario.<sup>27</sup> Sledeće skladište pušteno je u rad u SAD, u mestu Bufallo<sup>28</sup>, samo godinu dana kasnije, sa funkcijom da se u letnjem periodu višak gasa u njega utiskuje, a izuzima u zimskim mesecima. Kompanija *Deutsche Erdol AG* 1916. godine patentirala je izradu bušotina u solnim kavernama za skladištenje sirove nafte i destilata, čija se osnovna tehnologija kasnije koristila i za izradu gasnih skladišta. Godine 1950. u SAD je na polju Keyston (Texas) prvi put uskladišten kondenzat u hemijski obrađenim solnim kavernama. Samo godinu dana kasnije, u Marysvillu (Michigan), prvi put je zemni gas uskladišten u kavernama u naslagama soli. Sedamdesetih godina XX veka, izgrađeno je u SAD skladište za gas, tipa kaverne, postupkom otapanja soli u solnoj domi.



Slika 3.4. Blok-dijagram tipova podzemnih skladišta gasa<sup>29</sup>

Najznačajnije metode podzemnog skladištenja gasa u funkciji snabdevanja potrošača jesu:<sup>30</sup> 1. u delimično iscrpljenim ležištima (gasa i nafte), 2. u akviferima, 3. u solnim kavernama i 4. u ostalim geološkim oblicima podzemlja (slike 3.4. i 3.5).<sup>31</sup> Podzemna skladišta zemnog gasa, u geološkim formacijama, najčešće se nalaze u iscrpljenim ležištima (gasa i nafte) ili u akviferima.

**1. Skladištenje zemnog gasa u delimično iscrpljenim ležištima gasa i nafte.** Najčešće se formiraju skladišta gasa u pornom prostoru geoloških formacija. Ova skladišta se formiraju u poroznim slojevima koji imaju određeni strukturalni oblik.<sup>32</sup> Antiklinalna forma poroznog sloja, kao i zatvaranje poroznog sloja putem raseda – nepropusne barijere, čini da porozni sloj ima oblik zamke, zatvorenog suda, u kome se može obavljati uskladištenje gasa. Sam porozni sloj može da bude peščar, konglomerat ili raspucali krečnjak. Formiranje skladišta zahteva ispunjenje tri uslova: postojanje zamke određene geometrije, porozni sloj koji zadovoljava određene petrofizičke karakteristike i pokrovna stena koja je nepropusna (i omogućuje održavanje određenog pritiska u

<sup>26</sup> Različito je vreme rada. Neka skladišta imaju duže vreme rada (60–120 dana), dok je kod vršne potrošnje to vreme kraće (1 do 20 dana). Čak u nekim situacijama vršne potrošnje kod manjih skladišta vreme rada meri se satima.

<sup>27</sup> Vuković, D., *Podzemno skladištenje plina*, diplomski rad, RGNF u Zagrebu, Zagreb, 2011.

<sup>28</sup> Reč je o skladištu nastalom korišćenjem gasnog polja Zoar u mestu Buffalo, New York. Ono je i danas aktivno.

<sup>29</sup> Autor, prema Energi Information Administration – *The Basic of Undergroun Natural Gas Storage*

<sup>30</sup> Simon, K., *Skladištenje i potrošnja energenata, skladištenje prirodnog plina i nafte*, RGNF, Zagreb, 2010, str. 17.

<sup>31</sup> Opširnije se može videti u radu: *Current State of And Issues Concerning Underground natural Gas Storage*, Federal Energy Regulatory Commission, Staff Report, 2004.

<sup>32</sup> Prstojević, B. i dr., *Distribucija prirodnog gasa*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2005, str. 404–405.

sloju).<sup>33</sup> Najveći broj podzemnih skladišta koja se koriste za smeštaj zemnog gasa nastao je korišćenjem iscrpljenih ležišta gasa i nafte. Najpogodnija za pretvaranje u podzemna skladišta gasa jesu: gasna ležišta, zatim gasno-kondenzatna (koja su nešto nepogodnija) i naftna ležišta.<sup>34</sup> Realizacija pretvaranja naftnih ležišta u skladišta gasa je teža i vezana je u prvom redu za probleme dvofaznog protoka.<sup>35</sup> Danas je u svetu u upotrebi blizu 500 skladišta koja su nastala u prostoru iscrpljenih geoloških formacija ležišta gasa i nafte.

**Skladišta gasa u gasnim ležištima.** Gasna ležišta iz kojih je iscrpljen zemni gas najčešće se koriste u funkciji skladištenja ovog energenta. Bivša ležišta gasa su najčešće najpogodnija za izgradnju skladišnih kapaciteta. Aktivnost prevođenja gasnog ležišta obavlja se posle jednog perioda proizvodnje gasa iz njega. Skladišta koja se formiraju od gasnih ležišta imaju manji skladišni kapacitet u odnosu na ležište gasa (50–55%). Gas se iz podzemnih skladišta eksploatiše (crpi) brže nego za vreme njegovog proizvodnog eksploatacionog režima.<sup>36</sup> Ovo zahteva da skladišta gasa imaju veći broj bušotina i nadzemnih instalacija većeg kapaciteta u odnosu na vreme kada je ležište bilo gasno polje da bi se obezbedio dovoljan kapacitet isporuke gasa iz skladišta, ali i za utiskivanje gasa u njega.<sup>37</sup> Upotreba ovih ležišta za skladište ima niz prednosti: niže troškove gradnje, dobro poznate karakteristike skladišta u koji se utiskuje gas, u njima je već bio zemni gas, postojanje već nekih segmenata potrebne tehničke infrastrukture za formiranje skladišta<sup>38</sup>... Potrebno je napomenuti da svako iscrpljeno gasno ležište nije uvek adekvatno i pogodno za funkciju skladišta. Sagledavanje potencijala ležišta u funkciji budućeg skladišta zemnog gasa obuhvata analizu njegovih prednosti i nedostataka vezanih za faktore: a) nepropustljivosti ležišta; b) veličine ležišta; c) svojstva ležišta; d) snage akvifera; e) prisutnosti kondenzata u ležišnom gasu, f) udaljenosti ležišta od tržišta; g) dubine zalaganja i nivoa ležišnih pritisaka tipa i veličine poroznosti i propusnosti; h) energetskog režima; i) svojstva fluida...

a) Nepropusnost ležišta predstavlja sagledavanje mogućih promena u geološkim formacijama skladišta čiji rezultat meže biti gubitak gasa u ležištu. Uzrok gubitka gasa u podzemnom skladištu može da bude: frakturiranje stena zbog povećanja pritiska, prodor gasa u susedne geološke formacije, oslabljene veze između cementnog materijala i zaštitnih cevi kolone... b) Veličina ležišta je ograničena njegovim geološkim parametrima. Optimalno bi bilo da je skladište dovoljno veliko za radni volumen i gasni jastuk. U situaciji da je ležište veće od potrebnog volumena, neophodna je znatno veća količina potisnog gasa, što projekat skladišta čini manje ekonomski opravdanim. c) Svojstva ležišta, pored značajnih karakteristika vezanih za propusnost, debljinu ležišta, šupljikavost... koji utiču na ponašanje skladišta, ona imaju uticaj na brzinu kretanja gasa prema ležištu i unutar njega. d) Snaga akvifera je ona veličina pritiska koja je posledica dejstva prisustva vode koja se može nalaziti u nekim od ležišta gasa.<sup>39</sup> U ležištima u kojima se nalazi voda ispod gasa, ona se širi unutar ležišta. U nekim slučajevima, pod dejstvom pritiska, voda se probija do proizvodnih bušotina kroz gasni jastuk, što može prouzrokovati gušenje bušotine. e) Prisutnost kondenzata u ležištima gasa javlja se u nekim situacijama kod ležišta mokrog gasa, gde zbog snižavanja pritiska dolazi do odvajanja kondenzata koji ostaje

<sup>33</sup> Nepropusne krovinske stene omogućile su formiranje i očuvanje naftnih i gasnih ležišta.

<sup>34</sup> Opširnije o izboru ležišta, projektovanju i izgradnji skladišta gasa u gasnom ležištu videti u radu: Bauk, A., *Podzemno skladištenje plina*, INA Naftaplin, Zagreb, 2003, str. 35–98.

<sup>35</sup> Tako da se ona u praksi ređe pretvaraju u skladišta zemnog gasa.

<sup>36</sup> U toku procesa proizvodnje, iz ležišta gasa se godišnje crpi od 3 do 5% rezervi kojima raspolaže ležište. Kad to ležište služi kao skladište, iz njega se najčešće, ako je reč o sezonskom skladištu, u toku jedne sezone (nekoliko meseci) iscrpi od 40 do 60% uskladištenog gasa.

<sup>37</sup> Opširnije može da se vidi u radu: Голянов, А. И., *Газовые сети и газохранилища*, Уфа, монографија, 2008.

<sup>38</sup> Opširnije o podzemnim skladištima videti u radu: Казарян, В. А., *Подземное хранение газов и жидкостей*, Москва, Ижевск, 2006.

<sup>39</sup> Veliki broj podzemnih gasnih skladišta ne sadrži vodu, i u tom slučaju se ponašaju kao rezervoar u kome je pritisak proporcionalan količini gasa unutar skladišta.

unutar ležišta. Prilikom izuzimanja gasa iz skladišta, deo kondenzata i vode (ako je prisutna) izlazi zajedno sa gasom i neophodno je njegovo odstranjivanje primenom različitih metoda i sistema.

**Skladištenje gasa u naftnim ležištima.** Sa tehnološko-tehničkog aspekta, kod izgradnje i primene naftnih ležišta za skladištenje zemnog gasa, jedan od najznačajnijih činilaca i parametara jeste da li ta ležišta poseduju ili ne poseduju gasni jastuk. Najčešće, u onim varijantama kada se koriste naftna ležišta za skladištenje zemnog gasa, koriste se ona ležišta kod koji je već prisutna gasna kapa unutar njih. Ta gasna kapa u samom ležištu služi za skladištenje zemnog gasa. Sama gasna kapa u ležištu može biti: primarna ili sekundarna. Sekundarna gasna kapa se formirala u procesu crpljenja nafte. U situaciji kad naftna ležišta imaju gasnu kapu, ona se tehnološki ponašaju slično ležištima zemnog gasa koja se koriste u funkciji skladištenja zemnog gasa. S druge strane, takođe u funkciji skladišta zemnog gasa mogu da se koriste i naftna ležišta koja nemaju gasnu kapu. Tehnologija prevođenja takvih naftnih ležišta u namenu skladištenja gasa zahteva potpunu zamenu nafte gasom u samom ležištu. U praksi to znači da se prvo potpuno mora iscrpiti nafta iz ležišta, a tek nakon toga pristupiti uskladištavanju zemnog gasa. Realizacija ove aktivnosti prevođenja naftnih ležišta u skladišta zemnog gasa, kod onih ležišta koja ne poseduju gasni kapu, može da traje i više godina. U realizaciji ove aktivnosti neophodan je visok stepen stručnosti i pažnje u formiranju ovog tipa skladišta. Nije obavezno pravilo da će se visina pritiska koja je bila u ležištu dok se u njemu nalazila nafta, moći postići kada se ono bude stavilo u funkciju skladišta gasa. Uvek u praksi nije moguće ostvariti isti pritisak u naftnom ležištu kada se u njega utiskuje zemni gas jer može da dođe do prodora (proboja) gasa iz jednog naftnog ležišta koje se koristi kao skladište u neko dugo ležište unutar samog naftnog polja. Zbog toga je praktikovanje formiranja samog skladišta gasa u starim naftnim ležištima relativno riskantno i opasno. U tom slučaju, ne postoji potpuna sigurnost da će se proces prevođenja ležišta realizovati uspešno.

**2. Skladištenje zemnog gasa u akviferima.** Aktivnost izgradnje podzemnih skladišta za zemni gas može da se realizuje, pored njihovog formiranja u iscrpljenim ležištima (gasa i nafte), i u vodonosnim slojevima, akviferima.<sup>40</sup> Stvaranje podzemnih skladišta gasa u vodonosnim slojevima složen je naučno-tehnički zadatak.<sup>41</sup> Realizacija ove aktivnosti sprovodi se procesom istiskivanja vode iz vodonosnog sloja. Formiranje ovog tipa skladišta izvodi se u geološkim zamkama. Sam proces izgradnje skladišta zemnog gasa u akviferima sprovodi se u više koraka. Najvažnija etapa je pronalaženje sloja koji može da primi i dozvoljno dug period skladišti, a kada je potrebno, ispusti, utisnuti (upumpani) gas koji se nalazi uskladišten u njemu.<sup>42</sup> Ovo predstavlja osnovni problem u izgradnji skladišta u akviferima jer je teško naći geološku strukturu čiji oblik, karakteristike sloja (geometrijski parametri i petrofizičke karakteristike), hermetičnost krovne i druge karakteristike omogućuju izgradnju skladišta sa prihvatljivim troškovima izrade.<sup>43</sup>

Kod izgradnje ovog tipa skladišta potrebno je precizno utvrditi izolatorske sposobnosti pokrovnih stena i slojeva, a neophodno je i uraditi test upumpavanja gasa u ležište jer maksimalni pritisak u akviferu mora da bude veći od početnog ležišnog pritiska kako bi se gas mogao upumpati (utisnuti) u akvifer. Realna tehnološka potreba velikog radnog pritiska za realizaciju aktivnosti utiskivanja gasa u ležište neminovno uslovljava i dodatne više zahteve u rešavanju problema vezanih za tehničko-konstrukciona pitanja, instalacionu opremu skladišta... ali i samog cementiranja bušotine.<sup>44</sup>

Samo pretvaranje takvog ležišta vode (akvifera) u skladište gasa zahteva prethodno upumpavanje (utiskivanje) gasnog jastuka<sup>45</sup>, koji će omogućiti veće iskorišćenje radnog obima

<sup>40</sup> Akviferi su ležišta vode u Zemljinoj kori pogodna za skladištenje zemnog gasa.

<sup>41</sup> Detaljno sagledavanje procesa izgradnje podzemnog skladišta u akviferima može se videti u radu: Vasiljević, M., *Skladištenje plina u aquiferima*, RGNF, Zagreb, 1995.

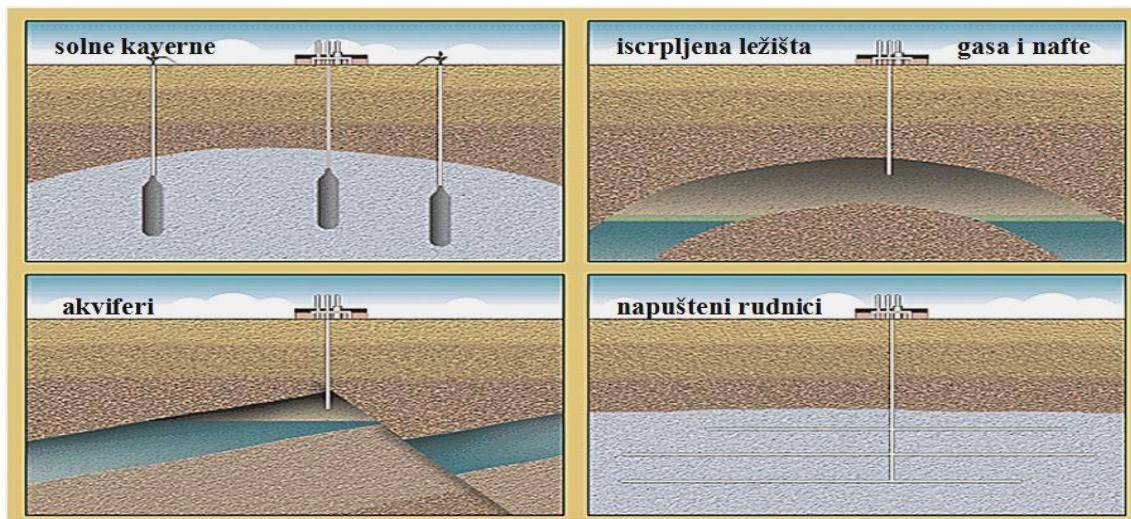
<sup>42</sup> Jovičić, D., *Gasno ležište Itebej „g3“ u funkciji podzemnog skladišta gasa*, magi. rad, RGF, Beograd, 2009. str. 12.

<sup>43</sup> Prstojević, B. i dr., *Distribucija prirodnog gasa*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2005, str. 405.

<sup>44</sup> Simon, K., *Skladištenje i potrošnja energenata, skladištenje prirodnog plina i nafte*, RGNF, Zagreb, 2010, str. 20.

<sup>45</sup> Realizuje se aktivnost inektiranja, utiskivanje gasa i potiskivanje vode.

skladišta povećanim tempom, bez bojazni od prodora vode u skladište u završnoj fazi ciklusa crpljenja. Obim (volumen) gasnog jastuka može biti i 50% radnog obima skladišta, što predstavlja značajna početna finansijska ulaganja.<sup>46</sup> Izgradnja ovog tipa podzemnog skladišta zemnog gasa karakteriše veliko investiciono ulaganje. Pretvaranje akvifera u skladište gasa, u odnosu na skladištenje u delimično iscrpljenim ležištima, ekonomski je nepovoljnije.



Slika 3.5 Osnovne mogućnosti podzemnog skladištenja zemnog gasa u gasovitom stanju<sup>47</sup>

„Prednost skladišta u akviferima, nad skladištima izvedenim u delimično iscrpljenim gasnim ležištima je što se ona mogu izvesti na širem području, jer je zastupljenost vodonosnih slojeva i mogućnost otkrivanja većeg broja lokacija sa povoljnim oblikom strukture, mnogo veća od prisutnog broja postojećih gasnih ležišta.“<sup>48</sup> U poređenju ovog tipa skladišta zemnog gasa u akviferima sa skladištem u delimično iscrpljenom gasnom ležištu, ova skladišta su skuplja jer za njihovu izradu treba investirati i gas koji se utiskuje u vodonosni sloj za istiskivanje vode iz sloja i za formiranje potrebnog gasnog jastuka. Gasni jastuk predstavlja pufer između dotoka vode i radnog gasa, gasa koji se utiskuje i istiskuje, i on održava određenu vrednost pritiska u skladištu.

Gasni jastuk obuhvata veliku količina gasa, koji ostaje u ležištu nakon proizvodnog ciklusa radi sprečavanja zavodnjavanja bušotine. Postupak utiskivanja gasnog jastuka jeste spor proces što dodatno povećava troškove izgradnje skladišta. Za realizaciju izgradnje skladišta zemnog gasa u akviferima u odnosu na gasna ležišta treba i više vremena i njihova izgradnja je skuplja. Pokušaj zamene zemnog gasa u gasnom jastuku inertnim gasovima (azotom ili ugljen-dioksid) smanjuje investicione troškove izgradnje skladišta, ali istovremeno poskupljuje obradu zemnog gasa pri transportu potrošačima. Danas u celom svetu ima oko stotinu ovakvih skladišta zemnog gasa u akviferima. Trenutno, jedno od najvećih skladišta zemnog gasa ovog tipa u svetu jeste Chemery u Francuskoj, kapaciteta  $3,5 \times 10^9 \text{ m}^3$ .

**3. Skladištenje zemnog gasa u solnim kavernama (pećinama).** One zemlje koje nemaju „adekvatne mogućnosti za formiranje skladišta u poroznim geološkim formacijama iscrpljenih ležišta, a raspolazu realnim potencijalom, grade kaverne u ležištima soli i u njima skladište gas (Slika 3.6). Gas se može uskladištiti u gasovitom agregatnom stanju ili u tečnom stanju kao mešavina tečnih naftnih gasova.“<sup>49</sup> Sama so kao materija raspolaze sa nekoliko bitnih karakteristika koje je čine veoma pogodnom za skladištenje zemnog gasa. Srednje je čvrstoće i teče plastično, što omogućava zaptivanje pukotina kroz koje bi gas mogao da istiche (curi) iz skladišta. Obeležje soli kao materijala, vezano za parametre šupljikavost i propusnost, sa aspekta

<sup>46</sup> Bauk, A., *Podzemno skladištenje plina*, INA Naftaplin, Zagreb, 2003, str. 99.

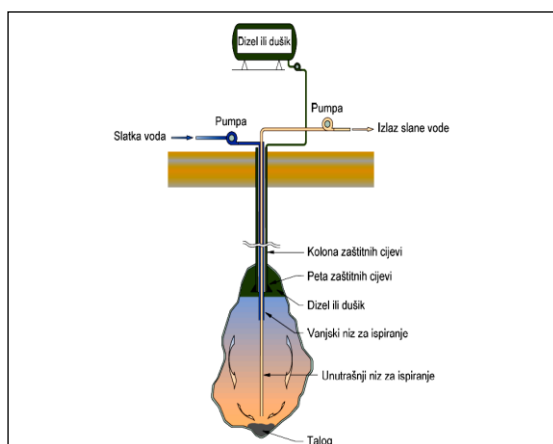
<sup>47</sup> Autor, na osnovu velikog broja radova.

<sup>48</sup> Prstojević, B. i dr., *Distribucija prirodnog gasa*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2005, str. 405.

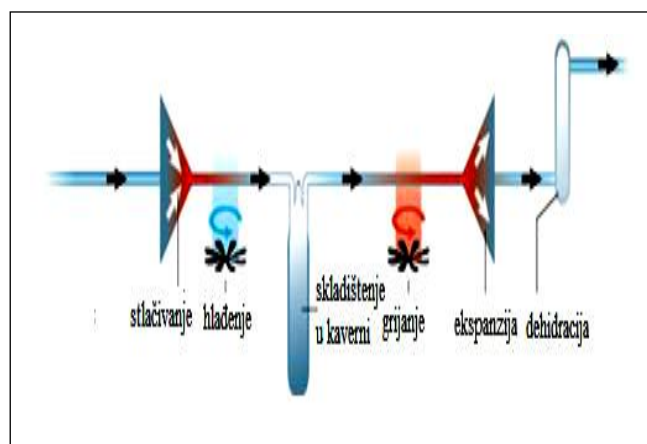
<sup>49</sup> Bauk, A., *Podzemno skladištenje plina*, INA Naftaplin, Zagreb, 2003, str. 128–138.

skladištenja i zadržavanja gasa i tekućih ugljovodonika neosporno je na izuzetno visokom nivou (propusnost je gotovo jednako nuli), tako da ona sprečava gubljenje gasa iz kaverne.<sup>50</sup> Kod ovog tipa skladišta, za vreme eksploatacije uglavnom nema pada pritiska u ležištu, kao posledica proticanja zemnog gasa kroz pore koje se često javlja kod skladišta koja se grade u iscrpljenim ležištima gasa i nafte.

Formiranje (izgradnja) solne kaverne nastaje ispiranjem (otapanjem) soli vodom uz primenu rudarskih tehnologija. Obim kaverne koji se može formirati (napraviti) zavisi od debljine solnog nivoa i njegove homogenosti. Procesom izluživanja (ispiranja) soli u povoljnim uslovima, formira se kaverna koja najčešće ima geometrijski oblik boce ili kruške. Proporcionalni odnos prečnika i visine kaverne u praksi veoma često je u iznosu 1:3 ili 1:2.<sup>51</sup> Sama stabilnost kaverne zavisi od njenog oblika, visine, volumena, maksimalnog i minimalnog dopuštenog radnog pritiska skladišta. Visina maksimalnog dozvoljenog pritiska gasa u skladištu uslovljena je čvrstoćom pokrovnog sloja kaverne. Maksimalni pritisak mora biti manji od slojnog pritiska i od pritiska frakturiranja soli. U kavernama koje se nalaze na dubini između 1000 i 1500 metara, zemni gas se skladišti na pritisku između 60 i 160 bara. Zbog stabilnosti kaverne kao skladišta, u njoj uvek mora da postoji minimalan pritisak gasa. Minimalni pritisak gasa mora uvek da se održava u skladištu. U zavisnosti od osobina kaverne, minimalan pritisak skladišta najčešće iznosi 20 do 35% od ukupne vrednosti maksimalnog pritiska. Zbog neophodnosti postojanja relativno male vrednosti minimalnog pritiska u kaverni, najčešće se radna zapremina skladišta gasa kreće u iznosu od 65 do 80% od zapremine kaverne.<sup>52</sup>



Slika 3.6. Podzemno skladište u kaverni<sup>53</sup>



Slika 3.7. Proces skladištenja gasa u kaverne<sup>54</sup>

U kori zemlje mogu da se nađu strukture soli koje su izmešane sa drugim tipovima stena, a takve akumulacije najčešće sadrže anhidrite, vanence i dolmonite koji nisu topivi sa vodom u procesu izgradnje kaverne. Najpogodnija ležišta za formiranje skladišta jesu solne dolme. Solne dolme su homogenije, lakše se otapaju i mogu sadržati veće kaverne. Potrebno vreme za izgradnju skladišta zavisi u prvom redu od topivosti same soli i volumena kaverne koji se nastoji formirati u procesu izgradnje skladišta. U praksi, izgrađene kaverne u solnim dolmama, s ciljem da se u njima skladišti zemni gas, mogu biti visoke nekoliko stotina metara i prečnika između 50 i 80 metara. Volumen takvih kaverni u solnim dolmama kreće se najčešće u rasponu od 250.000 do 700.000

<sup>50</sup> Prva skladišta u solnim kavernama izgrađena su početkom pedesetih godina XX veka u SAD. Prvi put, u Evropi, solne kaverne za skladištenje gasa sa geometrijskim karakteristikama od 40.000 m<sup>3</sup>, koristile su se u Nemačkoj 1966.

<sup>51</sup> U praksi to znači da kaverna visine od 100 m može da ima geometrijsku zapreminu od oko 220.000 do 250.000 m<sup>3</sup>.

<sup>52</sup> U nekim slučajevima radna zapremina skladišta se kreće u rasponu od 50 do 80%.

<sup>53</sup> Izvor: više različitih stručnih radova.

<sup>54</sup> Izvor: Nuon Energy N.V., Vuković, D., *Podzemno skladištenje plina*, dip., RGNF u Zagrebu, Zagreb, 2011, str. 17.



m<sup>3</sup>, za razliku od onih kaverni za skladištenje gasa koje se formiraju u naslagama soli (halita) i imaju manju prostornu zapreminu koja se kreće između 100.000 i 300.000 m<sup>3</sup>.<sup>55</sup>

Realizacija procesa skladištenja zemnog gasa u solne kaverne ostvaruje se kroz procese upumpavanja (utiskivanja) gasa u kavernu, smeštaj u kavernu i iskladištenje (ispumpavanje, povlačenje). Kod sprovođenja upumpavanja zemnog gasa u skladište, gas se sabija, hladi i zatim skladišti (Slika 3.7). Prilikom aktivnosti isporuke gasa iz skladišta, gas se prvo greje, ekspanira i prolazi kroz proces dehidracije.

Skladištenje gasa u solnim kavernama veoma je pogodno za regulisanje dnevne neravnomernosti potrošnje, a zbog mogućnosti isporuke velikih količina gasa u kratkom periodu prikladni su u funkciji obezbeđivanja rezervnih količina za sistem snabdevanja gasom. Ova skladišta najčešće se koriste za regulisanje dnevnih neravnomernosti u trajanju do 30 dana.<sup>56</sup> Skladišta ovog tipa geološkog tehničko-tehnološkog rešenja omogućavaju brzu promenu samog režima rada skladišta u procesu upumpavanja ili crpljenja zemnog gasa iz njega<sup>57</sup>, u roku od nekoliko minuta, pri visokom radnom kapacitetu.<sup>58</sup> Ovaj parametar je izuzetno značajan za ostvarivanje stabilnosti snabdevanja potrošača kod dinamičnih odstupanja u kratkom vremenskom periodu isporuke gasa. Reč je o učestalim velikim „pikovima“ koji se javljaju u situacijama dnevne vršne potrošnje (uravnotežnje fluktuacije u dnevnoj i satnoj potrošnji) ili povećane tražnje u periodu od nekoliko dana.

**4. Skladištenje zemnog gasa u drugim oblicima podzemnih rešenja.** Podzemna skladišta gasa mogu da se grade i u drugim različitim geološkim formama širokog spektra veoma različitih materijala, u odnosu na dosad prezentovane tipove skladišta (Slika 3.8). Nastajanja i formiranja skladišta realizuje se primenom veoma različitih pristupa, načina, tehnika i tehnologija u procesu njihove konkretne izgradnje. U zavisnosti od toga o kojem konkretnom tipu geoloških formacija i tehnika gradnje skladišta je reč, različite su tehnologije izgradnje i njihove eksploatacione karakteristike. Najčešće je reč o: različitim napuštenim rudnicima, o namenski kopanim kavernama u stenama...

Jedan od najčešćih načina gradnje skladišta koji pripadaju ovom segmentu jeste „izgradnja skladišta u rudarskim prostorima. Ona se realizuje nakon obavljene eksploatacije u rudnicima određene mineralne sirovine i u uslovima kada su sami zidovi rudarskih prostorija dovoljno čvrsti i omogućuju nepropusnost (curenje, isticanje) zemnog gasa, ili se nepropusnost zidova skladišta postiže naknadnim aktivnostima“.<sup>59</sup> Ovakav tip skladišta, korišćenjem napuštenih rudnika za zemni gas, prvi put je izgrađen u svetu 1952. godine. Reč je o napuštenom rudniku soli u blizini mesta Lawrenceburg (Indijana, SAD). U Evropi, 1970. godine prvi rudnik soli prilagođen je skladištenju gasa u blizini mesta Burggraf-Bensdora (Nemačka). Nekoliko godina kasnije, nakon izgradnje skladišta gasa u rudniku soli u Denveru (SAD), krenulo je korišćenje rudnika uglja u funkciji skladišta gasa (1959–2003). Ovaj pristup i tehnologija skladištenja gasa u rudnicima uglja u Evropi primenjen je u dva rudnika u Belgijskim Ardenima u periodu između 1975. i 2000. godine. Osnovni problem, koji se pokazao u eksploatacionom veku skladišta koja su izgrađena u rudnicima uglja, jeste nemogućnost obezbeđivanja visokog stepena zaptivenosti objekta, što prouzrokuje velike gubitke. Zato se, u prvom redu iz ovoga razloga, odustalo od ovakvog oblika skladištenja gasa.<sup>60</sup>

U Češkoj su 1998. godine (Haje, u blizini Praga) izgrađena dva skladišta u kavernama iskopanim u čvrstim granitnim stenama na dubini od 1000 metara. Tehnički posmatrano,

<sup>55</sup> Vuković, D., *Podzemno skladištenje plina*, diplomski, RGNF u Zagrebu, Zagreb, 2011, str. 15–18.

<sup>56</sup> Prstojević, B. i dr., *Distribucija prirodnog gasa*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2005, str. 403.

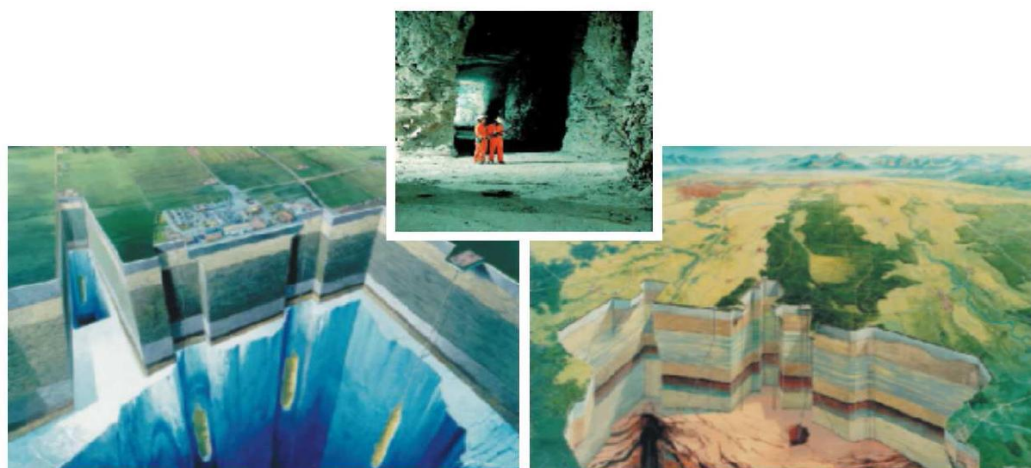
<sup>57</sup> Ova karakteristika čini ovaj tip skladišta izuzetno pogodnim kod potrebe za brзом promenom potrebne količine gasa koju treba isporučiti ili uskladištiti. Reč je o vršnim opterećenjima, havarijskim problemima...

<sup>58</sup> Simon, K., *Skladištenje i potrošnja energenata, skladištenje prirodnog plina i nafte*, RGNF, Zagreb, 2010, str. 20.

<sup>59</sup> Prstojević, B. i dr., *Distribucija prirodnog gasa*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2005, str. 404.

<sup>60</sup> Simon, K., *Skladištenje i potrošnja energenata, skladištenje prirodnog plina i nafte*, RGNF, Zagreb, 2010, str. 25.

napravljen je niz tunela ukupne dužine od 45 km, koristeći okno obližnjeg napuštenog rudnika urana za pristup. Posle zatvaranja rudnika, u izgrađene tunele se skladišti zemni gas. Ovo skladište ima radni volumen od oko pedeset četiri miliona kubnih metara gasa ( $54 \times 10^6 \text{ m}^3$ ). Početkom dvadeset prvog veka (2004), u Švedskoj je izgrađena kaverna u granitnoj steni, na dubini od 100 do 200 m. Ona je obložena čeličnom oblogom da bi se sprečilo nekontrolisano isticanje gasa iz skladišta. Radni volumen skladišta iznosi  $8,5 \times 10^6 \text{ m}^3$  zemnog gasa, a kapacitet  $960.000 \text{ m}^3/\text{dan}$  gasa.<sup>61</sup> Danas se u svetu analizira i razmatra veliki broj različitih mogućih novih tehničko-tehnoloških rešenja za uspešno i efikasno skladištenje gasa.<sup>62</sup> Realno, zajednička karakteristika svih ovih tipova skladišta zemnog gasa, koja pripadaju grupi posebnih rešenja skladištenja (u napuštenim rudnicima soli, uglja..., u granitnim stenama...) jeste da su najčešće manjeg kapaciteta i da se najčešće koriste za regulisanje dnevnih neravnomernosti u potrošnji i za manji broj dana.



Slika 3.8. Neki tipovi podzemnih skladišta konstruisanih u formacijama soli (levo), u napuštenim rudnicima (sredina) i u ležišnim stenama (desno)<sup>63</sup>

### 1.3.2. Kriogeno skladištenje gasa u funkciji pouzdanog snabdevanja

Primena tehnologije skladištenja zemnog gasa u tečnom agregatnom stanju relativno je nov pristup rešavanju ove aktivnosti u logističkom lancu zemnog gasa (Slika 3.9). Sprovođenje skladištenja zemnog gasa u tečnom stanju unutar logističkog lanca može da se realizuje: u procesu same proizvodnje (na kopnu ili moru), u podsistemima transporta (brod, voz, kamion) i skladištenja, distribucije, ili u fazi potrošnje.<sup>64</sup>

Metoda kriogenog skladištenja gasa bazira se na tehnološkom procesu prevođenja gasovitog zemnog gasa u tečno agregatno stanje. Osnovno obeležje ovog tehnološkog procesa jeste da se zemni gas prečisti a zatim utečni. Aktivnošću prečišćavanja odstranjuju se sve nečistoće koje se nalaze u zemnom gasu ( $\text{CO}_2$ , voda, azot...) da bi se dobio gotovo potpuno čist gas, metan. Tako prečišćen gas se postupkom postepenog snižavanja temperature lakše prevodi u tečno agregatno stanje na temperaturi od  $-162^\circ\text{C}$ . Utečnjen metan (tečni zemni gasa – TZG, engl. Liquefed Natural Gas – LNG) kao takav se skladišti u specijalno konstruisane i izgrađene skladišne sudove različitog tehničkog rešenja i kapaciteta. U takvim skladišnim prostorima ovaj gas se može čuvati u tečnom stanju na temperaturi od  $-162^\circ\text{C}$  dug vremenski period. Aktivnost realizacije uspešnog skladištenja utečnjenog metana počiva na izolacionim karakteristikama i svojstvima skladišnog prostora. Reč je o različitim specijalnim načinima, tehnikama i materijalima koji se koriste za

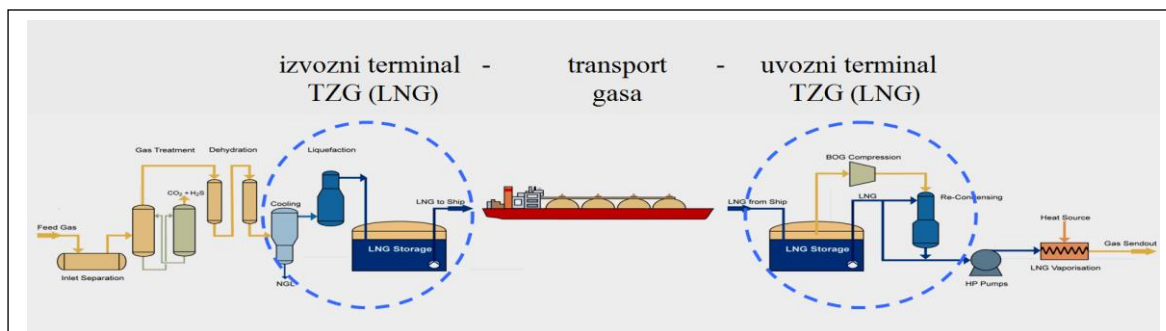
<sup>61</sup> Plat, H., *Undeground gas storge why and how*, 2009, str. 25–37.

<sup>62</sup> Jedna od mogućih varijanti jeste upotreba vapnenaških formacija za skladištenje gasa.

<sup>63</sup> Izvor: Bary, A. i dr., „Storing Natural Gas Undeground“, *Oilfield revies*, Summer, 2002.

<sup>64</sup> Opširnije o kriogenim skladištima tečnog zemnog gasa, u okviru četvrtog dela ovoga rada, u segmentima vezanim za transport gasa brodovima, rezervoarima, kavernama...

izradu i izolaciju skladišnog prostora. U vremenskom periodu kada je uskladišten gas, skladište za metan treba da ima što manji stepen isparenja i gubitka. Sudovi za skladištenje gasa u praksi mogu da budu veoma različiti po: veličini, obliku, tipu, tehničkom rešenju, nameni, materijalu od koga su izgrađeni, tehničkom principu rešenja pitanja izolacije, izolacionom materijalu koji se koristi, izgledu, funkciji u logističkom lancu, lokaciji u prostoru... Posmatrano iz jednog ugla, u zavisnosti od funkcije i namene, skladišne posude mogu da budu: stabilni skladišni rezervoari, rezervoari na transportnim prevoznim sredstvima (brodovi, kamioni, vozovi), palet tankovi, mobilne posude...



Slika 3.9. Mesta realizacije skladištenja gasa u okviru transportnog lanca TZG (LNG)<sup>65</sup>

Tečni zemni gas može da se skladišti u različitim segmentima i fazama, na putu od mesta proizvodnje do finalnog potrošača. Najčešće se u praksi metod prevođenja zemnog gasa u tečno agregatno stanje (LNG) koristi u funkciji da se velike količine gasa transportuju brodovima na velike prostorne distance. Reč je o jednom segmentu u okviru aktivnosti transporta gasa, na njegovom putu od mesta proizvodnje do krajnjeg potrošača. U ovakvoj konfiguraciji logističkog lanca, najčešće se gas koji se proizvede iz ležišta koje je na kopnu<sup>66</sup> cevovodom doprema do obale, gde se gas utečnjava na obalnim terminalima i skladišti u kriogena skladišta (rezervoare). Iz obalnih skladišta, prema željenoj dinamici isporuke robe, tečni metan se specijalnim pumpama i cevovodima doprema na brodove za transport gasa, koji se nalaze u posebnoj namenskoj luci za prihvatanje. Na samim brodovima se nalaze specijalno izrađeni rezervoari (skladišta) za LNG u koje se gas smešta. Tečan gas se brodovima transportuje na velika rastojanja do terminala za prihvatanje. Na samom terminalu za LNG, specijalno konstruisanim sistemom za pretovar brodova i cevovodom, gas se najčešće skladišti u prihvatnim skladištima za tečni gas, u kojima može biti uskladišten neograničeno dugo.<sup>67</sup> Iz skladišta, tečni gas se prema potrebi dalje otprema na različite načine. Najčešće se gas prevodi u gasovito stanje i cevovodnim sistemom transportuje direktno na tržište ili u podzemna skladišta. Takođe, tečni gas se može iz prihvatnih skladišta LNG na obali otpremiti dalje u tečnom agregatnom stanju: vozovima, kamionima, cevovodima<sup>68</sup>... u druga skladišta ili direktno potrošaču.

Realno posmatrano, sa aspekta skladišne aktivnosti velikih količina tečnog zemnog gasa, u funkciji logističkih podсистema transporta i skladištenja ovog energenta, danas u praksi značajno mesto imaju rezervoari u realizaciji njihova dva segmenta. Reč je o aktivnostima uskladištenja tečnog zemnog gasa, koja se realizuje u: 1. skladištima gasa koja se nalaze izgrađena u okviru LNG terminala (ili u neposrednoj blizini) i 2. skladištima (posudama) instaliranim na LNG brodovima.

<sup>65</sup> Autor, na osnovu prezentacije kompanije *GOC Engineering GmaH*.

<sup>66</sup> U slučaju da se ležište gasa nalazi na moru (udaljeno od obale), gas se može odmah utečnjavati u postrojenjima koja su na samoj platformi (u okviru bušotine, u neposrednoj blizini bušotine [ili u okviru gasnog polja] instalirane na platformama) ili na specijalnom brodu sa opremom za utečnjavanje. Tako utečnjen gas se skladišti u kriogene rezervoare i dalje se otprema LNG brodovima. U nekim slučajevima, gas koji se eksploatiše iz mora može da se transportuje podvodnim cevovodom.

<sup>67</sup> U većem broju slučajeva, gas se direktno prilikom istovara preko uređaja za isparavanje prevodi u gasovito stanje i direktno šalje u cevovodni transportno-distributivni sistem.

<sup>68</sup> Kad je reč o transportu cevovodima za tečni LNG, radi se o kraćim distancama, najčešće do drugih skladišta LNG.

**1. Skladišta tečnog zemnog gasa u stabilnim kriogenim rezervoarima.** Rezervoari u funkciji skladišnog prostora mogu biti izgrađeni i instalirani u okviru terminala za utečnjavanje i regasifikaciju zemnog gasa. Kriogena skladišta u sastavu terminala za utečnjavanje mogu biti instalirana na kopnu i na moru. Danas je u svetu znatno veća zastupljenost skladišta koja su izgrađena na obali u sastavu postrojenja za utečnjavanje i regasifikaciju. To je razlog što će u daljem delu ovoga rada fokus analize i prezentacije biti usmeren na njih. Prilikom izbora tipa skladišta i konstrukcijskog rešenja za svaki određen rezervoar, treba sagledati niz različitih parametara i činilaca: „primenjive norme, pravila i zakone; uslove lokacije; konstrukcione zahteve (dozvoljen pritisak, prodor toplote); spoljna opterećenja (vetar, sneg, zemljotres); bezbednosna pitanja (propuštanje skladišta, isticanje gasa, zaštita od požara); pitanja vezana za same temelje budućeg rezervoara (karakteristike tla, radovi na iskopavanju) i dodatna oprema (pumpe u rezervoarima, mogućnost pristupa rezervoaru).“<sup>69</sup> U odnosu na tlo, prema načinu izgradnje u prostoru, skladišta za tečni zemni gas mogu da se podele na<sup>70</sup>: a) nadzemna i b) podzemna.<sup>71</sup>

**Nadzemni rezervoar.** Reč je o skladišnim rezervoarima velikog volumena, koji mogu biti i preko 200.000 m<sup>3</sup>. To su specijalno izolovani skladišni sudovi. U njima se zemni gas skladišti u tečnom agregatnom stanju na temperaturi od -162°C. Oni su u svetu češće zastupljeni i u upotrebi od podzemnih skladišta.<sup>72</sup> Posmatrano prema tehničko-konstrukcionim rešenjima, nadzemni rezervoari mogu biti: skladišta sa jednostrukom, skladišta sa dvostrukom i skladišta sa potpunom zaštitom.<sup>73</sup> Nadzemna skladišta se brže grade, lakše održavaju... a cena njihove izgradnje je niža nego cena izgradnje podzemnih skladišta gasa.

**Podzemni rezervoari.** Imaju istu funkciju, namenu i tehnološki proces rada. Oni se grade ispod nivoa tla. Celokupan skladišni rezervoar za gas ukopan je ispod površine zemlje, adekvatno izolovan da obezbedi konstantnu temperaturu uskladištenja gasa od -162°C. Ukopani rezervoari mogu biti raspoređeni na manjem međusobnom rastojanju. Ovakav način izgradnje kriogenih skladišta za tečni zemni gas češće je u primeni na prostorima u kojima je izraženiji uticaj seizmičkih aktivnosti i nedostatak građevinskog prostora.<sup>74</sup>

**2. Skladišta tečnog zemnog gasa na brodovima.** Razvoj tehnologije izgradnje brodova doveo je od sedamdesetih godina XX veka do pojave brodova velike zapremine za transport tečnog zemnog gasa. Skladišni prostor (posuda) na brodu – tank, u kome se skladišti zemni gas za transport, mora da ispunjava sledeće karakteristike: „da sprečava mešanje gasa i vazduha, kao i gubitak tečnog gasa; da je toplotno izolovan kako bi se, u što većoj meri, sprečilo zagrevanje gasa, odnosno hlađenje trupa broda što povećava krtost čelika i može uzrokovati kolaps unutrašnje strukture broda; skladišni prostor mora biti dovoljno velike čvrstoće da podnese hidraulični pritisak tečnog zemnog gasa i mali potpritisak koji se javlja unutar skladišnog prostora, te kako bi podneo eventualne sudare sa drugim brodom ili kopnom.“<sup>75</sup> Veliki je broj posuda, različitog konstrukcionog rešenja i zapreminskog obima, za smeštaj tečnog gasa na brodovima, koje su do sada izgrađene u svetu.

Svi dosad izgrađeni skladišni sudovi mogu da se grupišu u dve skupine kriogenih posuda: samonosive i membranske.<sup>76</sup> U grupi samonosivih skladišnih posuda najznačajnije su: prizmatske, kuglaste (Moss)... Kod membranskih sudova, najčešće se susreću rezervoari tipa: Gas Transport (GT) No. 96; Technigaz Mark III; GTT CS1; GTT...

<sup>69</sup> Haung, S. i dr., *LNG Basics of Liquefied Natural Gas*, Austin, Texas: University of Texas, Controlling Education, Petroleum Extension Service, 2007.

<sup>70</sup> Simon, K., *Skladištenje i potrošnja energenata, skladištenje prirodnog plina i nafte*, RGNF, Zagreb, 2010, str. 33.

<sup>71</sup> Posebno mesto, vezano za podzemna skladišta, zauzima metod skladištenja tečnog zemnog gasa u duboke kaverne u šejlovima na velikim dubinama (više od 100 metara) u zemljinoj kori, na atmosferskom pritisku. Nisu još u upotrebi.

<sup>72</sup> Svi dosad izgrađeni rezervoari u Evropi nadzemnog su tipa.

<sup>73</sup> Opširnije o tehničko-ekonomskim parametrima vezanim za ova skladišta u sedmom delu ovoga rada.

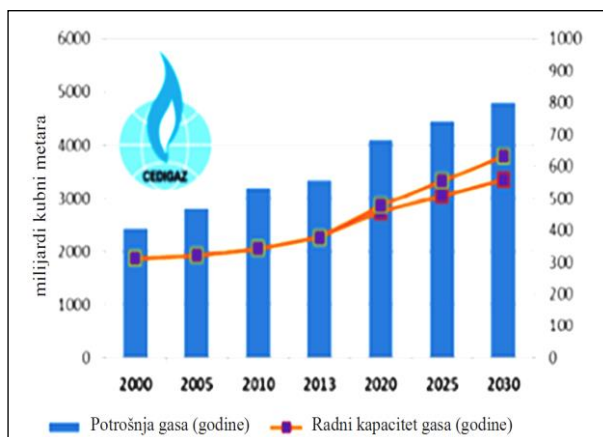
<sup>74</sup> Reč je o Japanu, Južnoj Koreji i Tajvanu.

<sup>75</sup> Posavac, D. i dr., „Brodovi za ukapljeni plin“, *RGN zbornik*, br. 22, Zagreb, 2010, str. 56.

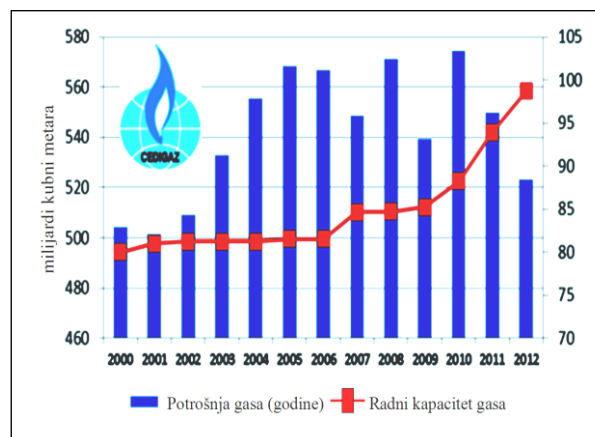
<sup>76</sup> Detaljnije o tehničkim rešenjima vezanim za ovaj vid skladišta biće prezentovano u sedmom delu ovoga rada.

## 1.4. Podzemna skladišta zemnog gasa u Evropi i njihove osnovne karakteristike u zemljama regiona Balkana

Skladišta zemnog gasa predstavljaju efikasno rešavanje neravnomernosti (dizbalansa) između funkcije proizvodnje i potrošnje gasa u logističkom lancu. Funkcija skladišta, pored transporta, ima najznačajniju ulogu u snabdevanju tržišta ovim energentom. Za sva skladišta gasa značajna su dva faktora: radni volumen (obim) i maksimalna doprema koju je moguće realizovati za posmatrani period (vremenski interval) (slike 3.10. i 3.11). Podzemna skladišta imaju relativno dug radni vek, koji može da bude do 80 godina, u zavisnosti od toga o kojem je tipu skladišta reč.



Slika 3.10. Procena tražnje za gasom u svetu u budućnosti i skladišne potrebe<sup>77</sup>



Slika 3.11. Odnos promene tražnje za gasom i skladišnih kapaciteta u Evropi<sup>78</sup>

Trenutno u svetu postoji više od 600 podzemnih skladišta zemnog gasa koja su u funkciji. Njihov ukupni radni volumen uskladištenja zemnog gasa iznosi preko trista milijardi kubnih metara. Posmatrano sa aspekta ukupnog broja, dve trećine podzemnih skladišta nalaze se u SAD. Najveći broj preostalih skladišta nalazi se na teritoriji Evrope. Posmatrano procentualno, prema ukupnom radnom kapacitetu ona su raspoređena u regionima: Severne Amerike 40%, bivšeg Sovjetskog Saveza 34%, Evrope 25% i 1% u ostatku sveta.

Analiza samo broja podzemnih skladišta gasa kojima raspolaže pojedinačno svaka zemlja, ne pruža potpuno realnu sliku o stanju segmenta skladištenja u funkciji snabdevanja tržišta ovim energentom. Zato, istovremenim posmatranjem i parametra ukupnog radnog kapaciteta skladišta kojim pojedinačno raspolaže svaka država, pruža se bolji uvid i sveobuhvatnije se sagledava pravo stanje. Prema broju podzemnih skladišta gasa i njihovom ukupnom instalisanom radnom volumenu u svetu, redosled država je sledeći: 1. SAD koje imaju 442 podzemna skladišta (čiji je ukupni instalisani radni kapacitet od  $127,186 \times 10^6 \text{ m}^3$ ); 2. Rusija ima 28 skladišta (97,553); 3. Ukrajina ima 13 skladišta (32,130); 4. Nemačka 51 (20,404); 5. Kanada 49 (14,820); Italija 10 (14,937); 6. Francuska 16 (12,645); 7. Holandija 4 (5,078); 8. Uzbekistan 3 (4,600), 9. Kazahstan 3 (4,203); ...

Pored parametara vezanih za ukupan broj i kapacitet skladišta, važno je sagledati i učešće određenih tipova podzemnog skladišta u strukturi. Danas je u celom svetu u funkciji više od šeststo podzemnih skladišta zemnog gasa (Tabela 3.2). Procentualno posmatrano, u svetu, prema tipu podzemnih skladišta: 75% se nalazi u iskorišćenim ležištima (gasu i nafti), 13% u akviferima, 11% u solnim kavernama i 1% u drugim geološkim sredinama. Istovremeno, u Evropi je procentualno učešće u ukupnoj strukturi izgrađenih podzemnih skladišta gasa značajno drugačije. U Evropi se 53% skladišta nalazi u iskorišćenim ležištima (gasu i nafti), 24% u solnim kavernama, 20% u akviferima i 3% u ostalim geološkim sredinama.

<sup>77</sup> Izvor: *Underground Gas Storage in the World 2013*, CEDIGAZ (Internacionalna asocijacija za prirodni gas).

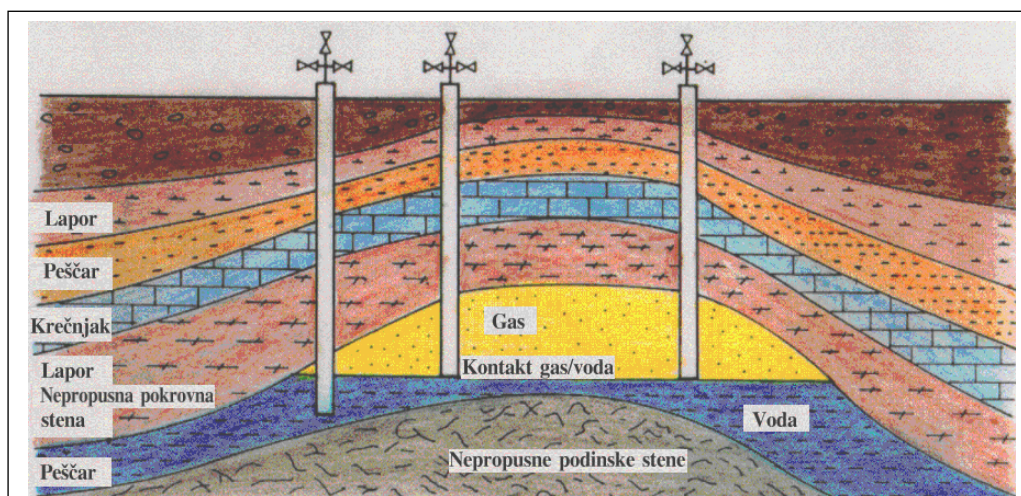
<sup>78</sup> Izvor: *Underground Gas Storage in the World 2013*, CEDIGAZ (Internacionalna asocijacija za prirodni gas).

Tabela 3.2. Tipovi podzemnih skladišta u svetu i njihov kapacitet<sup>79</sup>

Područje	naftna i gasna ležišta	akviferi	kaverne	ostalo	ukupno	radni obim x 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>	doprema x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /dan
Evropa	68	223	29	3	123	79	1560
Države bivšeg SSSR	36	13	1		50	109	980
SAD	318	45	26	1	390	108	2560
Kanada	45		9		54	20	315
Juž. Amerika	2				2	0,2	2
Azija	5				5	1,6	11
Australija	4				4	1	10
ukupno	478	81	65	4	628	318	5440

Izvor: H. Plat, *Undeground gas storge*, 2009, str. 25–37.

Uočljivo je da je procenat zastupljenosti podzemnih skladišta gasa u iscrpljenim ležištima Evrope (Slika 3.12), u odnosu na ukupan broj svih skladišta kojima raspolaže, značajno manji nego u svetu. Istovremeno, u Evropi je procenat zastupljenosti skladišta u solnim kavernama i akviferima, u ukupnom broju podzemni skladišta sa kojima raspolaže, znatno veći nego što je taj odnos u svetu. Ovo je posledica činjenice da mnoge država Evrope koje su veliki potrošači gasa nisu imale na svojoj teritoriji značajno veća ležišta gasa i nafte koje bi nakon prestanka eksploatacije upotreбили u funkciji podzemnih skladišta gasa. One su zato bile prinuđene da, radi pouzdanog snabdevanja svoga tržišta ovim energentom, grade podzemna skladišta u drugim geološkim formacijama. Izgradnja drugih tipova podzemnih skladišta gasa, u odnosu na iscrpljena ležišta, značajno je skuplja i vremenski duža.



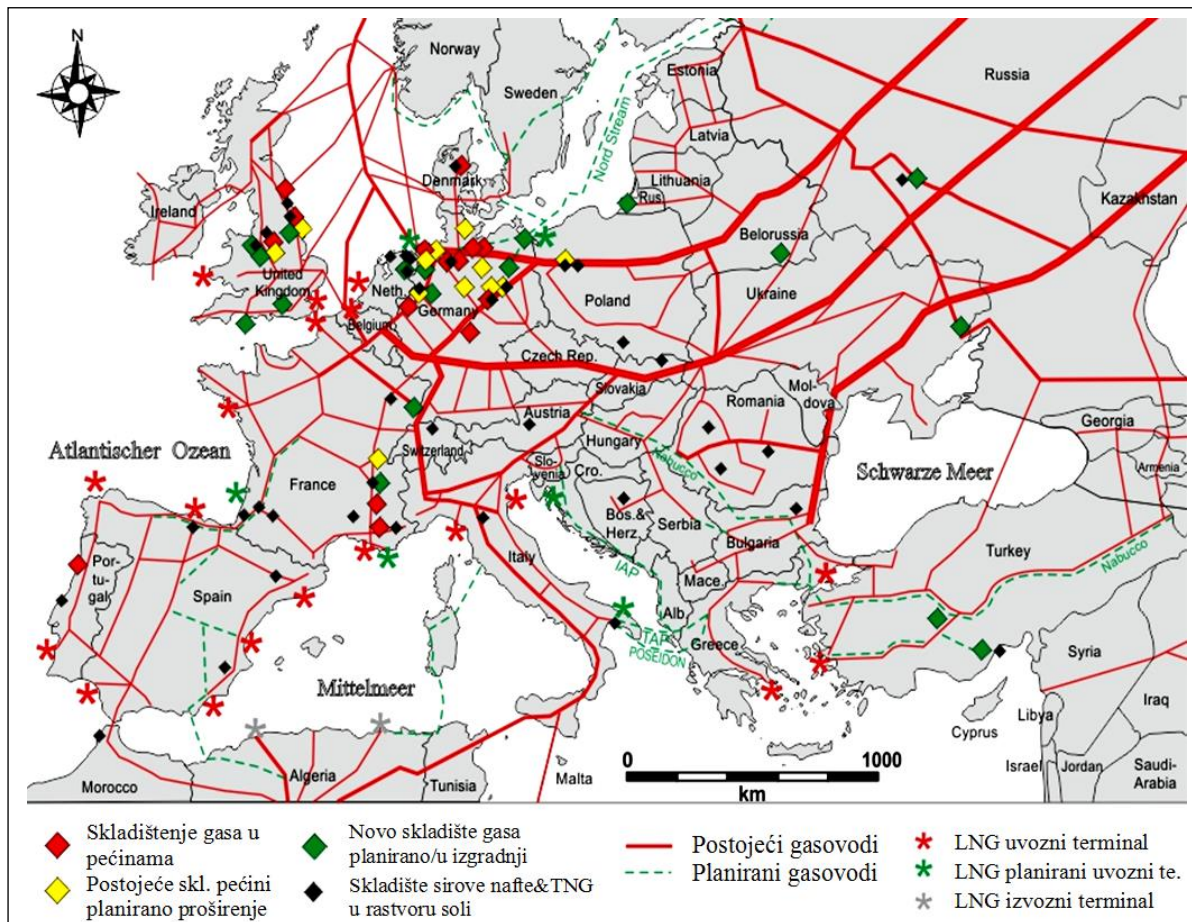
Slika 3.12. Izgled skladišta zemnog gasa u iscrpljenom ležištu gasa ili nafte<sup>80</sup>

U zavisnosti od tipa skladišta, posmatrano prema radnom kapacitetu, najveća podzemna skladišta formiraju su u iscrpljenim ležištima (gasu i nafte), dok je kapacitet u drugim geološkim formacijama (akviferima, solnim kavernama, stenovitim kavernama...) manjeg obima. Neka od najvećih skladišta (slike 3.13. i 3.14), posmatrano prema radnom kapacitetu za skladištenje zemnog gasa u iscrpljenim ležištima, u Evropi jesu: Bierwang (Nemačka, radnog kapaciteta 1450 miliona m<sup>3</sup>); Rehden (Nemačka, 4200); Zsana-Nord (Mađarska, 2170); Incukalns (Latvija, 2320); Norg lagelo (Holandija, 3000); USG Lab complex (Slovačka, 2220); Rough (V. Britanija, 3300); Bogorodchany (Ukrajina, 2300); Bil'che-Volytsya (Ukrajina, 170050); Dashava (Ukrajina, 2150).

<sup>79</sup> Prema: Plat, H., „*Undeground gas storge*“ why and how, 2009, str. 25–37. Danas se u svetu ukupni broj podzemnih skladišta u geološkim formacijama relativno malo uvećao u odnosu na 2007. godinu (na koju se odnose ovi podaci).  
Prema: Plat, H., „*Undeground gas storge*“ why and how, 2009, str. 25–37.

<sup>80</sup> Izvor: Stepanov, B., *Energija i okruženje*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2006, str. 18.

Druga najveća skladišta koja su izgrađena u negasno-naftnim ležištima jesu: Izuate (u Francuskoj, akvifer, radnog kapaciteta  $1127 \times 10^6 \text{ m}^3$ ); Epe EGS H-Gas (Nemačka, solna kaverna, 1613); Etezel erdgas Lager EGL (Nemačka, solna kaverna, 1052); Bernburg (Nemačka, s. k., 1091); Loenhout (Belgija, akvifer, 675); Haje (Češka, stenovite kaverne, 2521); Seldane Littoral, Serene Sud (Francuska, kompleks akvifer ležišta, 4500)...



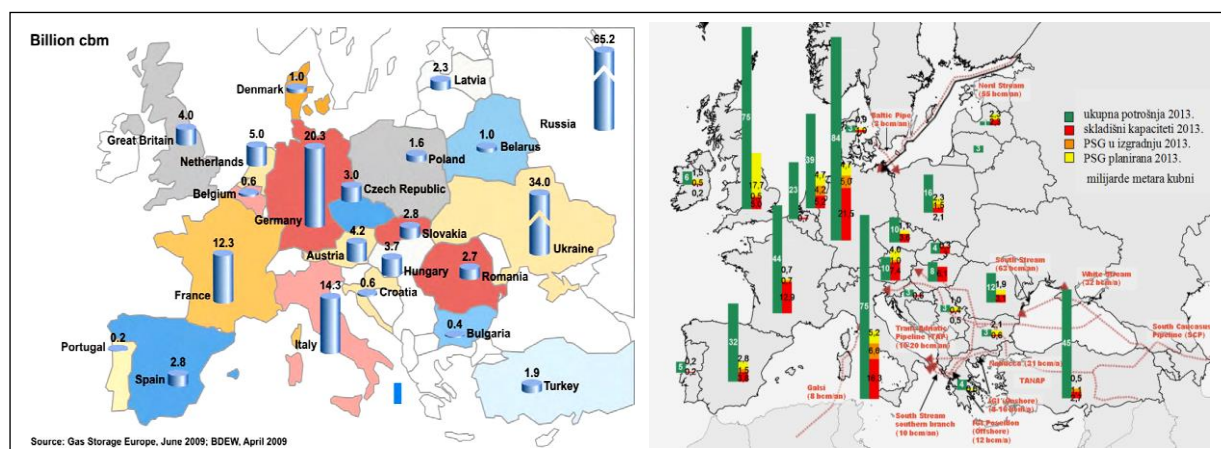
Slika 3.13. Gasna infrastruktura Evrope, najznačajnija skladišta, cevovodi i LNG terminali<sup>81</sup>

Svaka zemlja nastoji, kako bi ostvarila sigurno snabdevanje svoga tržišta zemnim gasom, da obezbedi dovoljne količine ovog energenta u svakom trenutku. Zbog toga, značajno mesto zauzima skladištenje ovog energenta. Neosporno je da je obim skladišta zemnog gasa kojim konkretno raspolaže svaka država značajna činjenica, ali potpuno sagledavanje problema u snabdevanju tržišta gasom i značaja skladišta predstavlja parametar procenata učešća skladišta u ukupnoj potrošnji. Ovaj podatak pokazuje koji procenata od ukupne godišnje potrošnje zemnog gasa može biti smešten u skladištu. To praktično znači, u slučaju kad ne bi uopšte bilo proizvodnje ni uvoza gasa u zemlju cele godine, da je moguće iz skladišta (ako su puna) godišnju potrošnju pokriti u visini iskazanog procenta. Ovaj parametar se veoma često iskazuje u danima.<sup>82</sup> Što država ima veću pokrivenost svoje prosečne potrošnje skladišnim kapacitetima na godišnjem nivou, ona ima veći stepen energetske sigurnosti. Što zemlja ima manji procenat učešća sopstvene proizvodnje zemnog gasa u ukupnoj potrošnji, treba da ima veće sopstvene skladišne kapacitete radi sigurnosti snabdevanja svoga tržišta ovim energentom, kako bi u svakom trenutku što bolje odgovorila na sve iznenadne promene vezane za proizvodnju, uvoz, distribuciju i potrošnju.

<sup>81</sup> Izvor, više inostrani radova. Reč je o najznačajnijim postojećim i nekim od planirani elementima (cevovodi, LNG terminali, skladišta) za zemni i naftni (LPG) gas na početku 21 veka. Neki projekti su realizovani (Nord Stream, ...).

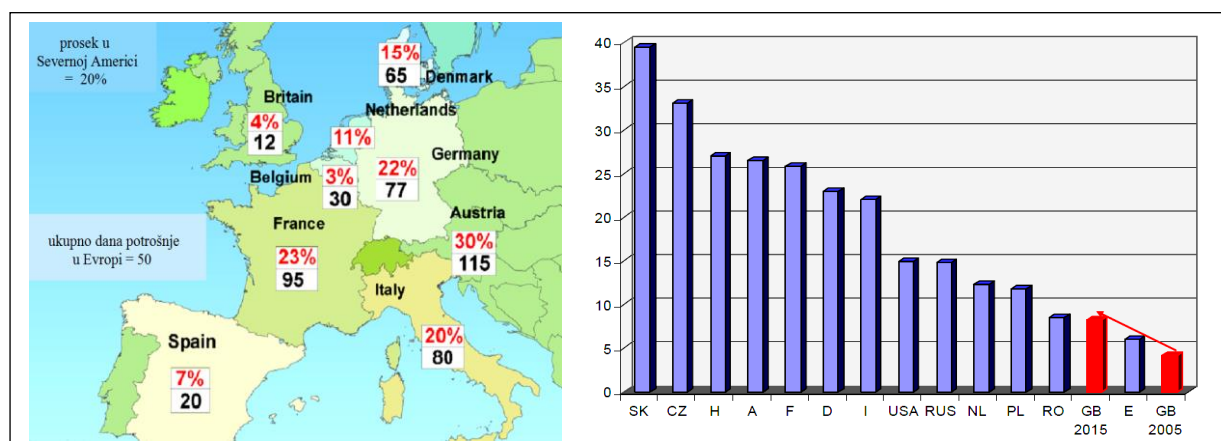
<sup>82</sup> Kao ilustracija: država Austrija ima pokrivenost podzemnim skladištima 30% od svoje ukupne prosečne godišnje potrošnje. Preračunato u dane, to iznosi 115 dana.

Idealna situacija, kada je reč o rasporedu lokacija skladišta, jeste da su ona ravnomerno raspoređena u celoj državi, sa aspekta količine gasa koja se troši u određenim delovima nacionalne teritorije.



Slika 3.14. Kapaciteti podzemnih skladišta nekih evropskih zemalja ( $\times 10^9 \text{ m}^3$ )<sup>83</sup>

Zemlje koje imaju veliki procenat uvoznog gasa u svojoj strukturi potrošnje, a nemaju dovoljno velike skladišne kapacitete, mogu biti lako pogođene značajnijim poremećajem uvoza gasa, sezonske i vršne potrošnje. Posebno visok stepen rizika predstavljaju problemi koji se mogu javiti kao posledica političkih poremećaja u određenim zemljama i njihove implikacije na snabdevanje gasom i transport gasa. Ukupan broj skladišnog prostora gasa u Zapadnoj Evropi porašće u narednom periodu jer neke od država imaju na svojoj teritoriji određen broj gasnih i naftnih polja iz čijih ležišta je iscrpljeno više od 50% sadržine, i mogu da se privedu nameni skladišnog kapaciteta (slike 3.15. i 3.16).<sup>84</sup> Pored potencijala koji pružaju nova iscrpljena ležišta, značajno mesto sa aspekta skladišta predstavljaju i drugi tipovi podzemnih skladišta, ali posebno skladištenje gasa u tečnom stanju u kriogenim rezervoarima.



Slika 3.15. Radni volumen skladišta gasa u nekim zemljama izražen u % u odnosu na godišnju potrošnju i broj dana potražnje koji oni pokrivaju<sup>85</sup>

U zemljama Balkanskog poluostrva i u onima koje tržišno gravitiraju ka njemu, sva podzemna skladišta zemnog gasa izgrađena su u iscrpljenim gasnim ležištima. Skladišta su

<sup>83</sup> Izvor: izveštaji asocijacije Gas Storage Europe.

<sup>84</sup> Opširnije o novim skladištima u radovima: Joffe, G. H., *Study on Underground Gas Storage in Europe and Central Asia*, Working Part on Gas Geneva, 2012; *Gas storage in Great Britain*, The Oxford Institute For Energy Studie, University of OXFORD, V. Britanija, 2013.

<sup>85</sup> Izvor, McLeod N.J., Kelly R.T. "Identifying and Filling Western Europe's Natural Gas Storage Needs for the Next Decade" RPS Energy, SPE, 2007.



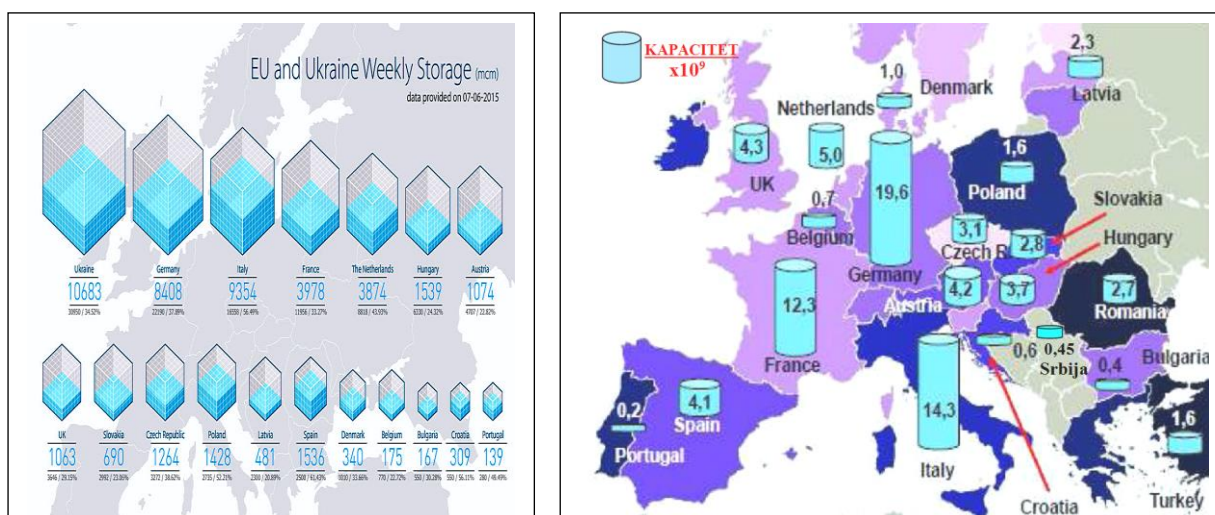
različitog radnog volumena, kapaciteta utiskivanja i crpljenja gasa iz njega (Tabela 3.3). U Austriji ima ukupno 8 skladišta. Konkretno, reč je o skladištima: Schonkirchen/Reyersdorf (radnog volumena  $1600 \times 10^6 \text{ m}^3$ ), Tellesbrunn (372), Thann (233), Puchkirehen (1050), Aigelsbrunn (100), Haidach 5 (16), Haidach (2640) i Fields (1165). Kao vlasnici skladišta, u zavisnosti od toga o kojem je skladištu reč, kompanije: *OMV Gas Storage*, *RAG*, *Wingas*, *Gazprom* i *E.ON Gas Storage*, pojedinačno, a nekima od njih zajedno međusobno udružene upravljaju.

Tabela 3.3. Najveća podzemna skladišta zemnog gasa u nekim zemljama regiona Balkana

Država	Skladište	Firma koja upravlja skladištem	radni volumen gasa $10^6 \text{ m}^3$	crpljenje gasa $10^6 \text{ m}^3/\text{dan}$	obim utiskivanja gasa $10^6 \text{ m}^3/\text{dan}$	izgrađeno u ležištu
Austrija	Haidach	RAG/Wingas/Gazprom	2640	26,40	24	gasa
Bugarska	Chiren	Bulgartrans	550	4,2	4,2	gasa
Hrvatska	Okoli	Plinaco	558	4,2	3,5	gasa
Mađarska	Zsana-Nord	E.ON i dr.	2170	28	17	gasa
Rumunija	Bilciuresti	Romgaz	1300	22	28	gasa
Srbija	Banatski dvor	Srbijagas/Gazprom	450	4,2	4,2	gasa

Autor. Na osnovu izveštaja GIE za 2011.

Bugarska poseduje samo jedno gasno skladište, Chiren, koji ima radni volumen od  $450 \times 10^6 \text{ m}^3$ , u nadležnosti firme *Bulgartrans gaz*. U državi Hrvatskoj postoji u radu jedno skladište Okoli, sa radnim kapacitetom od petsto pedeset osam miliona kubnih metara, kojim raspolaže kompanija *Plinacro*. Mađarska u funkciji ima pet skladišta gasa: Pusztaederics ( $340 \times 10^6 \text{ m}^3$ ), Zsana-Nord (2170), Kardoskult-Pusztaszolos (280), Hajduszoboszlo (1440) i Szoreg-1 (1900). Vlasništvo nad skladištima zajedno imaju firme E.ON, *Foldgaz Stoarge* i MMBF. Država Rumunija ima u funkciji 8 podzemnih skladišta gasa: Tirgu-Maures ( $330 \times 10^6 \text{ m}^3$ ), Nadus-Prod-Seleus (50), Sarmasel (680), Cetatea de Balta (150), Bilciuresti (1300), Urziceni (200), Ghercesti (81) i Balanceanca (83). Sva skladišta u Rumuniji u nadležnosti su firme *Romgaz*. Srbija raspolaže jednim podzemnim skladištem koje je u funkciji, Banatski dvor (450). Takođe, država Turska raspolaže jednim podzemnim skladištem Aksaray.



Slika 3.16. Grafička ilustracija skladišnih kapaciteta zemnog gasa u nekim zemljama Evrope<sup>86</sup>

Sva podzemna skladišta na prostoru Balkana izgrađena su u gasnim ležištima (Slika 3.17). Trenutno, ukupni skladišni kapacitet zemnog gasa, kojim raspolažu sve zemlje, nije dovoljan da se realno zadovolje potrebe i zahtevi zemalja Balkana u sigurnom snabdevanju tržišta. Neophodno je

<sup>86</sup> Izvor: različiti radovi. Ilustracija skladišnih kapaciteta gasa i trenutna njihova popunjenost na dan 7. jun 2015.

da se razmotre realne potrebe za skladišnim prostorom svake zemlje pojedinačno i celoga regiona zajedno, da se analizira mogućnost izgradnje novih kapaciteta i realizuje njihovo formiranje. Zajednički, udružene integrisanjem u jedinstveno tržište, sve države balkanskog tržišta lakše će rešiti problem skladištenja zemnog gasa. Na taj način ostvariće viši stepen sigurnog i pouzdanijeg snabdevanja svoga tržišta i celog regiona.



Slika 3.17. Lokacije podzemnih skladišta gasa i najznačajniji cevovodi u regionu Balkana<sup>87</sup>

Pored postojećih skladišnih kapaciteta gasa, sa aspekta rešavanja problema sigurnog snabdevanja tržišta Balkana ovim energentom, značajno pitanje u ovoj oblasti jeste sama izgradnja novih skladišta. Realnu osnovu za novi potencijalni podzemni skladišni prostor predstavljaju ležišta gasa i nafte koja su iscrpljena ili delimično iscrpljena (iz njih je trenutno povučena velika količina energenta), pa se mogu prevesti u namenu skladištenja gasa. Pored iscrpljenih ležišta, kojima trenutno raspolažu države Balkana, značajno mesto u analizi i rešavanju ovog pitanja treba da zauzme i sagledavanje realnog potencijala koji pruža mogućnost formiranja skladišta u drugim geološkim formacijama (akviferima, solnim naslagama...). Posebno mesto u sveukupnoj analizi treba dati pitanju skladištenja gasa u tečnom agregatnom stanju na temperaturi od  $-162^{\circ}\text{C}$ , koje zauzima sve značajnije mesto u svetskoj trgovini.

Podzemno skladište gasa Banatski dvor jedino je podzemno skladište u Srbiji koje danas funkcioniše. Reč je o gasnom polju na kome je u periodu 1972–2005. izbušeno ukupno 25 bušotina i iscrpljen sav gas. Nakon početka samoga procesa eksploatacije gasa iz ležišta, krenulo se sa sagledavanjem mogućnosti da se on nakon procesa proizvodnje privede nameni skladištenja gasa. Prve analize mogućnosti upotrebe ovog ležišta u funkciji skladišta, urađene su u periodu 1976–79.

<sup>87</sup> Izvor: GSE Gas Storage Europe, 2014. Reč je o najznačajnijim postojećim i nekim od planiranih elemenata (cevovodi i skladišta) za zemni gas u regionu Balkana.

Ovo pitanje se ponovo aktuelizovalo 1984. godine, zatim tri godine kasnije, kada je doneta odluka da se u skladištu ostavi 865 miliona m<sup>3</sup> gasa u funkciji gasnog jastuka. Ova količina gasa je neophodna da bi skladište moglo da radi punim kapacitetom tokom celog ciklusa rada skladišta. Ekonomska kriza 90-ih godina u državi, ali i sankcije međunarodne zajednice, uslovili su da se iz ležišta iscrpi sav raspoloživi gas.<sup>88</sup> *Srbijagas, Gazprom Export i Gazprom Germanija* potpisali su 2009. godine Sporazum o zajedničkom ulaganju u PSG Banatski dvor, a 2011. godine završena je izgradnja skladišta. Skladište danas raspolaže sa 30 bušotina. Od tog broja, 18 je u funkciji utiskivanja i proizvodnje, jedna za utiskivanje slojne vode, a 11 bušotina ima funkciju kontrole stanja ležišta. Kompresorsku stanicu čine dva dvostepena kompresorska agregata snage 2,5 MW i 3,5 MW. Pritisak na usisu kompresora iznosi 30–35 bara, a na potisu do 150 bara.

## 2. Specifičnosti i karakteristike skladištenja tehničkih gasova

Skladištenje tehničkih gasova veoma je kompleksna, zahtevna i odgovorna aktivnost unutar logističkog sistema. Realizacija skladištenja tehničkih gasova veoma je specifična i karakteristična aktivnost, u odnosu na skladištenje velikog broja drugih proizvoda koji se nalaze na tržištu. Sama realizacija aktivnosti skladištenja tehničkih gasova, u odnosu na druge proizvode, veoma je specifična i posebna zbog niza različitih relevantnih faktora. To se u prvom redu odnosi na: karakteristike, obeležja, agregatno stanje, temperaturu, izgled, zapaljivost, eksplozivnost, otrovnost, primenu... ovih gasova kao proizvoda. Njihovo skladištenje iziskuje niz: specifičnih i posebnih mera, uslova i pristupa, načina i postupaka, procedura i regulativa... koje su uslovljene osobinama proizvoda, zakonskim merama i propisima... Značajno mesto u sistemu skladištenja zauzimaju i aktivnosti vezane za mere i postupke bezbednost i za rukovanje gasovima u funkciji njihovog skladištenja i čuvanja. Samu specifičnost skladištenju gasova daje i ekološki aspekt vezan za celokupnu ovu materiju.

### 2.1. Načini i mogućnosti skladištenja tehničkih gasova u zavisnosti od njihovog agregatnog stanja

Tehnički gasovi se skladište u specijalno izgrađenim i namenjenim sudovima. Svaki sud uvek je strogo namenjen i označen za skladištenje samo jedno konkretnog gasa. Ovo je definisano i regulisano zakonima i propisima. Izgradnja skladišnog suda (boce<sup>89</sup>, baterije, kriogenog mobilnog suda, rezervoara, termo kontejnera...) obuhvata: sagledavanje potreba i zahteva vezanih za skladišni sud; konstrukciono rešenje skladišnog suda; odabir vrste materijala od kojeg se gradi skladišni sud; odabir i korišćenje adekvatnog izolacionog materijala; tehnička rešenja; tehnologiju izgradnje sudova za skladištenje; ispitivanje i puštanje u eksploataciju novoizrađenih sudova. Nakon puštanja u upotrebu skladišnog suda, značajno mesto ima: način njegove upotreba za vreme eksploatacionog perioda; redovno održavanje; redovna i vanredna kontrola; ispitivanje i popravka suda... Skladištenje tehničkih gasova zahteva poseban način, procedure i tehnike: rukovanja prilikom punjenja posuda, odlaganja, manipulacije, procedure uskladištenja, čuvanja, isporuke, distribucije, odlaganja kod krajnjeg kupca, povratka prazne ambalaže, reklamacije, rešavanja pitanja neusaglašenih proizvoda, odlaganja i uništavanja neispravnog proizvoda, povlačenja neispravnog suda iz eksploatacije, uništenja suda nakon završetka eksploatacionog perioda...

<sup>88</sup> Opširnije videti u radu: Marič, T. i dr., „Podzemno skladište gasa Banatski dvor A –studija izvodljivosti“, Naučni skup *Gas*, Vrnjačka banja, 2009.

<sup>89</sup> Detaljno sa tehničkog aspekta, o izgradnji boca, pojedinačno za svaki gas, kada je reč o: konstrukciji, vrsti materijala, tehnologiji pravljenja boce, ispitivanju materijala (zatezanjem, savijanjem, udarom, rasprskivanjem...) ispitivanju hidrauličkim pritiskom, ispitivanju tvrdoće, postupaku prijema, obeležavanju... pogledati u knjizi: Bogner, M., Isailović, M., *Tehnički i medicinski gasovi*, ETA, Beograd, 2005.

Posmatrano sa aspekta agregatnog stanja, tehnički gasovi mogu da se skladište u sva tri oblika. „Roba u gasovitom agregatnom stanju, s obzirom na malu gustinu, u procesima skladištenja i transporta pojavljuje se uvek u nekom od sledećih oblika: komprimovani, utečnjeni ili kao smrznuti gasovi, sa ciljem da se time poveća količina gasa u jedinici zapremine“<sup>90</sup> što doprinosi racionalnom iskorišćenju skladišnog prostora u kome se gas uskladištuje. Danas, u praktičnoj primeni i širokoj upotrebi, svi tehnički gasovi koji se plasiraju na tržište kao roba krajnjem potrošaču nalaze se u gasovitom i tečnom stanju, u zavisnosti od potreba i zahteva potrošača. Osim ugljen-dioksida, koji se za razliku od svih njih nalazi na tržištu u sva tri agregatna stanja. Posude u kojima se skladište tehnički gasovi specijalne su izvedbe, karakteristika, osobina... i namenjene su samo za skladištenje određenog gasa.

Realizacija aktivnosti skladištenja tehničkih gasova sa tehničko-tehnološkog aspekta sprovodi se procesom: 1. skladištenja gasa u gasovitom stanju komprimovanjem u boce; 2. skladištenja rastvorenih gasova pod pritiskom u bocama; 3. skladištenja u tečnom stanju u mobilne kriogene posude; 4. skladištenja u tečnom stanju u stabilnim izolovanim sudovima i 5. skladištenja u čvrstom stanju u termo kontejnerima.

**1. Skladištenje gasa u gasovitom stanju komprimovanjem u boce.** Skladištenje tehničkih gasova u gasovitom agregatnom stanju vrši se u specijalnim sudovima pod pritiskom.<sup>91</sup> Gasovi u gasovitom stanju pune se, čuvaju, skladište i transportuju u specijalno izrađenim bocama, najčešće od čelika. Boce se mogu proizvoditi u nekim situacijama, za neke gasove, i od drugih materijala.<sup>92</sup> Reč je o sudovima – bocama cilindričnog oblika. Boce su različite zapremine i tehničkog rešenja, u kojima se gas skladišti pod određenim pritiskom, njegovim komprimovanjem.<sup>93</sup> Količina uskladištenog gasa u posudi zavisi od: zapremine boce, vrste gasa koji se skladišti, pritiska pod kojim se gas komprimuje i temperature.<sup>94</sup> Skladištenje gasa može da se vrši u: a. pojedinačnim bocama, b. pojedinačnim bocama u paletama i c. baterijama boca.

**a. Pojedinačne boce za komprimovane gasove.** Zapreminski prostor jedne pojedinačne boce za gasove kreće se do 80 litara.<sup>95</sup> U zavisnosti od utvrđenih tehničkih karakteristika maksimalnog radnog pritiska za svaku konkretnu bocu, pritisak pod kojim se gas skladišti u sudu je do 300 bara (Tabela 3.4). Sam maksimalni dozvoljeni pritisak u boci zavisi od: materijala od koga je ona izgrađena, zapremine, vrste gasa, tehnologije proizvodnje boce<sup>96</sup>... Danas je, najčešći maksimalni pritisak, za većinu boca koje su u upotrebi, 200 bara, a zapremina iznosi 40–50 litara. Ispitni pritisak, na kome se vrši testiranje posude, uvek je 50% veći od maksimalno dozvoljenog radnog pritiska. Svaka boca ima na sebi postavljen ventil namenjen punjenju i pražnjenju suda. Ventil mora obavezno da ima zaštitu. Zaštita ventila može da bude u vidu čelične kape koja se zavija na bocu ili postavljenog fiksnog štitnika. Samo boce za skladištenje CO<sub>2</sub>, za razliku od svih drugih gasova, obavezno poseduju i sigurnosni ventil u sklopu svog osnovnog ventila.<sup>97</sup>

Zakonom je regulisano da sve boce moraju da budu adekvatno označene i obeležene. Adekvatno označavanje podrazumeva da se na boci nalazi utisnuto u njeno telo: naziv vrste gasa

<sup>90</sup> Barac, N., Milovanović, G., *Strategijski menadžment logistike*, SKC Niš, Niš, 2006, str. 359.

<sup>91</sup> U izradi ovog dela rada korišćen je materijal: Radiš, D., *Sistem marketing logistike u proizvodnji i distribuciji tehničkih gasova*, magistarski rad, Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd, 1999, str. 192–200.

<sup>92</sup> Broj takvih posuda od drugih materijala (aluminijum, ...) ili od mešavine više različitih komponenti, trenutno je veoma mali u odnosu na boce od čelika.

<sup>93</sup> Pojedinačno o ambalaži za određene gasove: Bogner, M., Ćirić, S., *Tehnički gasovi*, Građevinska knjiga, 1984.

<sup>94</sup> Okvirno, prilikom skladištenja gasa komprimovanjem u čeličnu bocu, skladišti se 300 puta veća količina gasa u gasovitom stanju u odnosu na njen fizički volumen, pri pritisku od 300 bara.

<sup>95</sup> Najčešće, kada je reč o pojedinačnim bocama, zapremina je 10–50 litara. Za posebne namene zapremina može da bude i manja ali i veća.

<sup>96</sup> Reč je o tehnologiji izrade bešavnih boca.

<sup>97</sup> Ovo je neophodno jer prilikom punjenja CO<sub>2</sub>, u boci se nalazi uskladišteni gas u gasovitom i tečnom ravnotežnom stanju. Pod dejstvom značajnijeg povišenja spoljne atmosfere temperature, tečna faza prelazi u gasovitu što prouzrokuje rast pritiska u boci. U tom slučaju, dolazi do aktiviranja sigurnosnog ventila, preko koga dolazi do rasterećenja pritiska u boci na bezbedan način, u suprotnom, moglo bi doći do eksplozije boce.

koji se skladišti, godina proizvodnje, godina ispitivanja i atestiranja<sup>98</sup>, masa prazne boce, naziv proizvođača, maksimalno dozvoljeni pritisak, pritisak ispitivanja... Svaka boca mora da je cela ofarbana ili delimično označena u predelu kalotne<sup>99</sup> zakonom propisanom bojom za svaki konkretni gas.<sup>100</sup> Veoma često, kada je reč o: specijalnim gasovima, gasovima visoke čistoće i mešavinama, uz svaku bocu se nalazi i poseban atest o sastavu i kvalitetu gasa, kao obavezan njen prateći dokument.

Boce se skladište u posebnim specijalno projektovanim i izgrađenim skladišnim objektima u skladu sa propisanim zakonima i normativima o zapaljivim i eksplozivnim materijama. Skladišta mogu biti zatvorenog i otvorenog tipa. Kod zatvorenih objekata skladišta, potrebno je obezbediti razgraničenje uskladištenih boca po vrsti gasa u vidu boksova, obezbediti boce od pada i prevrtanja, sigurnosni sistemi za merenje koncentracije gasa u prostoru, prikladnu prirodnu ili veštačku ventilaciju... U slučajevima kada se boce skladište na otvorenom prostoru, skladište mora biti: ograđeno, natkriveno, mora imati izbetoniran pod, adekvatnu zaštitu od pada boca... Sam proces uskladištenja boca, u okviru skladišta, vrši se odvajanjem boca u posebno namenjen prostor za svaki gas, odvojen boks. U okviru tog prostora označena su mesta za punu i praznu ambalažu. Po pravilu, boce se odlažu u vertikalnom položaju. Zamena boca najčešće se vrši po principu prazna za punu. Moguća je primena nekog od sistema kodiranog očitavanja boca, u funkciji efikasnije skladišne aktivnosti. Sva skladišta moraju da poseduju adekvatan zakonom propisan protivpožarno bezbednosni sistem. Veoma često, koristi se prikladna automatska signalizacija, koja u osnovi obuhvata zvučno i optičko javljanje u slučaju neželjenih promena u skladištu.

Tabela 3.4. Analiza uskladištenog komprimovanog gasa u bocama<sup>101</sup>

zapremina (lit)	pritisak (bar)	količina (kg)	gas	količina (kg)	pritisak (bar)	zapremina (lit)
40	150	8,5	kiseonik	21,4	300	50
40	70	25	CO <sub>2</sub>	31,5	70	50
40	150	10,5	argon	26,8	150	50
40	150	7,5	azot	17,4	300	50
40	150	0,51	vodonik	1,16	300	50
40	150	0,95	helijum	2,36	300	50
40	5–15	6–8	acetilen	7,5–10	5–15	50

Autor.

**b. Pojedinačne boce u paletama.** Reč je o tehnologiji skladištenja gasa u pojedinačnim bocama vertikalno smeštenim u specijalno namenski konstruisanim čeličnim paletama. Skladištenjem boca u palete omogućuje se brža, bezbednija i sigurnija manipulacija. Realizuje se bezbednije, pouzdanije i lakše aktivnost transporta. Pruža se mogućnost većeg stepena mehanizacije i automatizacije. U paletama se najčešće odlaže do 12 boca. Primenom ovog načina skladištenja suda u paletu, omogućuje se organizacija i realizacija savremenog sistema odlaganja boca u skladištu. Boce su u paleti, zbog sigurnosti u transportu, međusobno učvršćene mobilnim sistemom (kaišem, polugom...) povezivanja.

**c. Baterija boca.** Ovaj sistem predstavlja formiranu čvrstu vezu većeg broja boca istog gasa u jednu celinu. Boce su međusobno povezane razvodnim sistemom (armaturom), grupisane po sekcijama. Gas se može koristiti pojedinačno po sekcijama. Najčešće je reč o tri sekcije u okviru jedne baterije. Baterija poseduju odvojene sekcione ventile i centralni priključak. Ona često

<sup>98</sup> U zavisnosti od vrste gasa za koji je namenjena, boca se ispituje svake: 3, 5. ili 10. godine.

<sup>99</sup> Kalotna je deo suženja cilindrične boce, koji se nalazi na samom njenom vrhu (vrat). Na njenom završetku nalazi se grlo boce gde se navrće ventil. Ako se ne farba cela boca u odgovarajuću boju za konkretni gas, obavezno je da je njen gornji deo od vrha boce ofarban odgovarajućom bojom u visini od 10 do 15 cm. Ako je reč o mešavini, boca ima kombinaciju boja gasova koji se nalaze u njoj.

<sup>100</sup> Kiseonik – bela; azot – crna; acetilen – kestenjasta; argon – tamnozeleno; CO<sub>2</sub> – siva; helijum – smeđa...

<sup>101</sup> Komparativna analiza zavisnosti količine gasa od zapremine (40 i 50 litara) i pritiska (150 i 300 bara).

na sebi ima instalisane merne instrumente. Boce kod ovog sistema mogu biti postavljene vertikalno i horizontalno. Najčešće, baterije se formiraju od 12, 15, 20, 25 i 36 pojedinačnih boca. Sve osobine, karakteristike, obeležja, propisi,... koji važe za određenu bocu pojedinačno, važe i za njih kad se nalaze u sklopu baterije. Ovako formirana, kao osnovna logistička jedinica, celina boca u formi baterije omogućuje bržu i ekonomičniju manipulaciju u lancu snabdevanja. Ostvaruje se skladištenje većeg broja boca na jedinici površine u okviru samog skladišta. Baterije se mogu odlagati u regalnom sistemu skladišta, čime se povećava količina uskladištenog gasa u okviru istog površinskog prostora. Poseban sistem transporta komprimovanog gasa u baterijama čine sistemi boca koje su postavljene na transportni sistem (auto-prikolice i železničke vagone) i sa njim čine jedinstvenu celinu. Princip rada i skladištenja gasa je identičan.

**2. Skladištenje rastvorenih gasova pod pritiskom u bocama.** Reč je o metodu skladištenja gasa rastvorenog u određenom rastvoru pod pritiskom. Ovaj metod koristi se za skladištenje acetilena u čeličnim bocama. Acetilen se veoma dobro rastvara u acetonu i ova osobina je iskorišćena za njegovo skladištenje. Boca je ispunjena specijalnom poroznom masom, koja formira splet veoma finih kanala.<sup>102</sup> U posudu se prvo dodaje acetone, koji ima funkciju rastvarača, zatim se acetilen puni u bocu kompresijom (5–15 bara) i on se veže za acetone. Ukupna količina acetilena kojom se puni boca ne sme biti veća od dozvoljene količine za tu bocu. Količina kojom se puni boca acetonom i acetilenom propisana je od strane proizvođača posude. U bocu od 40 litara najčešće se skladišti od 5,5 do 9 kg acetilena. Primenom ovog načina skladištenja acetilena, može da se napuni veća količina ovog gasa u bocu, sa većim stepenom sigurnosti i bezbednosti.

**3. Skladištenje tehničkih gasova u tečnom stanju u mobilnim sudovima.** Reč je o metodu skladištenja tehničkih gasova u tečnom stanju u specijalno izgrađenim i termički izolovanim sudovima. Ovi sudovi su mobilni, nezavisno od svoje zapremine, tehničkog i konstrukcionog rešenja. Tehnički su izvedeni po principu dvostrukih zidova<sup>103</sup> čiji međuprostor ima funkciju izolacije. Izolacija suda može biti različito izvedena. Ona mora da obezbedi što duže čuvanje gasa u tečnom stanju uz što manje gubitke, zbog prelaska gasa iz tečne u gasnu fazu.

Tečni gasovi se utaću u sudove u samoj fabrici gde se proizvodi gas, iz proizvodnog rezervoara, ili u distributivnom centru. Gasovi se nalaze u sudu u tečnom agregatnom stanju pod pritiskom do 20 bara. Temperatura gasa u sudu zavisi od temperature kriogenog fluida koji se nalazi uskladišten u njemu i od izolacije posude. Raspon temperatura na kojima se skladište gasovi kreće se od  $-80^{\circ}\text{C}$ , kada je reč o ugljen-dioksidu, do ispod  $-270^{\circ}\text{C}$  kod helijuma.<sup>104</sup> Na ovaj način, skladištenjem tečnog gasa u istoj zapremini posude može da se uskladišti i do 800 puta veća količina istog gasa nego kada se on nalazi u gasovitom stanju na normalnom atmosferskom pritisku. Uskladišten tečni gas u kriogenom sudu, nezavisno od toga da li je reč o mobilnom ili stabilnom sudu, zauzima značajno manju zapreminu (prostor) nego kada se on nalazi u gasovitom stanju na atmosferskom pritisku. Koliko je puta taj odnos manji, zavisi konkretno od same vrste gasa. Kod ugljen-dioksida, njegova zapremina u tečnom stanju je 583 puta manja u odnosu na gasovito. U slučaju azota, ona je manja 646 puta; agrona 770; vodonika 788; kiseonika 798.<sup>105</sup>

Unutar suda, uvek je prisustna manja količina gasa u gasovitom stanju, neophodna zbog uspostavljanja ravnotežnog stanja i bezbednosti.<sup>106</sup> Svaka posuda mora da ima sigurnosni ventil koji se automatski aktivira u slučaju da pritisak u posudi pređe dozvoljenu vrednost. Ovi sudovi,

<sup>102</sup> Muk, J. i dr., *Tehnički gasovi*, Tehnogas, Beograd, 1974, str. 113.

<sup>103</sup> Reč je o rešenju Džemsa Djuara (James Dewar) koji je prvi dao 1892. godine.

<sup>104</sup> Kiseonik  $-183^{\circ}\text{C}$ , argon  $-185^{\circ}\text{C}$ , azot  $-195^{\circ}\text{C}$ , vodonik  $-252^{\circ}\text{C}$ , ...

<sup>105</sup> Amonijak zauzima 886 puta manju zapreminu u tečnom nego u gasovitom stanju.

<sup>106</sup> Iz bezbednosnih razloga mora da se 5–10% unutrašnjeg prostora suda ostavlja kao minimalni prostor za gasovitu fazu kriogenog fluida. U praksi, često rezervor ima tehničko rešenje da ostaje i 15% nepopunjeno tečnom fazom. Rezervoari imaju ugrađen prelivni sistem.

pored priključaka za punjenje i pražnjenje posude, najčešće na sebi imaju kontrolne manometre pritiska i napunjenosti posude, priključke za vakumiranje posude...

Posude se transportuju pune do potrošača, gde se gas može koristiti u tečnom ili gasovitom stanju. U slučaju korišćenja gasa u gasovitom stanju iz ovih posuda, koristi se isparivač, putem koga se tečni gas iz posude prevodi u gasovito stanje. Nakon potrošnje gasa sud se vraća na novo punjenje u distributivni centar. Danas se koriste kriogeni mobilni sudovi različite zapremine, od 10 kg do 80 tona. Posude mogu biti različitog tehničko-tehnološkog rešenja, konstrukcije i izvedbe. Reč je o: malim ručno prenosnim sudovima (do 30 l)<sup>107</sup>, palet tankovima (zapremine od 50 do 250 l)<sup>108</sup> i kontejnerima (400–20.000 l). Pored ovih sudova, u ovu grupu mogu da se uvrste i sudovi postavljeni na transportni sistem (auto-prikolice, 5000–30.000 l, i železničke vagone, 20.000–80.000 l) koji su svojim rešenjima i funkcijom identični drugim sudovima.

Korišćenjem ovog načina skladištenja i snabdevanja kupca gasovima, pruža se prednost i mogućnost: sigurnijeg, bezbednijeg i bržeg punjenja većih količina u sudove; skladištenja veće količine gasa u jedinici zapremine; uskladištenja veće količine gasa po jedinici korisne površine skladišta; lakšeg procesa skladištenja i manjeg potrebnog volumenskog kapaciteta suda za skladištenje gasa; mogućnost korišćenja regalnog sistema odlaganja sudova; upotrebe mehanizacije u logističkim aktivnostima na višem tehničkom nivou; skraćanja vremena manipulacije i transporta; sigurnijeg i bezbednijeg rada u skladištu; lakšeg funkcionisanja logističkog lanca; izrazito nižih troškova skladištenja i transporta u odnosu na komprimovane gasove u gasovitom stanju; lakše kontrole i periodičnog pregleda suda; pouzdanijeg i sigurnijeg snabdevanja potrošača...

**4. Skladištenje tehničkih gasova u tečnom stanju u stabilnim sudovima.** Skladištenje velike količine tehničkog gasa u tečnom agregatnom stanju vrši se u odgovarajućem nepokretnom adekvatno termički izolovanom sudu, rezervoaru. Pod stabilnim rezervoarom podrazumeva se sud čija je zapremina veća od 500 litara i nalazi se instaliran i čvrsto fiksiran na odgovarajuće postolje (temelj). Realizacija same aktivnosti skladištenja kriogenih gasova može da se sprovede: u toku samog procesa proizvodnje, nakon završetka proizvodnje (skladištenje gotovog proizvoda), u distributivno-prodajnom centru i kod krajnjeg potrošača gasa.

Klasifikacija rezervoara može se izvršiti na osnovu gasova koji se u njih skadište na: stabilne kriogene sudove pod pritiskom za tečne atmosfenske gasove (kiseonik, azot, argon, ...) i stabilne sudove pod pritiskom za tečni ugljen-dioksid. U zavisnosti od kapaciteta skladišnog prostora tečnog gasa, rezervoari se mogu podeliti na: male (do 50 tona), srednje (50–500 tona) i velike (preko 500 tona).<sup>109</sup> Sudovi moraju biti tako konstruisani da mogu da izdrže sva potrebna mehanička i termička naprezanja (Slika 3.18). Grade se od materijala koji omogućuju rad na niskim temperaturama (tački ključanja) odgovarajućeg gasa.<sup>110</sup> Reč je o sudovima koji imaju dvostruki zid, između koga se nalazi izolator. Za izolaciju atmosferskih rezervoara koristi se perlit, vakuum i njihova kombinacija sa termičkim folijama. Kod sudova za ugljen-dioksid, kao izolacija može da se koristi i pur pena, jer je kod drugih tečnih gasova potrebno obezbediti izolaciju za gasove koji se nalaze na temperaturama koje su 2,5 do 3,5 puta niže u odnosu na tečni CO<sub>2</sub>. Sud se puni tečnim gasom maksimalno do 95% njegovog prostora.<sup>111</sup> U zavisnosti od vrste gasa, tipa skladišnog suda, veličine suda, količine uskladištenog gasa i vrste izolacije, uslovno „gubitak gasa“ (njegov prelazak iz tečne u gasnu fazu) iznosi od 0,3 do 1% na dnevnom nivou.

Skladišni sudovi mogu da budu sferičnog i cilindričnog oblika. Cilindrični rezervoari mogu da budu postavljeni vertikalno i horizontalno. Lokacija samog skladišnog suda može biti: na otvorenom prostoru, u zgradama koje su posebni građevinski objekat i u zgradama koje imaju

<sup>107</sup> Samo ovi sudovi su izgrađeni na principu otvorenog sistema suda. Zatvarač suda je na principu plutajućeg čepa.

<sup>108</sup> Često se u praksi koristi naziv za ove posude – rendžeri i eurosil.

<sup>109</sup> U nekim situacijama skladišni rezervoari imaju kapacitet nekoliko hiljada tona tečnog gasa.

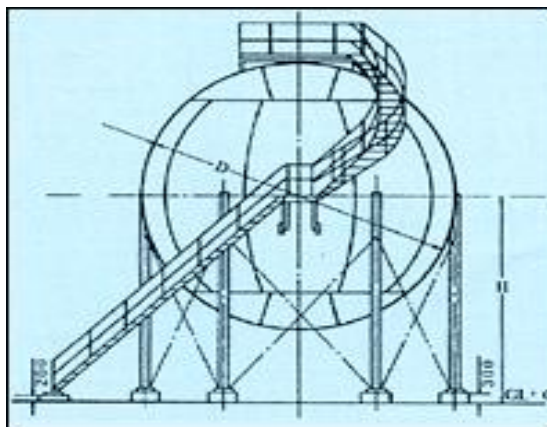
<sup>110</sup> CO<sub>2</sub> –78°C; kiseonik –183°C, argon –185°C, azot –95°C, vodonik –252°C, helijum –268°C; ...

<sup>111</sup> Ostali deo prostora služi za gasnu fazu. Sudovi imaju ugrađen prelivni sistem da se ne mogu napuniti 100%.

posebnu prostoriju. Na otvorenom prostoru, koji je najčešće lokacija za rezervoare, oni se postavljaju nadzemno. Rezervoari se instaliraju na zakonom propisanom rastojanju u odnosu na druge objekte (zgrade, hale, infrastrukturu, ...). Posude koje se nalaze instalisane na otvorenom prostoru obezbeđuju se propisanim adekvatnim posebnim merama fizičke zaštite. Reč je u prvom redu o vidu zaštite u formi žičane zaštitne ograde, u cilju onemogućenja neposrednog prilaza objektu licima koja nisu zadužena za njihovo funkcionisanje.

Lokacija postavljanja rezervoara se određuje na osnovu propisanih zakonskih uslova i normativa u zavisnosti od potreba i zahteva vezanih za određene kapacitete budućeg skladišta. Prilikom određivanja konkretne lokacije, potrebno je: sagledati situacioni plan terena, ispoštovati zakonom propisana bezbednosna rastojanja u odnosu na druge objekte, uzeti u obzir geološke parametre vezane za tlo, buduću potrošnju, tehnološki proces, vrstu i količinu uskladištenog gasa, kapacitet podstanice za regasifikaciju (ako je predviđena), saobraćajne pristupne puteve, druge postojeće rezervoare, protivpožarnu zaštitu, ...

U sklopu rezervoara uvek je instalisana sva potrebna i neophodna zaporna oprema, sigurnosna i regulaciona armatura, merni instrumenti, sigurnosni ventili, priključci za vakumiranje suda, otvori za unutrašnju kontrolu i remont, ... Svi skladišni sudovi za tečne gasove podložni su redovnoj tehničko-bezbednosnoj kontroli i ispitivanju na godišnjem nivou prema propisanim procedurama. Kod većine skladišnih kapaciteta, u neposrednoj njihovoj blizini, postoji sistem za pretakanje tečnog gasa. Gas se iz rezervoara može upotrebljavati u tečnom i gasovitom stanju. Kod korišćenja gasa u gasovitom stanju, tečni fluid se iz kriogenog rezervoara transportuje preko instalisanih isparivača, u kojima se on prevodi u gasovito stanje.<sup>112</sup>



Slika 3.18. Ilustracija stabilnog suda „sfera“<sup>113</sup>

**5. Skladištenje tehničkih gasova u čvrstom stanju u termo kontejnerima.** Realizacija skladištenja i transporta tehničkih gasova u čvrstom stanju odnosi se na jedinjenje ugljen-dioksida. Opšteprihvaćen, komercijalni naziv za ugljen-dioksid jeste suvi led, suvi sneg. Suvi led može da bude u formi: kocki, blokova, peleta ili snega, različitih dimenzija i granulacija. Posude u kojima se skladišti suvi led jesu termo kontejneri. Oni mogu biti izrađeni od: presovanog stiropora i specijalno izgrađenih termički izolovanih posuda. Termo posude, izrađene od stiropora, najčešće se grade od tvrdo presovanog stiropora zapremine od 3 do 50 kilograma. Specijalno izgrađeni termo kontejneri, sa različitim rešenjima izolacije i materijala, grade se najčešće kapaciteta od 100 do 600 kilograma. U ovim kontejnerima je moguće duže vremensko skladištenje suvoga leda. Suvi

<sup>112</sup> U ovom slučaju reč je o kriogenoj gasifikacionoj stanici. Gasifikaciona stanica sadrži opremu za skladištenje i isparavanje tehničkih gasova. Ona radi automatski.

<sup>113</sup> Izvor: preuzeto iz većeg broja stručnih radova.



led uskladišten u ovim posudama, u zavisnosti od izgradnje i vrste materijala, može da se skladišti više dana.<sup>114</sup> Zbog sublimacije, uskladišteni gas prelazi u gasovito stanje i gubi na svojoj masi.

## 2.2. Tehnika izolacije posuda za skladištenje kriogenih tehničkih gasova

U nastojanju da se izgrade adekvatne posude za tečne gasove, značajno mesto zauzima sagledavanje i analiza osobina materijala na niskim temperaturama. Sprovođenje analize osobina materijala u prvom redu obuhvata sagledavanje: a). mehaničkih osobina materijala; b). termičkih karakteristika materijala i c). električnih i magnetnih karakteristika materijala. a). Analiza i sagledavanje mehaničkih osobina materijala veoma je bitna aktivnost u izboru i upotrebi adekvatnog materijala za izgradnju suda. Sa promenom temperature menjaju se u značajnoj meri i osobine materijala. Reč je o čvrstoći materijala koja je uslovljena rasporedom atoma u kristalnoj rešetki (tipa rešetke<sup>115</sup>, njenih defekata i nečistoća). Značajne mehaničke osobine materijala za gradnju kriogenij sudova jesu: granica kidanja i granica razvlačenja; model elastičnosti; zamor materijala, žilavost materijala i tvrdoća materijala). b). Važne termičke karakteristike materijala jesu: termička provodljivost; specifična toplota (specifična toplota čvrstih tela, specifična toplota tečnosti i gasova); linearni koeficijent termičkog širenja; zapreminski koeficijent termičkog širenja; koeficijent emisije. c). Kod električne i magnetne karakteristike materijala, u prvom redu fokus pitanja predstavlja pojava superprovodljivosti koja je otkrivena na ekstremno niskim temperaturama. Kod nekih materijala na ovim temperaturama javlja se prestanak električne provodljivosti, koji se može ukloniti povećanjem magnetnog polja (kritično magnetno polje) na odezdenom nivou.

Sudovi za skladištenje i transport tečnih gasova treba i neophodno moraju, u cilju uspešne realizacije aktivnosti u logističkom lancu, da „pored funkcionalnosti, zadovoljavaju i sledeća dva najvažnija zahteva: a) da imaju takvu izolacionu opremu koja omogućava što duže čuvanje kriogenog fluida u tečnom stanju, odnosno da svedu na minimalnu moguću meru isparavanje kriogenog fluida u skladišnom sudu ili transportnom sistemu usled dotoka toplote iz okoline. b) da materijal od koga je izgrađena oprema za skladištenje i transport kriogenih fluida mora obezbediti njihovo sigurno funkcionisanje u uslovima rad pod pritiskom i ekstremno niskim temperaturama.“<sup>116</sup> Samo ostvarivanje i realizacija ovih zahteva u praksi je veoma teško ostvarljivo: jer postoji velika temperaturna razlika između tečnog gasa i atmosferske ambijentalne temperature okruženja; specifična toplota isparavanja tečnih gasova je mala; postoje teškoće da se obezbede adekvatni materijali koji zadovoljavaju sve potrebne mehaničke osobine za izgradnju posuda.<sup>117</sup>

Kao izolacija koristi se veliki broj različitih materijala i tehničkih rešenja u cilju postizanja što većeg stepena izolacije kriogenih sudova. Sve primenjivane izolacije mogu se svrstati u dve celine: gasom punjene izolacije (ekspandirane pene, gasom punjeni puderi i vlaknasti materijali...) i vakuum izolacije (vakuum, vakuum-puder i vakuum-vlaknasti materijal, vakuum-puder sa dodatkom materijalnog praha, višeslojna izolacija u vakuumu ili superizolacija, ...).<sup>118</sup> U praktičnoj

<sup>114</sup> Praktično, vreme skladištenja suvoga leda u bolje izolovanim kontejnerima može da bude do 7 dana (nekad i nešto duže), uz gubitke koji nastaju kao posledica prelaska ugljen-dioksida iz čvrstog u gasovito stanje.

<sup>115</sup> Za izgradnju posuda prikladni su materijali čiji je tip kristalne rešetke „centrična kubna rešetka“. Ovu rešetku imaju: aluminijum, bakar, njihove legure, nerđajući čelik, prohrom, ... Pogodna je upotreba: teflona, pleksiglasa, stakla, različitih elastomera, ... Nasuprot „centričnoj kubnoj rešetki“ u kristalnoj rešetki su materijali koji imaju kristalne rešetke tipa „centrična kocka“ i „kompaktni heksaedar“, koji nisu pogodni za kriogene sudove jer su sklorni krtom lomu.

<sup>116</sup> Rašković, Lj., *Osnove kriogene tehnike*, Akademska misao, Beograd, 2005, str. 201.

<sup>117</sup> Pored svih potrebnih mehaničkih osobina za izgradnju posuda, važan parametar je i njegova žilavost.

<sup>118</sup> Jedna od specifičnih izolacija, koja se u nekim situacijama primenjuje kod sudova velike zapremine (od nekoliko hiljada m<sup>3</sup>) za tečne tehničke gasove, jeste izolacija koju formiraju dupli zidovi sudova na međusobnom rastojanju

primeni, ovoga trenutka najzastupljenije su tri vrste izolacija sudova za tečne tehničke gasove: 1. vakuum, 2. vakuum-perlit i 3. superizolacija.

**1. Vakuum izolacija.** Vakuum<sup>119</sup> je latinska reč koja znači praznina. To je prostor u kome obično nema supstance (molekula, atoma). U praksi se pod pojmom vakuum u termodinamičkom smislu smatra prostor u kome je pritisak značajno niži od atmosferskog.<sup>120</sup> Njime se „naziva i stanje kada je u nekom sudu vazduh ili neki drugi gas znatno razređen u odnosu na gustinu u donjim slojevima atmosfere. Meri se pritiskom gasa, što je vakuum u prostoru veći, pritisak gasa je manji.“<sup>121</sup> Vrednost vakuuma meri se i izražava u paskalima (Pa).<sup>122</sup> Samo klasifikovanje vakuuma može uslovno da se izvrši na: vakuum niskog pritiska (do 100 Pa), vakuum srednjeg pritiska (do 0,1 Pa), visoki vakuum (do  $10^{-4}$ ), ultravisoki vakuum (od  $10^{-4}$  do  $10^{-10}$  Pa) i ekstremno visoki vakuum (niži od  $10^{-10}$  Pa). Idealan vakuum označava prostor u kome je pritisak nula.<sup>123</sup>

Sam proces prenosa (sprovođenja) toplote vrši se preko materijalnih nosilaca. U prostoru gde se nalazi vakuum, smanjeno je prisustvo materije (gasa), a samim tim i prenos toplote.<sup>124</sup> Praktično, što je vakuum veći, a pritisak niži, prenos toplote je manji. Ova zakonitost je dovela do efikasne primene vakuuma u funkciji izolacije kriogenih sudova.<sup>125</sup> Upotreba vakuuma kao izolacije bazira se u nastojanju da se eliminišu dve komponente prenosa toplote: provođenjem i gasnom konvekcijom. Kod vakuumskih izolovanih sudova za tečne gasove na niskim temperaturama, toplota se prenosi u veoma malom delu, gasnim provođenjem putem molekula gasa koji su zaostali u izolacionom vakuum prostoru suda. Prenos toplote kod ovih sudova u najvećoj meri se ostvaruje putem mehaničkih veza i zračenja.

Značajni parametri za vakuumske izolovane sudove jesu prenos toplote kroz vakuumsku izolaciju (prenos zračenjem, slobodnim molekulima<sup>126</sup>). Danas se ovaj vid izolacije, koji koristi samo vakuum, upotrebljava kod laboratorijskih sudova i cevovoda.<sup>127</sup>

**2. Vakuum-perlit izolacija.** Kod sudova za skladištenje velikih količina tečnih gasova neophodno je ostvariti efikasnu kriogenu izolaciju. Postizanje visokog stepena izolacije, velikih skladišnih rezervoara, samo vakumiranjem<sup>128</sup> izolacionog prostora veoma je teško ostvarljivo u praksi. Zato se kao izolacija često upotrebljava vakuum-perlitna izolacija, tipa vakuum-puder kriogene izolacije.<sup>129</sup> Na ovaj način se postiže odgovarajući nivo izolacije, sa manjim stepenom neophodnog vakuuma. Ova izolacija se bazira na principu da se izolacioni međuprostor suda u

od 80 do 100 cm. U izolacionom prostoru suda nalazi se perlit, koji je stalno izložen strujanju azota u gasovitom stanju.

<sup>119</sup> Vakuum označava prostor u kome nema materije ni zračenja. Samu osobinu i efekat vakuuma na spektakularan način demonstrirao je 1654. Oto von Gerike pomoću metlne vakuumske kugle koja nije mogla da se rastavi zbog uticaja i dejstva vakuuma. Kao izvor sile korišćeni su i upotrebljeni Magdeburški konji.

<sup>120</sup> Opširnije o vakuumu: Bogner, M., Ćirić, S., *Tehnički gasovi*, Građevinska knjiga, 1984, str. 106–109.

<sup>121</sup> *Mala enciklopedija Prosveta*, opšta enciklopedija, Prosveta, Beograd, 1986, str. 358.

<sup>122</sup> Pritisak se meri instrumentom koji se zove vakuum metar.

<sup>123</sup> Do sada najmanji postignuti pritisak u procesu vakumiranja jeste od oko  $10^{-12}$  Pa. Najniži pritisak od  $10^{-14}$  Pa, a najveći vakuum, nalazi se u kosmosu. Pritisak od  $10^{-15}$  Pa približno označava jedan atom u kubnom metru.

<sup>124</sup> O jednom segmentu pojave prenosa temperature može se videti i na primeru u okviru rada: Stanić, D., *Transport naboja i topline kompleksnih metalnih spojeva Al<sub>73</sub>Mn<sub>27-x</sub>(Pd,Fe)<sub>x</sub>*, doktorski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 2009.

<sup>125</sup> O tehnologiji vakuuma, detaljnije se može videti u radu: Umrath, W., „Fundamentals of Vacuum technology“, *Oerlikom leybolde vacum*, Colgone, Germany, 2007.

<sup>126</sup> Kod molekularnog zračenjem u vakuumskom prostoru, značajan je stepen približavanja energije molekula termičkoj ravnoteži posle sudara sa graničnom površinom, iskazuje se koeficijentom akomodacije: izračunava se za sudove u obliku koncentrične cilindrične i sfere.

<sup>127</sup> Izolacija cevovoda, za transport kriogenih tečnih gasova na veća rastojanja, gradi se na principu kako se radi izolacija kod kriogenih rezervoara.

<sup>128</sup> O tehnologiji vakuuma, detaljnije videti u radu: Wolf, J., *Vacuum Technology*, ISAPP, Universitat Karlsruhe, 2009.

<sup>129</sup> O vakuumu, može se videti i u radu: Niels, Marquardt, *Introduction to the principles of vacuum physics*, University of Dortmund, Dortmund.

potpunosti napuni finim česticama perlita.<sup>130</sup> Nakon unošenja perlita, iz izolacionog međuprostora izvlači se vazduh, stvarajući tako vakuum. Stvaranjem „vakuuma u izolacionom prostoru smanjuje se uticaj gasnog provođenja i prelaza toplote, dok perlit smanjuje uticaj prenosa toplote zračenjem kao i provođenje usled velikih kontaktnih otpora između čestica“.<sup>131</sup>

Od velikog značaja za vakuum-perlit izolaciju jeste: sam prenos toplote kroz vakuum-perlitnu izolaciju, uticaj drugih faktora na ukupni koeficijent toplotnog provođenja i karakteristike perlita. Prenos toplote kroz vakuum-perlitnu izolaciju izračunava se pomoću ukupnog koeficijenta toplotnog provođenja ( $\lambda_u$ ) kroz izolaciju.<sup>132</sup> Uticaj drugih faktora na ukupni koeficijent toplotnog provođenja, pored visine vakuuma u izolacionom prostoru, ima: gustina perlita, toplotno zračenje, temperature tople i hladne granične površine, ... Same karakteristike i osobine perlita u funkciji izolacije jesu: niska toplotna provodljivost (manje od 0,038 W/mK) u suvom stanju, manja hidrogenost od drugih silikatnih materijala, niska cena nabavke, ...

**3. Višeslojna izolacija u vakuumu (superizolacija).** Ovo je veoma efikasan i složen oblik izolacije kriogenih sudova za tečne gasove na niskim temperaturama, koji zajednički stvaraju (grade, formiraju) tri činioca. U samoj unutrašnjosti izolacionog prostora, postavlja se više slojeva reflektujuće materije, koja se međusobno razdvaja slojevima drugog materijala (izolatora).<sup>133</sup> Nakon postavljanja višeslojnog sistema od reflektujuće folije i izolatora između njih, iz izolacionog prostora se procesom vakumiranja odstranjuje vazduh. U ovako formiranom sistemu izolacije, svaka od navedene tri njegove komponente ima svoju značajnu ulogu u postizanju visokog stepena izolacije kriogenog suda. Tako da u ovom trokomponentnom sistemu izolacije „slojevi reflektujućeg materijala smanjuju na minimum prenos toplote, zračenje, izolacijski materijal koji razdvaja slojeve reflektujućeg materijala smanjuje prenos toplote provođenjem i visoki vakuum smanjuje prenos toplote slobodnim molekularnim prevođenjem gasa“.<sup>134</sup>

Značajno za ovaj način sistema izolacije sudova jeste sagledavanje i analiza: prenosa toplote kroz superizolaciju; uticaja visine vakuuma na ukupni koeficijent provođenja toplote kroz superizolaciju; uticaja gustine slojeva superizolacije i specifičnog opterećenja na ukupni koeficijent provođenja toplote; ... Danas su u primeni različiti materijali koji se koriste kod formiranja sistema višeslojne izolacije, superizolacije.<sup>135</sup> Tako da se za reflektujuće materijale najčešće koristi aluminijumska ili bakarna folija. Kao izolacijski materijal upotrebljava se papir od: fiberglasa, mreža od najlona i mreža od fiberglasa. U upotrebi se, kao efikasan izolator, koristi i kombinovani materijal, aluminizovani milar.<sup>136</sup>

Potrebe i zahtevi transporta i skladištenja tečnih tehničkih gasova doprineli su širokoj primeni sistema superizolacije sudova u njihovoj funkciji.<sup>137</sup> Ovaj način izolacije koristi se sve više i masovnije i u ovoj oblasti. Konkretno utvrđivanje koja je od izolacija najbolja, zahteva njihovo sagledavanje i iz ugla mesta njihove primene i upotrebe. Nisu isti: zahtevi, potrebe, uslovi i razlozi primene izolacije sudova za fluide na niskim temperaturama, u svemirskim programima i oblastima široke primene u raznim oblastima industrije, medicine, ... Precizna komparativna

<sup>130</sup> Perlit je stena vulkanskog porekla. To je materijal koji se dobija mlevenjem kamena i njegovim toplotnim ekspanzijom. U svom sastavu ima oko: 76% SiO<sub>2</sub>, 14% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4% K<sub>2</sub>O, 3,7% Na<sub>2</sub>O; 0,9% CaO; ...

<sup>131</sup> Rašković, Lj., *Osnove kriogene tehnike*, Akademska misao, Beograd, 2005, str. 215.

<sup>132</sup> Ukupni koeficijent toplotnog provođenja kroz izolaciju određuje se eksperimentalno. Iznos za prenos toplote kroz izolaciju može da se izrazi pomoću osnovne Fourijeve jednačine.

<sup>133</sup> Slojevi materijala koji služe kao izolator imaju malu toplotnu provodljivost. Tako da se postavlja naizmenično više reflektujućih folija i slojevi izolacionog materijala između njih, male toplotne provodljivosti.

<sup>134</sup> Rašković, Lj., *Osnove kriogene tehnike*, Akademska misao, Beograd, 2005, str. 218.

<sup>135</sup> Danas kod najvećeg broja sudova za tehničke gasove, koji imaju vakuum ili vakuum sa drugim materijalima, u funkciji izolacije, visina vakuuma je do 10<sup>-2</sup>.

<sup>136</sup> Myuar. Reč je o specijalnoj plastičnoj masi koja se koristi kao izolator. Na nju se brizganjem, topao u tečnom stanju, nanosi sloj aluminijuma visoke refleksije. Tako da ovaj materijal istovremeno ima reflektujuću i izolacijsku funkciju.

<sup>137</sup> Razvoj ovog načina izolacije posledica je zahteva i potreba u iznalaženju efikasnog načina kriogene izolacije male težine, u oblastima kosmičkih programa.

analiza vrste izolacija obuhvata i: ukupan koeficijent provođenja toplote, izrade, težine, cenu izgradnje, ponašanja u toku vremena eksploatacije, ...

U procesu izgradnje sudova za skladištenje kriogenih fluida, značajno mesto i poziciju imaju aktivnosti proračuna i projektovanja: unutrašnjeg i spoljnog suda; sistema međusobne veze između unutrašnjeg i spoljnog suda; cevnih vodova rezervoara; armature i instrumenata rezervoara.<sup>138</sup> Neosporno, posebno značajno centralno mesto u izgradnji sudova za kriogene gasove zauzimaju materijali od kojih se oni grade<sup>139</sup> i tip izolacije koja se koristi u izolaciji posuda.

### 2.3. Komparativna analiza skladištenja tehničkih gasova

Analiza realizacije skladištenja tehničkih gasova može da se ostvari i posmatranjem iz ugla aktivnosti: izgradnje samog skladišnog prostora i realizacije skladištenja gasa kao proizvoda. Sagledavanje izgradnje skladišnog prostora obuhvata: izgradnju skladišnog suda (boce, baterije, kriogene posude, kriogenog rezervoara, kriogenog kontejnera, ... Tabela 3.5), punionice za gasove, gasifikacione stanice, zgrade i objekata u funkciji skladišnog prostora tehničkih gasova (za odlaganje: boca, mobilne posude, ...), distributivnog centra i prodajnih objekata. Sa aspekta realizacije aktivnosti skladištenja gasa, analiza može da obuhvati: vrstu gasa; agregatno stanje gasa; vrstu suda; poziciju skladištenja u logističkom lancu; način prijema, skladištenja i isporuke; stepen automatizacije; primenu savremenih elektronskih sredstava u procesu skladištenja... Značajno mesto sa tehničkog aspekta, u realizaciji same aktivnosti skladištenja, zauzimaju: pumpe, kompresori, razvodi, oprema i uređaji za manipulaciju tehničkim gasovima, označavanje i obeležavanje posuda...

Veoma značajan, u analizi sagledavanja skladištenja gasova, jeste ugao posmatranja vezan za količinu gasa koji se može uskladištiti na jedinici površine skladišnog prostora. Količina uskladištenog gasa zavisi od: agregatnog stanja gasa, vrste suda u kome se skladišti gas i od toga da li postoji mogućnost regalnog skladištenja sudova. Komparativna analiza skladištenja gasa sprovedena je analizom skladišne površine dimenzija od 25 m x 25 m. Skladištenje gasa u sudovima može da se realizuje na otvorenom, natkrivenom i zatvorenom prostoru. Skladištenje boca i paleta može da se sprovede u sva tri tipa prostora. Skladištenje baterija, palet tankova i rendžera sprovodi se najčešće u otvorenom ili natkrivenom skladištu. Kada je reč o rezervoarima velike zapremine, oni se gotovo uvek, kao po pravilu, nalaze na otvorenom prostoru.

Tabela 3.5. Vrste posuda za tehničke gasove

posuda	agregatno stanje	tehničko rešenje	posuda	težina gasa (kg)	pritisak (bar)
boca	gas/kompri.	boca	1–60 litara	1–30	1–300
paleta	gas/kompri.	više boca samostalnih	4–12 boca	60–360	1–300
baterija	gas/kompri.	više boca povezanih	4–36 boca	40–400	1–300
trajler	gas/kompri.	više boca povezanih	12–30 boca	150–2000	1–250
termo sud	tečno	kriogeni sud	1–100 litara	1–150	atmosfe.
rendžer	tečno	kriogeni sud	50–250 litara	50–300	1–20
palet tank	tečno	kriogeni sud	200–10.000 litara	150–14.000	1–20
cisterna	tečno	kriogeni sud	10.000–30.000 l	do 30000	1–20
rezervoar	tečno	kriogeni sud	10.000–3.000.000 l	10–3200 t	1–20
kontejner	čvrsto CO <sub>2</sub>	termo kutija	1–600 litara	1–550 kg	atmosfe.

Autor.

<sup>138</sup> Opširnije o gradnji kriogenih sudova, sa tehničkog aspekta, može se videti u većem broju radova iz ove oblasti.

<sup>139</sup> Danas se u praksi, prilikom izgradnje svih kriogenih posuda, u najvećem broju koristi austetni hrom-nikl čelik (prohrom C340).

Analiza skladištenja je obuhvatila mogućnost skladištenja kiseonika u gasovitom i tečnom agregatnom stanju u sudovima različitog tehničkog rešenja (boca, paleta, baterija, rendžer, palet tank, cilindrični vertikalni rezervoar i sferni rezervoar) i karakteristika. Reč je o mogućnosti primene različitih sudova (Tabela 3.6) za skladištenje na površini od 625 m<sup>2</sup>. Sagledana je mogućnost uskladištenja gasa: u različitom agregatnom stanju, na različitom pritisku i primenom regalnog sistema skladištenja na dva nivoa ako za tu vrstu ambalaže (suda) postoji mogućnost regalnog odlaganja. Prilikom računanja, ukupna skladišna površina umanjena je za neophodne transportno-manipulativne puteve, kod uskladištenja onih sudova za koje su oni neophodni. Analiza je pokazala sledeće: da na istoj skladišnoj površini u gasovitom stanju može da se uskladišti kiseonika u pojedinačnim bocama 28,6 tona; u bocama u paleti 24 t (u regalu na dva nivoa 48 t); u bateriji od 30 boca 42 t (u regalu na dva nivoa 48 t). Kod skladištenja kiseonika u tečnom stanju, može da se uskladišti: u rendžerima 97,2 t (u regalu na dva nivoa 194,4 t); u palet tanku 99,9 t (u regalu na dva nivoa 199,9 t); u cilindričnim rezervoarima 424 t i u sferičnom (kuglastom)<sup>140</sup> rezervoaru 1050 t.

Tabela 3.6. Mogućnost skladištenja kiseonika na istoj površini skladišta<sup>141</sup>

sud agrega. stanje G – gasovito T – tečno	broj sudova	tehnički podaci o sudu	dimenzija	kapacitet	broj posuda na 625 m <sup>2</sup>	količina gasa bez regala kg	uskladišteno u regalu na * 2 nivoa	
			m	kg			kg	
boca G	1 boca	200 bar/50 l	R 0,25	14,3	2000	28600		28600
paleta G	12 boca	200 bar/50 l	1,2 x 1,1	171,6	140	24024	*	48048
baterija G	30 boca	200 bar/50 l	1,7 x 1,2	429	98	42042	*	84084
rendžer u paleti T	2 ili 4	20 bar/200 l	0,8 x 0,8	180	540	97200	*	194400
palet tank T	1 kom	20 bar/627 l	1,2 x 1,1	714	140	99960	*	199920
rezervoar vert. cilindrični T	1 kom	50 m <sup>3</sup>	R 5	53000	8	424000		424000
rezervoar sferni T	1 kom	1000 m <sup>3</sup>	R 25	1050000	1	1050000		1050000

Autor.

U okviru ovoga rada, sprovedeno je istraživanje sagledavanja uticaja agregatnog stanja gasa na funkciju skladištenja. Analiza je obuhvatila skladištenje različitih tehničkih gasova. Sagledano je skladištenje kiseonika u gasovitom i tečnom agregatnom stanju u različitim posudama, kao i ugljen-dioksida u tri agregatna stanja. Komparativna analiza pokazuje da kod skladištenja komprimovanog gasa kiseonika na površini od 625 m<sup>2</sup> skladišnog prostora, u bocama (50 litara na 200 bara) u gasovitom stanju, može da se uskladišti 28,6 tona gasa, a u baterijama (30 boca 50l/200 bara) odloženim u regalu na dva nivoa 48 tona. Tako da primenom regalnog sistema kod skladištenja gasa korišćenjem baterije kao suda i regalnog sistema odlaganja može da se uskladišti 1,67 puta veća količina gasa. U tečnom stanju kiseonik, u palet tanku, može da se odloži u skladište primenom regalnog sistema, 199,9 tona gasa a u sferičnom (kuglastom) rezvoaru može da se uskladišti 1050 tona tečnog gasa. Tako da se skladištenjem tečnog kiseonika u sfernom rezervoaru može da uskladišti pet puta veća količina gasa nego u palet tanku. Istovremeno, skladištenjem kiseonika u tečnom stanju u jednom sferičnom rezervoaru u odnosu na njegovo komprimovano skladištenje u 2000 boca u gasovitom stanju, može da se uskladišti 36 puta veća količina gasa na istoj površini skladišta.

<sup>140</sup> Reč je o rezervoaru koji ima geometrijski oblik lopte; on se najčešće naziva sferični i kuglasti.

<sup>141</sup> Analiza obuhvata mogućnost skladištenja kiseonika u zavisnosti od agregatnog stanja gasa i vrste posude. Reč je o prostoru skladišta od 25 x25 metara.

### 3. Skladištenje naftnih gasova u cilju bolje snabdevenosti potrošača

Realizacija aktivnosti skladištenja naftnih gasova jeste kompleksna i specifična aktivnost. Skladištenje se može realizovati skladištenjem pojedinačno naftnih gasova (propan, butan, ...) ili mešavinom propan-butana. Sprovođenje skladištenja TNG može se ostvariti u toku samog procesa proizvodnje, transporta (boce, auto i železničke cisterne) i skladištenjem većih količina ovog gasa kod trgovaca i potrošača. Sa aspekta skladištenja, u centru pažnje i analize jesu prostori većih zapremine koji imaju funkciju i mogućnost uskladištenja većih količina ovog energenta.<sup>142</sup> Analiza se može sprovesti na osnovu većeg broja parametara: veličine (zapremine) suda, geometrijskog oblika suda, načina i mesta njegovog instaliranja<sup>143</sup>... Tako da se danas u literaturi susreću različite podele. Sa aspekta načina postavljanja, sudovi mogu biti: stabilni (nepokretni), mobilni (prenosni)<sup>144</sup> i postavljeni na transportnom sredstvu (auto-cisterne, vagon-cisterne i brodovi). Kod podele prema mestu instaliranja, rezervoari mogu biti: ukopani (podzemni), delimično ukopani<sup>145</sup> i nadzemni (Tabela 3.7). Potpunu, preciznu i sveobuhvatnu klasifikaciju skladištenja TNG, sa aspekta svih relevantnih faktora, nije moguće u potpunosti decidno izvršiti i realizovati. Uslovna podela svih načina skladištenja tečnog naftnog gasa može se izvršiti u dve osnovne grupe: rezervoari (posude) i podzemna skladišta.

#### 3.1. Rezervoari u funkciji skladišta za tečni naftni gas

Grupu rezervoara i posuda čini veliki broj različitih sudova i sredstava, koji se mogu svrstati u tri podgrupe: stabilni nepomični sudovi, posude na transportnom sredstvu i mobilne posude.<sup>146</sup> Drugu grupu mogućih načina uskladištenja TNG čine: sva podzemna skladišta u uslovima okruženja i podzemna skladišta na niskim temperaturama.

**Stabilni nepomični rezervoari** za skladištenje TNG jesu zatvoreni sudovi izrađeni prema odgovarajućim standardima. Oni se mogu grupisati, posmatrano prema svojoj veličini, na: male rezervoare zapremine do  $10 \text{ m}^3$ , srednje, zapremine od  $10 \text{ m}^3$  do  $200 \text{ m}^3$ , i velike rezervoare, preko  $200 \text{ m}^3$ . U zavisnosti od geometrijskog oblika, rezervoari mogu biti cilindrični i sferni (kuglasti, loptasti).<sup>147</sup> Posmatrano prema mestu postavljanja, rezervoari se mogu instalirati nadzemno i podzemno. Cilindrični rezervoari mogu da se postave: nadzemno i podzemno, vertikalno i horizontalno. U najvećem broju slučajeva, cilindrični rezervoari se postavljaju horizontalno (nadzemno i podzemno) a kuglasti (sferični) se grade samo nadzemno.<sup>148</sup> Radni pritisak rezervoara za propan kreće se od 13,2 do 16,7 bara, a za butan 5,1–6,6 bara, što zavisi od lokacije suda.<sup>149</sup>

**1. Cilindrični rezervoari.** Cilindrični rezervoari su sudovi različitih dimenzija i kapaciteta, sastavljeni od cilindričnog plašata, dva danca (kalotne), sa dva oslonca i više oslonaca, na sebi imaju različite priključne otvore, revizioni otvor, imaju zapornu, mernu i sigurnosnu armaturu... Telo rezervoara urađeno je od čeličnih limova fino zrnaste strukture.<sup>150</sup> Izrađuju se tehnologijom

<sup>142</sup> Detaljnije u radu: *Oil & Natural Gas Transportation & Storage Infrastructure: Status, Trends, & Economic Benefits*, American Petroleum Institute, Washington, 2013.

<sup>143</sup> Prema: Muštrović, F., *Propan-butane*, IBC, Sarajevo, 2006, str. 107.

<sup>144</sup> Reč je o sudovima zapremine od  $0,5$  do  $5 \text{ m}^3$ , koji služe za transport i skladištenje gasa.

<sup>145</sup> Kod rezervoara koji su delimično ukopani, njihov vrh se nalazi iznad tla, a deo tela rezervoara se nalazi ispod površine. Za razliku od njih, ukopani rezervoari se kompletno celi nalaze ispod površine zemlje.

<sup>146</sup> O posudama za skladištenje TNG: na transportnom sredstvu (cisterne na kamionima, vagon-cisterne i brodovi) i mobilnim posudama (boce, palet tankovi) u funkciji transporta, bilo je reči u 2. delu ovoga rada. U ovom poglavlju, neće diti detaljne njihove analiz zato što se one koriste u prvom redu u funkciji transporta.

<sup>147</sup> O malim rezervoarima: Labudović, B., *Osnove tehnike ukapljenog naftnog plina*, EM, Zagreb, 2007, str. 33–88.

<sup>148</sup> Detaljno o rezervoarima videti u radu: Tanasković, P., *Transport sirove nafte i gasa III deo tečni naftni gas TNG*, Naftagas, Novi Sad, 1976, str. 95–108.

<sup>149</sup> Detaljno videti u radu: Bogner, M., *Propan i butane, propisi i primeri iz prakse*, ETA, Beograd, 2004.

<sup>150</sup> Jedan od čelika je StE 355, DIN 17102, sa minimalnom granicom razvlačenja  $Re = 355 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ .

elektrolučnog zavarivanja. Posle završetka varenja suda, oni se obavezno izlažu termičkom postupku.<sup>151</sup> Nakon izgradnje, a pre puštanja u upotrebu, neophodno je sprovesti njihovo ispitivanje (testiranje).<sup>152</sup> Rezervoari koji se postavljaju na otvorenom prostoru moraju da budu zaštićeni dodatnim limom od direktnog dejstva atmosferskih uticaja. Sudovi su spolja zaštićeni odgovarajućim premazima bojama. Postavljaju se na čvrste temelje od vatrootpornih materijala.<sup>153</sup>

**2. Kuglasti (sferni) rezervoari.** Ovi rezervoari su namenjeni za skladištenje velikih količina tečnog naftnog gasa u rafinerijama, degazolinažama, distributivnim centrima i kod velikih potrošača ovog energenta. Ovi sudovi, velike volumenske zapremine, loptastog oblika, napravljeni su od istog materijala kao i cilindrični rezervoari. Oslanjaju se na čelične profile. Prednost sfernih sudova, u odnosu na cilindrične, jeste da su: savršenijeg geometrijskog oblika, imaju manje zaporne opreme i sigurnosne armature, zauzimaju manju površinu tla, temelji su manji i jednostavniji...

Tabela 3.7. Klasifikovanje mogućnosti uskladištenja TNG

uskladištenje tečnog naftnog gasa	
1. rezervoari i posude	2. podzemna skladišta
1.1. stabilni (nepomični) – cilindrični rezervoari – kuglasti rezervoari – podzemni rezervoari 1.2. na transportnom sredstvu – kamioni (auto-cisterna) – vagoni (vagon-cisterna) – brodovi za TNG 1.3. mobilne (prenosne) – boce – palet tankovi	2.1. podzemna skladišta pod uslovima okruženja – prirodni kapaciteti (pećine, prirodne pukotine...) – kapaciteti u ležištima soli – napušteni rudnici, tuneli... – novi iskopani podzemni rezervoari 2.2. podzemna skladišta na niskim temperaturama

Autor.

**3. Podzemni rezervoari.** Pod ovim sudovima se smatraju rezervoari koji su potpuno ukopani ili rezervoari postavljeni u komore čiji se nivo plašta nalazi najmanje 60 cm ispod nivoa terena. Gradnja ovih sudova, prema tehničko-tehnološkim karakteristikama i opremi, slična je gradnji nadzemnih rezervoara.<sup>154</sup> Spoljašnja površina suda štiti se adekvatnim premazima otpornim na koroziju i izolacionim materijalom, najmanje debljine od 6 mm. Instaliraju se na betonskim temeljima, fiksiraju temeljnim vijcima i dodatno učvršćuju metalnim obujmicama. Oprema se postavlja na gornjoj izvodnici rezervoara i montira u zaštitnom prostoru (okno od metala ili betona) na kome se nalazi zaštitno-bezbednosni poklopac. Sigurnosni ventili rezervoara povezani su pomoću cevi za rasterećenje i izvedeni iz okna na minimalnu visinu od 2,5 m u odnosu na tlo.

### 3.2. Podzemna skladišta tečnog naftnog gasa

Povećanja potražnje i potrošnje TNG kao energenta, uticala su na to da se nastojalo da se iznaladu i druga adekvatna rešenja za skladištenje većih količina ovoga energenta. Bilo je potrebno uskladištiti velike količine gasa po prihvatljivoj ceni. Kuglasti rezervoari zadovoljavaju zahteve do

<sup>151</sup> Na tempertauri od oko 650°C u cilju otklanjanja napona materijala koji nastaje kao posledica zavarivanja.

<sup>152</sup> Varovi se kontrolišu nekom od metoda nerazaranja. Rezervoar se testira vodom na pritisku od 25 bara.

<sup>153</sup> Reč je o različitim materijalima i tehnikama postavljanja temelja. Oni se u zavisnosti od veličine, načina i mesta postavljanja rezervoara razlikuju.

<sup>154</sup> Kod ovih rezervoara, prilikom projektovanja, zbog dejstva korozije, debljina zidova suda uvećava se za 10 mm.

2500 m<sup>3</sup>, ali njihova gradnja je skupa i zahtevala je veliki broj posuda što povećava rizik od opasnosti. U cilju iznalaženja adekvatnog rešenja, prvo podzemno skladište propana krenulo je sa radom 1954. godine u SAD.<sup>155</sup> Nakon toga, krenulo se sa izgradnjom skladišnih kapaciteta za tečne naftne gasove u napuštenim rudnicima, tunelima, pećinama rudnicima soli... tako da danas u svetu ima preko 200 ovakvih skladišta, čiji kapacitet dostiže i 1.500.000 m<sup>3</sup>. Oni su danas najekonomičniji način skladištenja ovog gasa.<sup>156</sup> Donošenje odluka o izboru i gradnji skladišnog prostora, uslovljeno je u prvom redu parametrima i karakteristikama vezanim za sigurnost i bezbednost koju pruža potencijalna lokacija. Neophodno je da je tlo nepropusno i da ne poseduje „mrtvu zonu“.<sup>157</sup> Velika količina gasa koja se skladišti uslovljava da su mere bezbednosti i zaštite u centru pažnje u procesu izgradnje i eksploatacije. Svi uređaji i oprema za manipulaciju gasom instalirani su iznad nivoa zemlje. Sva podzemna skladišta za TNG mogu da se podele na: podzemna skladišta pod uslovima okruženja i podzemna skladišta na niskim temperaturama.

**1. Podzemna skladišta pod uslovima okruženja.** Reč je o skladištima kod koji se gas odlaže na temperaturi okoline. Kao prostor za skladištenje koriste se: prirodni kapaciteti (pećine, prirodne pukotine, stari bunari...); kapaciteti u ležištima soli; napušteni rudnici, tuneli, kamenolomi...; novi rudarski iskopani podzemni rezervoari. Kod podzemnog uskladištenja značajan je njegov zasvođeni deo. Reč je o debljini svoda koji se nalazi iznad samog skladišta u kome se nalazi gas.<sup>158</sup> Prilikom odluke da se za skladište koriste pećine, napušteni rudnici, tuneli... neophodno je da se sprovedu detaljna ispitivanja i istraživanja budućeg skladišta. Reč je o sagledavanju i analizi njegovog mogućeg ponašanja nakon utiskivanja gasa pod pritiskom (poroznost, zaručavanje, erozija, propuštanje...). Propisani su: obavezni uslovi koje je neophodno da ispuni potencijalno skladište, procedure njegove gradnje, puštanja u rad i same eksploatacije.<sup>159</sup>

Od svih skladišta koja se grade u okviru ovog tipa, kao najekonomičnija su se pokazala skladišta izgrađena u solnim ležištima.<sup>160</sup> To je posledica povoljnih karakteristika koje pružaju ležišta soli. Imaju veoma male gubitke u procesu eksploatacije i korišćenja skladišta. Među prvim skladištima za TNG u Evropi, izgrađeno je 1977. u Gargenvilu (Francuska), kapaciteta 130.000 m<sup>3</sup>.<sup>161</sup> Danas, neka od najvećih skladišta u Evropi jesu: Lavera (305.000 m<sup>3</sup>, Francuska); Killinghol (214.000 m<sup>3</sup> V. Britanija); Sines (Portugalija)...<sup>162</sup>

**2. Podzemna skladišta na niskim temperaturama.** Reč je o skladištima koja se grade u zaleđenoj strukturi tla. Tehnički posmatrano, reč je o skladištu u obliku velikih jama u tlu, zasvođenom čeličnim ili armiranobetonskim svodom. Prstenasti omotač i dno jame zaleđeni su pomoću odgovarajućeg sistema za hlađenje. Ova skladišta imaju male gubitke u toku rada. Pogodni uslovi za njihovu gradnju jesu tla koja su močvarna, rastresita i podvodna. Grade se u uslovima gde je otežano instalirati druge vrste velikih skladišnih kapaciteta. Gas je uskladišten na pritisku od 1 bara. U svetu se grade i druga skladišta u kojima je gas uskladišten na atmosferskom pritisku. Reč je o različitim tehničkim rešenjima. Jedan od njih je tip rezervoara u obliku sanduka od sintetičkog materijala, sintetičkog vlakna.<sup>163</sup>

<sup>155</sup> Reč je o skladištu izgrađenom u napuštenom oknu (napuštenog rudnika) u Orangeburgu, kapaciteta 8000 galona.

<sup>156</sup> Prema nekim izvorima, ovaj tip skladišta je isplativo graditi samo kada je reč o volumenu većem od 5000m<sup>3</sup>.

<sup>157</sup> Reč je o mogućem prostoru koji se ne može upotrebiti za skladištenje TNG.

<sup>158</sup> Teoretski je utvrđeno da debljina zasvođenog sloja skladišta iznosi 4,5 m na jedan bar pritiska pod kojim se uskladištuje gas. U praksi se pokazalo, sa aspekta bezbednosti, da ta debljina sloja treba da iznosi više (60–90 m).

<sup>159</sup> Opširnije o skladištima za LPG može se videti u radovima: Berest, Pierre, Brouard, Benoit, *Safety of salt caverns used for underground storage*, France, 2004; Petrick V., Laguerie, *Underground storage of LPG rock cavern at visakhapatnam in andhra prades* (India), WLPG, Seoul, 2008.

<sup>160</sup> O gradnji skladišta, može se videti u radu: Berest, P., Brouard, B., *Safety of Caverns used for Underground Storage*

<sup>161</sup> Reč je o rudarskom iskopu dve podzemne galerije, svaka dužine 1300 m, poprečnog preseka 49 m<sup>2</sup>. Mogućnost pretakanja je 320 m<sup>3</sup>/h gasa iz vagon i auto-cisterni u njega.

<sup>162</sup> O gradnji skladišta opširnije u radu: Patrick v., De Laguerie, *Underground Storage of LPG in Rock Cavern at Visakhapatnam in Andhra Pradesh*, WLPG, Seoul, 2008.

<sup>163</sup> Rezervoar koji ima omotač debljine 12,5 cm. Unutar njega, nalaze se prizmatični nosači visine 18 m, preseka 3 m.



Prednost skladištenja TNG u podzemnim skladištima u odnosu na rezervoare jeste: „sigurnost i bezbednost, zaštita od spoljnih akcidenata, smanjena izloženost oštećenju, prirodnim nepogodama, zaštita sredine,...“<sup>164</sup> Skladištenje TNG u podzemna skladišta je sigurno, ekonomično i ekološki adekvatno rešenje za uskladištenje velikih količina gasa.

Skladišta za TNG predstavljaju značajan činilac u razvoju proizvodnje i plasmana ovog energenta. Ona predstavljaju osnovu za razvoj delatnosti distribucije ali i sigurnost snabdevanja tržišta. Prestavljaju potencijal razvoja i stabilnost snabdevanja. Podzemna skladišta mogu biti za propan ili butan, i danas u svetu je više od 300 takvih skladišta. Takođe, moguće je skladištiti i njihovu mešavinu (propan-butan) i u funkciji je preko 150 skladišta.

Kao primer značaja, uloge i izgradnje, za tržište Balkana može da posluži primer jednog potencijalnog skladišta za TNG. Duži period u razmatranju je mogućnost izgradnje jednog većeg podzemnog skladišta za propan na Urinju (Rijeka). Reč je o podzemnom skladištu (forma kaverna), 100 m ispod nivoa mora, minimalni kapacitet 100.000 m<sup>3</sup> (4500 t).<sup>165</sup> Reč je o skladištu u koje bi se odlagao gas iz Rafinerije Rijeka (koje se nalazi u neposrednoj blizini)<sup>166</sup> i gas iz uvoza (brodovima). Propan bi se distribuirao na teritoriji dela Balkana i Srednje Evrope. Konkurentnost se očekuje u ceni kroz manje troškove dopremanja do podzemnog skladišta, ali i nižim transportnim troškovima do krajnjih kupaca (železnicom i drumskim saobraćajem) zbog njihove relativno prihvatljive blizine. Prednosti su: geološka struktura podzemlja omogućuje gradnju skladišta, povezanost morskim putevima propana (Alžir, Severno more, Saudijska Arabija i Kazahstan), dobra povezanost sa tržištem (železnica i drumski saobraćaj), konkurentnost na tržištu (Hrvatske, Slovenije, Austrije, Mađarske, južne Nemačke, BiH, Srbije, severoistočne Italije, Slovačke i južne Nemačke), povećana tražnja za mešavinom propan-butan, upotreba već postojećeg lučkog tankerskog pristaništa i rafinerijske infrastrukture.

Komparativna analiza pokazuje prednosti izgradnje ovog podzemnog skladišta u odnosu na nadzemne rezervoare „cigare“<sup>167</sup> istog kapaciteta u: zauzimanju manje nadzemne površine tla, manjoj investiciji, sigurnosti, zaštiti okoline, ekološkoj sigurnosti, ekonomičnosti, znatno nižim operativnim i troškovima održavanja.<sup>168</sup> Tehnološki rad skladišta se zasniva na dopremi propana tankerima (propanierima) na temperaturi od -43°C i atmosferskom pritisku. Prilikom procesa pretovara, gas će se zagrejati i uskladištiti na najmanjoj temperaturi od +2°C da bi se sprečilo eventualno zamrzavanje vode, koja se može naknadno pojaviti u propanu prilikom skladištenja.<sup>169</sup>

#### **4. Novi pristup u proizvodnji, skladištenju i potrošnji ugljen-dioksida u funkciji ekologije i mogućnosti doprinosa u rešavanju zaštite životne sredine u oblasti globalnog zagrevanja planete**

Ljudska civilizacija beleži, od sredine XIX veka, početak svog naglog visokog stepena razvoja i napretka u različitim oblastima. U prvom redu, reč je o tehničko-tehnološkom napretku čovečanstva. Taj trend industrijske revolucije nastavio se kroz XX vek i zadržao se do danas. Napredak društva u svim privrednim oblastima imao je kao rezultat svog razvoja za posledicu i

<sup>164</sup> Dojčinović, Z., „Podzemno skladištenje plina“, časopis *Zima*, 2009, str. 30–31.

<sup>165</sup> Vavro, Z., Turk, Z., „Podzemno skladište propana“, zbornik radova, XVII međunarodni znanstveno-stručni susret stručnjaka za plin, Opatija, 2002, str. 72–80.

<sup>166</sup> Ovakav skladišni prostor u neposrednoj blizini u funkciji je racionalizacije rada rafinerije. Pošto je proizvodnja u rafinerijama relativno konstantna tokom godine a potražnja za TNG ima sezonski karakter, skladišta omogućuju prihvati i smeštaj letnje proizvodnje do povećane potražnje u zimskom periodu.

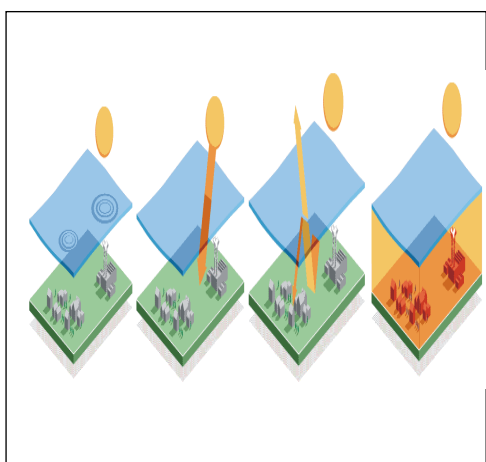
<sup>167</sup> Analiza je urađena na primeru 24 x 5000 m<sup>3</sup>, ukupnog kapaciteta 120.000 m<sup>3</sup> i kapaciteta podzemnog skladišta.

<sup>168</sup> Procena investicije gradnje za ovakva tipična skladišta propana, kapaciteta 100.000 do 150.000 m<sup>3</sup> jeste od 50 do 100 miliona evra. Procena investicije varira i do 30% u zavisnosti od toga da li je reč o vlasniku lokacije ili distributeru.

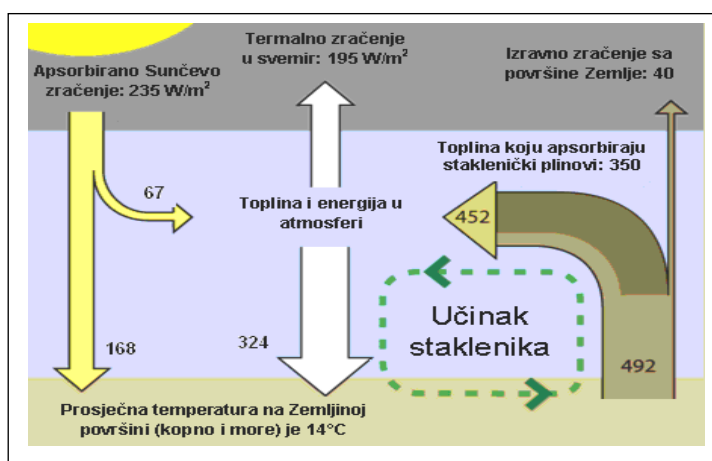
<sup>169</sup> Dojčinović, Z., „Podzemno skladištenje ukapljenog naftog plina u Republici Hrvatskoj“, stručni rad, XVII međunarodni susret stručnjaka za plin, Opatija, 2007.

pojavu niza različitih negativnih efekata, koji su veoma često produkt njegovog neopravdanog nesavesnog odnosa. Nesavestan odnos ljudi rezultat je nesvesnih, ali neretko, veoma često, i svesnih aktivnosti, koje je moguće preduprediti u znatnoj meri adekvatnim ispravnim sveobuhvatnim pristupom konkretnom problemu.

Kao rezultat neodgovornog i neadekvatnog stava i ponašanja stanovništva, došlo je na početku XXI veka do niza neželjenih efekata. Između ostaloga, posledica takvog razvoja čovečanstva u prethodnom periodu jeste i zagađenje svih sfera životne sredine. Jedna od karakterističnih i izraženih negativnih posledica industrijskog razvoja, u sferi životne sredine, jeste prekomerno zagađenje vazduha. U odnosu na period pre industrijalizacije, koncentracija u vazduhu ugljen-dioksida, metana i oksida azota gotovo se udvostručila.<sup>170</sup> Samo zagađenje vazduha ima, između ostaloga, za posledicu i globalno zagrevanje planete sa svim neželjenim efektima.



Slika 3.19. Ilustracija formiranja „efekta staklene bašte“<sup>171</sup>



Slika 3.20. Izmena energije između svemira, Zemljine atmosfere i površine Zemlje<sup>172</sup>

U svetu, sa velikim zakašnjenjem, u drugoj polovini XX veka, samo pitanje ekologije opravdano počinje da dobija sve veći, ali nedovoljan značaj.<sup>173</sup> Ekološki problem i zaštita životne sredine u znatnoj meri postaje globalni fenomen. Zaštita životne sredine, kao deo ekologije, podrazumeva skup različitih postupaka, mera i aktivnosti koji sprečavaju ugrožavanje životne sredine s ciljem očuvanja biološke ravnoteže na planeti. Pitanje i prisustvo ovog problema u svetskoj javnosti beleži sve značajniji rast, ali praktična realizacija konkretnih aktivnosti nije bila na adekvatnom nivou u svim oblastima i društvenim sredinama. Upotreba savremene tehnologije u značajnoj meri „dovodi do opšteg progresa društva, ali ta tehnologija mora biti praćena odgovarajućim merama prevencije, tj. otklanjanjima potencijalno njenih štetnih posledica. Ciljevi zaštite životne sredine su zaštita očuvanja zdravlja i života ljudi, kvaliteta eko sistema, zaštita biljnih i životinjskih vrsta i kulturnih dobara čiji je tvorac čovek, očuvanje ravnoteže i ekološke

<sup>170</sup> U periodu od 1750. do 2000. godine, u vazduhu se povećala vrednost ugljen-dioksida (0,028% na 0,037%), metana (0,0008%–0,00175%), barskog gasa (0,000284–0,00325%)... Za početak industrijske revolucije u svetu smatra se negde 1750. godina, a za ubrzani industrijski razvoj oko 1850. godine.

<sup>171</sup> Izvor: *BBC News, Global Climate Change*. Formiranje, funkcionisanje, učinak i efekat staklene bašte.

<sup>172</sup> Izvor: Intergovernmental Panel on Climate Change „Climate Change 2001: The Scientific Basis“, Cambridge, Cambridge University Press, Velika Britanija, 2001. Preuzeto od: Dekanić, I., *Geopolitika energije*, Golde marketing–Tehnička knjiga, Zagreb, 2011. Šematski prikaz izmene energije prema: Intergovernmental Panel on Climate Change „Climate Change 2001: The Scientific Basis“, Cambridge, Cambridge University Press, Velika Britanija, 2001. Preuzeto od: Dekanić, I., *Geopolitika energije*, Golde marketing–Tehnička knjiga, Zagreb, 2011.

<sup>173</sup> Ekologija potiče od grčke reči *oikos* (dom, domaćinstvo) i *logos* (nauka, izučavanje). To je nauka o životnoj sredini. Prvi put pojam je upotrebio biolog Ernest Hekel (1866). Ekologija je naučna disciplina koja proučava raspored i rasprostranjenost živih organizama i biološku interakciju između organizama i njihovog okruženja. Zaštita životne sredine je deo ekologije.

stabilnosti prirode, racionalno i adekvatno korišćenje prirodnih resursa, ...<sup>174</sup> Veoma često, sama svest ljudi i bezuslovna težnja ka što većem profitu, usloveli su da se nije učinilo sve ono što se moglo, moralo i bilo potrebno sprovesti u društvu u cilju zaštite životne sredine. Sam razvoj društva treba da se bazira na ekonomski održivom i ekološki prihvatljivom pristupu.<sup>175</sup>

#### 4.1. Emisija i uticaj otpadnog ugljen-dioksida na ekologiju

Neosporno je da su se, od samog nastanka života na planeti, klima i uslovi za život na njoj menjali. Tačni uzroci svih tih promena nisu u potpunosti još razjašnjeni. Današnje promene klime i porast prosečne temperature, veoma često se vezuju, između ostaloga, i za povećanje zagađenja vazduha.<sup>176</sup> Smatra se da se, kao rezultat povećanja zagađenja vazduha i koncentracije neželjenih elemenata u Zemljinoj atmosferi, javio „efekat staklene bašte“ (Slika 3.19).<sup>177</sup> Pod „efektom staklene bašte“ smatra se zadržavanje značajnog dela toplotne energije Sunca na površini Zemlje.<sup>178</sup> Ovaj efekat nastaje zbog povećanog prisustva određenih gasova koji doprinose formiranju samog „efekta staklene bašte“.<sup>179</sup> Gasovi staklene bašte su oni gasovi koji omogućuju nesmetan prolaz sunčeve svetlosti kratke talasne dužine (vidljiv deo spektra i ultraljubičasti, UV, zraci) a apsorpciju gasova veće talasne dužine (infracrveno zračenje). Sam ovaj efekat dalje se odražava na globalno zagrevanje planete i na uništenje ozonskog omotača (Slika 3.20). Posledica ovih procesa ima uticaj na: klimatske promene<sup>180</sup>, porast temperature na planeti, učestalost prirodnih katastrofa, nestanak pitke vode, širenje pustinja, degradaciju zemljišta, ugrožavanje biodiverziteta... Čovečanstvo je suočeno sa konstantnim rastom količine otpadnih gasova u atmosferi, koji zajedno sa vodenom parom (H<sub>2</sub>O) znatno doprinose „efektu staklene bašte“.<sup>181,182</sup>

<sup>174</sup> Nikolić, M., *Zaštita životne sredine*, Lex forum, 2005, str. 21–22.

<sup>175</sup> O aspektu ekonomije i ekologije može se videti u knjizi: Milenović, B., *Ekološka ekonomija, ekonomski razvoj i životna sredina*, Fakultet zaštite na radu, Niš, 1996.

<sup>176</sup> Između ostalog, o uzroku povećanja količine ugljen-dioksida u atmosferi postoje dva različita mišljenja. Prva hipoteza, koja je više zastupljena i opšteprihvaćana u stručnim krugovima, smatra da je globalno zagrevanje planete, posledica antropogenih aktivnosti. Prema drugoj hipotezi, promena temperature na planeti je posledica prirodnih ciklusa. U ovom radu, ovo pitanje se posmatra, tretira i analizira sa stanovišta prve hipoteze.

<sup>177</sup> Nastanak staklene bašte pojednostavljeno se obrazlaže na sledeći način. Jedan deo Sunčeve energije, koju ono emituje (a različite je talasne dužine), prolazi kroz atmosferu 70% i stiže do Zemljine, a deo (30%) se odbija od same atmosfere. Zračenje koje prolazi kroz atmosferu dolazi do površine Zemlje. Jedan deo te energije se apsorbuje a deo se reflektuje. Tačnije, oko 70 procenata energije, koja prolazi kroz atmosferu, dolazi do Zemlje i na njoj se zadržava, a 30 procenata se reflektuje, vraća nazad u kosmos. Od ukupnog udela energije, u iznosu od 70%, koji dospeva do Zemlje apsorbuje se: 16% u atmosferi; 51% na kopnu i okeanu; a 3% u oblacima. Na ovaj način se planeta zagreva. Ovo omogućuje da funkcioniše održiv život na planeti. Drugi deo zračenja (30%), koji je dospeo do Zemljine površine, reflektuje se i vraća u kosmos. Na ovaj način, uspostavlja se ravnoteža na Zemlji između ukupne apsorbovane i emitovane energije. U slučaju da nešto onemogućiti (zadrži) povratak te energije, koja se odbija od Zemlje u kosmos, dolazi do poremećaja optimalnog ravnotežnog stanja. Smatra se da povećana koncentracija određenih gasova stvara manje propustan sloj, koji doprinosi zadržavanju zračenja i na taj način dolazi do stvaranja samog „efekta staklene bašte“. Tako da se taj deo energije, koji ne uspeva da se vrati nazad u kosmos, zadržava u slojevima bližim planeti. Na ovaj način, dolazi do povećanja temperature na Zemlji. Pojednostavljena grafička ilustracija nastanka „efekta staklene bašte“ može se videti na slikama 3.18, 3.19. i 3.20.

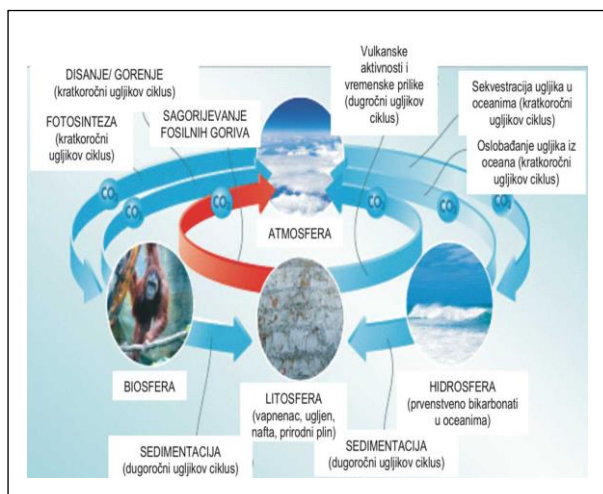
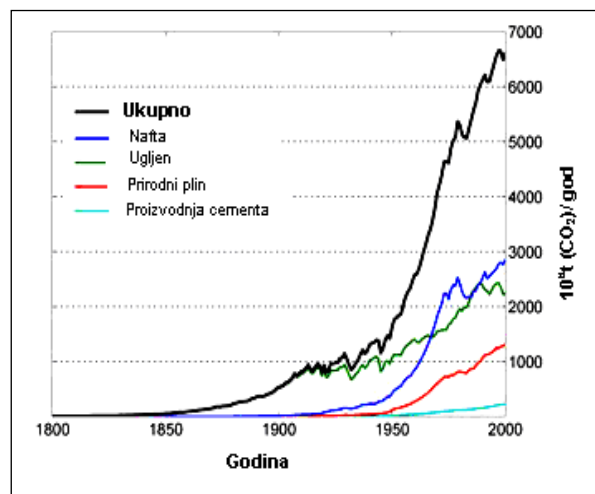
<sup>178</sup> Kolomejceva-Jovanović, L., *Principi održivog razvoja u rešavanju globalnih ekoloških problema*, Ekologija, Beograd, 2011, str. 3–14.

<sup>179</sup> „Efekat staklene bašte“ jeste proces u kome deo Sunčeve energije, koji ostaje zarobljen u atmosferi, zagreva Zemlju i menja klimu. Smatra se da prosečno globalno zagrevanje za 2 Celzijusova stepena: povećava rizik od širenja gladi u svetu, poplava, manje pijaće vode; povećava rizik od topljenja velikih naslaga leda (Grenland, Antarktik); porast nivoa mora i poplave velikih delova priobalnih teritorija; gubitak šuma...

<sup>180</sup> Klimatske promene mogu da imaju za posledicu veliki broj međusobno povezanih neželjenih efekata: otopljanje planinskih lednika, polarnog leda, povećanje nivoa okeana... Houghton, J., *Global warming: The Complete Briefing*, Cambridge University Press, 2006.

<sup>181</sup> Jedan od stavova je da je glavna posledica promene klime: povećanje globalne srednje temperature na Zemlji od 0,3 do 0,6°C od kraja 19. veka do danas; povećanje nivoa mora...

Smatra se da najznačajnije učešće u formiranju „efekta staklene bašte“ na Zemlji ima povećano prisustvo ugljen-dioksida u vazduhu.<sup>183</sup> U apsolutnom iznosu, pored ugljen-dioksida (370 ppm)<sup>184</sup> u manjem obimu na ovaj efekat utiče i metan<sup>185</sup>, azotni oksidi, halogeni ugljovodonici... (Tabela 3.8).<sup>186</sup> U strukturi gasova staklene bašte, pojedinačno procentualno posmatrano, određeni gasovi učestvuju u sledećem iznosu: 83,2% ugljen-dioksid; 8,6% metan; 6,8% N<sub>2</sub>O; 1,4% HFC/PFC/CF<sub>6</sub>. Osnovni izvor povećanog prisustva ugljen-dioksida u vazduhu jeste sagorevanje fosilnih goriva (slike 3.21. i 3.22).<sup>187</sup>

Slika 3.21. Kretanje ugljen-dioksida<sup>188</sup>Slika 3.22. Emisije CO<sub>2</sub> sagorevanjem goriva<sup>189</sup>

U prvom redu, reč je o sagorevanju fosilnih goriva, uglja i nafte, koji se danas smatraju najvećim uzrokom globalnog zagrevanja.<sup>190</sup> Pored uglja i nafte, uticaj ima i sagorevanje: drveta, zemnog gasa, biljnog otpada... Reč je u prvom redu o tehnološkim procesima koji se odvijaju u:

<sup>182</sup> Potrebno je, radi objektivnosti pristupu konkretnom problemu, istaći i da istovremeno, nasuprot široko prihvaćenom stavu u svetu, vezanom za uticaj CO<sub>2</sub> na globalno zagrevanje i klimatske promene, postoje istovremeno i pristupi naučnika, koji tvrde da nema globalnog zagrevanja planete, a da emisija CO<sub>2</sub> nije bitan uzrok zagađenja planete. Oni smatraju da se radi o globalnoj prevari, da je reč o fabrikovanju podataka u cilju zadobijanja vlasti i ostvarivanja koristi. Oni najčešće zastupaju stav da iza takvih podataka stoje internacionalne globalne kompanije, Christopher Walter Monckton.

<sup>183</sup> Od početka industrijske revolucije koncentracija CO<sub>2</sub> do danas se povećala za 17%. Atmosferski životni vek ugljen-dioksida u atmosferi je 114 god.

<sup>184</sup> Ova koncentracija CO<sub>2</sub> od 370 ppm čini 0,037% Zemljine atmosfere.

<sup>185</sup> U apsolutnom iznosu, metana ima znatno manje u vazduhu nego CO<sub>2</sub>. Istovremeno, uticaj iste količine metana na „efekat staklene bašte“ je 20 puta veći nego CO<sub>2</sub>. Najveće količine metana u atmosferi su posledica: njegovog „slobodnog curenja“ iz ležišta mora (hidrati) i zemlje; razgradnje otpada različitog porekla; aktivnosti životinja (preživari) ... Zemni gas (metan), kada je ispušten u atmosferu, deluje jače na efekat od samog ugljen-dioksida, ali se on u atmosferu ispušta u znatno manjim količinama. Metan oksidira u atmosferi i u njoj ostaje otprilike 12 godina, a u poređenju s njim ugljen-dioksid, koji je sam po sebi već oksidiran, ima efekat 100 do 500 godina.

<sup>186</sup> Od svih gasova koji utiču na formiranje „efekta staklene bašte“, najnepogodniji je sumpor-heksafluorid (SF<sub>6</sub>). Njegov potencijal globalnog zagrevanja je 22.800 puta veći nego kod CO<sub>2</sub>. Životni vek u atmosferi je do 3200 godina. Danas ima malu koncentraciju od 6,8 do 7,4 ppm u vazduhu. Neophodno je posvetiti mu značajnu pažnju sa aspekta zaštite.

<sup>187</sup> Atmosferski CO<sub>2</sub> je posledica različitih izvora. Reč je o vulkanskim erupcijama, sagorevanju organskih materija, delovanju kiselina na metalne karbonate (more i oceani) i disanje živih organizama. Danas se vulkanskom aktivnošću oslobađa oko 1% od ukupne antropogene količine ukupne emisije.

<sup>188</sup> Izvor: Marian Koshland-Science Museum of the National Academy of Science.Kruženje ugljen-dioksida.

<sup>189</sup> Izvor: Hrnčević, L., *Analiza uticaja provedbe Kyoto protokola na naftnu industriju i poslovanje naftne tvrtke*, doktorska disertacija, RGNF, Zagreb, 2008, str. 6. Emisije ugljen-dioksida kao posledica sagorevanja određenih fosilnih goriva.

<sup>190</sup> Godišnje se sagorevanjem fosilnih goriva (uglja, nafte i plina) u atmosferu emituje oko 24 x 10<sup>9</sup> t CO<sub>2</sub>. Ovo predstavlja oko 3/4 ukupne antropogene emisije.

termoelektranama, toplanama, hemijskoj industriji, železarama, cementarama, proizvodnim postrojenjima, rafinerijama, automobilskim motorima, pećima za zagrevanje... Najveće emitovanje ovog gasa u atmosferu se odvija pri procesima proizvodnje energije<sup>191</sup>, ali i prilikom drugih različitih tehnoloških aktivnosti.

Tabela 3.8. Procentualno učešće određenih energenata u emisiji CO<sub>2</sub> na planeti

	energent	1973. 15.633 Mt of CO <sub>2</sub>	2012. 31.734 Mt of CO <sub>2</sub>
1.	ugalj	35.0 %	43.9 %
2.	nafta	50.6 %	35.3 %
3.	zemni gas	14.4 %	20.3 %
4.	ostalo	0.0 %	0.5 %

Autor, na osnovu Key World energy STATISTICAL 2014, IEA, 2014, str. 44.

Značaj u sagledavanju problema uticaja otpadnog ugljen-dioksida na ekologiju ima koeficijent emisije ugljen-dioksida (KECO<sub>2</sub>) koji pokazuje kolika će se količina CO<sub>2</sub> osloboditi sagorevanjem određene vrste goriva, po jedinici dobijene toplote.<sup>192</sup> Različit je koeficijent emisije ugljen-dioksida prilikom sagorevanja određenih energenata.

$$KECO_2 = 3,67 \frac{gc}{H} \quad (3.1)$$

gc – sadržaj ugljenika u gorivu (bezdimenzioni broj u jedinicama [kg/kg ili t/t])  
 H – toplotna moć goriva u jedinicama (MJ/kg ili GJ/t)

Kolika će biti emitovana ukupna količina CO<sub>2</sub> u proizvodnji energije na planeti prilikom sagorevanja određenog goriva, zavisi od više činilaca: vrste energenta, količine potrošenog energenta, sadržaja ugljenika u tom gorivu, tehnološko-tehničkog procesa sagorevanja, potpunosti sagorevanja ugljenika<sup>193</sup> ...

Tabela 3.9. Učešća fosilnih goriva u proizvodnji energije i u emisiji ugljen-dioksida<sup>194</sup>

fosilno gorivo	% učešće u globalnom snabdevanju <sup>195</sup>	udeo emitovanog CO <sub>2</sub> u % u ukupnoj emisiji CO <sub>2</sub> iz fosilni goriva	poređenje
nafta	32	43	oslobađa 23% manje CO <sub>2</sub> po jedinici energije od uglja
zemni gas	22	21	oslobađa 28% manje CO <sub>2</sub> po jedinici energije od nafte ili benzina
ugalj	21	36	oslobađa mnogo više CO <sub>2</sub> po jedinici energije od nafte ili benzina

Autor.

<sup>191</sup> Procenjuje se da je oko 1/3 ugljen-dioksida koji se izdvaja posledica aktivnosti koja je vezana za upotrebu fosilnih goriva u proizvodnji struje. Jedna elektrana godišnje može da emituje nekoliko miliona tona CO<sub>2</sub>.

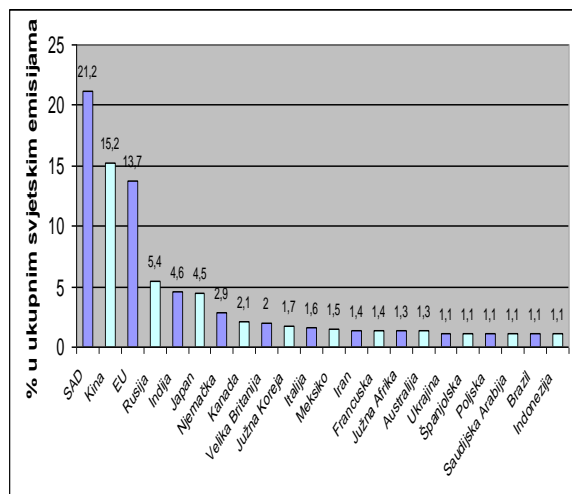
<sup>192</sup> Koeficijent emisije CO<sub>2</sub> se iskazuje u jedinicama kg/MJ ili t/GJ.

<sup>193</sup> Ovaj gas se često naziva najčistijim fosilnim gorivom. Zbog toga što se njegovim sagorevanjem, po džulu dobijene energije, emituje manje ugljen-dioksida nego sagorevanjem nafte ili uglja. Istovremeno, emituje se i mnogo manje ostalih zagađivača životne sredine. Prema četvrtom izveštaju IPCC-a (IPCC Fourth Assessment report), iz 2004. godine, sagorevanjem zemnog gasa nastalo je 5,3 milijarde tona ugljen-dioksida, dok ga je sagorevanjem uglja i nafte nastalo 10,6, odnosno 10,2 milijarde tona. Prema novoj verziji izveštaja o razvoju emisije gasova SRES B2, do godine 2030, zemni gas bi bio uzrok nastanka jedanaest milijardi tona ugljen-dioksida godišnje, jer se potražnja za tim energentom povećava za oko 1,9 % godišnje. Sagorevanjem uglja i nafte nastalo bi 8,4, odnosno 17,2 milijarde tona ugljen-dioksida (ukupna emisija ugljičnog dioksida godine 2004. procenjena je na 27.200 miliona tona).

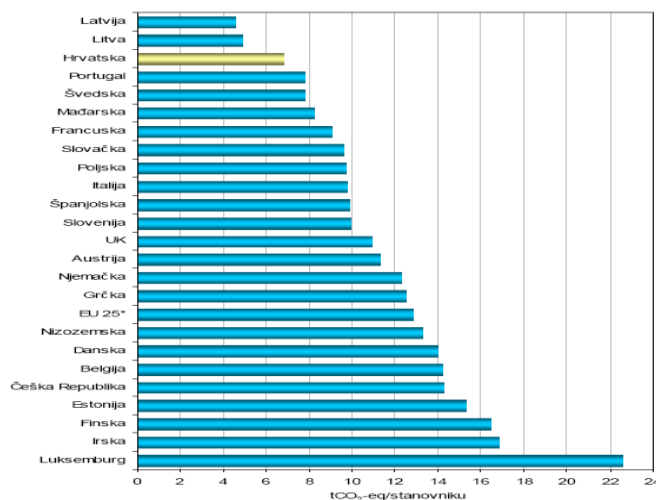
<sup>194</sup> % učešća određenih fosilnih goriva u proizvodnji energije i oslobađanju CO<sub>2</sub>. Formirano na osnovu više izvora.

<sup>195</sup> Fosilna goriva, sveukupno, čine 75% u globalnom snabdevanju energijom.

Za proizvodnju energije od 1 GJ (gigadžula) emituje se različita količina ugljen-dioksida u zavisnosti od vrste energenta iz koga se dobija. Za dobijanje 1 GJ energije, sagorevanjem biomase emituje se 109,6 kilogramima CO<sub>2</sub><sup>196</sup>; treseta 106 kg; kamenog uglja 101,2 kg; mrkog uglja 97,09 kg; lignita 96,43 kg; dizela 77,4 kg; sirove nafte 74,1 kg; kerozina 73,3 kg; benzina 71,5 kg; tečnog naftnog gasa 63,1 kg; zemnog gasa 56,1 kg... Zemni gas, u odnosu na sva fosilna goriva, prilikom termičkog procesa sagorevanja ima najmanji koeficijent emisije CO<sub>2</sub> po jedinici oslobođene energije (Tabela 3.9).<sup>197</sup>

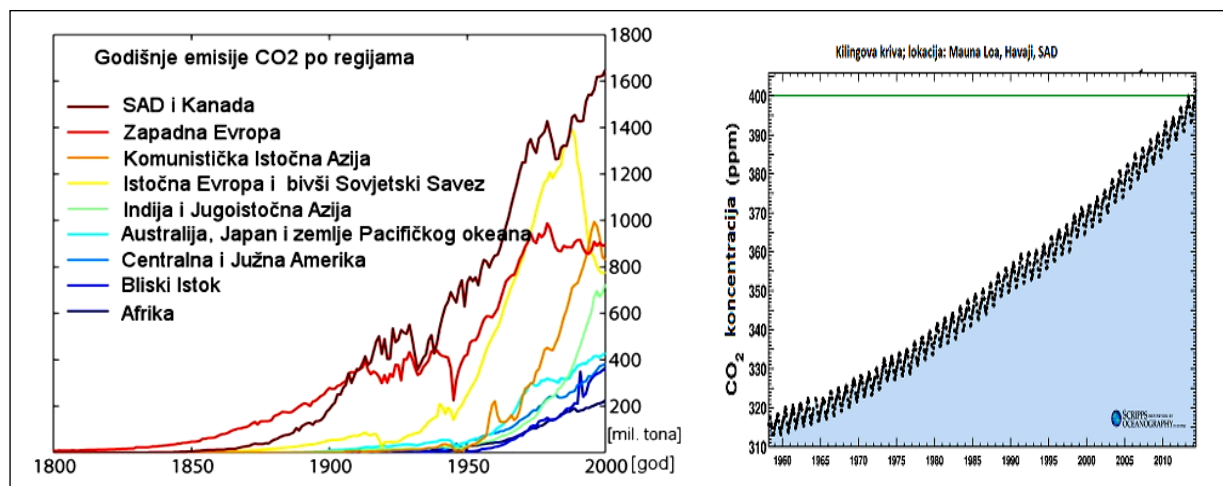


Slika 3.23. Učešće u svjetskoj emisiji gasova<sup>198</sup>



Slika 3.24. Emisija CO<sub>2</sub> u državama Evrope<sup>199</sup>

U atmosferu je u svetu 1971. godine ukupno emitovano 15,08 x 10<sup>9</sup> t CO<sub>2</sub>; 1990. godine 20,97 x 10<sup>9</sup> t CO<sub>2</sub>; 2000. godine 23,75 x 10<sup>9</sup> t CO<sub>2</sub>. Ukupno emitovanje ugljen-dioksida u atmosferu



Slika 3.25. Godišnje emitovanje CO<sub>2</sub> (u milionima tona) i koncentracija u vazduhu (ppm)<sup>200</sup>

<sup>196</sup> Sagorevanjem biomase emituje se približno ista količina CO<sub>2</sub> koju biljka veže u svom procesu fotosinteze u periodu svoga rasta. Tako da se okvirno smatra da je koeficijent emisije CO<sub>2</sub> = 0.

<sup>197</sup> Težinski posmatrano, 1000 m<sup>3</sup> gasa u gasovitom stanju iznosi 714 kilograma a 1400 m<sup>3</sup> 1000 kg. Sagorevanjem 1 tone uglja emituje se 3,7 tona CO<sub>2</sub>; dizela emituje se 3,1 tona CO<sub>2</sub>; zemnog gasa emituje se 2,75 tona CO<sub>2</sub>. Uslovno se može reći da sagorevanje jedne tone fosilnog goriva daje tri tone ugljen-dioksida.

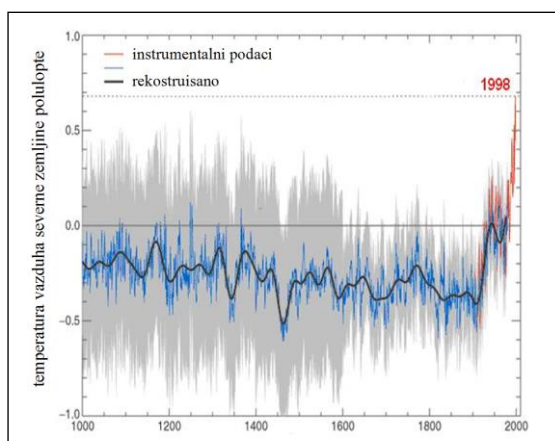
<sup>198</sup> Izvor: veći broj različitih stručnih izvora. Procentualno učešće, u ukupnoj emisiji gasova staklene bašte na planeti, država najvećih zagađivača na početku XXI veka.

<sup>199</sup> Izvor; Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva *Prijedlog Nacionalne strategije za provedbu Okvirne konvencije Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC) i Kyotskog protokola u Republici Hrvatskoj s planom djelovanja*, Nacrt, MZOPUG, 2007. Emisija CO<sub>2</sub> po stanovniku. Poređenje emisija gasova staklene bašte država EU, u odnosu na Hrvatsku (kao zemlju Balkana), izraženo u tonama/prema stanovniku.

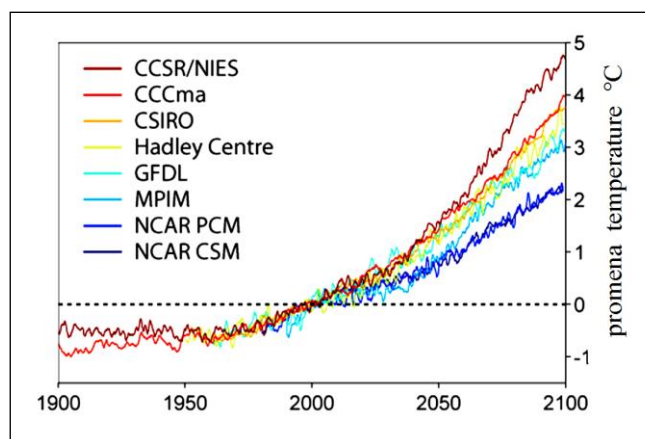
<sup>200</sup> Izvor: više različitih dostupnih stručnih radova.

2014. godine na svetskom nivou je bilo 32.190 Mt. Najveći zagađivači su bile industrijski razvijene države. U apsolutnom iznosu, najveću emisiju CO<sub>2</sub> u atmosferu emitovala je: Kina 8251 Mt, SAD 5074 Mt, Rusija 1659 Mt; Indija 1954 Mt; Japan 1223 Mt; Nemačka 755 Mt; ... Posmatrano prema zemljama, procentualno učešće u ukupnoj emisiji CO<sub>2</sub> na svetskom nivou, danas je: SAD 21,9%, Kine 17,4%, Rusije 5,7%, Japana 4,7%, Indije 4,1%, Nemačke 3,2%, ... na godišnjem nivou (Slika 3.23). Takođe, i učešće država Evropske unije u emisiji ukupnog emitovanog ugljen-dioksida je različito. Posebno je interesantno sagledati odnos emitovanog CO<sub>2</sub> prema stanovniku (Slika 3.24). Na balkanskom prostoru, u apsolutnom iznosu najveću emisiju CO<sub>2</sub> emitovale su<sup>201</sup>: Turska (302 Mt), Rumunija (78 Mt), Grčka (77 Mt), Austrija (64 Mt)<sup>202</sup>.... (Tabela 3.10).

Emitovanje CO<sub>2</sub> i drugih otpadnih fluida u atmosferu ugrožava našu današnjicu, ali još više predstavlja problem za budućnost. Na početku industrijske revolucije, koncentracija CO<sub>2</sub> u vazduhu iznosila je 280 ppm a danas ona iznosi približno 400 ppm (Slika 3.25).<sup>203</sup> Procenjuje se da bi prosečna godišnja temperatura na planeti mogla na kraju ovoga veka da poraste i nekoliko stepeni, što bi imalo za posledicu velike neželjene i teško popravljive efekte za celokupni život na Zemlji (slike: 3.26. i 3.27). Koje su tačne kritične granične vrednosti koje mogu prouzrokovati katastrofalne klimatske promene, nije tačno poznato. Smatra se da bi ta vrednost mogla biti između 450 ppm i 750 ppm.<sup>204</sup> Istovremeno, procenjuje se da bi u slučaju nepreduzimanja nikakvih mera vezanih za emitovanje i smanjenje CO<sub>2</sub> u atmosferi, njegova koncentracija 2100. godine mogla da iznosi i do 900 ppm.



Slika 3.26. Kretanje temperature u periodu od 1000 godina<sup>205</sup>



Slika 3.27. Kretanje rasta prosečne temperature od 1900. i prognoza do 2100.<sup>206</sup>

Jedan od značajnih koraka na globalnom nivou, vezanih za pitanje ekologije, jeste prihvatanje Okvirne konvencije UN o promenama klime 1992. godine.<sup>207</sup> Značajno mesto u

<sup>201</sup> Procenjuje se da je prirodna količina CO<sub>2</sub> u atmosferi 550 Gt (gigatona). To je količina koja održava prirodni ciklus njegovog kruženja. Tokom jedne godine, zbog ljudskog delovanja u atmosferu se dodatno emituje još 9 Gt.

<sup>202</sup> Količina emitovanog ugljen-dioksida i njegov trend na godišnjem nivou, posmatrano pojedinačno prema zemljama, može se videti u velikom broju različitih godišnjih izveštaja iz ove oblasti: 1. *Trends in global CO<sub>2</sub> emissions*, Report, European Commission, Joint Research Centre; 2. *Key World Energy Statistics*, IEA; 3. *BP Statistical Review of World Energy* ...

<sup>203</sup> Količina CO<sub>2</sub> u vazduhu zavisi od same lokacije gde je i kad samo merenje izvršeno. Razlika se manifestuje između: regiona, država, gradova, ali i u okviru lokacija u jednom gradu.

<sup>204</sup> Bručić, I., *Hvatanje i skladištenje ugljičnog dioksida*, RGNF, Zagreb, 2010, str. 6–9.

<sup>205</sup> Izvor: Hrnčević, L., *Analiza uticaja provedbe Kyoto protokola na natnu industriju i poslovanje naftne tvrtke*, doktorat, RGNF, Zagreb, 2008, str. 5.

<sup>206</sup> Izvor: više različitih stručnih radova koji obrađuju ovu tematiku. Predviđanja rasta prosečne temperature na Zemlji do kraja XXI veka, na temelju prezentovanih različitih matematičkih modela.

<sup>207</sup> Ova konvencija je održana u Rio de Žaneiru. Do sada je potpisalo više od sto pedeset država.

svetskim razmerama zauzima Kjoto sporazum<sup>208</sup> u borbi protiv zagađenja i „efekta staklene bašte“ sa nizom drugih mera.<sup>209</sup> Pored pitanja „efekta staklene bašte“, sa aspekta globalnog ekološkog problema, značajno mesto zauzima i tendencija smanjenja debljine ozonskog omotača i stvaranja ozonskih rupa. Pored niza neželjenih efekata, samo smanjenje debljine ozonskog omotača dovodi do pojačanja „efekta staklene bašte“. Sve prisutniji i izraženiji su ekološki porezi u razvijenim zemljama, koji se uvode u cilju zaštite životne sredine. Fiskalno rešenje se bazira na principu „zagađivač plaća“ i nametanju određenog poreza na emisiju.<sup>210</sup>

Tabela 3.10. Ukupno godišnje emitovanje CO<sub>2</sub> u svetu i pojedinačno u državama Balkana<sup>211</sup>

		emisija CO <sub>2</sub> Mt of CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> / TPES (t CO <sub>2</sub> /toe)	CO <sub>2</sub> /pop (t CO <sub>2</sub> /cap)	CO <sub>2</sub> /GDP (kg CO <sub>2</sub> / USD)	CO <sub>2</sub> /GDP (PPP) (kg CO <sub>2</sub> /USD)
	SVET	32190.00	2.38	4.52	0.57	0.37
1	Albanija	3.83	1.84	1.21	0.34	0.15
2	Austrija	64.73	1.96	7.68	0.19	0.21
3	BiH	21.22	3.18	5.54	1.65	0.75
4	Bugarska	44.30	2.41	6.06	1.31	0.50
5	Hrvatska	17.19	2.17	4.03	0.38	0.25
6	Makedonija	8.69	2.93	4.13	1.19	0.44
7	Grčka	77.51	2.92	6.99	0.37	0.33
8	Mađarska	43.55	1.86	4.39	0.40	0.26
9	Kosovo	8.00	3.38	4.43	1.52	0.61
10	Crna Gora	2.30	2.16	3.70	0.80	0.35
11	Rumunija	78.97	2.26	3.93	0.67	0.33
12	Srbija	44.09	3.05	6.10	1.58	0.63
13	Slovenija	14.63	2.09	7.11	0.38	0.29
14	Turska	302.38	2.59	4.04	0.48	0.30

Autor. Na osnovu više izveštaja Key World Energy STATISTICAL.

U cilju rešavanja problema ekologije, zagađenja vazduha i „efekta staklene bašte“ značajan doprinos može da pruži: zakonsko ograničenje emitovanja ugljen-dioksida; veća upotreba nekih obnovljivih izvora energije (sunce, vetar, voda i vodonik); smanjenje upotrebe fosilnih goriva (ugalj, nafta, ...); uvođenje poreza (ekološke takse) za emitovanje ugljen-dioksida<sup>212</sup>; racionalno korišćenje energije; povećanje površine planete pod šumama u cilju uklanjanja CO<sub>2</sub> procesom fotosinteze<sup>213</sup>; zabrana proizvodnje i upotrebe određenih gasova u komercijalne svrhe koji

<sup>208</sup> Kyoto sporazum je donet 11. decembra 1997. godine.

<sup>209</sup> Bazira se na: realizaciji zajedničkih projekata rasporeda emisije gasova između zemalja, na trgovini kvotama na emisiju, čist razvoj, primenu obnovljivih izvora energije... Sporazum u Kjotu nisu bile potpisale neke od najvećih zemalja zagađivača (SAD...).

<sup>210</sup> Filipović, S., „Ekološki porezi u pojedinim evropskim zemljama“, *Economic Annals*, br. 162, 2004, str. 209–224.

<sup>211</sup> Izraženo u Mt; TEPS (Totalna Primarna Energija Ukupno), podaci se odnose na 2012. i 2013. godinu, *Key World Energy STATISTICAL* 2014. i 2015, IEA, str. 48–57.

<sup>212</sup> Opširnije o porezima videti u radovima: 1). Andrejašević, A., „Ekološki porezi“, Internati. Symposion on Natural Resources Managment, 2015; 2). Ganić, G., „Porez ili naknada na CO<sub>2</sub> kao jedinstveni ekonomski instrument za vođenje politike zaštite klime, povećanja korišćenja obnovljivih izvora i energetske učinkovitosti“, *NAFTA 65*, 2014, str. 114–118; 3). Dizdar, N., „Zeleni porezi“, *YUNG* 2004; 4). Zelenika, R. i dr., „Gospodarski učinci ekologizacije globalnoga logističkog sustava“, *Pomorski zbornik* 39. 2001; ...

<sup>213</sup> Šume (pored: mora, okeana, ...) imaju značajno mesto u regulisanju zagađivanja vazduha ugljen-dioksidom. Šume u procesu fotosinteze vezuju CO<sub>2</sub> i proizvode kiseonik. Procesom fotosinteze, šume vezivanjem 1 grama CO<sub>2</sub> oslobađaju (proizvede) 0,75 grama kiseonika. Kao ilustracija značaja šume, može da posluži nekoliko različitih primera: 1. Jedno stablo prosečne bukve daje za jedan sat 1,7 kg kiseonika (tako da dnevno za 24 časa proizvede kiseonika dovoljno za život 60 ljudi); 2. Jedan hektar šume vezuje godišnje oko: 16 tona CO<sub>2</sub> i istovremeno proizvede 11 tona O<sub>2</sub>; on filtrira 50–70 tona prašine; 3. U toku svoga životnog veka jedna bukva prečisti 50 miliona m<sup>3</sup> vazduha od CO<sub>2</sub>; ... Sve suvozemne biljke (šume čine više od 50%) na planeti u toku jedne godine prečiste 64,8 milijardi tona CO<sub>2</sub> i proizvedu 50,9 milijardi tona kiseonika. Kao najefikasnije drvo u prečišćavanju vazduha je



doprinosi „efekt staklene bašte“; zakonska regulacija proizvodnje CO<sub>2</sub> kao tehničkog gasa<sup>214</sup>; primena adekvatnih tehnologija prikupljanja i skladištenja otpadnog CO<sub>2</sub> koji nastaje kao posledica sagorevanja; nove upotrebe i primene ugljen-dioksida u proizvodnji i tehnološkim procesima<sup>215</sup>; veća proizvodnja nuklearne energije... U realizaciji svih aktivnosti zaštite životne sredine, značajno mesto zauzimaju odluke koje se donose na nivou država. Reč je o nizu različitih zakonskih mera, akata, sporazuma..., koji se donose na nivou jedne ili više država.<sup>216</sup>

## 4. 2. Savremeni pristupi mogućem dugoročnom skladištenju otpadnog ugljen-dioksida u funkciji zaštite životne sredine

Danas je čovečanstvo, između niza različitih teških gorućih pitanja koja se nalaze ispred njega, neosporno suočeno i sa velikim problemima vezanim za zagađenje životne sredine. U tom pravcu, između ostalog, nastoji se da se iznađu efikasne i adekvatne metode, načini i postupci u cilju zaštite životne sredine. Sama zaštita životne sredine, u značajnoj meri odnosi se na sam „efekat staklene bašte“<sup>217</sup> i povećanje globalne temperature na planeti. Smanjenjem količine ugljen-dioksida u atmosferi, doprinosi se, direktno ili indirektno, ublažavanju ili potpunom otklanjanju niza neželjenih efekata i posledica koje ovaj gas prouzrokuje. Smatra se da CO<sub>2</sub> u najvećoj meri doprinosi „efektu staklene bašte“ kad se nađe slobodan u atmosferi. Rešavanje ovog pitanja direktno je povezano sa smanjivanjem količine ugljen-dioksida u vazduhu.

Racionalizacijom same proizvodnje<sup>218</sup> i potrošnje ugljen-dioksida, sa jedne strane, i mogućnošću njegovog skladištenja, sa druge strane, nastoji se da se iznađu adekvatna rešenja za ovaj problem u cilju zaštite životne sredine. Sva gledišta i pristupi, o kojima se danas raspravlja u nauci, i nastojanja iznalaženja mogućnosti praktične primene tih rešenja u praksi, samo su delimično privremena rešenja u problemu ukupnog zagađenja planete. Skladištenje CO<sub>2</sub> u znatnoj meri može samo da predstavlja „kupovinu vremena“ do neophodnog trajnog rešenja. Realno, jedino održivo i ekonomski prihvatljivo trajno rešenje, posmatrano na duži vremenski period, predstavlja smanjenje ukupnog izdvajanja štetnih gasova. To podrazumeva primenu tehnoloških rešenja, koja imaju značajno manju emisiju štetnih gasova, u svim proizvodnim i privrednim segmentima, na celoj planeti. U realizaciju treba da budu uključeni i obuhvaćeni celokupna privreda, državne institucije i građani svih država sveta. Količina gasova koja se izdvaja ne sme da narušava biološku ravnotežu i samoodrživi prirodni opstanak života na Zemlji.

Danas se, kao jedan od mogućih direktno efikasnih načina smanjenja ukupne količine ugljen-dioksida u atmosferi, smatra njegovo dugoročno bezbedno i sigurno skladištenje.<sup>219</sup> Sam

stablo paulovnije. Ovo drvo u toku jednog sata apsorbuje 2,25 kg CO<sub>2</sub> i proizvede 1,75 kg O<sub>2</sub>. U toku 1 godine ono apsorbuje 19,5 t CO<sub>2</sub> i proizvede 15 tona O<sub>2</sub>.

<sup>214</sup> Primenom zabrane eksploatacije ugljen-dioksida iz zemlje u cilju njegove proizvodnje kao tehničkog (industrijskog) gasa, već potrebe za njim, proizvodnju i njegovo korišćenje bazirati na gasu koji se izdvaja kao nusproizvod različitih proizvodnih procesa. Ovaj pristup bi takođe doprineo smanjenju CO<sub>2</sub> u Zemljinom omotaču.

<sup>215</sup> Jedna od potencijalnih mogućnosti u budućnosti jeste korišćenje CO<sub>2</sub> u proizvodnji sintetičkih goriva. Kompanija *Sunfire* (Dresden, Nemačka) proizvela je pilot-postrojenje, koje se bazira na Fišer-Tropšovom procesu, kako bi pretvorila vodu i CO<sub>2</sub> u tečne hidrokarbonate – sintetički gas, dizel i kerozin. Trenutno, ovo postrojenje za 24 sata, potrošnjom 3,2 tona CO<sub>2</sub>, proizvede oko 120 litara goriva. Za sada je projekat u funkciji eksperimentalnog razvoja.

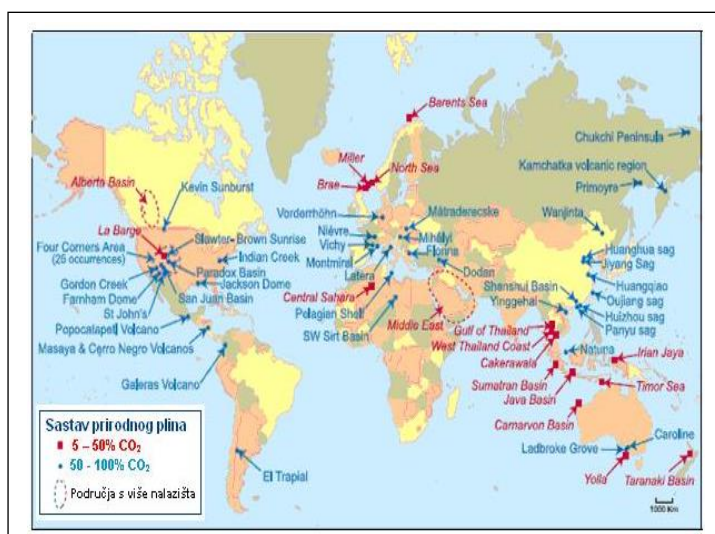
<sup>216</sup> Između niza donetih sporazuma i akata, poslednji značajniji dogovor postignut je u decembru 2015. na Globalnom klimatskom samitu COP21 u Parizu. On je realizovan u organizaciji UN uz prisustvo predstavnika 150 država, na kome je doneta odluka o ograničenju zagrevanja na maksimalno 2°C do kraja 2100. godine.

<sup>217</sup> Između neželjenih efekata, reč je i o „efektu staklene bašte“.

<sup>218</sup> Racionalizacija proizvodnje CO<sub>2</sub> za komercijalne potrebe čovečanstva treba da se bazira samo na proizvodnji ovog gasa iz tehnoloških procesa, gde se on javlja kao nusproizvod i bio bi slobodno ispušten u atmosferu. Ne sme da se dozvoli da se ovaj gas, koji se već nalazi uskladišten milionima godina u zemlji, crpi iz nje za komercijalne svrhe. Takođe, sva količina CO<sub>2</sub> koja se pojavi prilikom eksploatacije nafte i gasa, mora da se vrati (upumpa) u to ležište.

<sup>219</sup> Skladištenje CO<sub>2</sub> ne može da bude krajnje i jedino rešenje problema. Ono je samo jedan mogući deo, u konceptu iznalaženja optimalnog rešenja problema emisije štetni gasova.

ovaj pristup zasniva se na činjenici da se već milionima godina velike količine ugljen-dioksida nalaze bezbedno prirodno uskladištene u geološkim formacijama Zemljine kore (Slika 3.28). On je smešten u formi prorodnih nalazišta, sam ili zajedno sa dugim jedinjenjima.<sup>220</sup>



Slika 3.28. Prirodna nalazišta CO<sub>2</sub> u geološkim formacijama<sup>221</sup>

Sve metode i načini, koji se koriste za smanjenje emitovanja CO<sub>2</sub> u atmosferu, putem njegovog dugoročnog skladištenja, mogu se zajednički nazvati: postupak izdvajanja i skladištenja ugljen-dioksida (PISUD).<sup>222</sup> Sam proces skladištenja CO<sub>2</sub> obuhvata četiri međusobno uzajamno povezane aktivnosti (komponente): 1. kaptiranje; 2. pripremu; 3. transport i 4. skladištenje gasa.

**1. Kaptiranje gasa.** Proces kaptiranja obuhvata „hvatanje“ i izdvajanje ugljen-dioksida iz otpadnih gasova u industrijskim procesima. U zavisnosti od toga o kojoj je vrsti tehnološkog procesa reč, koncentracija CO<sub>2</sub> u otpadnim gasovima se kreće u rasponu 5–15%. Tehnologijom hvatanja, potrebno je odvojiti ugljen-dioksid od drugih elemenata koji čine i formiraju otpadni dim.<sup>223</sup> Ovom aktivnošću dobija se odvojeni visokokoncentrisani gas, koji u svom sadržaju ima preko 90% CO<sub>2</sub>. Danas se u praksi primenjuju tri glavna načina izdvajanja (hvatanja) CO<sub>2</sub>: a) hvatanje posle sagorevanja; b) hvatanje pre sagorevanja i c) sagorevanje goriva u struji kiseonika (Slika 3.29).<sup>224</sup>

a). Tehnologija hvatanja CO<sub>2</sub> nakon sagorevanja primenjuje se veoma često u situacijama nakon tehnoloških procesa sagorevanja velikih količina fosilnih goriva.<sup>225</sup> Kod ove tehnologije, ugljen-dioksid se odvaja iz „struje“ otpadnih gasova, koji su produkt sagorevanja energenata u kotlovima. b). Tehnologija prethodnog sagorevanja primenjuje se kod: proizvodnje veštačkog đubriva, hemijskih industrija... Kod ove metode, fosilno gorivo se gasifikuje, a CO<sub>2</sub> se može odvajati iz relativno čistih otpadnih gasova. c). Metoda sagorevanje goriva u struji kiseonika („Oxyfuel systems“) jeste hemijski „luping“ izgaranja energenta. Kod ove tehnologije, hemijskog „lupinga“, oksid metala se koristi kao nosilac kiseonika u procesu, u kome čestice oksida reaguju sa gorivom. Upotreba kiseonika za sagorevanje, umesto vazduha, dovod do toga da se otpadni dim

<sup>220</sup> Kada se nalazi u ležištu sa još nekim drugim jedinjenjem, procentualno učešće ugljen-dioksida je različito.

<sup>221</sup> Izvor: Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC *Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*, Cambridge University Press, New York, SAD, 2005.

<sup>222</sup> U inostranoj literaturi koristi se termin CCS (Carbon Capture and Storage, engleski) – kaptiranje i skladištenje ugljen-dioksida.

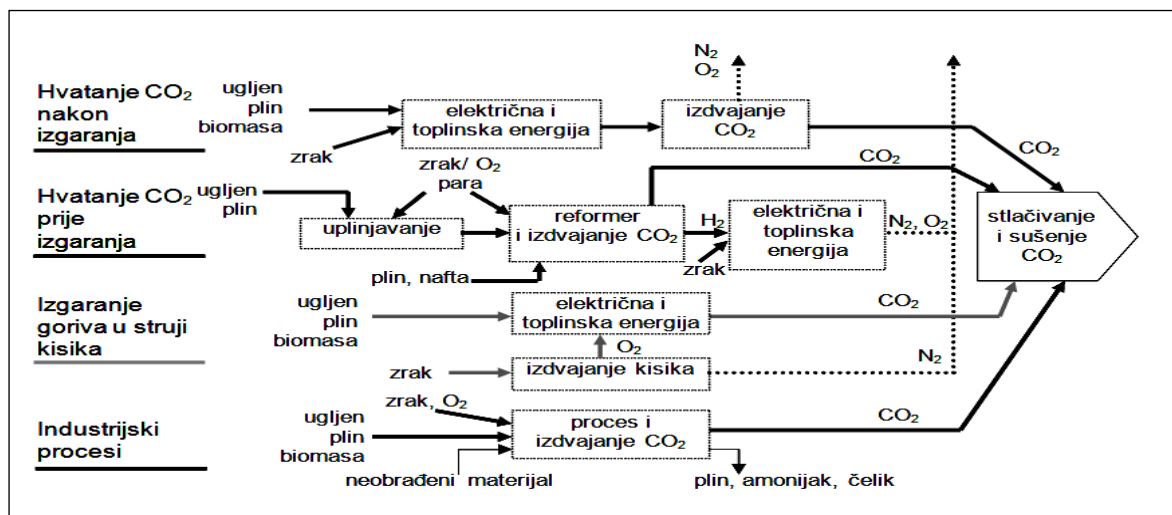
<sup>223</sup> Prema: Jurinić, S. i dr., „KSU (kaptiranje i skladištenje ugljikovog dioksida) – uticaj na okolinu“, XXII međunarodni susret stručnjaka za plin, Opatija, 2013.

<sup>224</sup> Opširnije videti u radu: *Greenhouses Gas R&D Programme, Capturing CO<sub>2</sub>*, IEA, 2007.

<sup>225</sup> Pogodna za primenu kod standardnih termoelektrana. Upotreba ove metode odvajanja CO<sub>2</sub>, kod termoelektrana koje koriste ugalj kao energent, dovodi do toga da ih često nazivaju i „čisti ugalj“.

uglavnom sastoji od CO<sub>2</sub> (80% vol.) i vodene pare. Vodena para se odvaja hlađenjem, zatim se odstranjuje kiseonik, tako da se kaptira ugljen-dioksid koji ima čistoću od 95 do 99%.

Do sada su istraživane i primenjavane različite tehnike separacije (kaptiranja, hvatanja, izdvajanja) ugljen-dioksida: apsorpcije, adsorpcije, mebranski procesi<sup>226</sup>... Izgradnja sistema za izdvajanje CO<sub>2</sub> danas je ekonomična samo kod velikih stacioniranih izvora (elektrane, industrijska postrojenja...). Gas se nakon izdvajanja transportuje do mesta njegove dalje pripreme i obrade, koje se nalazi u neposrednoj blizini samog mesta izvora zagađenja.



Slika 3.29. Prikaz procesa i sistema za kaptiranje ugljen-dioksida<sup>227</sup>

**2. Priprema CO<sub>2</sub> za transport.** Faza pripreme ugljen-dioksida obuhvata dva procesa: dehidraciju visokokoncentrisanog gasa i njegovo utečnjavanje (ako je potrebno). Dehidracijom se iz sirovog ugljen-dioksida, visoke koncentracije, izdvajaju neželjeni elementi, koji mogu doprineti ili stvoriti probleme u daljem procesu. Reč je, u prvom redu, o elementima koji doprinose koroziji radne opreme i uređaja ali i stvaranju hidrata (čvrstih kristala, leda) pod dejstvom visokih pritisaka. Formirani hidrati mogu stvoriti naslage leda koji blokiraju protok gasa kroz opremu i cevovod. Gas se u ovoj fazi komprimuje, nezavisno od toga da li će biti dalje transportovan u gasovitom ili tečnom agregatnom stanju. Utečnjavanje CO<sub>2</sub> se vrši u onim situacijama kada je potrebno transportovati gas u tečnom stanju na veća rastojanja pomoću cisterni ili brodova.<sup>228</sup> U većini slučajeva, veliki izvori ugljen-dioksida se ne nalaze u neposrednoj blizini potencijalnih mesta za skladištenje, tako da je neophodno da se on preveze.

**3. Transport gasa.** Aktivnost prenosa gasa, od mesta pripreme do mesta konačnog skladištenja, može da se realizuje u: gasovitom, tečnom i čvrstom agregatnom stanju. Sprovođenje procesa prenosa gasa se najčešće sprovodi cevovodima<sup>229</sup> i brodovima. U situacijama kada je reč o manjim količinama i ređoj dinamici isporuke, transport fluida može da se realizuje i sprovede kriogenim cisternama (kamionima, železnicom). Primena brodova koristi se u onim situacijama kada je: sam izvor gasa blizu (ili u neposrednoj blizini) obale, raspolaže se velikim količinama

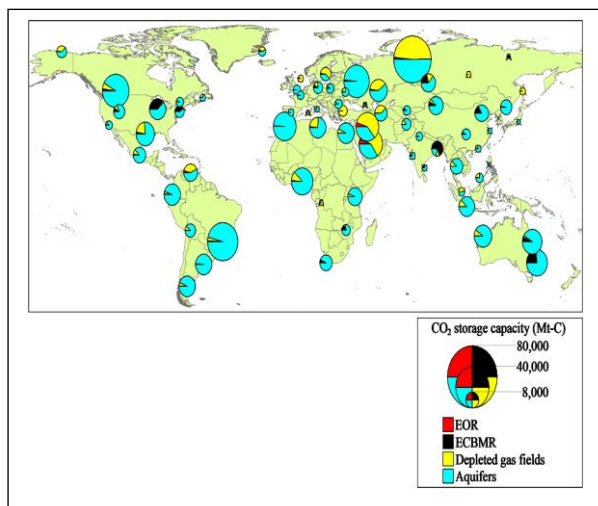
<sup>226</sup> Kao najbolja pokazala se tehnologija apsorpcije i regeneracije, sa procesima zasnovanim na aminima i amonijaku. Problem je u činjenici da se za realizaciju ovog procesa koristi velika količina energije.

<sup>227</sup> Izvor: Haramija, V., „Tehnologija hvatanja i zbrinjavanja ugljen-dioksida“, *Gorivo i maziva*, br. 51, 2012, str. 309.

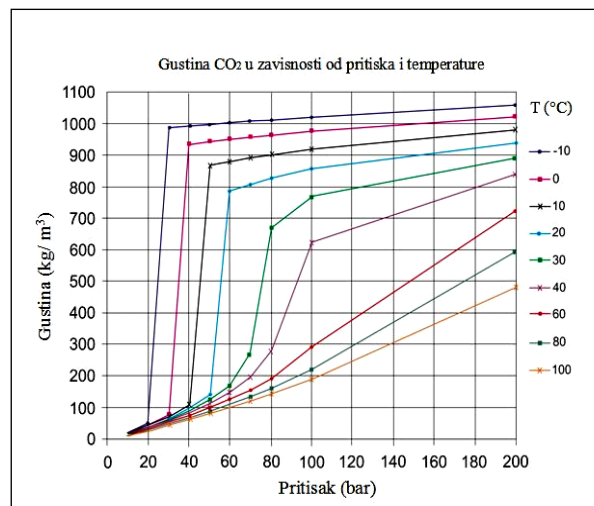
<sup>228</sup> Tečni CO<sub>2</sub> ima veću specifičnu gustinu od LNG. Tako da se u 1m<sup>3</sup> može smesti 1–1,5 tona tečnog CO<sub>2</sub>, dok u isti volumen od 1m<sup>3</sup> je moguće smestiti 0,454 t tečnog zemnog gasa.

<sup>229</sup> Na globalnom nivou, cevovodi za transport otpadnog CO<sub>2</sub> u funkciji njegovog skladištenja imaju dužinu preko 3000 km. Primena ovih cevovoda je od ranih 1970-ih (SAD). Transportuje se gas superkritične/guste faze. Cevovod ima godišnji kapacitet od oko 45 Mt CO<sub>2</sub>. Radni pritisak u cevovodu se kreće od 120–140 bara. Gas se najčešće koristi za povećanje eksploatacije nafte (Enhanced Oil Recovery, EOR) iz ležišta.

gasa, mesto odlaganja na velikim rastojanjima. Brodovi<sup>230</sup> se upotrebljavaju u situacijama kada je reč o skladištima gasa u moru ili okeanima, kada se prevoz vrši na velikim rastojanjima od kopna, što je i najčešći slučaj. Troškovi prevoza tečnog CO<sub>2</sub> brodovima, na rastojanju do 500 km, približno su isti troškovima transporta pomorskim cevovodom. Istovremeno, transport kopnenim cevovodima je oko 50% jeftiniji.<sup>231</sup>



Slika 3.30. Ilustracija potencijalnih geoloških skladišnih kapaciteta u svetu<sup>232</sup>



Slika 3.31. Uticaj temperature i pritiska na gustinu ugljen-dioksida<sup>233</sup>

**4. Skladištenje ugljen-dioksida.** Sama aktivnost dugoročnog skladištenja ugljen-dioksida sprovodi se procesima: upumpavanja, ubrizgavanja, utiskivanja ili odlaganja, u zavisnosti od metode, načina, tipa i mesta gde se odlaže otpadni ugljen-dioksid. Gas se može odložiti u sva tri agregatna stanja. Uopšteno posmatrano, najpogodnije formacije za skladištenje CO<sub>2</sub> jesu prostori u kojima se već ranije nalazio ugljen-dioksid, nafta i zemni gas.<sup>234</sup> U osnovi, danas postoje tri različita i značajna tipa, dugoročnog skladištenja ugljen-dioksida:<sup>235</sup>

- 4A). skladištenje u dubokim formacijama propusnih stena;
- 4B). skladištenje ugljen-dioksida u okeanima i
- 4C). skladištenje stvaranjem karbonatnih minerala na površini.

**4A). Skladištenje ugljen-dioksida u dubokim formacijama propusnih stena** („geološko skladištenje“). Ovo je danas najrasprostranjeniji tip skladištenja otpadnog ugljen-dioksida u praksi i najperspektivniji u bližoj neposrednoj budućnosti.<sup>236</sup> Skladištenje otpadnog CO<sub>2</sub> može da se realizuje samo u određenim adekvatnim i pogodnim dubokim geološkim formacijama u strukturi Zemljine kore. Neke geološke formacije, na velikim dubinama, imaju slojeve s pornim prostorom, u kojima se može bezbedno deponovati velika količina ovoga gasa. U taj prostor može se

<sup>230</sup> U upotrebi su brodovi kapaciteta 1500 m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>. U EU je u planu izgradnja i upotreba brodova kapaciteta 20.000m<sup>3</sup>. Uslovi za transport tečnog CO<sub>2</sub> brodovima slični su transportu LPG (Lqudefied Petroleum Gas) brodovima.

<sup>231</sup> Povećanjem transportne distance, cena transporta ide u korist prevoza gasa brodom. Procenjuje se da se troškovi transporta CO<sub>2</sub> brodovima i njegovo skladištenja, na rastojanjima od 6000 km, kreću između 25 i 50 \$ za jednu tonu.

<sup>232</sup> Izvor, veći broja inostranih stručnih radova iz ove oblasti.

<sup>233</sup> Izvor: Span, R., Wagner, W., „A new equation of state for carbon dioxide covering the fluid region from the triple-point temperature to 1100K at pressures up to 800MPa“, *Journal of Physical and Chemical Refe. Data*, 25, 1996.

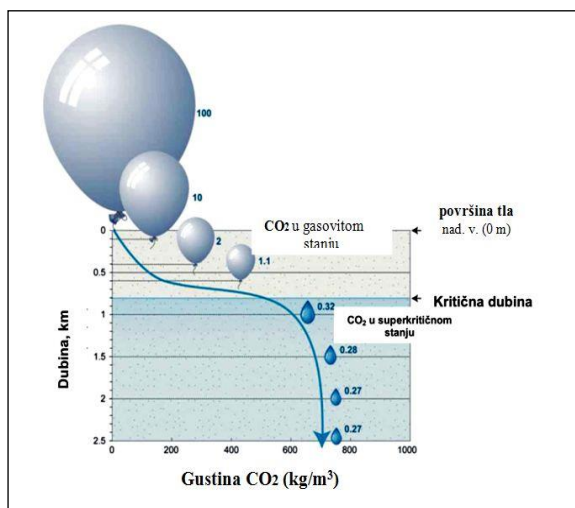
<sup>234</sup> Reč je o podzemnim geološkim formacijama u kojima se milionima godina već nalazio zemni gas, nafta ili CO<sub>2</sub>.

<sup>235</sup> Pored ove tri osnovne metode koje su najviše prisutne u analizi mogućnosti skladištenja otpadnog ugljen-dioksida, razmatraju se mogućnosti: proizvodnja goriva i kerozina; koncept vapnenčkih kupki; ...

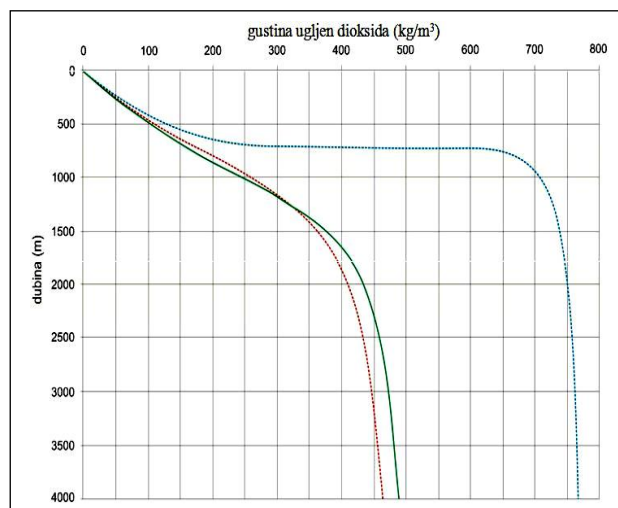
<sup>236</sup> Opširnije i detaljnije u radovima: 1. Sally, Benson i dr., „IPCC Special Rerort on carbon dioxide Capture and Storage“, *Chapter 5 Underground geological storage*, str. 197–276; 2. „Geologic Storage of Carbon Dioxide-staying safely underground“, *IEA Greenhouse Gas R&D Programme*, 2008; ...

aktivnošću upumpavanja (ubrizgavanje) sigurno smestiti CO<sub>2</sub>, na dugi vremenski period.<sup>237</sup> Ovaj tip skladišta zemnog gasa bazira se na aktivnosti njegovog odlaganja na velikim dubinama. Procena mogućnosti i količine skladištenja CO<sub>2</sub>, u narednom periodu u geološkim formacijama koje je moguće trajno uskladištiti je različita.<sup>238</sup> Procenjuje se da je globalni potencijal skladištenja CO<sub>2</sub> u svetu u: iscrpljenim naftnim i gasnim ležištima 1000 GtCO<sub>2</sub>; dubokim akviferima (vodonosnicima) 400–10.000 GtCO<sub>2</sub> i u dubokim ležištima uglja 40–150 GtCO<sub>2</sub>.<sup>239</sup> Kada je reč o lokacijama, potencijalnim geološkim skladišnim kapacitetima, oni su relativno podjednako prisutni i raspoređeni, u većoj ili manjoj meri, širom sveta, što ih čini veoma prihvatljivim (Slika 3.30).

Na ugljen-dioksid, koji je duboko utisnut pod zemlju u porozne stene, utiče istovremeno povišena temperatura i pritisak (Slika 3.31), doprinoseći tako da on može da poprimi svojstva „superkritičnog fluida“.<sup>240</sup> U ovom stanju i uslovima, fluid poprima istovremeno deo osobina koje ima tečnost ali i gas. Ova osobina, u tom stanju, ugljen-dioksidu omogućuje da se lako utisne ispod nivoa tla.<sup>241</sup> Gas sa tim karakteristikama relativno brzo prodire kroz porni prostor stena i može tako da se smestiti velika količina u malom volumenu. Kao ilustracija može da posluži podatak da CO<sub>2</sub> koji u gasovitom stanju pri ambijentalnim uslovima zauzima prostor od 100 m<sup>3</sup>, utisnut na dubinu od 1 km ispod nivoa zemljišta zauzima 0,007 m<sup>3</sup> (Slika 3.32). Gustina CO<sub>2</sub> pri temperaturi od 100°C i pritisku od 200 bara jeste 0,5 t/m<sup>3</sup> a pri pritisku od 500 bara 0,8 t/m<sup>3</sup>.<sup>242</sup> Na dijagramu je prikazana zavisnost gustine CO<sub>2</sub> i dubine na kojoj se gas skladišti (Slika 3.33).



Slika 3.32. Promene gustine CO<sub>2</sub> pri različitim pritiscima<sup>243</sup>



Slika 3.33. Dijagram zavisnosti gustine CO<sub>2</sub> od dubine skladištenja ispod površine<sup>244</sup>

Kod geološkog skladištenja CO<sub>2</sub>, „stene moraju da imaju veliku poroznost, propusnost i kapacitet skladištenja (geološke formacije minimalne dubine od 800 m, gde su pritisak i temperatura dovoljno visoki čime se omogućuje skladištenje gasa u komprimiranoj tečnoj fazi, što znatno povećava kapacitet). Iznad tih stena treba da se nalazi nepropusne tzv. 'prekrivne' stene (glina, lapor, naslage soli) koje će onemogućiti da CO<sub>2</sub> izađe na površinu, te moraju da budu

<sup>237</sup> Jurinić, S. i dr., „KSU (kaptiranje i skladištenje ugljikovog dioksida) – uticaj na okolinu“, XXII međunarodni susret stručnjaka za plin, Opatija, 2013, str. 7.

<sup>238</sup> Razlika o količini gasa, koji se može uskladištiti, zavisi u prvom redu od: metoda i načina procene; o kojem je kapacitetu reč (teoretski, efektivni, praktični, ...) ... Opširnije i detaljnije o kapacitetu, biće reč u nastavku rada.

<sup>239</sup> Prema izveštaju IEA, 2002.

<sup>240</sup> U superkritičnom stanju, ne postoji vidljiv prelaz iz gasovitog u tečno stanje fluida.

<sup>241</sup> Superkritično stanje fluida prvi je otkrio i zabeležio 1882. godine francuski naučnik Charles Cagniard de la Tour.

<sup>242</sup> Najčešće u praksi gustina ugljen-dioksida se kreće u rasponu između 0,61 i 0,72 t/m<sup>3</sup>.

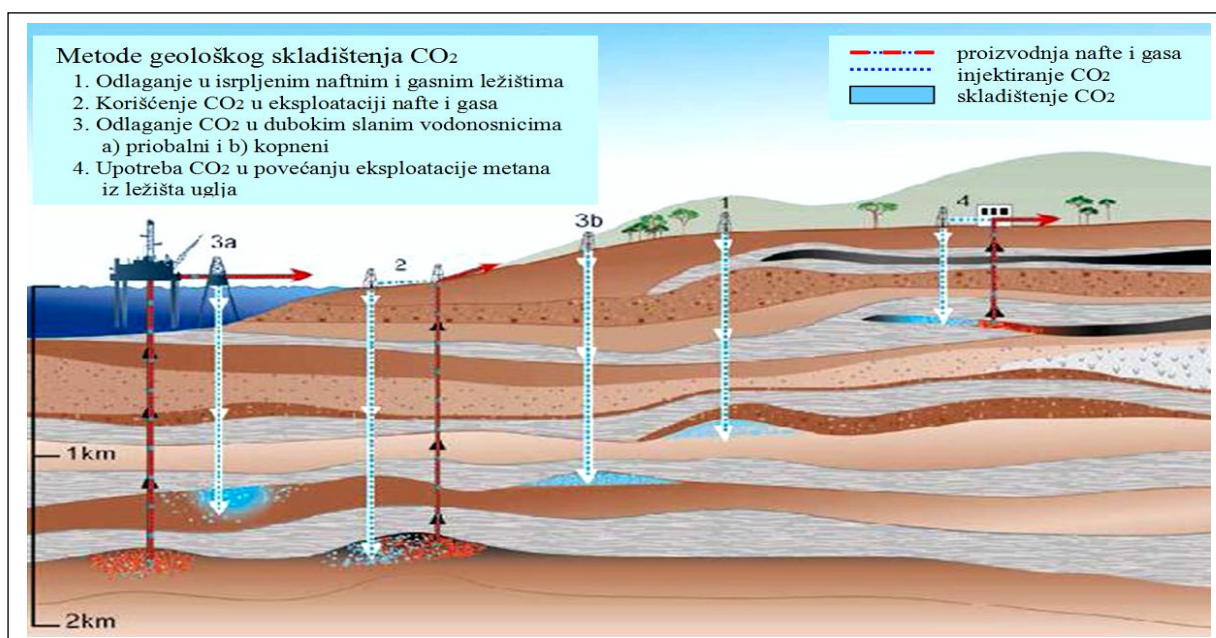
<sup>243</sup> Izvor: J. Price, B. Smith, „Geologic Storage of Carbon Dioxide, Staying Safely Underground“, IEA Greenhouses Gas R&D Programme, 2008.

<sup>244</sup> Izvor: Spencer, L. K., Bradshaw, J. i dr., „Regional Storage Capacity Estimates: Prospectivity Not Statistics“, *Energy Procedia* 4, 2011, str. 4857–4864.

prisutne pokrovne stene u obliku kupole tzv. 'strukturne zamke' koje mogu zadržati CO<sub>2</sub> unutar strukture skladišne formacije.<sup>245</sup> Praktično posmatrano, za skladištenje CO<sub>2</sub> na dubinu od 760 m dovoljan je pritisak od 100 bara, ali u praksi većina potencijalnih rezervoara nalazi se na dubinama između 2000 i 4000 metra ispod površine zemlje. Sa ekonomskog aspekta, za najpovoljnije dubine se smatraju one do 2500 m. Ovo je iz razloga što sa porastom dubine raste i količina neophodne energije za upumpavanje fluida.<sup>246</sup> Konkretna pritisak koji će se koristiti prilikom odlaganja ugljen-dioksida zavisi od: dubine na koju se gas odlaže, vrste ležišta, metode koja se koristi, količine gasa koja se može i želi da utisne.<sup>247</sup>

Danas se u svetu, kao najperspektivnije mogućnosti i načini dugoročnog geološkog skladištenja ugljen-dioksida (Slika 3.34.), trenutno smatraju četiri metode, koje se koriste prilikom upotrebe i odlaganja gasa, prilikom realizacije procesa i aktivnosti:

- 4a1). proizvodnje nafte i gasa;
- 4a2). skladištenja u iscrpljenim (iskorišćenim) naftnim i gasnim ležištima;
- 4a3). odlaganja u akviferima (dubokim slanim vodenim prostorima) i
- 4a4). skladištenja u dubokim ležištima uglja i ležištima uglja zasićenim metanom.



Slika 3.34. Najperspektivnije metode geološkog skladištenja ugljen-dioksida<sup>248</sup>

4a1). **Upotreba CO<sub>2</sub> u proizvodnji nafte i gasa.** Kod ove metode, ugljen-dioksid se upotrebljava kao potisni gas, u cilju povećanja proizvodnje i maksimalnog iskorišćavanja ukupnog potencijala iz određenog aktivnog ležišta nafte i gasa. Ova metoda se realizuje primenom tehnologija EOR (Enhanced Oil Recovery) i EGR (Enhanced Gas Recovery) (slike 3.35. i 3.36). Njenom primenom istovremeno se postižu dva efekta: maksimalna eksploatacija konkretnog ležišta i dugoročno uskladištenje CO<sub>2</sub>. Sama primena ove tehnologije dugo se već koristi u funkciji povećanja proizvodnje i maksimalne eksploatacije naftnih i gasnih polja u svetskoj praksi. Nakon samog završetka procesa eksploatacije, najčešće CO<sub>2</sub> koji se koristi za potiskivanje energenata

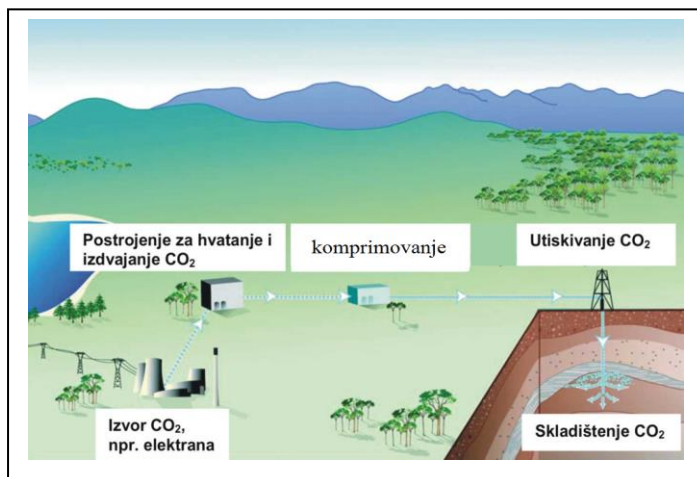
<sup>245</sup> U izradi ovoga segmenta rada vezano za tehnologije hvatanja i skladištenja CO<sub>2</sub> korišćen rad: Haramija, V., „Tehnologije hvatanja i zbrinjavanja ugljen-dioksida“, časopis *Goriva i maziva*, br. 51, 2012, str. 306–328.

<sup>246</sup> Tako da se danas granicom, sa ekonomskog aspekta, smatra dubina do 2500 m, kada je reč o upumpavanju u Zemljinu koru CO<sub>2</sub>. Ovo je iz razloga što sa porastom dubine raste i potrebna količina energije za skladištenje gasa.

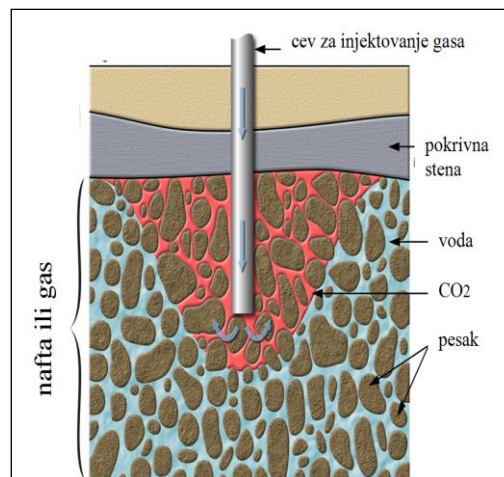
<sup>247</sup> U praksi nije isti pritisak koji se koristi prilikom samog odlaganja u iscrpljenim geološkim formacijama i kod povećavanja eksploatacije nafte ili gasa, iako je reč o istoj dubini. Kod odlaganja u iscrpljenim gasnim ležištima, najčešće se koriste pritisci do 200 do 300 bara prilikom utiskivanja.

<sup>248</sup> Autor. Prema: Matez, B. i dr., *Carbon Dioxide Capture and Storage*, Cambridge University Press, 2005.

(nafte i gasa), planski ostaje trajno vremenski „zarobljen“ i uskladišten u konkretnom ležištu. Primenom ove dve tehnologije skladištenja CO<sub>2</sub>, omogućuju se najniži troškovi njegovog dugoročnog odlaganja. Njihovom primenom, postiže se najveći ekonomski efekti, jer troškovi koji nastaju vezano za aktivnosti: kaptiranja, pripreme, transporta i skladištenja ugljen-dioksida, jednim delom se kompenzuju povećanjem eksploatacije nafte i gasa iz konkretnog ležišta.<sup>249</sup>



Slika 3.35. Skladištenje ugljen-dioksida<sup>250</sup>



Slika 3.36. EOR i EGR metode<sup>251</sup>

**Tehnologija EOR** (Enhanced Oil Recovery)<sup>252</sup> primenjuje se kod nastojanja povećanja eksploatacije iz konkretnog ležišta u okviru jednog naftnog polja. U procesu eksploatacije nafte, najčešće nakon izuzimanja energenta iz ležišta (posle primarne i sekundarne faze), u njega se upumpava pod pritiskom otpadni ugljen-dioksid u tercijarnoj fazi, bez primene konvencionalnih metoda.<sup>253</sup> Gas se utiskuje u cilju povećanja pritiska u konkretnom ležištu i potiskivanja nafte koja se nalazi u njemu (slike 3.37. i 3.38).<sup>254</sup> Povećanjem pritiska, postiže se veća iskorišćenost, bolja i efikasnija eksploatacija konkretnog ležišta<sup>255</sup> u okviru određenog naftnog polja.<sup>256</sup> Danas se ova

<sup>249</sup> U nekim slučajevima skladištenje otpadnog CO<sub>2</sub> primenom ovih metoda ekonomski je isplativo. Može da se ostvari čista dobit. Reč je o konkretnim situacijama kada je trošak vezan za aktivnosti: kaptiranja, transporta i upumpavanje CO<sub>2</sub> nižih od efekta koji on puža. Sama vrednost nafte i gasa, koji se dobija iz ležištah veća je od izdatka vezanog za skladištenje CO<sub>2</sub>. Ovo je posebno izraženo u situacijama kada je cena ovih energenata na tržištu visoka.

<sup>250</sup> J. Price, B. Smith, „Geologic Storage of Carbon Dioxide, Staying Safely Underground“, IEA Greenhouses Gas R&D Programme, 2008.

<sup>251</sup> Izvor: veliki broja različitih stručnih radova i publikacija vezanih za ovo pitanje. Grafička ilustracija geološkog skladištenja CO<sub>2</sub> metodama EOR i EGR tehnologije.

<sup>252</sup> Utiskivanje u naftni rezervoar (ležište).

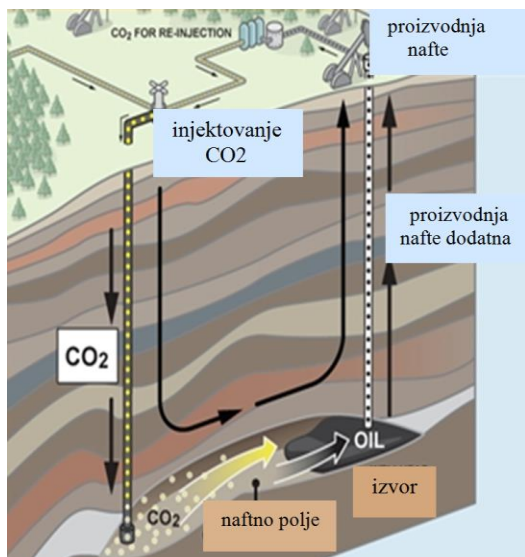
<sup>253</sup> Koji je to tačan trenutak kada dolazi do upumavanja CO<sub>2</sub> u ležište konkretno zavisi od više različitih faktora. O kojem je dostignutom nivou eksploatacije reč, kada će se primeniti dodatno upumpavanje CO<sub>2</sub> u konkretno ležište zavisi od: kompleksnosti i uslova u ležištu; ostvarivanja ekonomskog efekta i strategije iskorišćavanja ležišta. Kada je reč o naftnom ležištu, u primarnoj i sekundarnoj fazi, najčešće se iscrpi između 50 i 60 % od ukupne količine kojom je raspolagalo to ležište. U ovom slučaju, kada se upumpava CO<sub>2</sub>, reč je o tercijarnoj fazi eksploatacije nafte iz konkretnog ležišta u okviru eksploatacionog polja.

<sup>254</sup> Upumpavanja različitih gasova (ugljen-dioksida, azota, zemnog gasa, ...) smatra se kao druga najefikasnija metoda, odmah posle unošenja dodatne vode u ležište u procesu eksploatacije nafte.

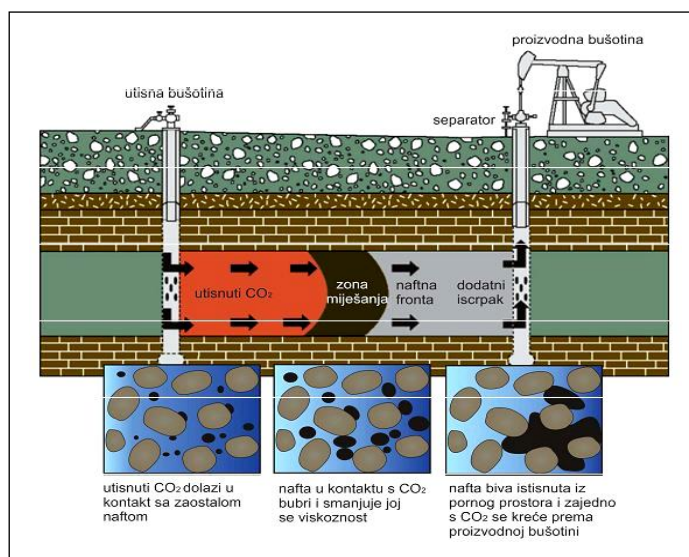
<sup>255</sup> U zavisnosti od toga o kojem je tipu ležišta nafte reč, fizičkim uslovima, geološkoj strukturi, ... da se na tonu proizvedene nafte utisne od 2,4 do 3 tone ugljen-dioksida.

<sup>256</sup> Kao ilustracija može da posluži podatak da se tokom 2003. godine u SAD proizvodilo oko 200.000 bbl nafte upumpavanjem ugljen-dioksida. Primena ovog metoda je bila u primeni kod 31% od ukupne tercijarne proizvodnje nafte. U ostalom udelu (69%) koristio se azot, ugljovodonici, vodena para, polimeri, ... Te godine, iskorišćeno je 32.000 kt CO<sub>2</sub> iz prirodnih izvora i 11.000 kt iz industrijskih procesa. Dubina ležišta nafte u koju se utiskuje CO<sub>2</sub> mora da bude veća od 600 m. Da bi ovaj metod bio efikasan, potrebno je da gustina sirove nafte bude najviše 910 kg/m<sup>3</sup>. Ovaj parametar, vezan za specifičnu gustinu nafte, onemogućuje primenu ove metode kod eksploatacije teške nafte. Otežana je primena ove metode i kod prisustva uljnog peska, ali i kod ležišta sa gasnom kapom.

metoda najviše koristi u SAD, ali i na mnogim različitim naftnim poljima širom sveta.<sup>257</sup> Prema grubim procenama, smatra se da bi ova metoda bila prihvatljiva kod naftnih polja sa minimalnim potencijalom od pet miliona barela nafte i više od 10 aktivnih bušotina.<sup>258</sup> Kod određenih ležišta, primena ove metodologije iziskuje otvaranje (instaliranju) novih utisnih bušotina.



Slika 3.37. Injektovanje CO<sub>2</sub> u procesu proizvodnje nafte<sup>259</sup>



Slika 3.38. Prikaz primene CO<sub>2</sub> kod eksploatacije nafte<sup>260</sup>

**EGR (Enhanced Gas Recovery)**<sup>261</sup> tehnologija utiskivanja CO<sub>2</sub> sprovodi se kod delimično iscrpljenih gasnih ležišta u cilju efikasne, ekonomične i maksimalne eksploatacije iz njega. Smatra se pod iscrpljenim gasnim ležištem, za konvencionalne metode eksploatacije, ono ležište iz koga je u procesu proizvodnje već izuzeto oko 85% od ukupne količine fluida kojim je ležište raspolagalo.<sup>262</sup> U tim situacijama, pritisak u gasnim ležištima se kreće između 20 i 50 bara. Osnovna karakteristika CO<sub>2</sub> je da on ima značajno veću specifičnu gustinu od metana, nezavisno od: stanja u kome se nalazi,<sup>263</sup> pritiska i temperature, a kada se nalazi u bušotini, on struji naniže. Ove činjenice dovode do toga da se ugljen-dioksid uvek nađe ispod zemnog gasa u samoj bušotini. Tako da utisnuta gas istovremeno podiže pritisak i sa dna bušotine potiskuje iznad sebe zemni gas na površinu kroz proizvodnu liniju. Trenutno se procenjuje da metod skladištenja CO<sub>2</sub> u ležištima zemnog gasa, sa aspekta fizičke količine otpadnog gasa koji može da se odloži, ima veći potencijal u odnosu na naftna polja. Istovremeno, posmatrano sa ekonomskog aspekta, prilikom utiskivanja iste količine CO<sub>2</sub>, kod naftni polja se ostvaruje značajno veći prihod.<sup>264</sup>

<sup>257</sup> Jedan primer konkretnog utiskivanja CO<sub>2</sub> u ležište nafte u regionu Balkana, sa ciljem povećanja eksploatacije ležišta, može se videti u doktorskoj disertaciji: Novosel, D., *Učinak ugljeničkog dioksida u tercijarnoj fazi iskorištavanja naftih ležišta polja Ivanić*, RGNF u Zagrebu, Zagreb, 2009.

<sup>258</sup> U ovom slučaju ukupni profit je oko 110 USD/t (15 USD/bbl), uz pretpostavku da se utisne 2,5 tona CO<sub>2</sub> po toni sirove nafte, dobit je oko 25 USD/t CO<sub>2</sub> za gratis količinu CO<sub>2</sub>. Prema: Loš, B., „Tehnologija hvatanja i spremanja ugljenikovog dioksida u elektroenergetskom sektoru – pregled relevantnog stanja“, *Energija* 58, 2009, str 123.

<sup>259</sup> Izvor: veći broj stručnih radova. Utiskivanje CO<sub>2</sub> u naftni rezervoar (ležište) u cilju povećanja proizvodnje.

<sup>260</sup> Izvor: Kolenković, I. *Mogućnosti za geološko skladištenje ugljeničkog dioksida u Gornjomiocenskim pješčenjacima zapadnog dijela Savske depresije*, doktorski rad, RGNF, Zagreb, 2012, str. 21. Šematski prikaz delovanja ugljen-dioksida na povećanje iscrpljivanja nafte iz ležišta.

<sup>261</sup> Ugljen-dioksid se utiskuje u gasno ležište (rezervoar).

<sup>262</sup> Primena ove metode utiskivanja CO<sub>2</sub> u proizvodnji gasa u komercijalne svrhe koristi se od 2007. godine.

<sup>263</sup> U gasovitom, tečnom ili superkritičnom stanju.

<sup>264</sup> Utiskivanjem jedne tone ugljen-dioksida u ležište gasa dobija se oko 1,8 GJ.



4a2). **Skladištenje CO<sub>2</sub> u iscrpljenim (iskorišćenim) ležištima nafte i gasa.**<sup>265</sup> Sam proces skladištenja CO<sub>2</sub> u već iskorišćenim ležištima nafte i gasa, danas je tehničko tehnološki posmatrano relativno jednostavan. U osnovi, potrebno je samo instalirati utisne bušotine na iscrpljenim ležištima, kroz koje će se odlagati CO<sub>2</sub>. Kod većine slučajeva, moguće je da se iskoriste već postojeće bušotine koje su ranije bile u funkciji samog procesa eksploatacije energenata iz ležišta. U ovom slučaju, ukupna potrebna ulaganja u infrastrukturu samog skladišta su znatno niža. Do ovih skladišta, velike količine otpadnog CO<sub>2</sub> mogu se dopremiti cevovodima ili brodovima. Trenutno, danas u svetu postoji izuzetno veliki broj iscrpljenih ležišta koja su pogodna za odlaganje otpadnog gasa, ali i veliki broj novih potencijalnih ležišta u bliskoj budućnosti. U prvom redu, reč je o ležištima i eksploatacionim poljima na teritoriji bivšeg Sovjetskog Saveza i Bliskog istoka. Grubo se procenjuje da ukupni kapacitet iscrpljenih ležišta nafte i gasa u svetu, za skladištenje otpadnog ugljen-dioksida, iznosi oko 1000 GtCO<sub>2</sub>. Ovaj kapacitet okvirno predstavlja mogućnost za skladištenje ukupnih količina CO<sub>2</sub> koji se emituje u svetu u periodu od 50 godina.

4a3). **Skladištenje CO<sub>2</sub> u akviferima.** Kod ove metode, reč je o skladištenju ugljen-dioksida u dubokim vodenim prostorima, akviferima (vodonosnicima). U osnovi, reč je o geološkim slojevima ispunjenim vodom sa povišenom koncentracijom soli. Najčešće su u pitanju sedimentalne stene, zasićene vodom, u koje se može (ukoliko je zadovoljavajući stepen poroznosti) utisnuti fluid. To su stene čvrste susedaste strukture. U ovom slučaju, u prvom redu reč je o karbonatnim stenama, odgovarajuće strukturalne poroznosti.<sup>266</sup> Ugljen-dioksid može da se odlaže i u dubokim vodenim akviferima, na više načina: u obliku „perjane“ strukture;<sup>267</sup> kao gasni mehurići zarobljeni u prostoru pora; kao taložni karbonatni mineral;<sup>268</sup> otapanjem u slanom vodonosniku.<sup>269</sup>

U situacijama kada se ugljen-dioksid skladišti u podzemne vodonosne slojeve, na način da se on otapa u vodonosniku, tada pri samom procesu njegovog utiskivanja, do 30% gasa odmah se otapa u slanoj vodi. Preostala količina gasa isplivava na površinu slane vode i pliva po njoj.<sup>270</sup> U daljem dugom vremenskom periodu, ugljen-dioksid se postepeno otapa ili reaguje sa okolnim stenama. Reč je o periodu dužem od hiljadu godina, u kome se „perjana“ struktura gasa otapa. Potpun rezultat geohemijske reakcije i delovanja mehanizma kroz vremenski period vidljiv je tek nakon nekoliko hiljada godina (Slika 3.45).

Kao osnovna prednost, duboki akviferi (kao potencijalna skladišta ugljen-dioksida), u odnosu na ležišta gasa i nafte, nalaze se u svim delovima sveta. Procenjuje se da je moguće smestiti 10.000 Gt ugljen-dioksida u duboke slane vodonosne slojeve.

4a4). **Skladištenje CO<sub>2</sub> u ležištima uglja.** Reč je o utiskivanju ugljen-dioksida u: duboka ležišta uglja i ležišta uglja zasićena metanom. Kod metode utiskivanja CO<sub>2</sub> u duboka ležišta uglja, gas se utiskuje u duboka pogodna podzemna ležišta uglja koja se neće eksploatirati u budućnosti. Metoda (ECBM) utiskivanja CO<sub>2</sub> u ležišta uglja koja u sebi imaju veće količine metana, koristi se u funkciji efikasnije i bolje eksploatacije zemnog gasa iz njega.<sup>271</sup> U eksploataciji zemnog gasa,

<sup>265</sup> Pod iskorišćenim (iscrpljenim) ležištima nafte i gasa, smatraju se ona ležišta iz kojih su već ranije u procesu eksploatacije (proizvodnje), posmatrano sa ekonomskog aspekta opravdanosti daljeg izuzimanja energenata iz njih, oni u potpunosti iscrpljeni. U ležištu se više ne nalazi količina nafte i gasa koja se može iscrpiti iz njega.

<sup>266</sup> Kristalno i metamorfno stenje, kao što je granit, nema adekvatnu poroznost za skladištenje CO<sub>2</sub>. Granitno kamenje može da ima funkciju prirodne barijere, tj. da onemogućuje prodor fluida iz prirodnog skladišta.

<sup>267</sup> Izgled je u formi perja.

<sup>268</sup> Taložni karbonatni minerali nastaju geohemijskom reakcijom između CO<sub>2</sub>, vode iz vodonosnika i stene.

<sup>269</sup> Ovo odlaganje se odvija slično otapanju šećera u vodi.

<sup>270</sup> Iz tog razloga što je CO<sub>2</sub> lakši od slane vode. Gas se nalazi na vrhu vodonosnika i njegovo rasprostiranje traje preko hiljadu godina na prostoru od 5 do 20 km od samoga mesta gde je gas utisnut u ležište.

<sup>271</sup> Primena metode utiskivanja ugljen-dioksida u ležišta uglja zasićena metanom u funkciji je povećanja eksploatacije metana, ali stovremeno nakon eksploatacije zemnog gasa, CO<sub>2</sub> ostaje uskladišten u ležištima. Ova metoda se u osnovi bazira na procesu u kome se utisnuti CO<sub>2</sub> u ležište veže za uglj i istiskuje metan.

primenom konvencionalne metode, iz ležišta uglja može da se iscrpi oko 40–50% gasa, dok istovremeno „upumpavanjem“ CO<sub>2</sub>, procenat iskorišćenja kreće se (teoretski) od 90 do 100%. Ova metoda u osnovi se primenjuje kod onih ležišta uglja u koja nije tehnički ili ekonomski moguće eksploatirati. Primenjuje se kod ležišta na dubinama do 2 kilometra.<sup>272</sup> Količina metana u dubokim ležištima kreće se od 5 do 25 m<sup>3</sup> u jednoj toni uglja. Izbor za primenu ove metode zavisi od niza različitih parametara i kriterijuma.<sup>273</sup>

Ova metoda je potencijalno najpogodnija za primenu skladištenja CO<sub>2</sub> u neeksploatisanim ležištima uglja, koja se nalaze u neposrednoj blizini termoelektrana. Otpadni gas se do njih transportuje posebnim cevovodima. Procenjuje se da je u svetu ukupni potencijalni kapacitet skladištenja otpadnog ugljen-dioksida, primenom ove metode, 150 GtCO<sub>2</sub>.

**4B). Skladištenje ugljen-dioksida u okeanima.** Jedna od osobina ugljen-dioksida jeste da se on lako rastvara u vodi. Neosporno je da se oko sedamdeset procenata površine naše planete nalazi pod okeanima, čija je prosečna dubina od 3800 m. Vazduh je u direktnom kontaktu sa okeanom preko njegove celokupne vodene površine. Dodirom vodene površine sa vazduhom, dolazi do procesa međusobne razmene – apsorpcije. Na taj način se ostvaruje prirodni proces razmene između CO<sub>2</sub> u vazduhu i na površini okeana, dok se ne uspostavi ravnotežno stanje njegove koncentracije u atmosferi i u vodi.<sup>274</sup> Okean predstavlja najveći prirodni stabilizator nivoa ugljen-dioksida u atmosferi. Povećanje koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi dovodi i do njegovog povećanja u okeanima.<sup>275</sup> Najveća koncentracija ovog gasa je u gornjim vodenim slojevima.<sup>276</sup> Prema velikom broju naučnih radova, pretpostavlja se da će se prirodnim putem, CO<sub>2</sub> koji se nalazi rastvoren u gornjim slojevima okeana, mešati sa vodom i spuštati na veće dubine.<sup>277</sup> Na ovaj način, direktno će se omogućiti preuzimanje novih većih količina gasa iz atmosfere.<sup>278</sup>

Utvrđeno je, eksperimentalnim putem, da ubačeni tečni CO<sub>2</sub> u more od strane čoveka, do dubine od 3 km, teži ka površini (isplivava) jer ima manju gustinu od vode na tim dubinama. Na dubinama ispod 3000 metara tečni CO<sub>2</sub> pod dejstvom pritiska i temperature prelazi u čvrsto agregatno stanje, formira se jedna vrsta forme leda (veće gustine od vode) i tone na dno okeana. Uskladišteni CO<sub>2</sub> u okeanima bi ostao duži vremenski period izolovan (zarobljen).<sup>279</sup> Injektiranje, direktno ubacivanje (odlaganje, skladištenje) CO<sub>2</sub> u okeane (Slika 2.39), može da se realizuje na više načina: 1. ispuštanjem tečnog CO<sub>2</sub> sa obale cevovodom u njenoj neposrednoj blizini (na dubinama do 3 km i dubinama većim od 3,5 km)<sup>280</sup>; 2. deponovanjem gasa u okeane sa brodova (na većim dubinama od 3000 m); 3. kao bazeni tečnog CO<sub>2</sub> ispod smrznutih sedimenata metana (ispod hidrata, upumpavanjem); 4. sa proizvodnih platformi (gasa i nafte) koje se nalaze u moru; ...

<sup>272</sup> Porastom dubine raste i temperatura što ograničava sadržaj metana u uglju, istovremeno porastom pritiska gasa sa dubinom smanjuje se propusnost ležišta.

<sup>273</sup> Homogenosti ležišta; izolovanosti od okolnih slojeva; minimalne propusnosti ležišta ( $1 \times 10^{-15}$  m<sup>3</sup> do  $5 \times 10^{-15}$  m<sup>3</sup>);...

<sup>274</sup> „Smatra se da se trenutno u okeanima nalazi 40.000 milijardi tona ugljenika, u poređenju sa 750 milijardi tona u atmosferi i oko 2200 milijardi tona u zemlji. Ovo znači da ukoliko uzmemo sav atmosferski CO<sub>2</sub> i stavimo ga u dubinu okeana, koncentracija CO<sub>2</sub> u okeanu promenila bi se za manje od 2%.“ Patricio Bernar, izvršni sekretar Uneskovske Međuvladine okeanografske komisije IOC UNESCO. Savetodavna komisija sa CO<sub>2</sub> u okeanu pri SCOR.

<sup>275</sup> Proces uzajamno posledičan. Procenjuje se da je pod dejstvom ove zakonitosti u poslednjih 200 godina oken preuzeo 500 Gt CO<sub>2</sub>, od ukupne količine od 1300 Gt antropogene emisije ovog gasa koji je dospao u vazduh.

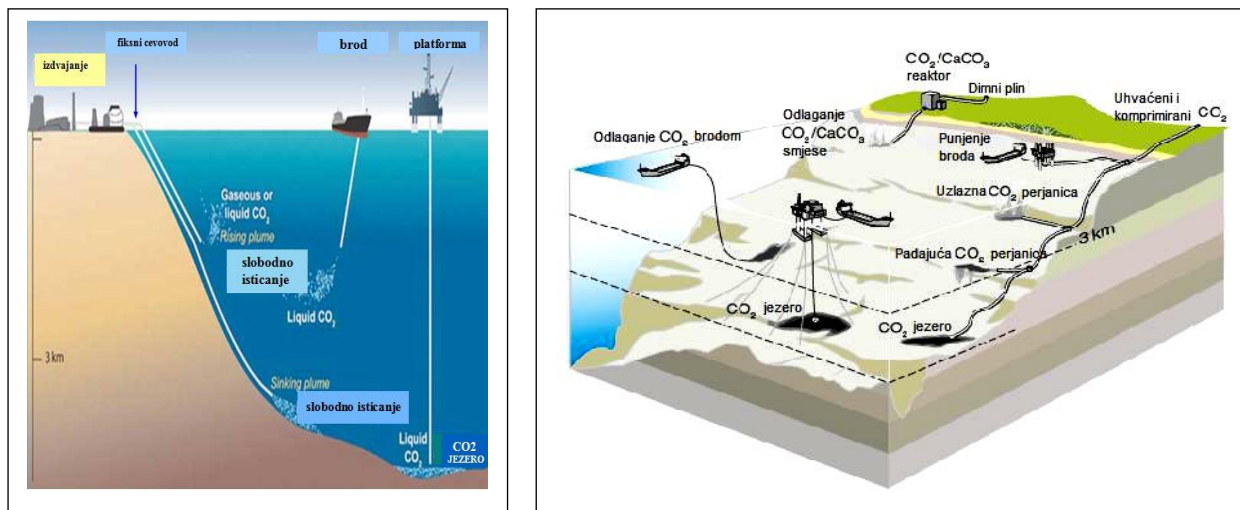
<sup>276</sup> Dodatna emisija CO<sub>2</sub>, u poslednja dva veka, doprinela je povećanju pH vrednosti za samo 0,1% u gornjim vodenim slojevima, dok je njegove koncentracija na većim dubinama ostala i dalje ista.

<sup>277</sup> Opširnije o ovoj tematici može se videti i u radovima: 1. Johanson, P., Santillo, D., *Carbon Capture and Sequestration: Potential Environmental Impacts*, Greenpeace Research Laboratories, University of Exeter; 2. Howard, J. Herzong, *Ocean sequestration – of an overview*, Massachusetts Institute of Technology (MIT) Energy Laborat....

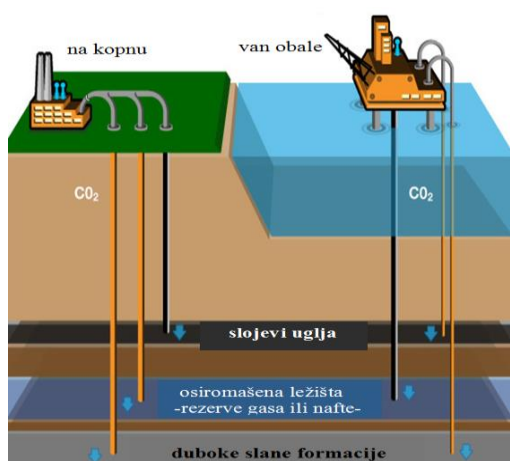
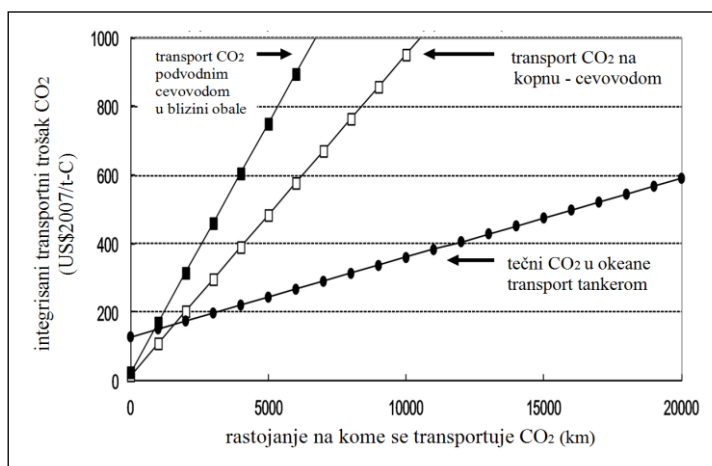
<sup>278</sup> Povećanjem koncentracije CO<sub>2</sub> u rasponu 350–1000 ppm, u okeanu bi se prirodnim putem „uskladištilo“ između 2000 i 12000 Gt CO<sub>2</sub>.

<sup>279</sup> Procenjuje se da bi to bio period oko 200 godina.

<sup>280</sup> Na većim dubinama od 3,5 km CO<sub>2</sub> je u tečnom stanju i ima veću gustoću od morske vode. „Tako da zbog svoje veće gustine tone na veće dubine gde reaguje sa morskom vodom i skuplja se na moskom dnu, te se zatim postepeno otapa i dalje dispergira.“ Adams E. & Caldeira K., „Ocean Storage of CO<sub>2</sub>“, *Elements* 5/4, 2008, str 325–331.


 Slika 3.39. Ilustracije nekih od mogućih primena tehnika odlaganja CO<sub>2</sub> u okeanima<sup>281</sup>

Negativna posledica skladištenja CO<sub>2</sub> u okeanima vezana je i za pojavu straha zbog nesigurnosti odlaganja gasa. Problem se javlja zbog potencijalnih mogućnosti pojave velikih podzemskih klizišta ili jakih podvodnih strujanja, koji potencijalno mogu dovesti do naglog oslobađanja velikih količina CO<sub>2</sub>. Samo odlaganje može se ostvariti na različite načine (Slika 3.40), dok troškovi transporta zavise od načina, vida i količine prevezenog gasa do skladišta (Slike 3.41).


 Slika 3.40. Ilustracija odlaganja CO<sub>2</sub><sup>282</sup>

 Slika 3.41. Troškovi transporta CO<sub>2</sub> odlaganju u moru<sup>283</sup>

Podstaknut činjenicom, i do sada svim sprovedenim istraživanjima u svetu, da ispušteni tečni ugljen-dioksid u okeanu (na dubini do 3 km, zbog svoje manje specifične gustine) isplivava (podiže se, penje se) prema površini vode (a potrebno je da potone, spusti se na veću dubinu), smatram da je potrebno razmotriti i druge potencijalne mogućnosti za rešavanje ovog problema. Kao autor ovoga rada, predlažem, kao jednu od mogućih ideja, koja se za sada u praksi značajno ne koristi, a koju je moguće teoretski sagledati i eksperimentalno testirati, u cilju istraživanja i praktične realizacije, odlaganje CO<sub>2</sub> u obliku suvoga leda (peleta ili blokova). Primenom ovog načina, CO<sub>2</sub> bi se u čvrstom stanju brodovima transportovao i, na određenoj lokaciji, ispuštao iznad velikih dubina. On bi se tako, slobodnim padom, odlagao na dnu okeana.<sup>284</sup>

<sup>281</sup> Izvori. Prva ilustracija je preuzeta iz većeg broja stručnih časopisa i prilagođena. Druga ilustracija je iz rada Haramija, V., „Tehnologije hvatanja i zbrinjavanja ugljen-dioksida“, *Goriva i maziva*, br. 51, 2012, str. 306–328.

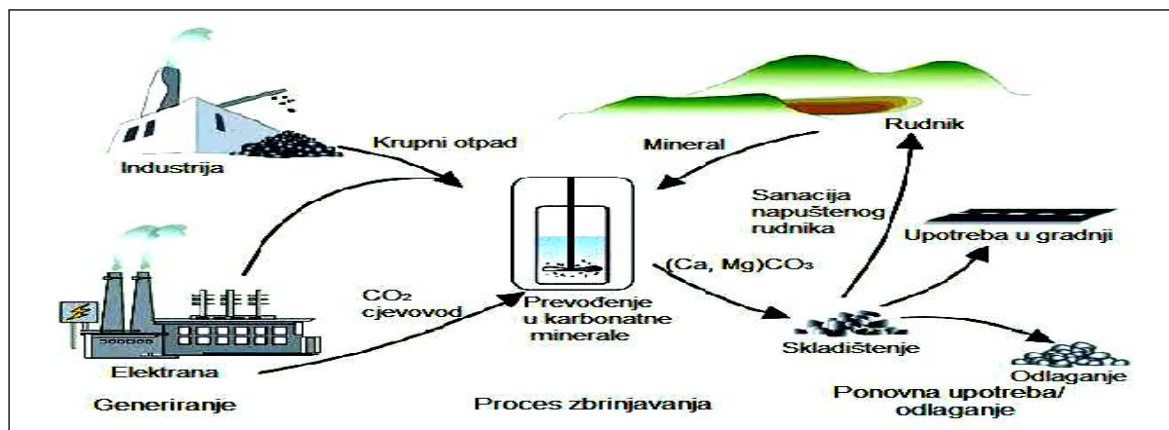
<sup>282</sup> Izvor, veći broj različitih stručnih radova iz ove oblasti. Prikaz odlaganja CO<sub>2</sub> na kopnu i moru.

<sup>283</sup> Izvor, veći broj dostupnih stručnih radova i publikacija iz ove oblasti.

<sup>284</sup> Ispuštanje suvoga leda moglo bi da se realizuje direktno slobodnim padom ili pomoću različitih tehničkih rešenja (usmerivača, fleksibilnih creva, raznih mehanizama, fiksnih cevi, plutajućim uređajima, ...).

Ideja se bazira na pristupu da se proces odlaganja (skladištenja) ugljen-dioksida u more realizuje u njegovom čvrstom agregatnom stanju, u obliku suvog leda (peleta), jer on zbog svoje specifične gustine može da potone. U ovom slučaju, ugljen-dioksid je potrebno prevesti u čvrsto agregatno stanje (suvi led) pomoću pelletizera i pomoću brodova ispustiti u okeane iznad velikih dubina (preko 4 km). Suvi led će slobodnim padom potonuti, zbog svoje veće specifične gustine, (brže i efikasnije) na dno okeana i tamo se kompaktan zadržati duže nego kad se ispušta u tečnom agregatnom stanju. Razlog ideje o prikladnijem i efikasnijem zadržavanju ugljen-dioksida u čvrstom stanju, počiva na dve činjenice. Prvo, da je tečnom CO<sub>2</sub> ispuštenom u more na dubine veće od 3 km potrebno određeno vreme za formiranje strukture leda. Drugo, takav led je i manje gustine od proizvedenog u postrojenjima za proizvodnju suvog leda (što sve doprinosi i njegovoj bržoj razgradnji). Primena ove potencijalne metode, odlaganja u formi suvog leda, iziskuje nešto veća finansijska ulaganja, zbog troškova proizvodnje suvog leda, ali se pruža mogućnost lakše manipulacije i odlaganja CO<sub>2</sub> u okeane.<sup>285</sup>

**4C). Skladištenje CO<sub>2</sub> stvaranjem karbonatnih minerala.** Ovaj tip dugoročnog skladištenja ugljen-dioksida uključuje reakciju CO<sub>2</sub> sa silikatnim mineralima koji sadrže magnezijum i kalijum, što rezultira stvaranju stabilnih karbonatnih minerala – magnezita ili kalita.<sup>286</sup> Proces prevođenja CO<sub>2</sub> u karbonatne minerale realizuje se pomoću magnezijum-oksida (MgO) i kalcijum-oksida (CaO) koji se nalazi u stenama (kao što su serpentin, olvin i peroksen).



Slika 3.42. Prevođenje silikatnih stena i industrijskih ostataka u karbonatne minerale<sup>287</sup>

Njihova međusobna hemijska reakcija daje magnezijum karbonat (MgCO<sub>3</sub>) i kalcijum karbonat (CaCO<sub>3</sub>). Kvarc i karbonat su stabilna jedinjenja koja se mogu odlagati u rudnike silikatnih minerala na dug period bez straha od njegovog neželjenog dejstva i migracije CO<sub>2</sub> u atmosferu.<sup>288</sup> U prirodi, proces vezivanja CO<sub>2</sub> i oksida, prevođenjem u karbonatne minerale,

<sup>285</sup> Ovaj postupak kao početnu ideju, autor ovoga rada je u eksperimentalnom istraživanju sam isprobao u laboratoriji i na otvorenim vodenim površinama manje dubine, u više navrata u prethodnom periodu. Ovaj pristup se za sada pokazao kao tehničko-tehnološki lako izvodljiv metod. Pravi efekat i ponašanje suvog leda nije bilo moguće testirati zbog neposredovanja odgovarajućih finansijskih sredstava i uređaja pomoću kojih bi se realizovalo istraživanje ovakve ideje u praksi, odlaganje ugljen-dioksida u formi suvog leda na otvorenim prostranstvima okeana, ispuštanjem u dubinama većim od 4 km. Sam proces testiranja ove metoda nije ni predviđen postavljenim zadatkom u okviru ovoga rada, ali predstavlja za sada realnu ideju za neko moguće detaljnije teoretsko i eksperimentalno istraživanje.

<sup>286</sup> Haywood, M. H. i dr., „Carbon dioxide sequestration as stable carbonate minerals – environmental barriers“, *Environmental Geology*, 41, 2001, str. 11–16.

<sup>287</sup> Izvor: Haramija, V., „Tehnologija hvatanja i zbrinjavanja ugljen-dioksida“, *Gorivo i maziva*, br. 51, 2012, str. 318.

<sup>288</sup> Za skladištenje 1 tone CO<sub>2</sub> potrebno je 1,6–3,7 t silikata (kalcijum i magnezijum oksida). Njihovim međusobnim vezivanjem nastaje karbonatna masa od 2,6–4,7 tona koju treba odložiti. U prirodi postoje dovoljne količine silikata potrebnog za vezivanje ugljen-dioksida.

realizuje se u dugom vremenskom periodu (Slika 3.42).<sup>289</sup> Da bi se taj proces ubrzao, potrebno je utrošiti velike količine energije, što ovaj metod danas čini relativno ekonomski skupim.<sup>290</sup>

Pored svih nabrojanih mogućnosti odlaganja CO<sub>2</sub>, u cilju smanjenja emisije i zbrinjavanja viška CO<sub>2</sub>, u fazi laboratorijskog ili teorijskog istraživanja nalazi se i: solarna fotokatalitička konverzija CO<sub>2</sub> i vodene pare u ugljovodonična goriva; industrijsko korišćenje (upotreba rastvora amonijaka i monoetanol-amina u smanjenju emisije ugljen-dioksida, upotreba CO<sub>2</sub> bez prethodne separacije za proizvodnju sintetskog gasa, upotreba CO<sub>2</sub> kao zamene za fosgen pri sintezi dimetal-karbonata; ...); proizvodnji goriva; ...

#### 4. 3. Neki značajni elementi vezani za globalno i regionalno dugoročno geološko skladištenje otpadnog ugljen-dioksida u funkciji ekologije

U osnovi, zaštita životne sredine treba da predstavlja pitanje za čije je uzroke, probleme, posledice, efekte i značaj koje ona ima, potrebno pravilno uočiti, sagledati i iznaći, pojedinačna i zajednička adekvatna i efikasna rešenja. Rešenja problema moraju da budu u okviru celokupne strategije vezane za životnu sredinu. Ona moraju da se odnose i realizuju, na najširi i najviši globalni nivo celokupnog čovečanstva. Određena pitanja i konkretni problemi mogu i moraju da se rešavaju na konkretnom problemu ili nivou, ali u skladu sa globalnim pristupom, strategijom i načinom rešavanja pitanja i problema.

Zaštita životne sredine predstavlja jedan od najznačajnijih globalnih društvenih problema, koje je neophodno rešavati u cilju održivog razvoja i uspešne budućnosti.<sup>291</sup> Samu zaštitu životne sredine treba posmatrati kao neprekidan proces. Reč je i akcenat na tome da to mora da bude neprekidan društveni proces celokupne zajednice i pojedinaca, a ne ograničena i pojedinačna aktivnost. Ona treba da predstavlja niz različitih mera, postupaka, procesa, načina, metoda, pristupa, ... koji se u osnovi moraju bazirati na svesti i saznanju pojedinaca i društva o neophodnosti.<sup>292</sup> Ovo predstavlja važno i trajno pitanje, koje će da prati čoveka kroz njegovu budućnost. Sa aspekta ekologije, zaštite životne sredine i značaja efikasnog skladištenja ugljen-dioksida, potrebno je da se uspostavi jedinstveno-međusobno-uzajamni odnos između više različitih činilaca i pitanja (problema, učesnika, ...) koji treba da pruži: efikasno, pouzdano, sigurno i bezbedno rešenje.

Sa aspekta efikasnog skladištenja ugljen-dioksida, dominantna su dva segmenta, koja moraju da uspostave međusobno usklađenu ravnotežu. Reč je o istovremenom iznalaženje efikasnih tehničko-tehnoloških rešenja samog procesa dugoročnog odlaganja gasa i neophodno prihvatljivo održive cene za realizaciju aktivnosti dugoročnog skladištenja otpadnog ugljen-dioksida.<sup>293</sup> Potrebno je da se iznađe takav model koji će omogućiti da se na efikasan način realizuje efikasno skladištenje uz prihvatljive troškove. Ovde je reč o međusobno uzajamno

<sup>289</sup> Prema određenim proračunima, Gerdemann, S. J. i dr., „Ex situ aqueous mineral carbonation“, *Environmental Science & Technology*, 41/7, 2007, str. 2587–2593, uskladištenje 1 tone ugljen-dioksida ovom metodom koštala bi oko 54 \$.

<sup>290</sup> Prema proračunima, za primenu ovog metoda, cena iznosi 54 \$ po toni uskladištenja jedne tone CO<sub>2</sub>. Tako da bi se uskladištio CO<sub>2</sub>, iz jedne termoelektrane od 1 GW, koja radi na ugalj, potrebno je 55.000 tona stena bogatih Mg i Ca – silikatnim mineralima.

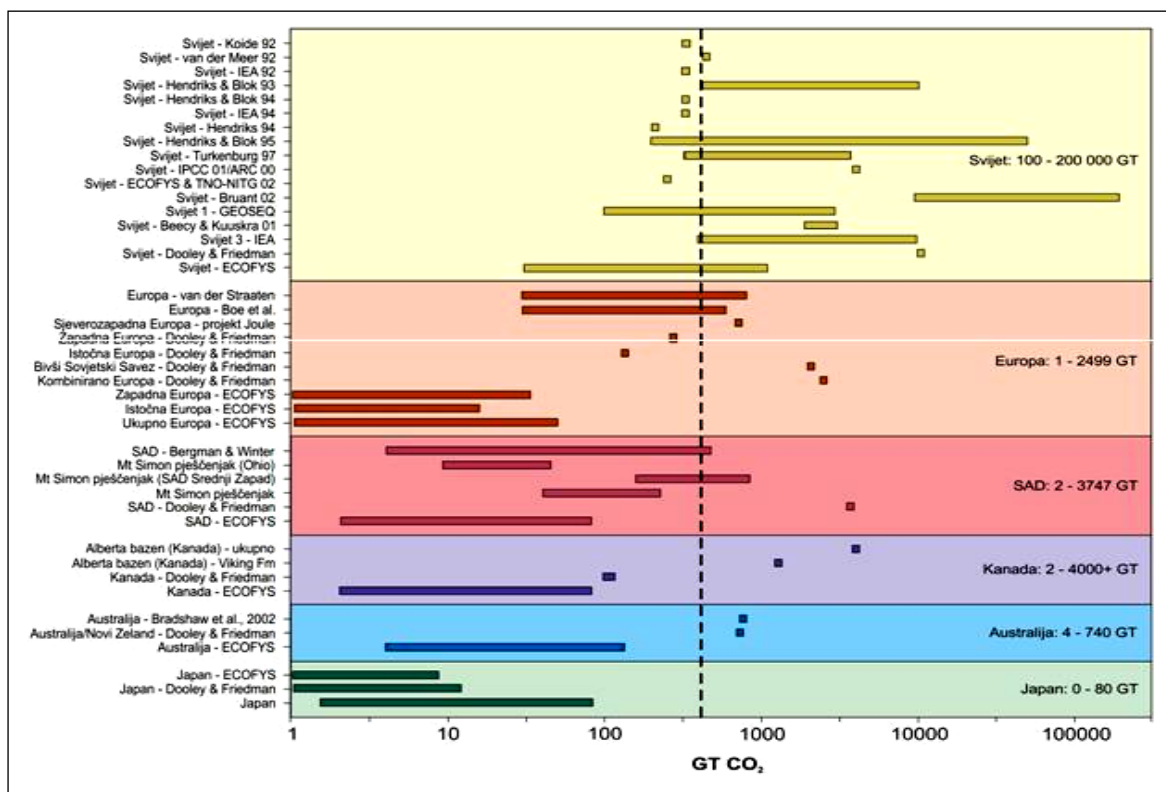
<sup>291</sup> Kao i globalna pitanja vezana za: energiju, hranu, vodu, ratove, raspodelu novostvorene vrednosti i bogatstva, ...

<sup>292</sup> Opšteprihvaćen pristup ovom pitanju, može se iskazati i kroz stav („parolu“) da treba razmišljati globalno a raditi lokalno. Aktivnost sprovedena danas, daje trenutni efekat, ali i dugotrajne posledice u bližoj i daljoj budućnosti. Takođe, često i uspešna pojedinačna lokalna rešenja u zaštiti životne sredine, lako budu uništena u moru loših i neadekvatnih poteza, propusta i problema na širem i globalnom nivou.

<sup>293</sup> O nekim od pitanja može se detaljnije videti u radovima: 1. R. Lee Gresham, „*Geologic CO<sub>2</sub> Sequestration and Subsurface Property Rights: A Leage and Economic Analysis*“, Dissertations, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 2010; Mark Zoback, *Challenges for Solid Earth Science related to Energy / Climate / Environment / Economy*, Stanford University; 2. Tore A. Torp & Ken R. Brown, *CO<sub>2</sub> Underground storage cost as experienced at sleipner and weyburn*, Norway, 2003; ...

posledičnim odnosima, koji mogu da imaju dugoročne katastrofalne posledice u dugom vremenskom periodu ako se ne iznađe adekvatno odgovarajuće rešenje.

Analiza, sagledavanje i identifikacija potencijalnih lokacija za izgradnju skladišta za dugoročno odlaganje ugljen-dioksida, u cilju zaštite životne sredine, iziskuju celovitu i detaljnu analizu, koja obuhvata sagledavanje velikog broja različitih pitanja, vezanih za: geologiju, hidrologiju, kapacitete, tehničko-tehnološke parametre, ekonomske, društvene i pravne elemente. Sam odabir lokacije skladišta bazira se i uključuje komponente vezane za: geološke podatke; pravne (zakonske) uslove; rezultate modeliranja; podatke o lokaciji i društvene uslove.<sup>294</sup> Utvrđivanje kapaciteta obuhvata složene procese, različite metode i načine procene skladišta na globalnom, regionalnom i lokalnom nivou.



Slika 3.43. Pregled različitih procena odlaganja CO<sub>2</sub> na svetskom i regionalnom nivou<sup>295</sup>

Sama procena ukupnih svetskih skladišnih kapaciteta jeste kompleksna aktivnost, koja je otežana nizom različitih parametara, analiza i podataka. U samoj praksi, susreću se veoma često dosta različiti podaci, vezani za samu procenu skladišnih kapaciteta. Ovo je u prvom redu zbog toga što se ne koriste jedinstveni i jasno definisani postupci, načini i metodologije u proceni.<sup>296</sup> Sama metodologija koja će se koristiti u proceni skladišta za ugljen-dioksid, zavisi od toga da li se radi o utvrđivanju: globalnih, regionalnih ili lokalnih skladišnih kapaciteta (Slika 3.43). Sprovedenje procene na nivou jedne države, u praksi se najčešće realizuje na nivou više sedimentalnih bazena ili samo delova bazena. Kada je reč o proceni kapaciteta na lokalnom nivou, najtačniji i najprecizniji način je putem konstrukcije geološkog modela i korišćenjem podataka iz modela u simulaciji konkretnog ležišta.<sup>297</sup> Ove procene su veoma detaljne i sveobuhvatne. Koriste

<sup>294</sup> Goodman, A. i dr., „US DOE Methodology For the Development of Geologic Storage Potential For Carbon Dioxide at the National and Regional Scale“, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 5/4; 2011, 952–965.

<sup>295</sup> Izvor: Bradshaw, J., Bahu, S. i dr., „CO<sub>2</sub> storage capacity estimation: Issues and development of standards“, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, I, 2007, str. 62–68. Izraženo u GtCO<sub>2</sub>.

<sup>296</sup> Iz ovoga razloga, veoma je teško realno izvršiti međusobno poređenje dobijenih rezultata i usklađivanje procena.

<sup>297</sup> Bradshaw, J., Bahu, S. i dr., „CO<sub>2</sub> storage capacity estimation: Issues and development of standards“, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, I, 2007.

se najčešće dinamičke metode.<sup>298</sup> Procena se vrši pomoću numeričkog modeliranja skladištenja. Nakon toga se sprovodi simuliranje toka utiskivanja, ali i simulacija različitih scenarija izgradnje i opremanja skladišta. Na osnovu ovih ali i niza drugih relevantnih parametara, donosi se zaključak.

Kod **procene kategorije skladišnih kapaciteta CO<sub>2</sub>**, danas se pored niza različitih načina i postupaka, između ostalih, primenjuje i definisani metod pomoću tehno-ekonomske piramide (Slika 3.44).<sup>299</sup> U okviru ovog koncepta, razlikuje se nekoliko kategorija kapaciteta:<sup>300</sup> teoretski,



Slika 3.44. Tehno-ekonomska piramida kapaciteta

efektivni, praktični i povezani. Teoretski kapacitet je maksimalna gornja granica kapaciteta.<sup>301</sup> Efektivni (realni) kapacitet uzima u obzir niz različitih ograničenja.<sup>302</sup> Praktični (stvarni) kapacitet skladišta uzima u obzir ekonomska, pravna i regulatorna ograničenja za skladištenje CO<sub>2</sub>. Povezani kapacitet izražava onaj kapacitet koji se realizuje nakon povezivanja izvora i skladišta. Nastoji da iznađe najbolje skladišno rešenje za svaki izvor CO<sub>2</sub>, uzimajući u obzir sve aspekte.<sup>303</sup> On može da iskaže konkretnu količinu i dinamiku gasa koja se utiskuje na godišnjem nivou u određeno skladište.

**Mehanizmi koji omogućuju geološko skladištenje ugljen-dioksida.** Sama aktivnost geološkog skladištenja otpadnog CO<sub>2</sub> ostvaruje se delovanjem niza različitih mehanizama, koji omogućuju da se gas, delovanjem fizičkih i hemijskih reakcija, veže i ostane uskladišten. Gas koji se upumpava u skladište,<sup>304</sup> pod pritiskom se prostire kroz propusne stene i vezuje se. Do vezivanja dolazi pod dejstvom velikog broja mehanizama koji „zarobljavaju“ fluid na različite načine. Sami mehanizmi zarobljavanja gasa su različiti procesi koji se odvijaju u vremenskom periodu. Svi procesi se mogu grupisati u četiri grupe (Slika 3.45).<sup>305</sup> Prva faza je proces hidrodinamičko zarobljavanje CO<sub>2</sub>, koja se odvija u toku same aktivnosti upumpavanja fluida, dok se gas prostire pod pritiskom kroz stenovitu strukturu utisne formacije (skladišta).<sup>306</sup> Gas prvo struji prema vrhu, a

<sup>298</sup> Procenjuje se kapacitet, injektivnost, postojanje pokrovnih stena, simulacija ležišta, ...

<sup>299</sup> Ovaj pristup procene bazira se na već postojećem načinu, kao kod sagledavanja raspoloživosti energetskih ili mineralnih sirovina. Prema: Carbon Sequestration Leadership Forum (2007) Phase II Final Report from the Task Force for Review and Identification of Standards for Standards for CO<sub>2</sub> Storage Capacity Estimation.

<sup>300</sup> Ovaj pristup, vezan za skladištenje ugljen-dioksida, prvi je definisao u svom radu McCabe, P. J. (1988), „Energy resources; cornucopia or empty barrel?“, *AAPG Bulletin*, 82, 2110–2134.

<sup>301</sup> Ovaj kapacitet skladišta zadate formacije može se izračunati množenjem površine sa debljinom, prosečnom poroznošću i prosečnom gustinom CO<sub>2</sub> u uslovima dubine ležišta.

<sup>302</sup> Uzima u obzir niz tehničkih (geoloških i inženjerskih) ograničenja. Reč je o: pritisku; propusnosti i poroznosti ležišta i pokrovnih stena; dubini zaleganja; veličini pornog obima ležišta i zamki; ... Ovaj kapacitet je manji od teoretskog.

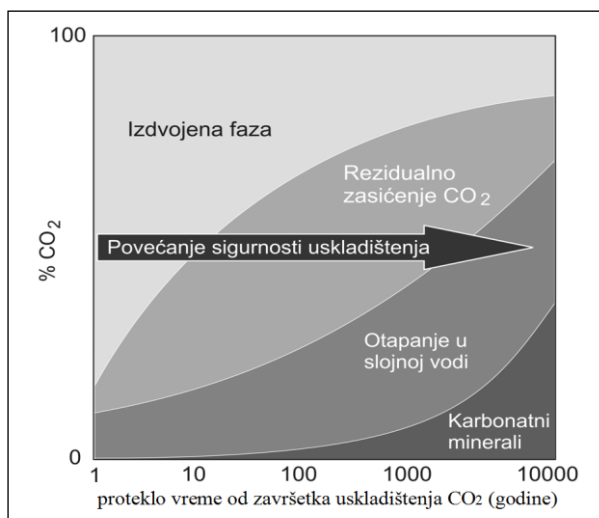
<sup>303</sup> Uzima u obzir, pored geoloških, tehničkih, inženjerskih i ekonomskih aspekata, već i socijalne, ekološke, ...

<sup>304</sup> Fluid koji se upumpava (utiskuje) u skladišta u zemlji, u zavisnosti od temperature i pritiska, imaće svojstvo natkritičnog gasa. To znači da on ima manju gustinu od vode koja se nalazi u slojevima tla. Minimalna dubina na koju se upumpava gas jeste 760 metara, a ekonomski opravdana maksimalna dubina je do 2,5 km.

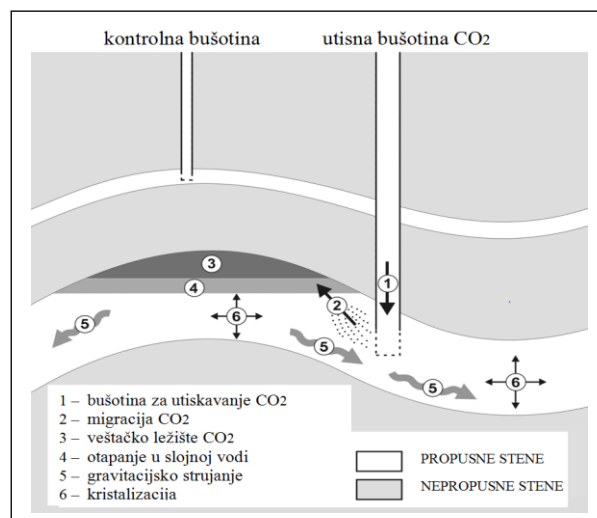
<sup>305</sup> U nekim stručnim radovima, susreće se postavka da su načini zadržavanja utisnutog CO<sub>2</sub> u odabranoj geološkoj formaciji: 1. stratigrafsko zadržavanje; 2. strukturalno zadržavanje; 3. rezidualno zadržavanje; 4. zadržavanje otapanjem i 5. zadržavanje ugradnjom CO<sub>2</sub> u mineralne stene. Opširnije videti u radovima: 1. J. Price, B. Smith, „Geologic Storage of Carbon Dioxide, Staying Safely Underground“, IEA Greenhouses Gas R&D Programme, 2008; 2. IEA Greenhouses Gas R&D Programme „Storing CO<sub>2</sub> Underground“ IEA Greenhouses Gas R&D Programme, 2007; 3. S. M. Benson, „CO<sub>2</sub> Storage Preface, Carbon Dioxide Capture for Storage in Deep Geologic Formations-Results from the CO<sub>2</sub> Capture Project, Geologic Storage of Carbon Dioxide with Monitoring and Verification“, Elsevier B. V. 2005, Vol. 2, p. 663–672, Amsterdam, Nizozemska.

<sup>306</sup> Taj pritisak, tokom upumpavanja, mora da bude toliko visok da obezbedi upumpavanje gasa u superkritičnom stanju u utisnu formaciju (treba da savlada pritisak koji se već nalazi u ležištu) i da omogući kretanje gasa unutar formacije kako bi se mogao iskoristiti ukupan potencijal skladišta. Ali istovremeno, taj utisni pritisak gasa ne sme

zatim nastavlja da se prostire kao izdvojena faza. Tokom procesa same migracije u više slojeve skladišne formacije, gas ostaje zarobljen u poremu prostoru. On se u tom prostiranju zadržava na površini minerala (Slika 3.46. br. 2). Ovo je drugi proces delovanja mehanizma zarobljavanja u procesu skladištenja, poznat kao rizidalni način zadržavanja (zasićenja) CO<sub>2</sub> (Slika 3.45. i 3.47).



Slika 3.45. Delovanje mehanizma kroz vremenski period<sup>308</sup>

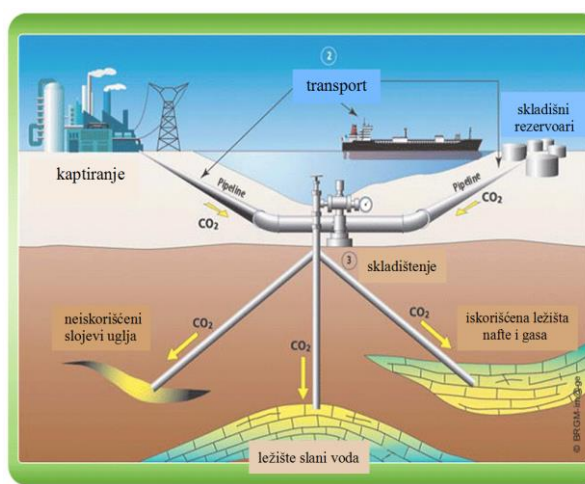


Slika 3.46. Proces geološkog skladištenja CO<sub>2</sub><sup>307</sup>

U trećoj fazi, koja se vremenski prostire u dužem vremenskom periodu (od 100 do 10.000 godina), gas se otapa u slojnoj vodi, pri čemu na kraju dolazi do njegovog hemijskog vezivanja (Slika 3.46. br. 4).<sup>309</sup> Kada se gas istopi u vodi, tada prestaju da deluju sile potiskivanja, a gas nastavlja da se prostire pod dejstvom same gravitacije (Slika 3.46. br. 5) prema najnižem nivou



Slika 3.47. Načini zadržavanja utisnutog CO<sub>2</sub> u odabranoj geološkoj formaciji<sup>310</sup>



Slika 3.48. Ilustracija mogućnosti geološkog skladištenja ugljen-dioksida<sup>311</sup>

da bude toliko veliki da može da prouzrokuje oštećenja (frakture, pukotine) u pokrivnom sloju ležišta. U tom slučaju bi došlo do proboja (curenja) i nekontrolisanog isticanja gasa u gornje slojeve zemlje ili na samu površinu.

<sup>307</sup> Izvor: Kolenković, I., i dr., „Geološko skladištenje ugljen-dioksida“, časopis *RGNF*, 28, Zagreb, 2014, str. 9–22.

<sup>308</sup> Izvor: IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Metz, B., Davidson, O. de Coninck, H.C., Loos, M. & Meyer, L.A. (ur.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. (2005). Delovanje mehanizma „zarobljavanja“ kod geološkog skladištenja CO<sub>2</sub> kroz vremenski period od 10.000 godina.

<sup>309</sup> Kada se CO<sub>2</sub> otapa u slojnom fluidu, formira se slaba karbonatna kiselina (slično mineralnoj vodi).

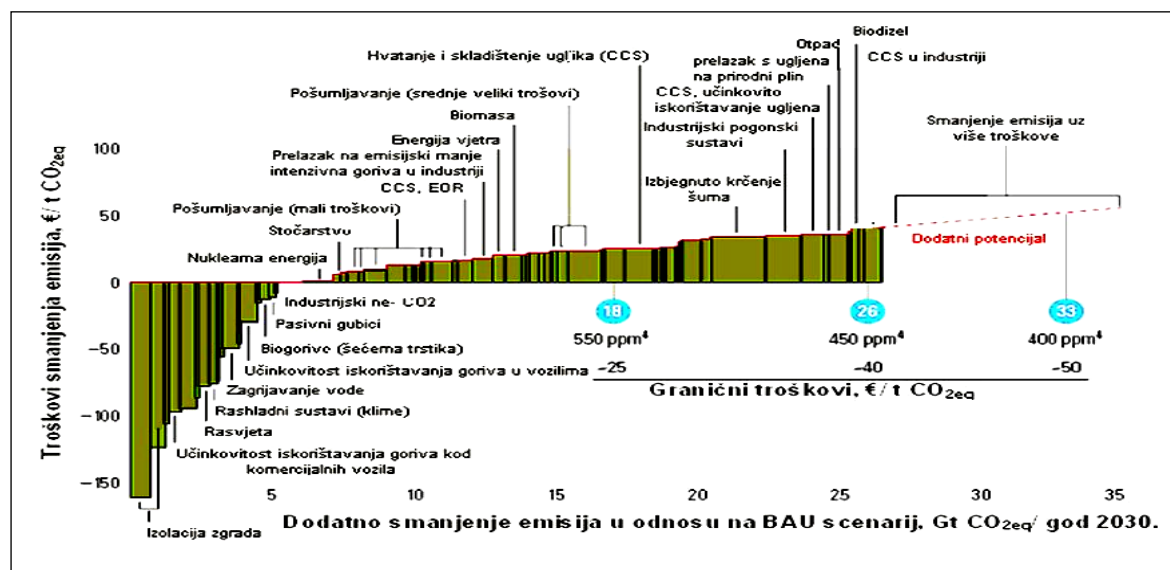
<sup>310</sup> Izvor: J. Price, B. Smith, „Geologic Storage of Carbon Dioxide, Staying Safely Underground“ IEA Greenhouses Gas R&D Programme, 2008.



propusnih stena. Prilikom toga strujanja, gas koji se nalazi otopljen u tečnosti, dolazi u kontakt sa stenama. Pod dejstvom geohemijskih reakcija, može da dođe do formiranja karbonata. Ovo je četvrta faza u kojoj dolazi do kristalizacije, gas se ugrađuje u mineralnu stenu (Slika 3.46. br.5; Slika 3.47. četvrta faza). Najsigurniji način geološkog skladištenja predstavlja mineralizaciju CO<sub>2</sub>, tj. nastajanje samog karbonata. Ovaj proces je veoma spor i traje najčešće više od jednog veka.

**Nadzor nad uskladištenim ugljen-dioksidom.** Nakon skladištenja CO<sub>2</sub>, neophodno je praćenje njegovog kretanja i provera količine gasa u skladištu iz bezbednosnih razloga. U praksi postoje različiti načini praćenja stanja ugljen-dioksida u skladištu. Svi oni se mogu svrstati u tri metode: geohemijski, seizmički i neseizmički načini praćenja utisnutog ugljen-dioksida.<sup>312</sup> Do isticanja (curenja) može da dođe zbog: fraktura (pucanja) u krovnim utisnim formacijama zbog neadekvatnog visokog utisnog pritiska; fraktura koje nisu bile ranije uočene; loše izrade same utisne bušotine; blindiranja skladišta... Sprovođenje same aktivnosti sanacija realizuje se klasičnim metodama koje se primenjuju u naftno-rudarskim poslovima.<sup>313</sup>

**Neki orijentacioni troškovi skladištenja CO<sub>2</sub>.** Procena i utvrđivanje troškova, koji su vezani sa skladištenje ugljen-dioksida, različiti su zbog niza činilaca: porekla, količine, načina izdvajanja, transporta, rastojanja na koja se gas otprema, mesta skladištenja, načina odlaganja, vremena i mesta na koje se odnosi... Načini mogućnosti smanjenja emisije CO<sub>2</sub> na globalnom nivou su mnogobrojni, tako da su i troškovi realizacije različiti (Slika 3.49). Grubo se procenjuje da je 80%, od ukupnih troškova geološkog skladištenja, vezano za samu aktivnost hvatanja. Procenjuje se da se danas cena skladištenja realno kreće u rasponu od 50 do 150 \$ za 1 tonu CO<sub>2</sub>.



Slika 3.49. Šema troškova u realizaciji smanjenja emisije CO<sub>2</sub> na globalnom nivou<sup>314</sup>

U zavisnosti od načina hvatanja i primene novih vrsta i tehnologija, smatra se da bi cena izdvajanja kod termoelektrana u budućnosti mogla biti između 10 i 25 \$ koje koriste ugalj, a 25–30 \$ kod zemnog gasa. Troškovi transporta se procenjuju na oko 15 USD/t CO<sub>2</sub>. Kod transporta velikih količina gasa cevovodom, na rastojanju preko 500 km, obima većeg od 1000 kt/god.

<sup>311</sup> Izvor: veći broj različitih stručnih radova iz ove oblasti.

<sup>312</sup> Opširnije i detaljnije o svakoj od ovih metoda može se videti u radovima koji detaljno sagledavaju ovu tematiku.

<sup>313</sup> Procenjuje se da kod pravilnog načina skladištenja gasa i njegovog normalnog rada, u periodu od 1 veka, može da se očekuje propuštanje do 1% uskladištenog gasa iz geološke formacije. Najrazvijeniji način praćenja primenjuje se kod skladišta u SAD.

<sup>314</sup> Izvor, P. A. i dr. "A Cost Curve For Greenhouse Gas Reduction" The McKinsey Quarterly, No. 1, 2007. Pojednostavljena šema troškova u realizaciji smanjivanja emisije CO<sub>2</sub> na globalnom nivou.

troškovi se kreću 1–10 15 USD/t.<sup>315</sup> Trošak upumpavanja (utiskivanja) u slanim formacijama ili isprljenim ležištima gasa i nafte iznosi od 0,5–0,8 USD za utisnutu tonu gasa. U situaciji kada se gas utiskuje u ležišta iz kojih se i dalje eksploatišu energenti (nafta ili gas), ostvaruje se dodatna dobit od 10–20 dolara, što istovremeno pojeftinjuje ukupni trošak skladištenja CO<sub>2</sub> za taj iznos.<sup>316</sup> Trošak praćenja stanja skladišta i gasa kreće se od 0,1 do 0,3 USD/t.

**Porez za emisiji ugljen-dioksida.** U velikom broju država, primenjuju se različite forme poreza, taksi, nadoknada, ... koje se plaćaju na osnovu nedozvoljenog emitovanja ugljen-dioksida u atmosferu. Naplata se najčešće vrši na osnovu količine emitovanog gasa na godišnjem nivou. Cena naknade se kreće, u zavisnosti od toga o kojoj je državi reč, u rasponu od 1 do 50 evra. Trenutno se smatra da bi objektivno taj iznos trebalo da iznosi 80 evra. Ovaj ekonomski izdatak treba da posluži u cilju: razvoja tehnika, realizacije uspešnog skladištenja, saniranja negativnih posledica, da natera emitera da primenjuje savremenije tehnologije u svojoj proizvodnji, da emituje manju količinu gasa, ...

**Neki od praktičnih primera skladištenja CO<sub>2</sub>.** Danas u svetu, primenom različitih tehnika (Slika 3.48), postoje brojni primeri geološkog skladištenja ugljen-dioksida (Slika 3.50). Najpoznatiji praktični primeri koji su u funkciji jesu: polje Sleipner; projekt SACH; polje In Salah; primer iz Kanade (Weybura); K-12B (holandsko podmorje); Snohvit; ...

Skladište Sleipner (Norveška, vlasništvo kompanije *Statoil*) nalazi se u Severnom moru. Ovo je prvi projekat geološkog skladištenja ugljen-dioksida u svetu. Prilikom procesa proizvodnje zemnog gasa na bušotinama u okviru ovog gasnog polja, na otvorenom moru, prisutna je povećana koncentracija CO<sub>2</sub>. U početku, u procesu proizvodnje zemnog gasa zadovoljavajućeg kvaliteta, na proizvodnoj platformi tokom prerade odstranjivao se ugljen-dioksid i ispustio u vazduh (9%).<sup>317</sup> Od 1996. godine počelo je sa upumpavanjem CO<sub>2</sub> u peščane slojeve.<sup>318</sup> Na ovaj način se skladišti otpadni gas i ne ispušta se u atmosferu u cilju zaštite životne sredine. Godišnje se u njega odlaže milion tona CO<sub>2</sub>. Cena projekta je preko 350 miliona evra.<sup>319</sup>

Na osnovu ovog iskustva, pokrenut je evropski projekat SACH,<sup>320</sup> skladištenje CO<sub>2</sub> u slanim akviferima. Reč je o skladištu u Severnom moru u slanim peščanim slojevima. Procenjeni kapacitet ovog skladišta je do trideset miliona tona.<sup>321</sup> Skladištenje u ovom akviferu pokazuje da je ovaj metod tehnički i ekonomski izvoldljiv u cilju dugoročnog rešenja odlaganja ovog gasa.

U Alžiru, na gasnom polju In Salah,<sup>322</sup> u pustinji Sahara, počelo se 2004. godine upumpavanje 1,2 miliona tona otpadnog CO<sub>2</sub> godišnje. Gas se upumpava u bočne delove ležišta i na taj način se lakše crpi zemni gas iz ležišta. CO<sub>2</sub> koji se odvoji u procesu proizvodnje zemnog gasa, hladi se i transportuje cevovodom (prečnika 20,3 m) do geološkog skladišta. Skladište je akvifer, koji se nalazi u karbonatnim stenama na dubini od 1900 m, debljina mu je 20 m, poroznost od 16%, propusnost 10mD i može da se uskladišti milion tona CO<sub>2</sub> godišnje. U ovaj projekat je uloženo 1,7 milijardi \$. Danas se ova tehnologija veoma često primenjuje kod gasnih i naftnih

<sup>315</sup> Prema nekim studijama, ukupni troškovi transporta CO<sub>2</sub> brodovima i njegovo skladištenja, na rastojanjima od 6000 km, mogu da se kreću između 25-50 \$ za jednu tonu.

<sup>316</sup> Ovaj iznos u prvom redu zavisi od same trenutne cene energenata, obima ležišta i količine energenata koji je u njemu. Tako da u nekim uslovima, dobit od utiskivanja CO<sub>2</sub> može da dostigne i 50 dolara po utisnutoj toni u ležište.

<sup>317</sup> Norveška je prva zemlja koja je uvela porez od 50 \$ za svaku ispuštenu tonu CO<sub>2</sub> u atmosferu.

<sup>318</sup> Gas se upumpava u slani akvifer u sloju Utsira, pomoću samo jedne utisne bušotine. Ležišta se nalazi na dubini od 800-1000 m. Debljina ležišta slane vode je do 250m, propusnosti od 1000 do 8000 mD, poroznosti 38%.

<sup>319</sup> Deghmount A. " A Riveting Review of Worldwide Industrial Geological arbon apture and Storage Projets with the Juntion of CO<sub>2</sub> Emission in Algeria" Cairo, Socity of Petroleum Engineers, 2012.

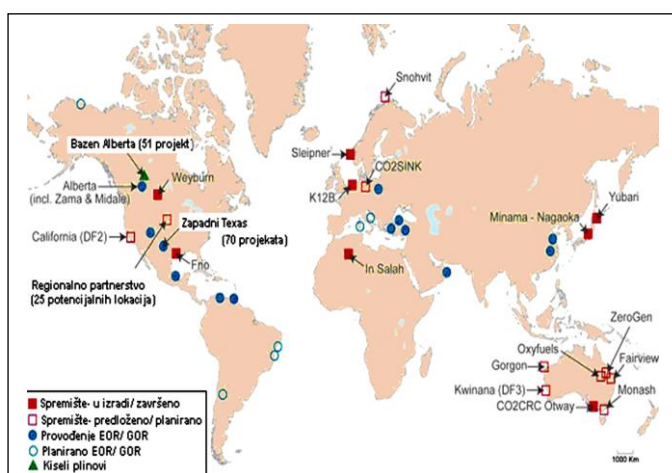
<sup>320</sup> SACS – Saline Aquifer CO<sub>2</sub> Storage; evropski istraživački projekat.

<sup>321</sup> Tehničke karakteristike ovog skladišta su sledeće: njegova dužina je 400 km, širina od 5 do 100 km i dubina od 50 do 250 m. Gas se u skladište upumpava pod pritiskom od 110 bara. Slojevi su porozni, prekriveni glinom (koja ne dozvoljava isticanje gasa u more).

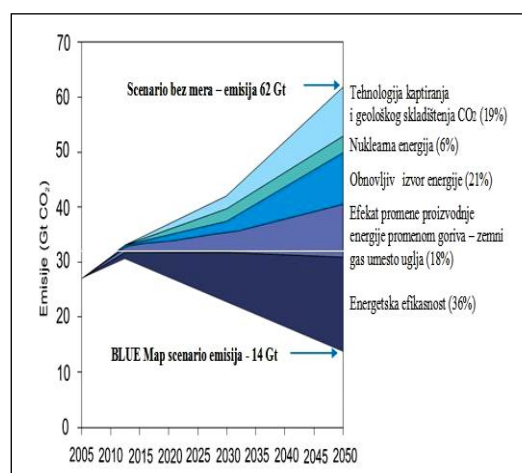
<sup>322</sup> In Salah u svom sastavu ima tri gasna polja (TEG; REG I Krechba). Vlasnici su britanska kompanija BP, alžirska gasna kompanija *Sonatrach* i norveški *Statoil*.

ležišta<sup>323</sup> u cilju većeg iskorišćenja ležišta ovih energenta. Na ovaj način, povećanje iskorišćenja ležišta se kreće od 8 do 20%, u nekim slučajevima i više. „Sigurnost uskladištenog CO<sub>2</sub> vremenom se povećava. Svi procesi koji su vezani za akumuliranje u zamkama rastvaranjem, kao i minerizacijom i rezidualnim akumuliranjem u zamkama, dodatno sprečavaju migraciju CO<sub>2</sub> prema površini.“<sup>324</sup> U Evropi i na teritoriji regiona Balkana, postoji veliki broj različitih tipova potencijalnih lokacija, pogodnih za geološko skladištenje otpadnog ugljen-dioksida.<sup>325</sup>

Danas u stručnim radovima mogu da se susretnu različite procene i predviđanja vezana za zagađenje životne sredine i kretanje njegovog nivoa u budućnosti. Preduzimanjem različitih mera, vezanih za zagađenje vazduha, mogu da se postignu određeni pozitivni rezultati. U zavisnosti od različitih scenarija i preduzimanja odgovarajućih aktivnosti u sklopu njih, vezano za određene mere i postupke, procenjuje se i kretanje emisije CO<sub>2</sub> (Slika 3.51).



Slika 3.50. Trenutno sprovedeni i planirani CCS projekti u svetu<sup>326</sup>



Slika 3.51. Mogući scenariji kretanja CO<sub>2</sub> u zavisnosti od mera

Kao što je u prethodnom delu ovoga rada prezentovano, sa višim nivoom svesti građana, adekvatnim propisima, zakonskim merama i regulacijama, potrebno je na globalnom svetskom nivou: dodatno smanjiti emitovanje i ispuštanje ugljen-dioksida u atmosferu; više koristiti one tehnologije i izvore koji u procesu proizvodnje energije emituju manju količinu CO<sub>2</sub>; smanjiti emisiju ugljen-dioksida prevoznih sredstava; zakonski regulisati proizvodnju CO<sub>2</sub> kao tehničkog gasa;<sup>327</sup> povećati površine pod šumama... Primenom neke od poznatih i prezentovanih tehnologija prikupljanja i skladištenja otpadnog CO<sub>2</sub>: (a) dubokim formacijama propusnih stena; b) okeanima; c) stvaranjem karbonatnih minerala na površini..., koji nastaje kao posledica sagorevanja u velikim postrojenjima, može se značajno smanjiti zagađenje životne sredine.

Analizirajući napred sve prezentovano i izneto, vezano za skladištenje ugljen-dioksida u funkciji ekologije, odgovor na postavljeno hipotetičko pitanje u okviru ovoga rada **da li se primenom adekvatne strategije u proizvodnji, upotrebi i skladištenju ugljen-dioksida u svetu može značajno doprineti ekologiji**, odgovor je potvrđan. Jer se samo: adekvatnom, jedinstvenom, istovremenom i sinhronizovanom strategijom u proizvodnji, upotrebi i skladištenju CO<sub>2</sub> istovremeno u svim zemljama sveta, može značajno doprineti ekologiji sa aspekta zaštite životne sredine. Iskustva, trend i savremene načine skladištenja CO<sub>2</sub> treba: planirano, organizovano i koordinirano primeniti u regionu Balkana s ciljem da se efikasnije zaštiti životna sredina.

<sup>323</sup> Upotreba upumpavanja CO<sub>2</sub> u naftna ležišta (EOR) u cilju povećanja većeg iscrpljavanja ležišta primenjuje se od 70. godine XX veka u SAD. Tako se istovremeno proizvodi veća količina nafte i rešava pitanje otpadnog CO<sub>2</sub>.

<sup>324</sup> CCS „Šta znači geološko skladištenje CO<sub>2</sub>“, GeoNet Evropska mreža izvrsnosti, 2012.

<sup>325</sup> O lokacijama skladišta u Americi može da se vidi u: „The North American Carbon Storage Atlas“, NACSA, 2012.

<sup>326</sup> Izvor: J. Price, B. Smith, „Geologic Storage of Carbon Dioxide, Staying Safely Underground“, IEA, 2008.

<sup>327</sup> Primenom zabrane eksploatacije CO<sub>2</sub> iz zemlje u cilju proizvodnje kao tehničkog gasa, već korišćenjem ovog jedinjenja kao nusproizvoda tehnoloških procesa, doprinelo bi se njegovom smanjenju u Zemljinom omotaču.

## IV.

glava

### **Unapređenje segmenata transporta i skladištenja u cilju bolje snabdevenosti potrošača zemnim gasom na teritoriji Balkana**

1. Pravci unapređenja transporta gasa u cilju  
bolje snabdevenosti tržišta Balkana

2. Unapređenje skladištenja gasa u funkciji boljeg  
snabdevanja tržišta i potrošača



## IV.

# Unapređenje segmenata transporta i skladištenja u cilju bolje snabdevenosti potrošača gasovima na teritoriji Balkana

## 1. Pravci unapređenja vidova transporta zemnog gasa u cilju bolje snabdevenosti tržišta Balkana

Realizacija aktivnosti transporta zemnog gasa sprovodi se u okviru sva tri segmenta plasmana ovog energenta od samog mesta izvorišta do krajnjeg potrošača. Reč je procesu prenosa gasa, vezanog za segmente i faze: prilikom njegove eksploatacije i proizvodnje, od prenosa od mesta proizvodnje do mesta distribucije i prilikom same njegove isporuke krajnjem potrošaču. Pod širim pojmom transporta gasa, podrazumevaju se sve aktivnosti i procesi prenosa i kretanja gasa iz dubine samog ležišta do mesta njegove finalne potrošnje kroz sve njegove segmente, nezavisno o kojem je procesu reč: prenosnom sredstvu ili agregatnom stanju gasa.<sup>1</sup> U užem smislu, pod transportom se posmatra prenos zemnog gasa od mesta proizvodnje do mesta distribucije u okviru lanca snabdevanja.<sup>2</sup> Ovaj deo rada, obuhvatajući sve, sagledava, analizira i prezentuje aktivnost prevoza zemnog gasa u užem smislu, vezano za snabdevanje tržišta regiona Balkana.

Zajedno sa svim do sada sagledanim, analiziranim i prezentovanim, u okviru dosadašnjeg izlaganja, u fokusu ove četvrte glave naći će se detaljni, celoviti i adekvatni argumentovani odgovori na postavljena pitanja. Pažljivo i sveobuhvatno će se sagledati dva postavljena osnovna pitanja u okviru hipoteza ovoga rada, a u cilju pružanja odgovora vezanih za uticaj transporta i skladištenje gasa na snabdevenost tržišta Balkana. Reč je o davanju detaljnih odgovora, vezanih za savremene aktivnosti transporta i skladištenja zemnog gasa koji su u većoj ili manjoj meri, direktno ili indirektno, povezani sa tri hipotetička pitanja.

Transportni lanac snabdevanja zemnim gasom, povezuje tok gasa od njegovog izvorišta do finalnog potrošača.<sup>3</sup> Funkcija prevoza gasa prožima i povezuje, sve njegove faze i procese u okviru samih segmenata, ali istovremeno i sve segmente u okviru jedinstvenog sistema, na taj način formirajući gasni lanac. U zavisnosti od udaljenosti između mesta proizvodnje i potrošnje, geografski uslova, ekonomski parametara, tehničkih mogućnosti, političko ekonomske situacije, geopolitičke nestabilnosti, ... velike količine zemnog gasa, na velikim rastojanjima, danas (ali i u bližoj i daljoj budućnosti), mogu se transportovati: cevovodima (u gasovitom agregatnom stanju kopnom i ispod mora) i specijalno konstruisanim brodovima (u tečnom stanju (LNG); komprimovanom gasovitom stanju (CNG) i čvrstom agregatnom stanju (hidrati (NGH)).<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Transport gasa je kompleksna aktivnost koja se realizuje u procesu svih njegovih faza, od same eksploatacije nalazišta, preko procesa proizvodnje do same isporuke krajnjem potrošaču.

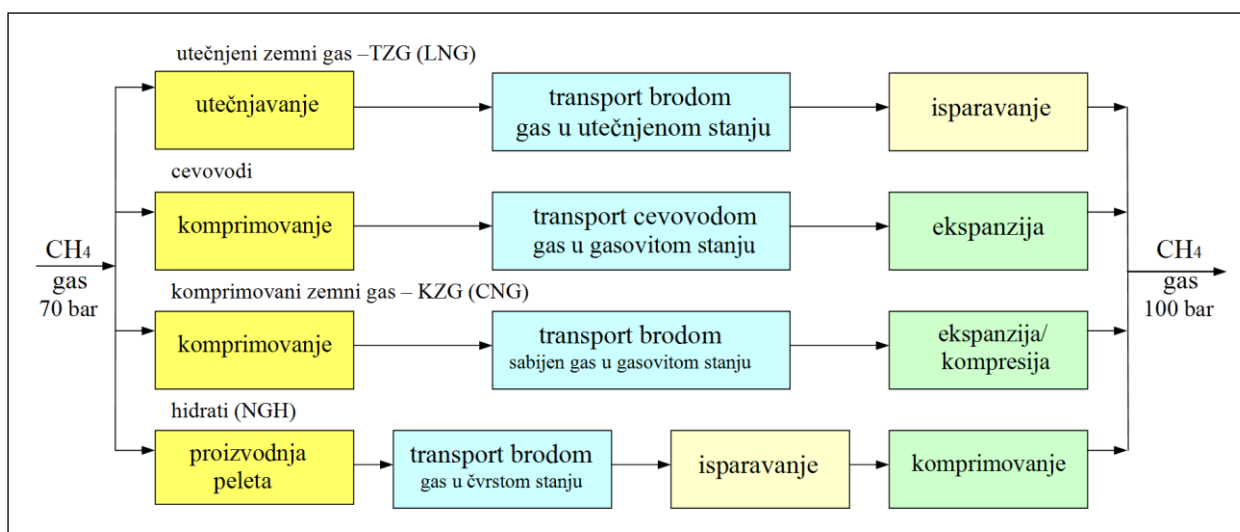
<sup>2</sup> Zbog prostorne nepodudarnosti između samog mesta proizvodnje (eksploatacije, nalazišta, bušotine) i same potrošnje, koja može biti (a najčešće i jeste) na velikom rastojanju, neophodno je da se gas transportuje. Za realizaciju same aktivnosti transporta koristi se energija i upotrebljavaju različiti vidovi transportnih sredstava i uređaja u funkciji realizacije procesa.

<sup>3</sup> On se uslovno može posmatrati kroz tri segmenta: proizvodnju, transport sa skladištenjem i distribuciju gasa potrošaču.

<sup>4</sup> U daljem delu ovog rada u fokusu se nalazi: 1. transport zemnog gasa cevovodom; 2. transport zemnog gasa u tečnom stanju brodovima i 3. transport komprimovanog zemnog gasa brodovima, jer oni trenutno imaju značajan uticaj i pružaju realni potencijal na snabdevanje tržišta Balkana. Prevoz gasa u čvrstom agregatnom stanju ima perspektivu u

U žiži ovog IV dela rada, a u okviru prve tačke, sagledaće se realne i potencijalne mogućnosti prevoza velikih količina gasa, u neposrednoj budućnosti od mesta proizvodnje do mesta distribucije, u cilju njegovog uticaja na snabdevenost tržišta Balkana. Najznačajniji faktori, za veći stepen sigurnosti i bolju snabdevenost tržišta Balkana zemnim gasom, u narednom periodu su: 1. diversifikacija izvora i pravaca snabdevanja ovim energentom; 2. izgradnja novih tranzitnih i magistralnih gasovoda; 3. sprovođenje gasifikacije država koje uopšte ne koriste ili ne u dovoljnoj meri gas; 4. međusobna interkonekcija između svih zemalja regiona; 5. izgradnja novih terminala za prihvatanje brodova sa tečnim zemnim gasom (LNG); 6. primena snabdevanja tržišta konceptom transporta gasa u komprimovanom stanju (CNG) i 7. izgradnja novih podzemni skladišta gasa.

U cilju celokupnog i sveobuhvatnog sagledavanja realizacije aktivnosti transporta, potrebno je pored analize tehnološkog aspekta<sup>5</sup> sagledati i prezentovati tehnička obeležja i karakteristike svih vidova, sredstava i uređaja koji se trenutno koriste u procesu realizacije prenosa velikih količina gasa u svetu. To podrazumeva: sagledavanje trenutnih tehničkih mogućnosti koje pružaju svaki od vidova i sredstava prevoza, ali i njihovu perspektivu razvoja i primene u bližoj i daljoj budućnosti. U centru detaljne analize nalazi se transport gasa u: 1. gasovitom stanju cevovodom; 2. transport zemnog gasa u tečnom stanju brodovima; 3. transport komprimovanog gasa brodovima (slika 4.1). U cilju pružanja adekvatnog odgovora uticaja transporta zemnog gasa na snabdevenost tržišta Balkana potrebno je detaljno sagledati tehničko-tehnološke karakteristike svakog od načina transporta. Neophodno je prezentovati savremena tehnička rešenja i mogućnost njihove primene u cilju unapređenja transporta velikih količina gasa u funkciji boljeg snabdevanja tržišta (tabela 4.1). Iziskuje se sagledavanje novih savremenih koncepata i tehnologije transporta zemnog gasa u cilju pružanja adekvatnih potencijalnih strategija snabdevanja tržišta gasom



Slika 4.1. Tehnologija transporta zemnog gasa u tri agregatna stanja<sup>6</sup>

Kvalitetna i sveobuhvatna analiza transporta zemnog gasa neizostavno treba da pruži, pored sagledavanja dostignutog nivoa, karakteristika i parametara savremenih sredstava za prenos gasa u svetu, i potpuni detaljni uvid u njegovo trenutno stanje na Balkanu. Isključivo celovitim sagledavanjem trenutnog stanja, pruža se mogućnost za davanje adekvatnih predloga u cilju unapređenja aktivnosti transporta gasa. Treba da se objektivno sagleda realni potencijal, koji može

budućnosti, ali se procenjuje da on realno, na ovom stepenu tehničko-tehnološkog razvoja procesa, transportnih sredstava, visine troškova prevođenja u čvrsto stanje (smrzavanje) i logističkih troškova, neće imati značajniji tržišni uticaj u snabdevanju ovog tržišta u kraćem narednom periodu.

<sup>5</sup> Tehnološki aspekt transporta zemnog gasa detaljnije je sagledan u II glavi ovoga rada.

<sup>6</sup> Autor. Na osnovu rada Rehder, Gregor i dr., „Methane Hydrate Pellet Transport using the Self-Preservation Effect: A Techno-Economic Analysis“ *Journal Energies*, 2012.

da se iskoristi za unapređenje segmenata prevoza radi boljeg, pouzdanijeg i efikasnijeg snabdevanja tržišta Balkana.

Pružanje adekvatnog odgovora za unapređenje snabdevanja zemnim gasom tržišta Balkana, ne iziskuje samo sagledavanje vidova transporta sa tehničko-tehnološkog aspekta nego i: sagledavanje njihovog mesta i uloge u diversifikaciji pravaca snabdevanja; pružanju mogućnosti novih izvora gasa; obezbeđivanju drugih dobavljača; većoj sigurnosti snabdevanja; sagledavanju uticaja politike na plasman gasa itd. To podrazumeva da se pored davanja odgovora vezanih za sâm tehnički aspekt dostavnih sredstava, njihovog značaja za dalju perspektivu u snabdevanju tržišta, ima i širi pristup u sveukupnom sagledavanju njihovog mesta, uloge, pozicije i uticaja na snabdevanje; da se zajedno sa drugim činiocima logistike, sagledaju i svi elementi koji imaju direktan ili indirektan uticaj na snabdevanje tržišta gasom.

Potrebno je u cilju potpunog sagledavanja mogućnosti i pravaca unapređenja transporta, boljeg i efikasnijeg snabdevanja zemalja regiona Balkanskog poluostrva ovim energentom, izvršiti i sagledavanje samih troškova prevoza i njegovu cenu na tržištu.

Tabela 4.1. Osnovne karakteristike gasa u tri agregatna stanja prilikom transporta i skladištenja<sup>7</sup>

	Tečni zemni gas TZG (LNG)	Komprimovani zemni gas KZG (CNG)	Smrznut zemni gas SZG (NGH)
Agregatno stanje	Tečnost	Gasovito	Čvrsto
Temperatura skladištenje	-162 °C	-40°C do +45 °C	-5 °C do -20 °C
Količina gasa i sastav u 1 m <sup>3</sup> prostora	600 normalni m <sup>3</sup> zemnog gasa	200 do 300 normalni m <sup>3</sup> zemnog gasa	150-180 norm. m <sup>3</sup> gasa vode 0.8 m <sup>3</sup>

Autor.

## 1. 1. Osnovne karakteristike, tehnička rešenja i nove potencijalne strategije transporta zemnog gasa tranzitnim i magistralnim cevovodima, u cilju boljeg i pouzdanijeg snabdevanja potrošača tržišta Balkana

Zbog prostorne nepodudarnosti između mesta same eksploatacije (proizvodnje) zemnog gasa i mesta njegove finalne potrošnje, neophodno je izvršiti njegov prevoz. Koncept transporta zemnog gasa u gasovitom agregatnom stanju cevovodima, primenom savremenih tehničko-tehnoloških rešenja, moguće je realizovati njegovim prenosom na izuzetno velikim rastojanjima u velikom fizičkom obimu. Ovaj vid prevoza zemnog gasa kao energenta je: najstariji vid prenosa ovog fluida;<sup>8</sup> tehnološki najjednostavniji oblik transporta gasa; nefleksibilan način prenosa fluida<sup>9</sup>. U određenim delovima sveta postoji razgranata mreža gasovoda,<sup>10</sup> a kod internacionalnog transporta potrebna je visoka geopolitička stabilnost u zemljama kroz koje on prolazi i odlikuju ga određene specifičnosti vezane za njegove ekonomske parametre<sup>11</sup>.

Podela gasovoda za transport zemnog gasa od mesta proizvodnje do krajnjeg kupca može da se sprovede na osnovu različitih parametara: radnog pritiska; njegove namene; načina polaganja; teritorije kojom gasovod prolazi i sl. Danas je u praksi prisutna podela cevovoda sa više-dimenzionalnim pristupom. Višedimenzionalni pristup sagledavanja gasovoda obuhvata: teritoriju kojom se cevovod prostire, njegov radni eksploatacioni pritisak, prečnik cevovoda i primaoca zemnog gasa kome se gas transportuje. Na osnovu ovih parametara, prema nameni, opšteprihvaćena podela cevovoda je na: a) tranzitne, b) magistralne i c) distributivne.

<sup>7</sup> Komparativna analiza osnovnih fizičkih karakteristika zemnog gasa prilikom njegovog transporta i skladištenja u velikim količinama u tri agregatna stanja brodovima.

<sup>8</sup> Datira još iz druge polovine XIX veka. Opširnije o razvoju transporta cevovodom i transportu zemnog gasa videti u III glavi ovoga rada.

<sup>9</sup> Jedna dolazna distanca, prestanak proizvodnje u slučaju prekida rada gasovoda.

<sup>10</sup> Prosečno se u svetu danas gradi 20 000 km novih gasovoda godišnje (reč je, uglavnom, o transnacionalnim).

<sup>11</sup> Neki od ograničavajućih faktora transporta cevovodom su i pokazatelji vezani za njihovu izgradnju (visoka početna ulaganja), održavanje i eksploataciju.

Osnovna karakteristika i odlika tranzitnog cevovoda (transnacionalnog) je da svojom projektovanom trasom povezuje dve države ili više država, njime se transportuje velika količina gasa, imaju veliki poprečni prečnik,<sup>12</sup> imaju veliku dužinu,<sup>13</sup> njihov radni pritisak se najčešće kreće u rasponu 70–100 bara,<sup>14</sup> u funkciji prenosa gasa koriste se instalisani kompresori velikog radnog kapaciteta. Obeležje magistralnih cevovoda za prenos zemnog gasa je da se nalaze na teritoriji jedne države od mesta proizvodnje (ili uvoza), odnosno od mesta preuzimanja do potrošačkih centara ili velikih industrijskih potrošača, pri čemu je pritisak u njima niži od 70 bara, prečnik cevi je do 100 cm. Karakteristika distributivnog gasovoda je da on služi za transport gasa od mesta preuzimanja od magistralnog cevovoda do mesta isporuke krajnjim potrošačima. Kod distributivnih cevovoda, pritisak je po pravilu niži od 8 bara, a njihov prečnik kreće se u rasponu 5–60 cm. Sama odlika principa rada tranzitnih i magistralnih cevovoda gotovo je ista po velikom broju karakteristika, obeležja, parametara.<sup>15</sup> Uslovno, tehnički konkretna razlika između tranzitnih i magistralnih gasovoda, koji služe za prenos gasa, ogleda se u prvom redu kroz parametre vezane za: teritoriju kojom oni prolaze, radni pritisak, kapacitet i njihov prečnik. Njihov rad i funkcionisanje je gotovo identično. U praksi, deo trase gasovoda u nekim slučajevima, može da se nalazi instaliran ispod velikih vodenih površina (mora, jezera) koje se nalaze na njihovoj projektovanoj putanji.<sup>16</sup> Tehnologija same izgradnje tranzitnih i magistralnih cevovoda je gotovo ista, dok konkretna tehnička rešenja mogu biti različita. Razlika između njih je uslovljena zbog same dužine na koju se gas prenosi, projektovanog prečnika, radnog pritiska cevovoda i količine gasa koja se transportuje.<sup>17</sup>

### 1.1.1. Najznačajniji parametri vezani za tehnička rešenja u funkciji efikasnog prenosa gasa tranzitnim i magistralnim cevovodima

Sam transportni lanac snabdevanja zemnim gasom cevovodom, od mesta proizvodnje<sup>18</sup> (gde se gas nalazi) do distributivne mreže, čini jedinstven sistem koji obuhvata: kompresorsku stanicu na početku transportnog lanca;<sup>19</sup> cevovod; kompresorske stanice na trasi cevovoda (koje su neophodne za podizanje transportnog radnog pritiska, usled njegovog pada koji nastaje u prenosu gasa dužinom cevovoda); prihvatna stanica (ako je potreban dodatni tretman kako bi se gas prilagodio zahtevima distributivne mreže); skladištenje (ako on postoji u sistemu prenosa) i transfer zemnog gasa prema distributivnoj mreži. Uspostavljanje i funkcionisanje prenosa gasa cevovodom počiva na tehnologiji transporta gasa<sup>20</sup> i tehničko građevinskim rešenjima u funkciji jedinstvenog transportnog sistema.

Cevovod kao vid transportnog sredstva zemnog gasa na velikim rastojanjima, u zavisnosti od trase kojom se on prostire, može da bude kopneni i podvodni (morski). Podvodni gasovodi danas imaju izuzetno značajnu ulogu i poziciju u kontinuiranom prenosu gasa na velikim rastojanjima. Njihov ekonomski i politički značaj je sve izraženiji u snabdevanju tržišta ovim energentom u svetu.

Sama aktivnost prevoza zemnog gasa cevovodom je kompleksna aktivnost koja iziskuje uspostavljanje efikasnog transportnog sistema. Uspešno i kvalitetno funkcionisanje dostave gasa cevovodom je kompleksno i specifično, uzimajući u obzir tehničko-tehnološke i ekonomske parametre. Na uspešno funkcionisanje prenosa gasa cevovodom uticaj ima veliki broj različitih elemenata (karakteristike, činiooci, tehnička rešenja, parametri, uslovi, zakonitosti itd.). Glavna

<sup>12</sup> Različiti su prečnici tranzitnih cevovoda. Oni zavise od količine zemnog gasa koji je projektovan da se njim transportuje. Prečnik cevi novih tranzitnih gasovoda najčešće je do 1422 mm, ali nekad i većeg promera.

<sup>13</sup> Reč je o gasovodima koji imaju najčešće dužinu od više stotina, a nekad i hiljada kilometara.

<sup>14</sup> Jedinica za pritisak MPa, mega paskal (milion Paskala); 1MPa=10 bara.

<sup>15</sup> Suštinska razlika između tranzitnih i magistralnih cevovoda sa tehnološkog i tehničkog aspekta je veoma mala. Razlika između njih se ispoljava u prvom redu: teritorijom kojom se oni prostiru, prečnikom, pritiskom i kapacitetom.

<sup>16</sup> Trase magistralnih cevovoda ređe se projektuju ispod mora, ali mnogo češće ispod jezera i reka u okviru jedne države.

<sup>17</sup> Sam prečnik i radni pritisak gasovoda uslovljen je projektovanom količinom gasa koju treba preneti cevovodom.

<sup>18</sup> Mesto proizvodnje obuhvata eksploataciju, sabiranje gasa sa proizvodnih bušotina, pripremu gasa za transport (separacija, dehidracija, moguće uklanjanje kiselih gasova itd.).

<sup>19</sup> Ukoliko je pritisak nakon izlaska iz procesa proizvodnje niži od potrebnog za početak njegovog prenosa cevovodima.

<sup>20</sup> O samoj osnovi tehnologije transporta zemnog gasa videti u II glavi ovoga rada u tački 2.2.



pitanja vezana za tranzitne i magistralne gasovoda odnosi se na elemente vezane za: samo projektovanje konkretne trase cevovoda, utvrđivanje trase cevovoda, dinamiku protoka fluida u cevovodu, hidraulični proračun cevovoda, temperaturni režim gasovoda, mehanički proračun cevovoda, dimenzionisanje cevovoda, izbor optimalnog prečnika cevovoda,<sup>21</sup> kompresorska postrojenja, opremu, montažu, izgradnju cevovoda, zavarivanje, eksploataciju, kontrolu, održavanje, čišćenje, zaštitu od korozije i upravljanje gasovodom, ...<sup>22</sup>

**1. Trasa cevovoda.** Osnovu za projektovanje cevovoda velikog kapaciteta čini idejni projekat koji sadrži osnovne elemente tehnološkog proračuna u različitim varijantama. Na osnovu idejnog projekta potrebno je izvršiti tehničko-ekonomsku analizu i izabrati najpovoljnije rešenje.<sup>23</sup> Za konkretnu kvalitetnu analizu, neophodno je imati na raspolaganju niz parametara: prostornu udaljenost, godišnju količinu gasa koju treba transportovati, fizičko-hemijske karakteristike gasa, uslove transporta, profil trase itd. Na osnovu tehničko-ekonomske analize i utvrđivanja i izbora najboljeg rešenja, izrađuje se tehnički projekat.

Tehnički projekat najčešće sadrži niz različitih elemenata i parametara: 1. Detaljni tehnološki proračun: hidraulički proračun (optimalni prečnik, kompresorski kapacitet itd.), toplotni proračun, mehanički proračun; 2. Mašinski proračun i montažu cevovoda (vrstu cevi, montažu, građevinske radove, zaštitu cevovoda itd.); 3. Organizaciju izgradnje sistema cevovoda; 4. Finansijsku konstrukciju; 5. Utvrđivanje optimalne trase; 6. Tehno-ekonomsku analizu sistema; 7. Tehničku zaštitu; 8. Uslove i tehniku nadzora nad izgradnjom objekata cevovoda.

Samo projektovanje i određivanje trase cevovoda počiva na postavci koja se bazira na zamišljenoj pravoj vazdušnoj liniji između polazne tačke i krajnjeg odredišta, kao idealnom teoretskom mogućem rešenju. Između idealne i stvarno projektovane trase cevovoda postoje određena odstupanja. Konkretno odstupanje same trase cevovoda od idealnog mogućeg rešenja, kod projektovanja i izgradnje, moguće je zbog različitih faktora koji imaju uticaj na terenu.<sup>24</sup>

**2. Tranzitni i magistralni gasovodni sistem:**<sup>25</sup> Glavna kompresorska stanica sa pripadajućim procesnim i razvodnim uređajima, međukompresorske podstanice, čelični cevovod sa pratećom armaturom, redukcijske podstanice, remotno-popravne podstanice, podstanice katodne i drenažne zaštite, sigurnosno-ispusni uređaji, daljinsko-upravljačko postrojenje itd.

**3. Zakonitosti protoka gasa cevovodom.** Projektovanje, izgradnja i funkcionisanje cevovoda je uslovljeno zakonima o kontinuitetu protoka mase; zakonom o održavanju energije; količinom oscilacija uvijanja i gibanja (uzimajući u obzir osnove mehanike fluida).<sup>26</sup>

**4. Tehnološki proračun gasovoda** obuhvata: hidraulički proračun, temperaturni (toplotni) proračun i mehanički proračun.

**5. Izbor optimalnog prečnika cevovoda.** Izbor optimalnog prečnika zavisi od troškova komprimovanja (rada kompresorske stanice) i gradnje cevovoda. Troškovi komprimovanja čine fiksni troškovi kompresorskih stanica<sup>27</sup> i varijabilni troškovi (gorivo, mazivo). Troškovi se najčešće iskazuju jedinicom snage (1KW).<sup>28</sup>

**6. Protok gasa i dimenzionisanje cevovoda.** Samo dimenzionisanje cevovoda sprovodi se korišćenjem empirijskih izraza koji se baziraju na zakonima mehanike fluida i Bernulijevoj jednačini za komprimovane fluide.<sup>29</sup> U praksi se susreću različite formule i obrasci za dimenzionisanje

<sup>21</sup> Pored pitanja izbora samog optimalnog prečnika gasovoda u sklopu ovog segmenta, vezano za cevovode, značajno mesto ima i samo sagledavanje ekvivaletnosti cevovoda.

<sup>22</sup> Opširnije i detaljnije o nekim od ovih pitanja, pojedinačno ili kao deo sistema, vezanih za gasovodni sistem, može da se vidi u velikom broju različitih stručnih radova u domaćoj i inostranoj literaturi.

<sup>23</sup> Zelić M., *Tehnologija transporta nafte i plina magistralnim cjevovodima*, INA, Zagreb, 2002, str. 10–28.

<sup>24</sup> Konfiguracija terena, vodeni tokovi, naseljena mesta, prirodne prepreke, potrebe za konekcijom na druge cevovode.

<sup>25</sup> Zelić M., *Tehnologija transporta nafte i plina magistralnim cjevovodima*, INA, Zagreb, 2002, str. 131.

<sup>26</sup> Opširnije o ovim zakonima i zakonitostima videti u domaćim i inostranim radovima iz ove oblasti.

<sup>27</sup> Troškovi gradnje (godišnja amortizacija), održavanje kompresorskih postrojenja.

<sup>28</sup> Detaljnije v. u Zelić M., *Tehnologija transporta nafte i plina magistralnim cjevovodima*, INA, Zagreb, 2002, str. 183.

<sup>29</sup> Osnovne pretpostavke su da je cevovod horizontalan, da između dve tačke cevovoda nema promene kinetičke energije, da je protok gasa ustaljen i da je protok strujanja gasa izoterma.

cevovoda,<sup>30</sup> a razlike između izraza koji se koriste potiče od različitog određivanja izraza za koeficijent trenja – Rejnoldsov iznos (brzina strujanja gasa).<sup>31</sup> Često se u praksi koristi pojednostavljena Renoardova jednačina za pritiske: 1. veće od 5 kPa i 2. niže od 5 kPa, i ona glasi:

$$\text{- za pritiske veće od 5 kPa: } p_1^2 - p_2^2 = 486 d L Q^{1,82} D^{-4,82} \quad (4.1)$$

$$\text{- za pritiske niže od 5 kPa: } p_1 - p_2 = 23,2 d L Q^{1,82} D^{-4,82} 10^6 \quad (4.2)$$

U ovim jednačinama je:  $p_1$  (MPa) pritisak na početku, a  $p_2$  (MPa) pritisak na kraju cevovoda,  $d$  relativna gustoća gasa u odnosu na gustoću vazduha,  $L$  (km) dužina gasovoda,  $Q$  (m<sup>3</sup>/h) protok gasa, a  $D$  (mm) unutrašnji prečnik cevi. Protok gasa  $Q$  odgovara standardnim uslovima (pritisak 0,101325 MPa, temperatura 273,16 K).

Najčešće u praksi, za preciznije proračune, upotrebljava se jedna od jednačina koja je preuzeta iz američke prakse, preračunato na SI jedinice, kada se protok  $Q$  izračunava pomoću izraza

$$Q = 2,3947 \times 10^{-5} \frac{T_o}{F_o} F \left[ \frac{(p_1^2 - p_2^2) D^5}{(d T Z L)} \right]^{1/2} \quad (4.3)$$

U ovom izrazu je:  $T_o$  temperatura od 288,16 K,  $p_o$  pritiska od 1,101325 Mpa,  $T$  prosečna temperatura gasa (K), a faktori:  $F$  (faktor prenosa) i  $Z$  (recipročna vrednost faktora kompresije) se izračunavaju pomoću određenih izraza.<sup>32,33</sup>

Cevovod se najčešće dimenzioniše polazeći od zadatih parametara (protoka, dužine, početnog i krajnjeg pritiska). U tom slučaju, određivanje unutrašnjeg prečnika cevovoda može se izračunati polazeći od prethodnog izraza, tako da se dobija (4.4):

$$D = 2,9924 \times \left[ \frac{d T Z L Q^2}{F^2 (p_1^2 - p_2^2)} \right]^{1/5} \quad (4.4)$$

Konkretno, izračunavanje se dobija postupkom unošenja vrednosti za  $F$ , na taj način se dobija se promer  $D$ , koji se unosi u formulu za izračunavanje faktora  $F$ . Tom vrednošću za  $F$  određuje se korigovani promer pomoću  $D$ , koji se uvrštava u izraz za izračunavanje faktora  $F$ . Postupak se ponavlja sve dok razlika između dve sukcesivne određene vrednosti promera ne postane manja od 1 mm.

Smanjenje pritiska u cevovodu, u praksi se najčešće određuje pomoću izrađenih standardnih dijagrama. Dijagrami se izrađuju uzimajući u obzir relativnu gustoću gasa ( $d_o$ ), temperaturu gasa ( $T_o$ ) i koeficijent trenja (hrapavost zidova cevi  $K$ ). U slučaju da su poznati parametri, u obzir se uzimaju: dužina cevovoda ( $L$ ), promer  $D$ , protok  $q$ , relativna gustoća  $d$ , temperatura plina  $T$  i jedan od pritiska  $p_1$  ili  $p_2$ , a moguće je i iz izraza  $Q$  izračunati drugi pritisak.

**7. Transport gasa zemnog gasa na velikim rastojanjima.** Kod prenosa ovog energenta na velikim rastojanjima, najčešće je reč o dostavi velikih količina zemnog gasa. Pod dejstvom tehničkih, ali i ekonomskih parametara, najčešće se koriste gasovodi kod kojih prečnik ne prelazi 1422 mm (56"), a pritisak ne prelazi preko 100 bara. Prilikom transporta zemnog gasa cevovodom, pritisak opada zbog trenja između fluida i zidova cevovoda.<sup>34</sup> Kod ovih gasovoda, zbog strujanja

<sup>30</sup> Koriste se Euler-ova jednačina, Colebrook-White-ova jednačina, New Panhandl-ova jednačina, AGA; u praksi se primenjuje oko dvadesetak različitih jednačina i formula.

<sup>31</sup> Bauk A. i dr., *Prirodni plin*, INA-NAFTAPLIN, Zagreb, 1989, 301–313.

<sup>32</sup> Detaljnije o izračunavanju faktora videti Bauk A. i dr., *Prirodni plin*, INA-NAFTAPLIN, Zagreb, 1989, 303–304.

<sup>33</sup> Pored ove jednačine, danas se u praksi primenjuje i modifikovana Colebrook-White jednačina od starne Američkog rudarskog biroa, koja se neznatno razlikuje. Videti Prstojević B., *Cevovodni transport nafte i gasa*, Rudarsko-geološki fakultet u Beogradu, Beograd, 2012, str. 48–52.

<sup>34</sup> Smanjuje se potencijalna energija gasa koja se koristi za njegov transport.

velikih količina gasa nastaju znatni padovi pritiska, tako da posle 100,150 km postaju tako veliki da dovode u pitanje ekonomičnost ovakvog vida dostave.

Iz ovog razloga je neophodno, u cilju realizacije prenosa fluida na veća rastojanja, dovoditi energiju zemnom gasu komprimovanjem. Na određenim rastojanjima, zbog pada pritiska fluida, duž trase cevovoda instaliraju se kompresorske stanice (*booster* stanice). Njihova funkcija je da podignu pritisak na početnu visinu. Tačno mesto i rastojanje na kome se postavljaju kompresori zavisi od trenja, odnosno od pada pritiska u toku transporta zemnog gasa. Smatra se da optimalni odnos dekompresije,<sup>35</sup> između dve kompresorske stanice ne bude veći 1.45–1.50. U praksi, on se kreće u rasponu 1.3–1.7, jer u nekim situacijama nije moguće, iz objektivnih razloga, izgraditi kompresorsku stanicu na lokaciji koja odgovara optimalnom odnosu dekompresije.

**8. Kompresori.** Aktivnost komprimovanja zemnog gasa obavlja se u onim situacijama kada ovaj energent ne poseduje dovoljan potreban „pritisak za dalji transport, odnosno distribuciju ili njegovo korišćenje. Komprimovanje fluida može da se realizuje na gasnim poljima, na transportnim ili distributivnim sistemima i u okviru skladišta gasa“.<sup>36</sup>

Prilikom procesa eksploatacije zemnog gasa, iz ležišta kod kojih nije dovoljan pritisak u samoj bušotini, za prenos fluida cevovodom upotrebljavaju se kompresori. Odlika ovih kompresora je da imaju veliki kapacitet komprimovanja i veliki stepen kompresionog odnosa<sup>37</sup> (2–5). U procesu proizvodnje gasa na nekim naftnim poljima koriste se *flash*-gas kompresori, čija je karakteristika mali kapacitet komprimovanja, ali velikog kompresionog odnosa (5–20).<sup>38</sup> Isti ili slični kompresori, koriste se i kod gasnih polja prilikom sabiranja gasa iz onih bušotina koje nemaju dovoljan pritisak i koji transportuje do centralne kompresorske stanice. Takođe, na naftnim poljima gasni kompresori se mogu koristiti i za podizanje pritiska ležišta. Upotrebljavaju se kompresori velikog kapaciteta i velikog kompresionog odnosa, a vrednost pritiska može da bude i 400 bara.

Kod podzemnih skladišta, prilikom utiskivanja gasa, pritisak može da dostigne 300 bara, pri čemu kompresioni odnos dostiže vrednost 4. U segmentu distribucije, kod distributivnih sistema, kompresorom se gas potiskiva u distributivni gasovod i ostvaruje se radni pritisak 1,5–7 bara.

Posebno mesto i značajnu ulogu zauzimaju kompresori u segmentu prenosa gasa magistralnim i tranzitnim cevovodima. Kompresori funkcionišu u sastavu kompresorskih stanica koje su instalirane duž gasovoda. Ostvaruje se najčešće radni pritisak do 100 bara u funkciji transporta gasa.<sup>39</sup> Snaga kompresorskih stanica kreće se od nekoliko desetina do nekoliko hiljada kilovata. Sami troškovi energije iznose do 25% ukupnih troškova zemnog gasa gasovodom. U cilju efikasnog transporta neophodno je izvršiti sagledavanje i ocenu rada kompresorskih stanica. „Režim rada kompresorske stanice određen je hidrauličkom karakteristikom gasovoda, odnosno karakteri. kompresora, tj. protokom gasa, brojem obrtaja i pritiskom pod kojim se gas transportuje.“<sup>40</sup>

$$W = 137,763 \frac{K}{k-1} \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{k-1/k} - 1 \quad (4.5)$$

<sup>35</sup> Razlika između početnog i krajnjeg pritiska. U praksi se taj odnos kreće između 1,33–1.60, a nekad 1.70. Do ovih odstupanja dolazi zato što uvek nije iz tehničkih razloga moguće izgraditi kompresorsku stanicu na optimalnom mestu.

<sup>36</sup> Prstojević B., *Cevovodni transport nafte i gasa*, Rudarsko-geološki fakultet u Beogradu, Beograd, 2012, str. 149.

<sup>37</sup> Kompresioni odnos je odnos potisnog prema usisnom pritisku.

<sup>38</sup> Ovi kompresori imaju nizak usis 0–1,7 bara i potisni pritisak 3,4–20,68 bara.

<sup>39</sup> U nekim slučajevima pritisak u transportnom cevovodu veći je od 100 bara. Jedan od najvećih instaliranih kompresorskih stanica je Bregovaja, na trasi gasovoda Plavi tok (Blue Stream), snage 150 MW. Dužina gasovoda je 1213 km, 396 km nalazi se ispod Crnog mora. Kompresorska stanica ima u svom sastavu 6 kompresorskih pumpi i tri turbo-generatora, koji podižu pritisak sa 100 na 250 bara. Maksimalni godišnji kapacitet gasovoda je 16 milijardi m<sup>3</sup>.

<sup>40</sup> Opširnije u radu Batalović V., „Ocena efikasnosti rada kompresorske stanice gasovoda“, Skup *Srbija gas*, 2006.

Podela kompresora može da se izvrši na kompresore sa pozitivnim potiskivanjem i na kinetičke kompresore. U grupu kompresora sa pozitivnim potiskivanjem spadaju: klipni,<sup>41</sup> rotacioni, zavojni i krilasti kompresori. Kinetički kompresor pripada grupi centrifugalnih kompresora.<sup>42</sup>

Potrebna snaga kompresora<sup>43</sup> zavisi od  $K=c_p/c_v$ , gde su  $c_p$  i  $c_v$  specifične toplote gasa uz konstantan pritisak, odnosno uz konstantan volumen, te o odnosu pritisaka pre ( $p_1$ ) i posle ( $p_2$ ) kompresije. Potrebna energija za kompresiju zemnog gasa (J/kg) određena je izrazom (4.5.).

**9. Čelične cevi za cevovode visokog pritiska.** Danas se u svetu proizvode čelične cevi za zemni gas prema različitim standardima.<sup>44</sup> Cevi se izrađuju kao bešavne (provlačenjem i valjanjem) i šavne.<sup>45</sup> Promer prečnika bešavni cevi dostiže do 70 cm, a gradnja bešavne cevi počinje od prečnika od 35 cm naviše. Najčešće primenjivan standard je API (American Petroleum Institute), prema kome postoje dve vrste čelični cevi: normalnog kvaliteta API Std 5L i visokog kvaliteta API Std 5LX, u više gradacija i među gradacija.<sup>46</sup> Sve cevi pre ugradnje podležu analizi uzoraka gotovih cevi, koje obuhvataju: hemijsku analizu, analizu mehaničkih svojstava (istezanje, smicanje, savijanje), hidrostatička ispitivanja, dimenziju i težinu.

Prilikom određivanje debljine zida cevi gasovoda, mora da se uzme u obzir da cev mora da izdrži unutrašnji (radni i ispitni) pritisak i sva spoljna (realna i potencijalna) opterećenja koja deluju na gasovod. Debljina zida cevi ( $t$ ) izražena u milimetrima se izračunava pomoću formule:

$$t = \frac{p D S}{2 k T} + s \quad (4.6)$$

U formuli je  $p$  maksimalan dozvoljen pritisak (MPa),  $D$  spoljni prečnik cevi,  $s$  koeficijent sigurnosti,  $k$  minimalna granica rastezanja ( $N/mm^2$ ),  $T$  faktor temperature (za temperaturu do 120 °C iznosi 1), a  $s$  dodatak kojim se uzima u obzir uticaj korozije. Danas je razvojem i savladanim novim tehnologijama moguće proizvoditi cevi prečnika do 2032 mm, sa značajnim povećanjem kvaliteta i čvrstoće materijala.

**10. Proračun čvrstoće čeličnog cevovoda.** On obuhvata sagledavanje sila koje deluju na zidove cevi usled pritiska u njemu: uzdužno naprezanje, tangencijalno naprezanje i radijalno naprezanje.

**11. Oprema cevovoda.** Nju čine: regulatori pritiska, sigurnosni ventili, cevni zatvarači (zasuni, čepne i loptaste slavine, ventili, loptasti ventili, protivpovratna klapna), kompezatori, transmiteri diferencijalnog pritiska, filteri, proporcionator, kondezacioni lonci, premoštenja, elementi za oblikovanje cevovoda– fintizi, čistačke stanice.<sup>47</sup> Sva oprema koja se upotrebljava u izgradnji i funkcionisanju gasovoda je standardizovana. Najčešće primenjivani standardi su ANSI-B.1.5 i API-6B, prema kojima se cevni elementi proizvode za određene klase pritiska.<sup>48,49</sup>

<sup>41</sup> Klipni kompresori mogu biti velike brzine (brzohodni) i male brzine (sporohodni).

<sup>42</sup> Opširnije o kompresorima v. u velikom broju radovima vezanim za ovu oblast, na primer: Perać P., „Gasovodni sistem upravljanje, rukovanje i održavanje“, JUGAS, Beograd, 2002.

<sup>43</sup> Potrebna snaga kompresora može da se odredi pomoću dijagrama (nomogramima), u zavisnosti od specifične toplote i od kompresijskog odnosa.

<sup>44</sup> API, API RP, DIN, GOST.

<sup>45</sup> Šavne cevi se izrađuju od čeličnih limova koji se zavaruju. Spoj lima, prilikom izgradnje cevi, može da bude uzdužni i spiralni. Danas se primenjuju različite tehnologije: elektrozavarivanje, zavarivanje sa uronjenim lukom, pod zaštitnim gasom, MIG tehnologijom itd. Šavno uzdužno zavarene cevi mogu da se ugrađuju kod svih vrsta trasa gasovoda, dok spiralno zavarene cevi ne bi trebalo instalirati kod izraženo izlomljenih trasa cevovoda. Danas se primenjuju različite tehnologije (tehnologija električnog luka).

<sup>46</sup> Prema standardu, cevi 5L imaju granicu elastičnosti 172 Mpa–341 MPa, cevi 5L-X 289 Mpa–689 MPa.

<sup>47</sup> Detaljnije o svakom od delova opreme cevovoda v. u velikom broju radova iz ove oblasti, na primer: Prstojević B., *Cevovodni transport nafte i gasa*, Rudarsko-geološki fakultet u Beogradu, Beograd, 2012.

<sup>48</sup> Prema ANSI-B.1.5. postoji sedam klasa za pritiske: ANSI 150 (do 20 bara); ANSI 300 (do 50 bara); ANSI 400 (do 68 bara); ANSI 600 (do 100 bara); ANSI 900 (do 150 bara); ANSI 1500 (do 250 bara); ANSI 2500 (do 420 bara).

<sup>49</sup> Standard API-6A ima različitu klasu pritiska od ANSI standarda. Kod njih su zahtevi stroži u kontroli metaluškog procesa proizvodnje i u proizvodnji cevni elemenata u odnosu na ANSI standarde.

**12. Postavljanje (instaliranje) cevovoda.** Instalacija cevovoda za prenos gasa može da bude na kopnu i moru. Sama tehnika i tehnologija postavljanja gasovoda na kopnu i moru je međusobno veoma različita, ali istovremeno i veoma slična, prema nizu segmenata koji se sprovode u okviru sami aktivnosti.<sup>50</sup> Izgradnja cevovoda za transport zemnog gasa obuhvata građevinske i montažne aktivnosti. Kod **izgradnje gasovoda na kopnu**, građevinski radovi obuhvataju izradu rova (iskopavanje, zatrpavanje, tamponažu) za polaganje cevovoda, koji se u najvećem delu realizuje mehanizovanim sredstvima. Montaža cevovoda se obavlja savremenim uređajima i sredstvima. Ona obuhvata faze: polaganje cevi duž rova, zavarivanje,<sup>51</sup> čišćenje cevi, izolaciju, polaganje cevi u rov, kontrola izolacije, centriranje, zavarivanje sekcija,<sup>52</sup> kontrola varova, zatrpavanje, ispitivanje,<sup>53</sup> testiranje cevovoda na pritisak.<sup>54</sup>

**Gradnja cevovoda ispod vodene površine**, obuhvata postavljanje cevovoda preko: reke, zaliva, kanala, jezera i na dnu mora. Postupak postavljanja cevovoda na morsko dno je veoma zahtevna i kompleksna aktivnost. Instaliranje gasovoda se sprovodi pomoću specijalnih brodova (barža) za polaganje cevi – cevopolagač (eng. pipe-lay vessel). Podvodno polaganje cevovoda može da se realizuje na više načina. Tri najčešće primenjivana načina instaliranja cevi za gasovod su pomoću:<sup>55</sup> 1. Barži na kojima se cevi nalaze položene vodoravno, (*S-Lay* postupak, konvencionalni način polaganja); 2. Barži na kojima se nalaze namotaji cevi na koturu (*reel lay*) i 3. Barži sa vertikalno postavljenim cevima (*J-Lay* postupak).<sup>56</sup>

Prvi način, *S-Lay* postupak najrašireniji je i najprikladniji za postavljanje cevi svih prečnika i na svim dubinama.<sup>57</sup> Na brodovima polagačima (baržama, sličnog izgleda kao platforme) obavlja se priprema čišćenjem montaža, zavarivanjem i kontrolom. Značajan deo ovog načina polaganja cevi predstavlja natezni sistem,<sup>58</sup> koji prihvata cev iza barže i koji omogućava spuštanje (polaganje) na dno mora. Pontoni su važni elementi koji podržavaju cevovod nakon montaže. Ovim načinom mogu da se instaliraju i cevovodi većeg prečnika od 100 cm na dubinama do 300 m.<sup>59</sup> Drugi način postavljanja cevovoda, pomoću namotanih koturova, koristi se kod cevovoda manjeg prečnika. Prečnik cevi se kreće najčešće između 50 i 300 mm, ali u nekim situacijama i 400 mm.<sup>60</sup> Ovo je brži i pogodniji metod, ali ograničen maksimalnim poprečnim presekom cevovoda. Za postavljanje cevovoda većeg prečnika i u većim dubinama koristi se treći metod, barže sa vertikalno postavljenim cevima. Ovaj metod je sličan metodi kod instalacije cevi na bušnoj platformi gasa na moru.

Prilikom podvodnog postavljanja cevovoda primenjuje se niz različitih tehničkih rešenja za instaliranje ulaska i izlaska cevovoda iz vode na kopno; za povezivanje cevovoda sa platformom u moru na kojoj se nalaze uređaji za eksploataciju (crpljenje gasa iz mora) ili kompresori; za

<sup>50</sup> O tehnologiji izgradnje, videti u radu Scheuble L., „Trenchless technologies in pipeline construction“, *Specijal Edition*, Essen 13/2004.

<sup>51</sup> Zavarivanje može da bude: autoogeno (acetilen + kiseonik), ručno električnim lukom, automatski električnim lukom, električnim lukom u zaštitnoj atmosferi (argon, ugljen dioksid), elektrootporno zavarivanje, zavarivanje na niskim temperaturama (koristi se za zaštitni plin CO<sub>2</sub>).

<sup>52</sup> Cevi se spajaju u sekcije 200–300 m na površini tla i spustaju u rov gde se spajaju.

<sup>53</sup> Aktivnosti ispitivanja cevovoda obuhvataju niz postupaka: a) vizuelni; b) merenje pritiska; c) merenje diferencijalnog pritiska: merenje pritiska i volumena.

<sup>54</sup> Za potrebe ovoga rada nije detaljnije sagledavana tehnika i tehnologija izgradnja kopnenih gasovoda. Opširnije se može videti u nizu radova iz ove oblasti.

<sup>55</sup> Zelić M., „Tehnologija transporta nafte i plina magistralnim cjevovodima“, INA, Zagreb, 2002, str. 211.

<sup>56</sup> Detaljnije o podvodnom polaganju cevovoda videti Zelić M., *Tehnologija transporta nafte i plina magistralnim cjevovodima*, INA, Zagreb, 2002, str. 211–215.

<sup>57</sup> Detaljnije o ovom postupku postavljanja cevovoda ispod mora, može se videti u doktorkoj disertaciji Karabajić D., *Optimizacija konfiguracije S-lay postupka polaganja podmorski cjevovoda*, Tehnički fakultet, Rijeka, 2012.

<sup>58</sup> Na ovim baržama, maksimalni kapacitet napinjača (sila napinjana) je 50–750 tona (490–7360 kN).

<sup>59</sup> Mogu da se koriste i poluoronjive barže koje omogućuju sputanje na veće dubine vode. Cevovodi prečnika 508 mm (20 in) mogu se postavljati do dubine od 600 m. Manjeg prečnika i na dubini do 800 m. Cevi su standardne dužine 12,2 i 24,4 m. Kapacitet polaganja cevovoda broda je prosečno: 4,5 km na dan. Neki imaju kapacitet i do 7 km/dan.

<sup>60</sup> Ovom metodom se mogu postavljati podvodni cevovodi, kod kojih namotaji za izgradnju cevovoda prečnika 102 mm dostižu do 80 km, a prečnika 400 mm (16 inči) do 10 km.

ukopavanje cevovoda u dno mora;<sup>61</sup> za ispitivanje i kontrolu cevovoda; za obložne cevne graničnike (učvršćivače za dno mora);<sup>62</sup> za sidrenje cevovoda; za polaganje u hladnim vodama artičkog područja; za upotrebu različitih hemijskih sredstava za sprečavanje hidrata u cevovodu zbog niskih temperatura vode; za silu podizanja.<sup>63</sup> Specifičnosti u tehnologiji transporta gasa, kada je reč o podvodnim gasovodima, zauzimaju pitanja vezana za: stvaranje, taloženje i blokiranje cevovoda od strane hidrata; tačno merenje protoka gasa; merenje višefaznog protoka i zaštitu od korozije.

Posebno pitanje i mesto, vezano za eksploatacije svih gasovoda čini: njihovo puštanje u rad; održavanje; čišćenje cevovoda; katodna zaštita; popravka kvarova i oštećenja cevovoda; pojava,<sup>64</sup> kontrola i zaštita cevovoda od korozije;<sup>65</sup> nove izolacione obloge, upravljanje cevovodom, ...

**13. Povećanje propusne moći gasovoda** može da se postigne: izgradnjom uporednog cevovoda na određenoj deonici same trase (luping), ugradnjom cevovoda većeg promera na određenoj dužini deonice trase (umetak) i dodatnim postavljanjem kompresorskih međustanica.

Prednost transporta gasa ovim vidom je da se „polaganje cevovoda izvodi najkraćim putem između početne i konačne tačke; proces transporta može da se odvijati u kontinuitetu; gubici fluida u transportu su minimalni; rukovanje transportnim sistemom jednostavno je; celoviti transportni sistem cevovodom može se regulirati i amortizovati; životni vek, uz održavanje, relativno je dugotrajan.“<sup>66</sup>

### 1.1.2. Optimalni parametri gasovoda u funkciji efikasnog transporta i snabdevanja tržišta zemnim gasom

Na efikasan, pouzdan i ekonomičan prenos fluida gasovodom utiče veliki broj različitih parametara. Većina njih je međusobno povezana i zavisna. Njihov odnos je uslovno posledičan. Promena veličine jednog faktora utiče direktno ili indirektno na druge faktore, u većoj ili manjoj meri. U cilju ostvarivanja maksimalnog efekta funkcionisanja gasovoda, neophodno je postizanje međusobnog optimalnog odnosa i sklada između svih elemenata. Utvrđivanje i izbor jednog činioca ne treba da se vrši bez sagledavanja i drugih parametara. Potrebno je sveobuhvatno sagledati efekte koje on pruža u sklopu jedinstvenog sistema, a ne on sâm pojedinačno. Zato je potrebno ostvariti maksimalnu međusobnu optimizaciju svih parametara u okviru celokupnog sistema.

Određivanje optimalnih parametara gasovoda je kompleksna aktivnost. U osnovi, posmatrano prema protoku fluida cevovodom, razlikujemo gasovode sa konstantnim i promenljivim protokom zemnog gasa. Polaznu osnovu za izbor optimalnih parametara gasovoda čini izbor odgovarajuće jednačine za izračunavanje protoka fluida. Zbog toga što se u realnim uslovima funkcionisanja gasovoda susreću različiti uslovi proticanja fluida, postoje i različite jednačine. Između više njih, vrši se izbor adekvatne jednačine koja će pružiti najbolji rezultat u datom slučaju. Jednačina protoka fluida pokazuje da veličina prečnika zavisi od veličine protoka, kvaliteta gasa, kvaliteta cevi, konstrukcije i stanja gasovoda, dužine transportnog puta, veličine pritiska. Povećanje prečnika cevovoda, dovodi do povećanja kapaciteta gasovoda. Kapacitet cevovoda raste znatno više u odnosu na porast ulaganja za njegovo povećanje. Rast prečnika je ograničen tehničkim i

<sup>61</sup> Iz bezbednosnih razloga, većina cevovodi se ukopavaju na dubini 1–3 m. Koriste se metode mlaznog kopanja i kopanja podvodnim rovokopačem.

<sup>62</sup> Mogu biti u obliku debeloslojnog čeličnog valjka koji se montira i može slobodno da se kreće (pomera) duž cevovoda; u obliku prstena koji se zavaruje za cev; u obliku integralnog valjka koji je sastavni deo cevi; u obliku betonskog prstena. Oni služe da ne bi doslo do pomeranja cevovoda po dnu mora, pod dejstvom jakih vodenih struja koje mogu da dovedu do kidanja cevovoda. Ovo je izraženo kod kamenih i stenovitih površina na dnu korita reke, jezera i mora.

<sup>63</sup> Sila koja deluje i podiže cevovod na gore. Sila koja podiže cevovod izračunava se pomoću formule i na osnovu dobijenog rezultata vrši se obezbeđivanje i fiksiranje gasovoda za dno, ako nije ukopan.

<sup>64</sup> Postoji više vrsta i uzroka korozije: slana, kisela, kiseonička, elektrohemijaska korozija.

<sup>65</sup> Zaštita može da bude aktivna i pasivna. Najčešće primenjivana je: 1. Katodna zaštita (pomoću vanjskog izvora struje ili ugradnjom galvanskog članka nižeg potencijala), 2. Zaštita oblaganjem (izolacijom): a) spoljašnosti cevovoda (bitumen i traka 3–9 mm) i b) unutrašnjosti cevovoda (pomoću inhibitora).

<sup>66</sup> Zelić M., *Tehnologija transporta nafte i plina magistralnim cjevovodima*, INA, Zagreb, 2002, str. 9.

ekonomskim mogućnostima.

Zbog pada pritiska, kod proticanja fluida kroz gasovod, na određenim rastojanjima duž trase, instaliraju se kompresori. Kompresori imaju funkciju podizanja pritiska u cevovodu. Posmatrano sa ekonomskog aspekta, racionalnije je postaviti na određenom rastojanju kompresore, nego prečnik dimenzionisati, zbog gubitka pritiska. Potrebno je utvrditi optimalni odnos, između parametara vezanih za gasovod i komprimovanja fluida. Reč je u prvom redu o: prečniku gasovoda, radnom pritisku u gasovodu i faktorima vezanim za instalaciji kompresora (rastojanje između njih, snaga).

U osnovi, kriterijum za određivanje optimalnog prečnika gasovoda i drugih parametara je kriterijum: minimalni godišnji troškovi. Osnova njegovog utvrđivanja je jednačina: ukupni godišnji troškova:

$$T_{\text{ukupni}} = T_{\text{cevovoda}} + T_{\text{kompresorske stanice}} \quad (4.7)$$

$$T_{\text{ukupni}} = \alpha \cdot I_{\text{cevi}} + E_{\text{cevi}} + \beta \cdot I_{\text{kompresora}} + E_{\text{kompresori}} \quad (4.8)$$

$I_{\text{cevi}}$  – vrednosti cevovoda, investiciona ulaganja;  $\alpha$  – deo vrednosti cevovoda koji se mora svake godine otplatiti (amortizacija, osiguravanje, kamata);  $E_{\text{cevi}}$  – eksploatacioni troškovi cevovoda;

$I_{\text{kompresora}}$  – vrednost investicionih ulaganja u kompresorske stanice;  $\beta$  – deo vrednosti kompresorskih stanica koji se mogu svake godine otplatiti (amortizacija, kamata, osiguranje);  $E_{\text{kompresori}}$  – troškovi eksploatacije

Ukupni investicioni troškove izgradnje gasovoda ( $T_{\text{ukupni}}$ ) obuhvata ulaganja u izgradnju cevovoda ( $T_{\text{cevovod}}$ ) i ulaganje u izgradnju kompresorske stanice ( $T_{\text{kom. sta.}}$ ). Troškovi izgradnje cevovoda određeni su izdacima vezanim za aktivnosti:<sup>67</sup> pripremni radovi, izrada investiciono-tehničke dokumentacije, nabavka opreme i materijala, građevinsko-montažni radovi, završni radovi. Troškovi ulaganja u kompresorske stanice zavise od: instalisane snage, tipa kompresorske stanice, uslova i mesta njegove lokacije instalacije.

Anuitetni faktori ( $\alpha$ ) iskazuju koliki deo ukupnih investicionih ulaganja opterećuje jednu godinu u posmatranom periodu. Troškovi eksploatacije ( $E$ ) obuhvataju izdatke za: energiju, radnu snagu, održavanje sistema i gubitke gasa u toku transporta.

U cilju određivanja optimalnih parametara gasovoda, u funkciji efikasnog transporta i snabdevanja tržišta gasom, ono se sprovodi različito, u prvom redu u zavisnosti od konstantnosti protoka fluida cevovodom. U zavisnosti od parametra stalnosti protoka fluida gasovodom (količine transportovanog gasa i stalnosti), posmatrano u vremenskom intervalu, protok može da bude konstantan i promenljiv.

Kod **gasovoda sa konstatnim protokom gasa**, „kao i kad su uslovi polaganja gasovoda takvi da se može koristiti prosečna cena izgradnje, jednačina ukupnih godišnjih troškova može da se izrazi u funkciji promenljivih parametara, odnosno prečnika, radnog pritiska i dužine kompresorske sekcije. Određivanje optimalnog prečnika se sastoji u određivanju vrednosti prečnika za koji prvi izvod jednačine troškova ima vrednost; a drugi izvod ima veću vrednost od nule.“<sup>68</sup> Na sličan način se izračunava rastojanje između kompresorskih stanica na trasi gasovoda. Postupak određivanja optimalnog prečnika i optimalne dužine kompresorske sekcije se izvodi kada je određena fiksna vrednost radnog pritiska.<sup>69</sup> Ovo je postupak određivanja optimalnih parametara gasova, kod kojih je protok gasa predviđen kao konstantna veličina. To znači da količina gasa koja protiče cevovodom je stalna (nepromenljiva, konstantna) u toku godine, ili posmatranog perioda.<sup>70</sup>

U onim situacijama kada **protok fluida cevovodom nije konstantan**, sâm postupak određivanja optimalnih parametara gasovoda je značajno kompleksniji. Reč je najčešće o tranzitnim i magistralnim gasovodima (dužine 500–800 km). Količina gasa koji se najčešće transportuje (i troši) iz gasovoda, u jednom ili više regiona, menja se njegovom dužinom (deonicama). Na samom

<sup>67</sup> Opširnije videti Prstojević B., *Cevovodni transport gasa*, RG Fakultet u Beogradu, Beograd, 2012, str. 223–240.

<sup>68</sup> Prstojević B., *Cevovodni transport gasa*, RG Fakultet u Beogradu, Beograd, 2012, str. 226.

<sup>69</sup> Najčešće je u praksi reč o pritisku do 110 bara, ali i o većim iznosima. Veći pritisci uslovljavaju cevi veće debljine, kompresore veće snage itd.

<sup>70</sup> Ovaj pristup je karakterističan za tranzitne gasovode. Kod njih je protok gasa, najčešće konstantan u vremenu i obimu.

početku, sagledava se mogućnost primene različitih metoda regulisanja neravnomernosti potrošnje. U nastojanju dimenzionisanja gasovoda, polazi se od dnevnih potreba regiona i njihovog zadovoljavanja u različitim godišnjim dobima. Analizira se sezonska neravnomernost (veličine i inteziteta) i određuje potreban dnevni kapacitet po deonicama. Zatim se dnevne potrebe određene deonice analiziraju sa aspekta časovnog odstupanja (fluktracije) u toku dana ili posmatranog dužeg vremenskog perioda.

Kod dimenzioniranja, u obzir se uzimaju i lokalna skladišta gasa (ako postoje), mogućnost korišćenja raspoloživi rezervi kod izvora snabdevanja, moguća zamena za zemni gas. Takođe se sagledava: prečnik cevovoda, dozvoljeni maksimalni pritisak u njemu, mogućnost korišćenja kapaciteta već postojećih cevovoda sa kojima su oni povezani (sa regionima u zemlji i inostranstvu). Prilikom projektovanja optimalnih parametara cevovoda, u obzir se uzima i akumulacioni kapacitet gasovoda, ali i mogućnost promene pritiska unutar njih do maksimalnog iznosa. Ovo se radi s razlogom da se povećanjem pritiska uskladišti veća količina fluida u gasovodu, koja se posle koristi u periodu povećane potrošnje.<sup>71</sup>

U okviru mogućnosti korišćenja kapacitivnih mogućnosti određenog gasovoda, a u cilju optimizacije parametara, povećanjem pritiska u njemu, sagledava se broj kompresorskih stanica i njihov raspored duž trase. Utvrđivanje mesta kompresora, kod nestacionarnog protoka i potrošnje, utvrđuje se drugačije nego kod konstatnog protoka. Reč je o kompleksnoj aktivnosti. Koristi se najčešće metoda dinamičkog programiranja.<sup>72</sup>

Sagledavanje faze **eksploatacije i proizvodnje zemnog gasa**, u funkciji optimizacije sistema snabdevanja tržišta je veoma značajno i važno. Sama proizvodnja gasa predstavlja prvi segment u snabdevanju, polazni element optimizacije transporta. Na osnovu sagledavanja elemenata same proizvodnje (količine, pritiska, hemijskog sastava itd.) i potreba za gasom, donosi se odluka o povećanju ili smanjenju proizvodnje gasa.<sup>73</sup>

Neophodno je, u cilju optimizacije snabdevanja tržišta gasom, sagledati sve one glavne karakteristike, koje su vezane za potrebe za ovim energentom. Pod karakteristikama vezanim za potrebe, podrazumevaju se svi važni elementi neophodni za okvirno konceptiranje, projektovanje, izgradnju i upravljanje distributivnim sistemom. Važni elementi mogu biti iz oblasti vezanih za tehnička, tehnološka ili ekonomska pitanja. Reč je o parametrima koji se odnose na: potrebne količine (za određene potrošače, potrošačke centre i regione); neravnomernost potrošnje (godišnju, sezonsku, mesečnu, nedeljnu, dnevnu); promenu temperature i sl. Na osnovu svih ovih parametara, odgovarajućim metodama, nastoji se optimiziranje sistema snabdevanja.

Optimizacija sistema snabdevanja obuhvata i optimiziranje same aktivnosti **transporta gasa** cevovodom. Gasovod se u osnovi posmatra kao sistem od dva elementa, od linijskog dela cevovoda i kompresora. Sam model optimizacije gasovoda je u osnovi model optimiziranja složenih sistema. Gasovodi većih kapaciteta prilikom analize posmatraju se kao sistemi sa stacioniranim protokom. U obzir se uzima veliki broj različitih parametara i pokazatelja, među njima i temperatura i njen uticaj na transport gasa. Neophodno je uzimanje u obzir karakteristika kompresorskih stanica, njihov rad i funkcionisanje, kao značajnog činioca u aktivnosti transporta fluida.

Osnovu rada režima gasovoda, predstavlja jednačina (4.9) koja opisuje vezu između cevovoda i kompresorske stanice. Ona se bazira na tehnološkom zahtevu, da pritisak na kraju gasovoda uvećan za gubitak pritiska u cevovodu, mora biti jednak ili manji od početnog pritiska, uvećanog za pritisak koji je postignut na kompresorskim stanicama. Zadatak optimiziranja rada jednog gasovoda zasniva

<sup>71</sup> Proveru gasovoda, kod nekonstantnog protoka fluida u cilju optimizacije snabdevanja, može se uraditi primenom adekvatnih jednačina za nestacionarno strujanje.

<sup>72</sup> Detaljnije, o primeni dinamičke metode, u određivanju optimalnih parametara gasovoda sa promenljivim protokom, može se videti u usko stručnim radovima.

<sup>73</sup> I na ovaj način, moguće je u određenoj meri doprineti optimizaciji snabdevanja potrošača. U zavisnosti od potrebe za gasom, povećava se ili smanjuje proizvodnja i isporuka gasa iz bušotina sa gasnih polja. U ekstremnim situacijama, moguće je da se isključe ili uključe i određene bušotine (ili cela gasna polja) u cilju efikasne optimizacije.



se na povećanju pritiska po kompresorskim stanicama, tako da funkcija cilja dobije ekstremnu vrednost. Ovo optimiziranje se ostvaruje uz niz različitih ograničenja. Reč je o ograničenjima: da pritisak gasa na izlazu iz kompresorske stanice i ulaza u cevovod ne sme biti veći od dozvoljenog radnog pritiska, ni na jednoj njegovoj deonici; usisni pritisak na kompresoru ne sme biti manji od minimalnog u sekcijama; maksimalne količine gasa koje se komprimuju na pojedinim stanicama ne sme preći maksimalnu dozvoljenu količinu; temperatura ne sme da pređe maksimalnu vrednost.

$$P_k^2 + \sum \Delta P_{cl}^2 \leq P_p^2 + \sum \Delta P_{kl}^2 \quad (4.9.)$$

Na uspešan i efikasan transport gasa, u cilju optimizacije funkcionisanje gasovoda, pored tehničkih ograničenja mogu da postoje i ograničenja iz ekonomske sfere. Kriterijumi ekonomske prirode imaju za cilj da se obezbedi: „doprema zemnog gas uz minimalne troškove transporta; maksimalna isporuka zemnog gasa svima ili određenim potrošačima; isporuka gasa sa maksimalnim pritiskom u gasovodu (maksimalna rezerva).“<sup>74</sup>

### **1.1.3. Izori, pravci i tehničko-ekonomski parametri potencijalnih gasovoda u funkciji formiranja novih strategija transporta zemnog gasa u cilju boljeg i pouzdanijeg snabdevanja tržišta regiona Balkana**

Sa aspekta aktivnosti prenosa gasa cevovodima, uticaj na unapređenje i bolju snabdevenost tržišta Balkana u budućnosti ogleda se u sledećem: 1. Izgradnja novih tranzitnih i magistralnih cevovoda u funkciji diversifikacije izvora i pravaca snabdevanja; 2. Izgradnja gasnog prstena Balkana; 3. Veća međusobna interkonekcija između država Balkana; 4. Izgradnja novih trasa cevovoda u funkciji povezivanja sa novim skladištima zemnog gasa; 5. Povećanje kapaciteta postojećih cevovoda; 6. Izgradnja novih cevovoda u zemljama u kojima se ne koristi zemni gas. U skladu sa novim mogućim izvorima, pravcima i strategijama snabdevanja zemnim gasom regiona Balkana i država srednje Evrope, koje su prezentovane u V delu ovoga rada, unapređenje snabdevanja cevovodom može da se realizuje putem većeg broja novih gasovoda. U budućnosti, novi potencijalni izvori zemnog gasa sa kojih može da se snabdeva tržište Balkana cevovodom su: novi izvori iz Rusije, Kaspijski region, Azerbejdžan, Turkministan, Iran, Irak, Libija, Egipat.

Ovog trenutka, postoji realno veliki broj potencijalnih strategija izgradnje gasovoda, koje imaju za cilj snabdevanja zapadne i centralne Evrope zemnim gasom cevovodima, o kojim se razmišlja, razgovara, analizira, pregovara, a da se oni prostiru preko teritorije Balkanskog regiona. Za sada, većina ovih cevovoda nalazi se u fazi razmatranja, idejnog projekta, ali neki su i u fazi potencijalne realizacije same izgradnje. Strategije o izgradnji novih gasovoda realno predstavljaju potencijal u snabdevanja Balkanskog tržišta, bilo da je reč o projektima cevovoda koji imaju za cilj dopremanja zemnog gasa prema centralnoj i zapadnoj Evropi ili je reč o samostalnim projektima.

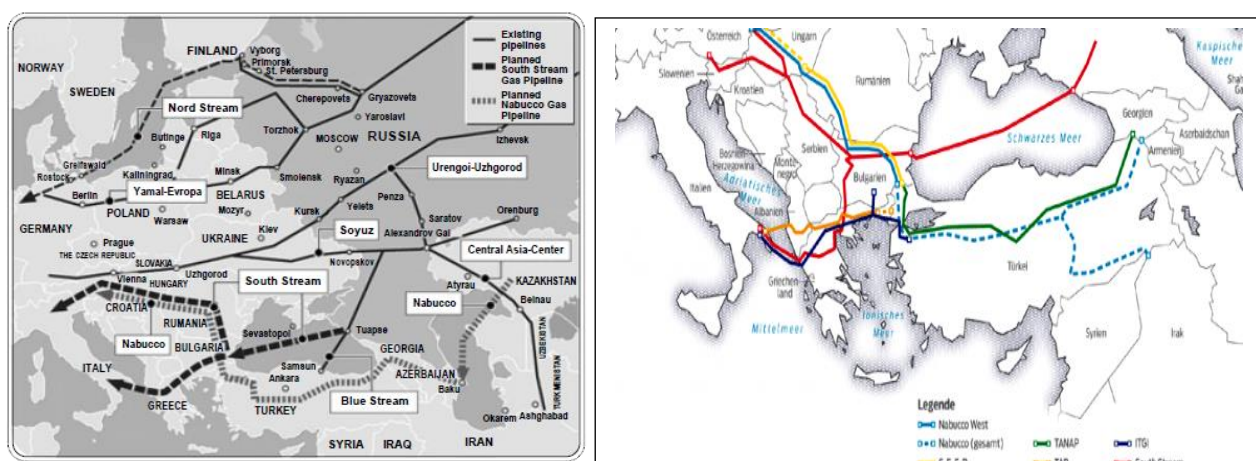
Zapravo, neki od potencijalnih gasovoda koji se predviđeni za snabdevanje zapadne i centralne Evrope, svojom maršrutom prelaze preko teritorije Balkana. Tako da ovi gasovodi predstavljaju i potencijalnu mogućnost efikasnog snabdevanja ovog regiona u sklopu šire strategije snabdevanja Evrope. Neophodno je da se istovremeno, pored sagledavanja mogućnosti snabdevanja Balkanskog regiona u sklopu projekata koji su vezani za dopremu gasa zapadnoj i srednjoj Evropi, analiziraju mogućnosti izgradnje nezavisnih gasovoda država Balkana.

Nove, potencijalne strategije snabdevanja zemnim gasom regiona Balkana i srednje Evrope cevovodom, orijentisane su i bazirane na: novim izvorima, pravcima i na državama iz kojih se može dopremiti ovaj energent u odnosu na već postojeće instalirane tranzitne cevovode (slika 4.2). Sama izgradnja nekih od novih potencijalnih gasovoda bila bi strateški izuzetno važna i bitna za snabdevanje tržišta Balkanskog prostora i srednje Evrope. Neka od obeležja ovih potencijalnih

<sup>74</sup> Prstojević B., *Cevovodni transport gasa*, Rudarsko Geološki Fakultet u Beogradu, Beograd, 2012, str. 234–240.

gasovoda jesu: oni su međusobno relativno podudarni (u zavisnosti od izvora gasa ili trase kojom se prostiru) – planirano je da se neki od njih međusobno povežu u jedinstven sistem, ali, takođe, neki od njih su međusobno u značajnoj meri konkurentni jedan drugom.

Veliki i značajan uticaj na njihovu izgradnju, pored ekonomskih i privrednih parametara i činilaca, imaju i geopolitički, strateški, vojni razlozi i stavovi rukovodstava država. Zemlje koje pokazuju interesovanje, uticaj i mešaju se u izgradnju i funkcionisanje određenih gasovoda mogu da se podele u dve grupe. Prvu grupu zemalja čine države koje imaju direktnu, opravdanu i razumljivu zainteresovanost vezanu za izgradnju određenih gasovoda. Zapravo, radi se o državama proizvođačima zemnog gasa, o državama kroz koji prolazi tranzitni gasovod i o državama do kojih se doprema energent. Njihovo interesovanje u prvom redu vezano je za ekonomske i privredne razloge funkcionisanja sopstvene zemlje. Drugu grupu formiraju države koje nisu na prvi pogled direktno povezane sa njegovom gradnjom, ali ispoljavaju veće ili manje interesovanje i uticaj na realizaciju izgradnje određenih gasovoda. Najčešće, uticaj i mešanje u realizaciju izgradnje određenih gasovoda, zemlje iz druge grupe retko kad direktno ispoljavaju i ističu javno, mnogo češće indirektno, iza kulisa ekonomsko političke pozornice. Njihov uticaj se plasira i ispoljava preko različitih institucija, organa, tela, organizacija, finansijskih institucija itd. Pomenuti uticaj realizuje se putem različitih odluka, rešenja, propisa, zakona, instrukcija i sl. Njihovo interesovanje nije uvek direktno vezano samo za ekonomske činioce, već proizilazi ili je povezano sa političkim, vojnim ili nekim sličnim razlozima.



Slika 4.2. Postojeći tranzitni i neki novi potencijalni gasovodi za snabdevanje država srednje Evrope i Balkanskog poluostrva u budućnosti<sup>75</sup>

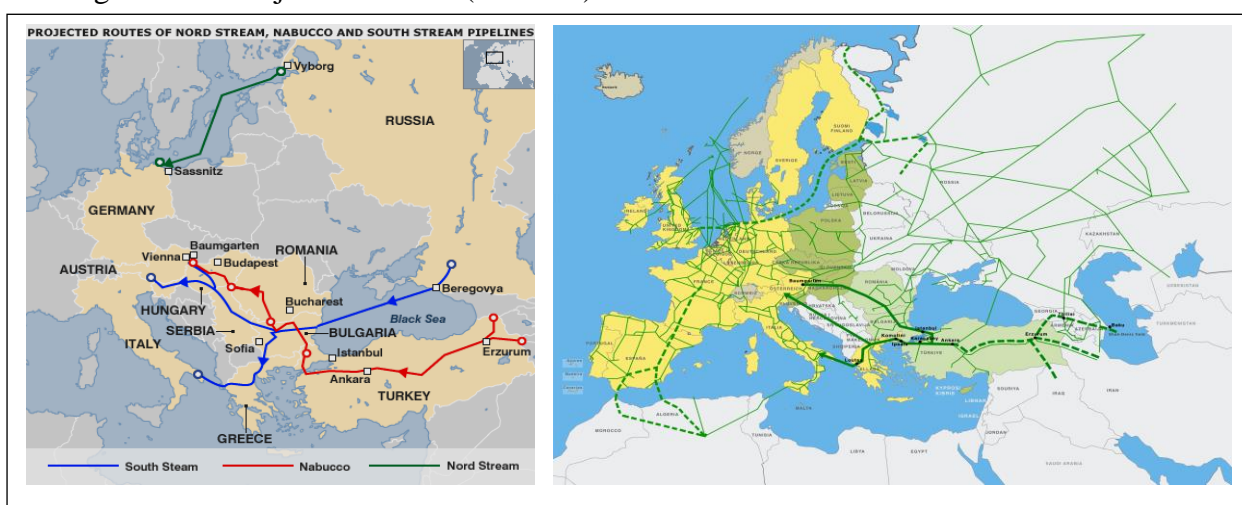
Kada je reč o izgradnji novih velikih tranzitnih gasovoda za transport zemnog gasa, trenutno je u Evropi u opticaju veliki broj različitih potencijalnih strategija. U osnovni, cilj svih ovih strategija je da obezbede bolje, pouzdanije i u većem obimu snabdevanje tržišta Evrope gasom. Sve te strategije danas se nalaze u različitim fazama i etapama realizacije snabdevanja ovim energentom. U ovom trenutku, neki od potencijalnih cevovoda nalaze se u fazama razmatranja, analiziranja, planiranja ili pregovaranja, ali neki od njih su već i u fazi izrade studije izvodljivosti, projektovanja i potencijalne realizacije same izgradnje.

Samom izgradnjom novih tranzitnih gasovoda vrši se diversifikacija pravaca i izvora snabdevanja tržišta Balkana ovim energentom i obezbeđuje se snabdevanje regiona većim količinama zemnog gasa. Osnovne karakteristike i analize nekih od strategija snabdevanja ovog regiona gasom izgradnjom novih tranzitnih gasovoda mogu se videti sagledavanjem njihovih osnovnih parametara. U stručnoj javnosti poslednjih godina, vezano za izgradnju novih značajnijih gasovoda povezanih sa regionom Balkana, prezentovan je širok spektar različitih analiza, rasprava, predloga, projekata i nastojanja u pravcu njihove konkretizacije. U prvom redu, reč je o sledećim gasovodima: Južni tok (South Stream); Nabuko (Nabucco); Turski tok; Trans-jadranski cevovod

<sup>75</sup> Izvor, više stručnih radova i publikacija iz ove oblasti.

(Trans-adriatic-Pipeline, TAP); Jonsko–Jadranski (IAP); Tursko – grčko – italijanski cevovod (Turkey-Greece-Italy-Pipeline, TGI); Beli potok (White Stream, GLUEU); Panevropski cevovod (Pan European Gas Pipeline, PEGP); Plavi cevovod (Blue Line); Afrika – Mediteran – Balkan (AMB); ISTING (Istočni prsten); TANAP; Gasni prsten Balkana; Interkonektor Turska – Grčka – Italija (ITGI), kao i više interkonekcija.

1. **Gasovod Južni tok** (South Stream) je planirani gasovod od ruske obale Crnog mora s dva kraka, od kojih jedan do južne Italije, a drugi do Austrije. Gasovod, ako bi se gradio, obuhvatio bi podmorsku sekciju ispod Crnog mora, od Rusije do Bugarske, gde bi se granao na Južni cevovod (ruta) prema Grčkoj i južnoj Italiji, te Severna cevovod (ruta) preko Srbije i Mađarske prema Austriji i Italiji. Južni tok je Gaspromove strategije o diversifikaciji tranzitnih ruta ruskog zemnog gasa sa ciljem zadovoljavanja povećanja potrošnje gasa u Evropi. Ovaj cevovod predstavlja konkurentski odgovor Rusije prema planiranom gasovodu Nabuco (slika 4.3).<sup>76</sup> Jedan od razloga pokretanja ovog gasovoda su i višegodišnje nesuglasice između Rusije i Ukrajine, vezane za tranzit gasa.<sup>77</sup> Ovaj gasovod zajedno sa Severnim tokom (koji je izgrađen) predstavlja nove pravce snabdevanja Evrope zemnim gasom iz Rusije cevovodom (slika 4.4).<sup>78</sup>



Slika 4.3. Planirani gasovodi: Južni tok i Nabuco; postojeći i potencijalni cevovodi, kao deo strategije snabdevanja država Balkana i Evrope novim količinama zemnog gasa<sup>79</sup>

Planirani projekat izgradnje ovog gasovoda prvi put je objavljen 2007. godine. Predstavlja odgovor na planirani gasovod Nabuco (tabela 4.2). Kapacitet gasovoda u prvoj fazi iznosio bi 31,5 milijardi m<sup>3</sup> zemnog gasa, a u drugoj fazi on bi iznosio ukupno 63 milijarde m<sup>3</sup>.<sup>80</sup> Ukupna dužina cevovoda, od obale Crnoga mora do čvorišta Baumgarten (Austrija) iznosi 3700 km. Ovo je tehnički vrlo zahtevan projekat, jer od ukupne dužine trase gasovoda 900 km cevovoda bilo bi položeno na dno Crnoga mora na dubini većoj od 2000 metara.<sup>81</sup> Razmatrano je nekoliko varijanti ovog gasovoda. Planirana mogućnost je i priključivanje Hrvatske, BiH i Slovenije na severni cevovod ovog gasovoda. Predviđeno je da se gasovod može priključiti i na podzemna skladišta (Mađarska i Srbija).<sup>82</sup> Tehničke karakteristike cevovoda: na početku, gasovod bi imao prečnik dimenzije 1442

<sup>76</sup> Ovaj gasovod treba delimično da zameni planirani nastavak Plavog toka iz Turske preko Bugarske, Srbije do Austrije.

<sup>77</sup> Sušić D. i dr., *Analiza značaja projekta dobave prirodnog plina za Evropu – Južni tok i Nabucco*, RGN zbornik, broj 23, Zagreb, 2011, str. 15–24.

<sup>78</sup> U zapadnu Evropu iz Rusije najveći deo gasa dolazi preko teritorije Ukrajine. Oko 80% je dopremano preko Ukrajine do izgradnje gasovoda Severni tok (Rusija – Nemačka ispod Baltičkog mora).

<sup>79</sup> Izvor, više stručnih radova i publikacija iz ove oblasti.

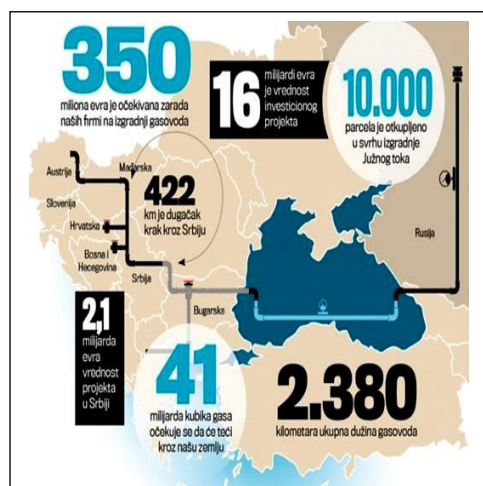
<sup>80</sup> Predviđeno da ima četiri paralelne cevovodne transportne linije po 15,75 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>. U prvoj fazi dve linije 31,510<sup>9</sup> m<sup>3</sup>.

<sup>81</sup> Grozdanić I., Sekulić G., „Novi dobavni pravci nafte i plina za i kroz jugoistočnu i srednju Evropu, te uključenosti Republike Hrvatske“, *11 Forum*, Dani energije u Hrvatskoj, Zbornik radova, 2009, str. 178–189.

<sup>82</sup> Predviđa se da se izgrade dva skladišta koja bi bila u njegovoj funkciji. U Mađarskoj ne manjeg kapaciteta od 1 milijarde m<sup>3</sup>, a u Srbiji kod Banatskog Dvora kapaciteta 3,2 milijarde m<sup>3</sup>. MOL je ponudila svoje iscrpljeno gasno

mm (kasnije spoljna dimenzija 813 mm); materijal čelik X-70; debljina zida cevi > 39 mm; maksimalni protok  $63 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{god}$ ;<sup>83</sup> ... Cena izgradnje gasovoda procenjuje se da bi iznosila između 19-24 milijarde evra.

Gas za ovaj gasovod obezbeđivao bi se iz više izvorišta koji su značajno udaljeni od mesta Bregov gde trasa Južni tok ide po dnu Crnog mora. Gas bi se dopremao od polja Urengoy (iz severozapadnog Sibira, udaljenog 4070 km), od polja Shah Deniz (Azerbajdžan 1350 km) i od Turkmenistanske granice (3081 km). Obezbeđivanje ukupni potrebnih količina, od 63 milijarde  $\text{m}^3$  gasa, za ovaj gasovod predviđa i izgradnju Prikaspijskog cevovoda za prikupljanje gasa iz Turkmenistana (udaljenost 1700 km) i Kazahstana (1200km). Cena izgradnja ovog gasovoda procenjuje se na 5,8 milijardi evra.



Slika 4.4. Neki parametri Južnog toka<sup>84</sup>

snaga	slabost
<ul style="list-style-type: none"> <li>- gasovod bi zaobilazio Ukrajinu</li> <li>- povećao bi se ukupni kapacitet snabdevanja Evrope gasom</li> <li>- Gazprom ima dominantan položaj u izvozu gasa iz Kaspijskog regiona</li> <li>- Gazprom ima vlastite rezerve gasa</li> <li>- mali broj tranzitni zemalja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- visoki troškovi izgradnje</li> <li>- skup tranzit gasa</li> <li>- povećala bi se dominacija Rusije u izvozu gasa za Evropu</li> </ul>
šansa	pretnja
<ul style="list-style-type: none"> <li>- otvorila bi se nova radna mesta</li> <li>- mogućnost dodatnog privrednog razvoja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- gradnja gasovoda Nabuko</li> <li>- terminali za LNG</li> </ul>

Tabela 4.2. SWOT analiza realizacije projekata Južni tok<sup>85</sup>

Južni tok bi se prostirao kroz Srbiju u dužini od 422 km. Cena izgradnje kroz Srbiju iznosila bi okvirno oko 2,1 milijarde evra. Planirana je njegovo priključenje na podzemno skladište Banatski Dvor.<sup>86</sup> Razmišlja se o izgradnji gasni elektrana za proizvodnju električne energije i toplote (Beograd, Novi Sad, Pančevo, Niš, ...)<sup>87</sup>. Bile bi instalirane dve kompresorske stanice. Predviđena su dva kraka, BiH (Čenta-Zvornik, 105km) i Hrvatsku (Gospođinci-Vukovar, 52 km).

Koliki je obim moguće dostave i uvoza gasa ovim gasovodom od 63 milijarde  $\text{m}^3$ , najbolje ilustruje podatak kada se upoređi sa ukupnim iznosom uvozom gasa u celom regionu u 2013. godini, koji je bio 73,71 milijarde  $\text{m}^3$ . Ako se od ukupnog uvoza gasa odbije obim uvoza u tri zemlje (Tursku, Austriju i Mađarsku, od  $62,42 \times 10^9$ )<sup>88</sup>, ukupan uvoz u sve države regiona bio je u posmatranoj godini u obimu od 11,29 milijarde  $\text{m}^3$ . Tako da u ovom slučaju, uvezena količina gasa predstavlja manji iznos od 1/5 ukupnog projektovanog kapaciteta cevovoda, tačnije 17,8%.<sup>89</sup> Ovi parametri najbolje ilustruju kapacitet i značaj planiranog gasovoda. Procenjuje se da bi izgradnjom

polje kod Pusztafoldvara sa potencijalnim kapacitetom od 9 milijarde  $\text{m}^3$ . Sušić D., *Projektni dobave prirodnog plina za Evropu – Južni tok i Nabucco*, RGNF, Zagreb, 2011, str. 8.

<sup>83</sup> Kao ilustracija veličine planiranog kapaciteta ovog cevovoda od  $63 \times 10^9 \text{ m}^3$  na godišnjem nivou može da posluži činjenica da je celokupan posmatrani region Balkanskog poluostrva, 2013. god. uvezao gasa u iznosu od  $73 \times 10^9 \text{ m}^3$ . To znači da bi on gotovo sam mogao da zadovolji ukupni ostvareni trenutni uvoz ovog energenta na Balkan.

<sup>84</sup> Izvor, više stručnih radova i publikacija iz ove oblasti.

<sup>85</sup> Prema Sušić D., *Projektni dobave prirodnog plina za Evropu – Južni tok i Nabucco*, RGNF, Zagreb, 2011, str. 22.

<sup>86</sup> Postoji mogućnost izgradnje novih podzemnih skladišta, na primer Ostrovo (kod Kostolca) kapaciteta 160 miliona  $\text{m}^3$ .

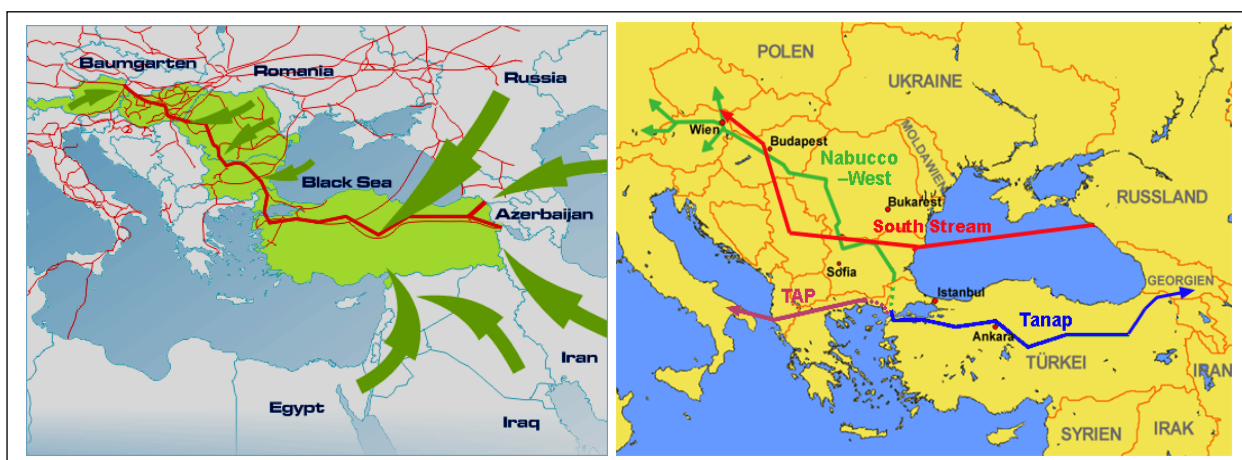
<sup>87</sup> Procenjuje se da, kada se električna energija proizvodi u termoelektranama, stepen iskorišćenja bude oko 25%, nasuprot termoelektranama sa parno-gasnim ciklusom, kod kojih se on kreće do 80%.

<sup>88</sup> Ove tri zemlje uslovno možemo posmarati kao širi koncept tržišta zemalja Balkanskog poluostrva.

<sup>89</sup> Kao jedna od rezervnih varijanti, u slučaju da se odustane od gradnje ovog gasovoda, u prvom redu iz političkih razloga (koje je pokrenuto krajem 2014. godine), razmatra se i gasovod Grčka – Bugarska – Rumunija – Mađarska koji bi Ruski gas preuzimao na grčko-turskoj granici. U Tursku, gas bi se dopremao preko Crnog mora.

ovoga gasovoda, tranzitom gasa potrošačima Evropske unije i zemljama u regionu, zarada Srbije bila do 200 miliona evra na godišnjem nivou.

2. **Gasovod Nabuko** (Nabucco) projekat je od istočne turske granice do čvorišta Baumgarten u Austriji. Njegovu izgradnju bi vodio konzorcijum kompanija iz zemalja kroz koji prolazi cevovod i to: *BOTAS* – Turska, *Bulgargaz* – Bugarska, *Transgaz* – Rumunija, *MOL* – Mađarska, *OMV* – Austrija, *RWE* i verovatno kompanija *GdF Suaz*. Ovaj cevovod je dužine 3300–4000 km od Turske granice do Baumgartena, vredan 7,9 milijardi evra, koji treba da isporučuje 31 milijardu m<sup>3</sup> gasa na godišnjem nivou. Kompanija *Nabucco Gas Pipeline Internacional GmbH* osnovana je 2004. godine, upravo sa ciljem projektovanja i izgradnje gasovoda. Planira se da se gas iz zemalja kaspiskog područja,<sup>90</sup> ali i Egipta ili Sirije dovodi do Austrije. Namera je da se poveže srednji istok i kaspijski region, tačnije Azerbejdžan, Irak, Egipat i potencijalno Turkmenistan, sa evropskim gasnim tržištem. Ovaj gasovod predviđa dva pravca obezbeđivanja potrebnog gasa za svoj projektovani kapacitet, jedan s tursko-gruzijske granice i drugi iz pravca tursko-iračke granice (slika 4.5).



Slika 4.5. Varijanta pravaca Nabuko, Južni tok i konekcije TAP cevoda<sup>91</sup>

Gasovod bi prolazio kroz Tursku, Bugarsku, Rumuniju, Mađarsku i Austriju. Tehničke karakteristike cevovoda: spoljna dimenzija 1422 mm; materijal čelik X-70; debljina zida cevi 20-36 mm; maksimalni protok  $31 \times 10^9$  m<sup>3</sup>/god; maksimalni radni pritisak 10 MPa; njime bi se upravljalo iz dva kontrolna centra, imao bi 11 kompresorski stanica itd. Zamisao ovog projekta je da se obezbedi

Tabela 4.3. SWOT analiza realizacije projekata *Nabuko*<sup>92</sup>

Snaga	Slabost
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diversificirali bi se izvori snabdevanja gasa za Evropu;</li> <li>• Gasovod zaobilazi Ukrajinu;</li> <li>• Povećao bi se ukupni kapacitet snabdevanja Evrope gasom;</li> <li>• Manji troškovi izgradnje u odnosu na Južni tok;</li> <li>• Niža cena transporta gasa u odnosu na Južni tok.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nedostatak dostupnih rezervi zemnog gasa;</li> <li>• Neizgrađena infrastruktura za transport gasa iz Iraka u Evropu;</li> <li>• Politička situacija u Iranu.</li> </ul>
Šansa	Pretnja
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Smanjila bi se dominacija Rusije u uvozu gasa u Evropu;</li> <li>• Otvorila bi se nova radna mesta;</li> <li>• Povezivanje i uspostavljanje boljih političkih odnosa EU i Irana;</li> <li>• Mogućnost dodatnog privrednog razvoja tranzitnih država.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Veliki broj tranzitnih zemalja;</li> <li>• Gradnja gasovoda Južni tok;</li> <li>• Dominantan položaj Gasproma na izvoz gasa iz Kaspiskog regiona;</li> <li>• Gasovod bi prolazio kroz sigurnosno nestabilnu Gruziju.</li> </ul>

Izvor: Sušić D., „Projekti dobave prirodnog plina za Evropu – Južni tok i Nabucco“

<sup>90</sup> Do sada, jedino je Azerbejdžan dao saglasnost da se iz polja *Shah Deniz* isporučuje gas (oko 9 milijardi m<sup>3</sup>).

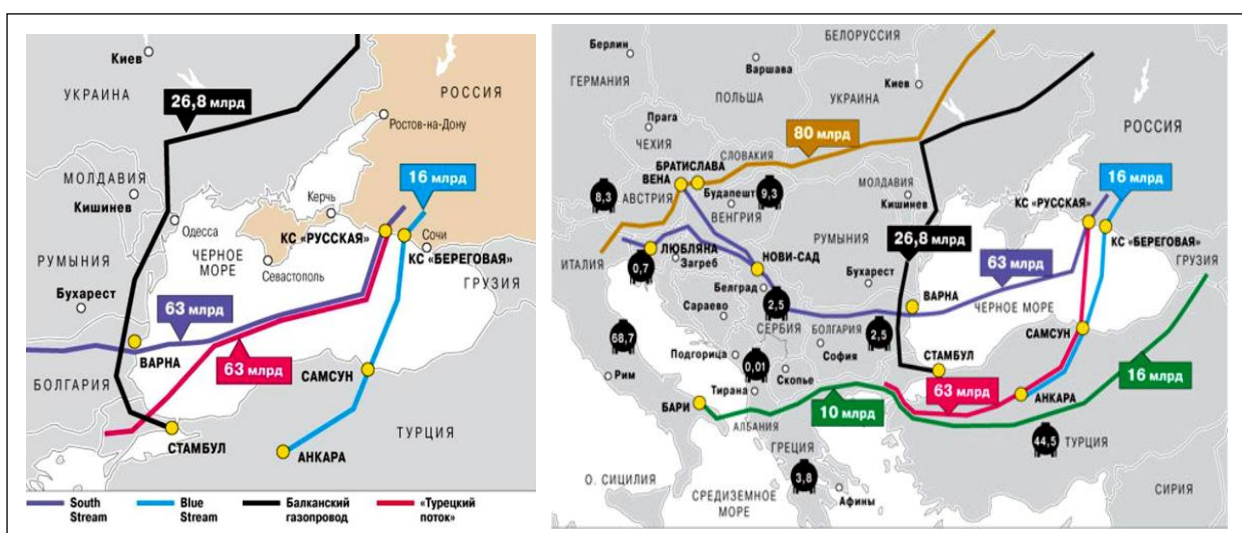
<sup>91</sup> Izvor, više stručnih radova i publikacija iz ove oblasti.

<sup>92</sup> Prema Sušić D., *Projektni dobave prirodnog plina za Evropu – Južni tok i Nabucco*, RGNF, Zagreb, 2011, str. 22.

zemni gas cevovodom za evropsko tržište, nezavisno od Rusije iz ovog područja, u sklopu programa Evropske unije o trans-evropskim energetskim mrežama (tabela 4.3). Ovim gasovodom EU nastoji da smanji energetska zavisnost od Rusije.<sup>93</sup> Ova činjenica zasad predstavlja jedan od osnovnih problema zašto nije uspela da se ugovori potrebna količina energenta za projektovani kapacitet.<sup>94</sup>

Predviđeno je da se ovaj gasovod na granici Turske snabdeva sa polja *Shah Deniz* (Azerbejdžan, udaljenog 780 km) i Turkmenistanskih gasnih polja (preko Trans-kaspijskog gasovoda, 1287 km). Udaljenost od gasnog čvorišta Baumgarten od azerbejdžanske granice iznosi 3250 km, a od turkmenistanske obale na kaspijskom jezeru (preko Trans-kaspijskog gasovoda) 3990 km. Konzorcijum za realizaciju čini: *BOTA'S* (Turska), *Transgaz* (Rumunija), *Mol* (Mađarska), *OMV* (Austrija), *RWE* (Nemačka).

**3. Turski tok.** Ideja za izgradnju ovog gasovoda predstavlja iznuđeno rešenje Rusije u cilju rešavanja novonastale situacije na kraju 2014. godine, u kojoj se našla od strane EU, a tiče se izgradnje Južnog toka u nastojanju da plasira svoj gas na teritoriji Evrope. Ovaj cevovod predstavlja u znatnoj meri zamenu za Južni tok. Ideja o izgradnji ovog gasovoda predstavlja u suštini odgovor Rusije na uslove koje je pred nju postavila EU, a koji su u vezi sa izgradnjom već dogovorenog, projektovanog i ugovorenog gasovoda Južni tok (slika 4.6).<sup>95</sup>



Slika 4.6. Trasa Turskog toka i drugih gasovoda sa količinama namenjenim određenim tržištima<sup>96</sup>

Reč je o direktnom nastojanju obustavljanja izgradnje cevovoda od strane EU,<sup>97</sup> pod prikrivenim plaštom liberalizacije gasnog tržišta EU i utvrđenih uslovima prema 3 energetskej direktivi, vezano za upravljanje gasovodom i raspolaganje nad gasovodom, sa kojim se Rusija nije složila. U pozadini ovakvih zbivanja i odluke su neslaganja i sukobi u vezi sa Ukrajinskim pitanjem, ali i skrivena želja i nastojanje EU da se gas kojim se raspolaže u potencijalnom regionu u celokupnom iznosu usmeri prema centralnoj Evropi, a ne na tržište regiona Balkana.<sup>98</sup> U znatnoj meri pozadinu sprečavanja izgradnje Južnog toka čine političke odluke i želje EU i SAD da se preko njega ostvare druge namere. Nastoji se da se preko ekonomskog slabljenja Rusije ostvare svoji

<sup>93</sup> U pozadini je prikrivena težnja SAD da umanjim izrazim uticaj Rusije u energetskom sektoru velikog broja država EU.

<sup>94</sup> Prema Sušić D. i dr., „Analiza značaja projekta dobave prirodnog plina za Evropu – Južni tok i Nabucco“, *RGV zbornik*, broj 23, Zagreb, 2011, str. 15–24.

<sup>95</sup> Izgradnja samog gasovoda Južni tok bila je već 2014. godine simbolično započeta u nekim zemljama preko kojih je on prema postignutim ugovorima trebalo da se prošire.

<sup>96</sup> Izvor: veći broj različitih ruskih stručnih izvora.

<sup>97</sup> Pored EU, uticaj na zabranu izgradnje imaju i SAD, skrivajući se iza Trećeg energetskeg pakta – skupa zakona. Ovaj dokument EU, usvojen 2009. godine, zabranjuje da isti subjekt poseduje gasovod, da njime isporučuje (transportuje) gas i prodaje ga. U suštini, on zabranjuje proizvođačima gasa da budu vlasnici gasovoda. Prema mišljenju Evropske komisije, ovaj zakon treba da poveća konkurenciju.

<sup>98</sup> Kao dokaz ovoj tvrdnji, navodim podatak o istovremenoj gradnji Severnog toka 2, direktnog povezivanja Rusije i Nemačke. Naknadnom donetom odlukom direktiva se ne odnosi na njega. Njegova izgradnja je izuzeta iz 3 direktive.

politički ciljevi. Jedan od glavni mehanizama vezan je za različite spekulacije sa energentima na svetskom tržištu, ali i sprečavanje izvoza energenata nafte i gasa iz Rusije. U cilju toga, od kraja 2014. godini i u prvoj polovini 2015. godine, cena nafte i gasa je pala na svetskom tržištu. Poznato je da budžet Rusije i njeno poslovanje u znatnoj meri zavise od izvoza energenata.

U samoj suštini, Turski tok predstavlja novu trasu, skraćenog i modifikovanog Južnog toka. Reč je o cevovodu kojim bi se Ruski gas, koji je planiran za transport Južnim tokom, u iznosu od 63 milijarde kubnih metara na godišnjem nivou, doveo preko Crnoga mora do granice Turske i Grčke. Prema informacijama iz Gasproma, ovaj gasovod bi mogle da čine četiri paralelne cevi. Na toj lokaciji zemni gas bio bi ponuđen zainteresovanim kupcima Evrope, koji moraju da izgrade svoj cevni transportni gasovod. Od ukupne količine, od  $63 \times 10^9 \text{ m}^3$  zemnog gasa, Turskoj je namenjeno 16, a ostatak od 47 milijardi  $\text{m}^3$  gasa Evropi.<sup>99</sup> Ovaj gasovod bi se prostirao od 660 km približno projektovanim koridorom Južnog toka, a 250 km novom trasom prema evropskom delu Turske.

Namera Rusije je da se ovim novim gasovodom, preko gasnog čvora na tursko-grčkoj granici, gas dopremi u EU, čime bi se zaobišla Ukrajina, preko koje se gas transportuje u Evropu sa jedne strane, ali i novopostavljeni uslovi EU sa druge strane (slika 4.7). Geostrateški položaj Turske je izuzetan. Njena pozicija na raskršću Evrope, Kavkaza, centralne Azije, Bliskog i Srednjeg istoka veoma je dobra i ona ima veliki potencijal za ulogu značajnog tržišta zemnog gasa u budućnosti. Ona bi imala ulogu čvorišta preko koga bi se vršila tranzitna doprema gasa za Evropu. Mogla bi da ima stratešku ulogu i poziciju partnera EU za alternativni pravac zemnog gasa.



Slika 4.7. Grafička ilustracija turskog toka i njegov položaj u odnosu na druge gasovode<sup>100</sup>

Jedna od potencijalnih mogućnosti ovog gasovoda je da se, od čvorišta na tursko-grčkoj granici, izgradi **gasovod Tesla** do čvorišta Baumgartena u Austriji. Reč je o interkonekciji sa Turskim gasovodom. Preliminarno, njegov kapacitet bi bio od 27 milijardi kubnih metara. Prema prvim predlozima, ovaj cevovod bi prolazio kroz Grčku, Makedoniju, Srbiju i Austriju. Njegova dužina iznosila bi između 1300 i 1400 kilometara. Orijentaciono, cena same izgradnje kretala bi se između 4 i 5 milijardi evra. Od ukupne količine gasa, Srbija bi preuzela 10–12 milijardi kubnih metara. Problem izgradnje ovakvog cevovoda predstavlja način njegovog finansiranja.

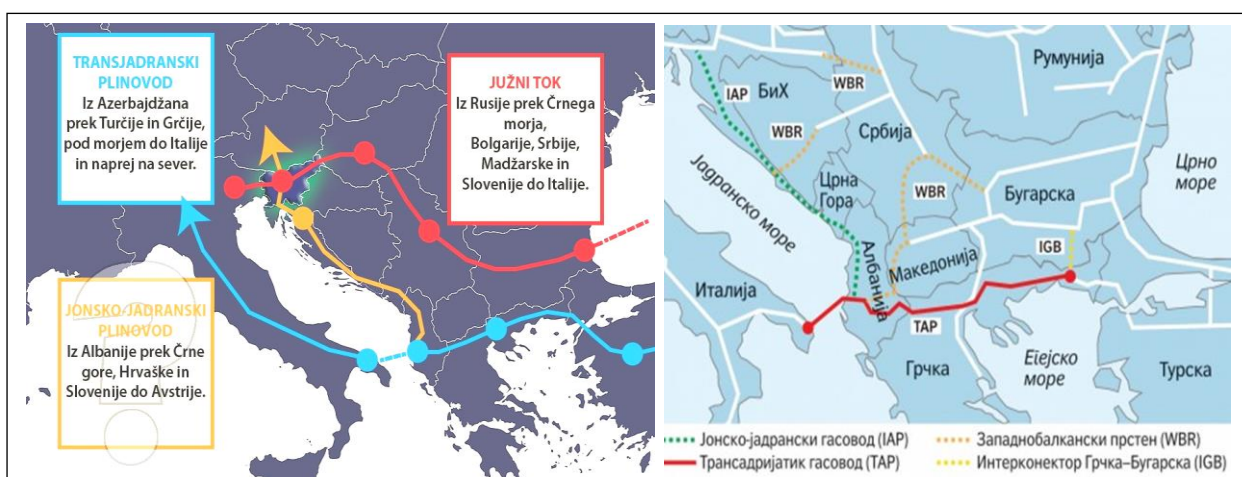
**4. Trans-jadranski cevovod, TAP** (Trans-Adriatic Pipeline). Ovim gasovodom bi se zemni gas iz Karspijskog regiona dostavljao u Evropu. Gas bi se do Turske prenosio gasovodom TANAP, zatim postojećim cevovodom u Grčku (koja je povezana sa Turskom). Polazna tačka gasovoda TAP bi bila u blizini Soluna (Grčka), odakle bi njegova trasa kopnenim putem išla na zapad preko Albanije, do mesta Fier na obali Jadranskog mora. Od mesta Fier cevovod bi išao ispod Jadranskog mora do Brindise u Italiji, gde bi se spojio na već postojeći gasni sistem Italije (slika 4.8). Osnovni cilj TAP gasovoda je povećanje sigurnosti snabdevanja i diversifikacija izvora zemnog gasa za

<sup>99</sup> Potrebno je napomenuti da je Turska drugi najveći kupac zemnog gasa Rusije, izvan zemalja bivšeg SSSR-a, posle Nemačke. Turska je 2014. godine iz Rusije uvezla 27,4 milijarde  $\text{m}^3$  zemnog gasa.

<sup>100</sup> Izvor: grafičke ilustracije iz različitih stručnih časopisa i RT Ruptley.

Evropu. Ovaj gasovod omogućuje otvaranje novog, tzv. Južnog gasnog koridora za Evropu i tržište za plasman gasa iz Kaspijskog regiona (Azerbejdžan, polje *Shah Deniz*) i iz pravca Bliskog istoka.

Ukupna projektovana dužina ovog gasovoda iznosi 880 km (od konekcije na TANAP), a od Soluna do Brindise 520 km. Dužina samo podvodnog dela cevovoda ispod Jadranskog mora iznosi 115 km. Spoljne projektovane dimenzije kopnenog dela cevovoda su 1200 mm (debljina  $s=18\text{mm}$ ), a podmorskog 1050 mm ( $s=25\text{--}36\text{mm}$ ). Radni pritisak je 100 bara (10 MPa). Kapacitet iznosi 10 – 20 milijardi volumenski (prostornih)  $\text{m}^3$  gasa na godišnjem nivou.<sup>101</sup> Najviša tačka gasovoda bi bila na 1800 metara nadmorske visine (u planinama Albanije), a najniža 820 metara ispod nivoa mora. Gasovod bi imao tri kompresorske stanice. Predviđa se i izgradnja podzemnog skladišta u Albaniji, region Durme. Vlasnici gasovoda bi bili: švajcarski *EGL*, norveški *Statoil* i nemački *E.ON Ruhrgas*.<sup>102</sup> Procena je da cena izgradnje gasovoda iznosi oko 1,5 milijardi evra. Cevovod bi gradili i operativno vodili *EGL* (švajcarska kompanija za trgovinu zemnim gasom) i *StatoilHydro*.



Slika 4.8. Cevovodi: Južni tok, Nabuko, konekcija TAP i Jonsko – Jadranski (IAT) cevovod<sup>103</sup>

**5. Jonsko-Jadranski gasovod, IAP (Ionian Adriatic Pipelin).** Ovo je projekat gasovoda koji bi trebalo da se priključi na planirani cevovod TAP (Trans-Adriatic Pipeline, TAP) u Albaniji (mestu Fieri, u blizini luke Vlore) i povezivao bi Albaniju, Crnu Goru, BiH i Hrvatsku duž obale Jadranskog mora. Od ukupnog planiranog kapaciteta gasovoda TAP ( $10\text{--}20 \times 10^9 \text{m}^3$ ) prema Italiji bi išlo  $5\text{--}10 \times 10^9 \text{m}^3$ , dok bi IAP cevovod iz njega preuzimao 5 milijardi  $\text{m}^3$  zemnog gasa godišnje za zemlje Balkanskog poluostrva.<sup>104</sup> Od ukupne količine gasa, koja bi se prenosila cevovodom IAP, za potrebe tržišta Albanije namenjena je 1 milijardi  $\text{m}^3$ , Crnoj Gori 0,5, BiH 1, Hrvatskoj 2,5. Postoji mogućnost, u nekim varijantama,<sup>105</sup> da se ovaj gasovod poveže preko Slovenije sa Austrijom i Italijom (uz obalu Jadranskog mora ili preko Zagreba). Na ovaj način gas bi se mogao dopremiti do srednje i zapadne Evrope. Ukupna dužina cevovoda od Fierija do Splita iznosi 516 km, prečnik cevovoda se kreće u rasponu 800–1000 mm, maksimalni radni pritisak 75 bara (7,5 MPa).<sup>106</sup>

**6. Tursko – grčko – italijanski cevovod (Turkey-Greece-Italy-Pipeline, TGI).** Predviđen je za dopremanje gasa iz Kaspijske regije u Italiju. Ima tri deonice: Turska 210 km (17 km ispod Mramornog mora), Grčka 680 km (Kamotinja do Tesrotijske obale) i 206 km ispod mora (od Tesporotija do italijanske luke Ortanto); projektovani prečnik 0,91 m; kapacitet 11,5 milijardi  $\text{m}^3$  na godišnjem nivou. U Italiju bi se otpremalo 8 milijardi  $\text{m}^3$ , a ostatak bi se plasirao u TAP sa kojim bi bio povezan. Ovaj gasovod bi trebalo da, uz Nabuko i TAP, bude treći gasovod za snabdevanje

<sup>101</sup> Razmatra se mogućnost povećanja dopreme gasa. Opširnije videti, Krstičević T., *Budući razvoj svjetskog tržišta prirodnog plina*, RGNF, Zagreb, 2013.

<sup>102</sup> Opširnije v. u radu Šarić M., *Projekat Jonsko – Jadranskog plinovoda*, RGNF, Zagreb 2011.

<sup>103</sup> Izvor: više stručnih radova i publikacija iz ove oblasti.

<sup>104</sup> Količina koja bi se transportovala prema Italiji zavisi od raspoloživih količina i potražnje.

<sup>105</sup> U varijanti gradnje samo Južnog koridora razmatra se mogućnost da se obezbede veće količine gasa za IAP.

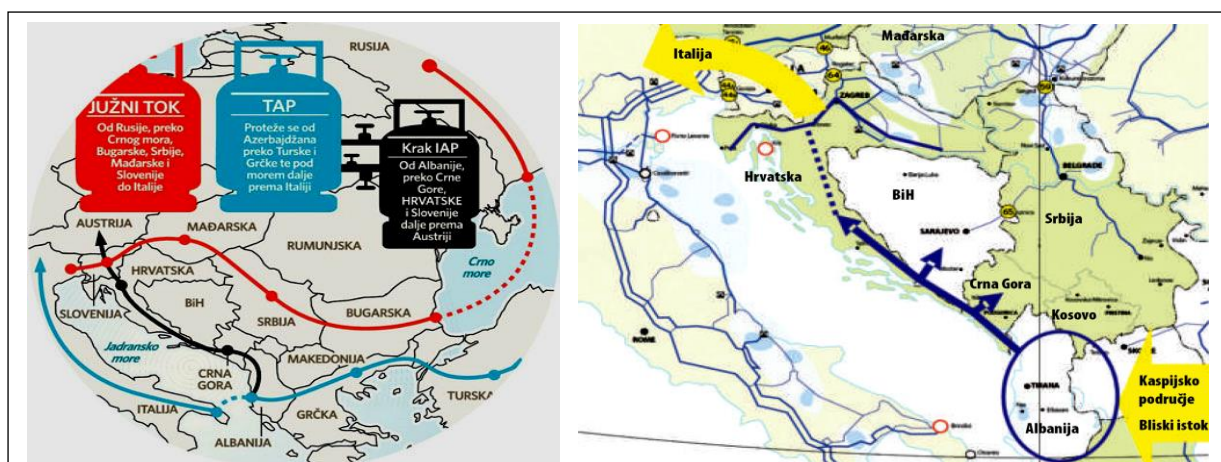
<sup>106</sup> Krhen H., „Projekat Jonsko – Jadranskog plinovoda (IAP)“, *Naučni skup u Opatiji*, 2011.



Evrope. Ovaj gasovod pruža mogućnost diversifikacije izvora snabdevanja Evrope gasom iz Kaspijskog regiona.

**7. Beli tok (White Stream-GLUEU)** je gasovod za koji postoji u razmatranju više opcija za dostave gasa iz kaspijskog regiona. Reč je u prvom redu o opciji transportu gasa iz Azerbejdžana i Turkmenistana, preko Gruzije, Crnog mora i Rumunije, odnosno iz Gruzije, Crnog mora, Ukrajine, Rumunije prema Evropi. Njegov godišnji kapacitet je od 32 milijarde m<sup>3</sup> gasa.

**8. Plavi gasovod (Blue Line)** je, u suštini, mogućnost nastavaka *Blue Stream* toka (Plavi tok) kroz Crno more, u nameri da se gas prenese iz Rusije do Italije, u nastojanju da se zaobiđe Ukrajina (slika 4.9). Ima više planiranih trasa cevovoda.<sup>107</sup> Dužina gasovoda, u varijanti preko Bugarske i Rumunije, iznosi 1213 km, od te dužine ispod mora 390 km. Prečnik cevovoda je 1,4 m na kopnenoj deonici, a 0,61 m u podmorskoj deonici.<sup>108</sup> Kapacitet gasovoda je 16 milijardi m<sup>3</sup> na godišnjem nivou. Planirana je izgradnja i Plavog toka 2 ispod mora, u cilju obezbeđivanja većih potrebnih količina za Italiju.



Slika 4.9. Planirani pravci i količine gasa cevovodima: Južni tok, IAP i TAP<sup>109</sup>

**9. Afrika – Mediteran – Balkan (AMB).** Ovaj gasovod, predstavlja rezultat sagledavanja i analize potencijalne mogućnosti snabdevanja regiona Balkana koji dosad nije razmatran. On je ideja autora ovoga rada, u cilju iznalaženja novih, realnih i potencijalnih mogućnosti dopreme gasa iz novih izvora. Realizacijom strategije izgradnje ovog gasovoda obezbedila bi se značajna diversifikacija u snabdevanju metanom zemalja Balkanskog poluostrva.<sup>110</sup> Veoma značajno je to što bi se ovim cevovodom ostvarilo direktno snabdevanje zemnim gasom država regiona Balkana iz novih izvora i novim transportnim pravcem. Njime bi se obezbedio uvoz gasa iz Libije i Egipta u region Balkana. Trasa ovog gasovoda izbegava teritorije posrednih država, što pruža znatno veći stepen bezbednosti od potencijalnog prekida u snabdevanju, kao i od strane trećih lica. Podvodnim cevovodom preko Mediterana, gas bi se direktno prevezio od kopnene granice na obali Libije i Egipta do Grčke. Od obale Grčke gas bi se kopnom dalje distribuirao cevovodom<sup>111</sup> u zemlje regiona. Gasovod bi bio, u prvom redu, namenjen uvozu gasa samo za zemlje Balkanskog poluostrva i srednje Evrope, sa mogućnošću plasmana viška gasa na tržište centralne Evrope (slika 4.10). Izgradnjom ovog gasovoda i uvozom zemnog gasa iz ovih izvora, obezbedila bi se dodatna veća bezbednost i značajnija samostalnost država Balkana, u odnosu na želje, strategije i interese zemalja zapadne Evrope. Istovremeno, postiže se veća nezavisnost od Rusije, kao glavnog snabdevača uvoznim gasom regiona Balkana.

<sup>107</sup> Prema jednom planu, išao bi preko Turske, Bugarske, Srbije, Hrvatske i Slovenije do krajnjeg odredišta u Italiji.

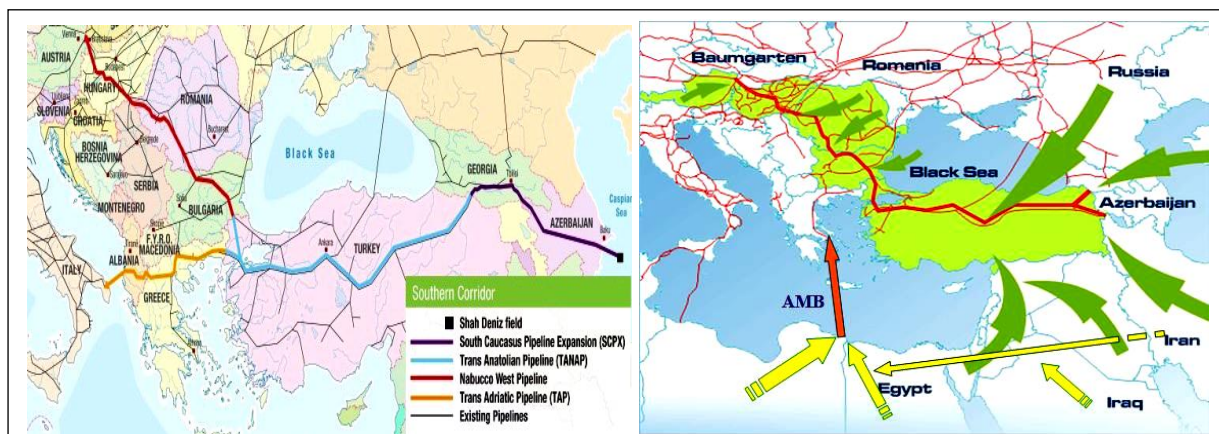
<sup>108</sup> Prečnik cevi bio bi 1,2 m u brdovitim deonicama trase gasovoda.

<sup>109</sup> Izvor: Đurović V., „Jonsko – Jadranski plinovod i njegov potencijal“, *EGE 3*, 2008, str. 100–103, i drugi radovi.

<sup>110</sup> Strategija izgradnje ovog gasovoda, kao predlog projekta novog mogućeg izvora i pravca snabdevanja zemnim gasom država Balkanskog poluostrva, idejni je predlog doprinosa rešavanja problema od strane autora ovog rada.

<sup>111</sup> Potencijalno, preko budućeg Balkanskog gasnog prstena, na koga bi se on konektovao. Moguće i preko TAP, IAP.

Mogući je veći broj različitih varijanti potencijalne trase ovog gasovoda. Pristupi cevovoda na tlu Afrike, za snabdevanje dovoljnim količinama gasa za gasovod, bili bi u dužini od 150 do 250 km (zbirno dva kraka, od gasnih polja Libije i Egipta) do zbirno polaznog mesta gasovoda (u neposrednoj blizini granice između dve zemlje, na obali mora), gde bi na njegovom samom početku bila instalirana kompresorska stanica. Jedna od opcija gasovoda iznosi okvirno oko 590 km. On bi, uslovno u ovoj varijanti, imao tri deonice (segmenta, sekcije). Sa mesta polazne tačke (u blizini mesta Kambuta) na obali Afrike, prva deonica trase gasovoda bi se protezala dnom Sredozemnog mora do Grčkog ostrva Krit (mesto Plakijas). Dužina prve etape cevovoda ispod nivoa mora bila bi u dužini od 380 km. Druga deonica prostirala bi se preko ostrva Krit u dužini od 20 do 30 km (Plakijas – Retimnon), gde bi bila postavljena druga kompresorska stanica. Od ostrva Krit, treća deonica gasovoda, ponovo bi bila postavljena dnom mora u dužini od 180 km do kopna Grčke i mesta Spetes. Gasovod bi se dalje prostirao prema postojećim ili novoplaniranim magistralnim cevovodima na koji bi se konektovao.<sup>112</sup> Spoljne dimenzije kopnenog dela cevovoda bile bi okvirno 1200 mm (debljina  $s=18\text{mm}$ ), a trase ispod nivoa mora 1050 mm ( $s=25\text{--}36\text{mm}$ ). Radni pritisak gasovoda bio bi 100 bara. Gasovod bi imao transportni kapacitet 10–20 milijardi volumenskih (prostornih)  $\text{m}^3$  gasa na godišnjem nivou.<sup>113</sup> Postoji mogućnost da se u drugoj fazi priključe (konektuju) i drugi cevovodi na njega, kojima bi se dopremao gas iz regiona (Iraka, Irana, Kuvajta, Saudijske Arabije, ...) do obale Afrike, u cilju obezbeđivanja većih količina ovog energenta za region Balkana i Evrope.



Slika 4.10. Trasa AMB gasovoda i neki drugi potencijalni cevovodi za snabdevanje Balkana<sup>114</sup>

**10. Gasna interkonekcija**<sup>115</sup> predstavlja međusobno povezivanje gasni sistema dve države<sup>116</sup> cevovodom u cilju diversifikacije i sigurnosti snabdevanja gasom. Na taj način se uspostavlja pouzdaniji transportni sistem za dopremu ovog energenta i pružanje dodatne opcije u rešavanju snabdevanja tržišta. Omogućuje se postizanje diversifikacije, energetske bezbednosti i energetske sigurnosti u snabdevanju tržišta gasom. U sklopu radne grupe za gasno povezivanje centralne i jugoistočne Evrope (CESEC) razmatrano je bolje međusobno povezivanje država regiona Balkana i zemalja centralne Evrope sistemom interkonekcije. Izgradnjom gasne interkonekcije između država omogućuje se doprema već postojećeg gasa, mogući transfer potencijalnog gasa koji bi se dopremao novim planiranim tranzitnim cevovodima, zemni gas preko budućih LNG i CNG terminala.

Smatra se da interkonekcija između susednih zemalja Balkana pruža model po kome može da se razvija budući gasni sektor u regionu.<sup>117</sup> U tom pravcu, potrebno je izgraditi interkonekciju

<sup>112</sup> Ova dužina zavisi od mesta konekcije na drugi cevovod. Da li je reč o: TAP, IAP ili Balkanskom gasnom prstenu.

<sup>113</sup> Kapacitet gasovoda u prvoj fazi iznosio bi 8–12 milijardi  $\text{m}^3$  na godišnjem nivou. Puni radni kapacitet čini jednu četvrtinu ukupnog uvoza regiona. Bez Turske, Mađarske i Austrije pokriva bi celokupni uvoz 2013.

<sup>114</sup> Autor. Gasovod AMB. Njegova pozicija i trasa u odnosu na druge planirane cevovode.

<sup>115</sup> Konekcija znači veza, međusobno povezivanje. U slučaju gasne infrastrukture, pod ovim pojmom se podrazumeva uspostavljanje transportne veze gasnim cevovodom sa susednom državom.

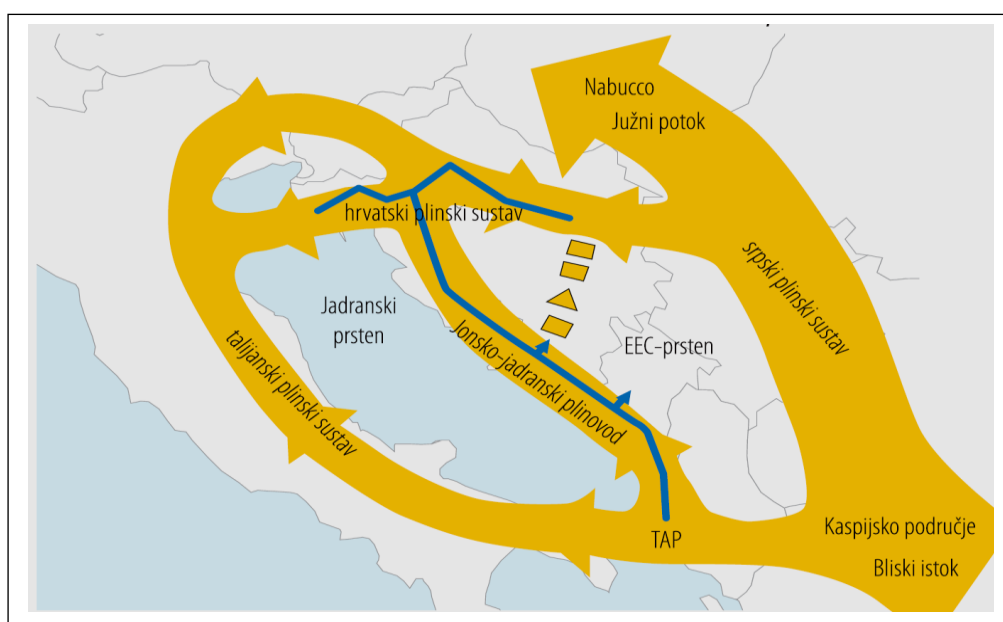
<sup>116</sup> U nekim slučajevima može biti reč i o međusobnom povezivanju većeg broja država.

<sup>117</sup> Sastanak je održan u Dubrovniku (Hrvatska) u julu 2015. Godine, uz prisustvo ministara energetike petnaest država centralne i jugoistočne Evrope.

između Bugarske i Srbije; Grčke i Bugarske; Hrvatske i Mađarske; Hrvatske i Austrije; Hrvatske i Italije; Srbije i Hrvatske. Na taj način bi se ostvarilo bolje povezivanje gasnih sistema država u cilju boljeg i sigurnijeg snabdevanja. Potrebno je realizovati i fazno povećanje kapaciteta sistema za tranzit gasa Bugarske i Rumunije u cilju razvoja novih veza sa susjednim zemljama regiona. Sugerise se na zajedničkom regionalnom pristupu država u sagledavanju, planiranju i realizaciji svih značajnih pitanja i aktivnosti vezanih za energetska bezbednost celokupnog područja u budućnosti.

Planirani gasovod između Srbije i Bugarske imao bi ulogu interkonektora između gasnih sistema dve države. Njegova ukupna dužina iznosila bi 150 km, kapaciteta od 1,8 milijardi kubnih metara godišnje. Gasovod bi se iz Bugarske, preko Dimitrovgrada, povezo kod Niša sa gasnim sistemom Srbije. Sama cena njegove izgradnje ovog trenutka procenjuje se 100–120 miliona evra. Drugi interkonektorski gasni cevovod koji bi povezo Srbiju sa susjednim državama odnosi se na konekciju sa Rumunijom. Ovaj gasovod bi bio u dužini 70–80 km, na deonici od Arada (u zapadnoj Rumuniji, region rumunskog Banata) do Kikinde. Interkonekcija sa Hrvatskom bi se gradila kod Apatina. Srbija do sada ima dve interkonekcije sa susjednim zemljama. Prva konekcija je sa Mađarskom, putem koje se doprema celokupan gas iz Rusije za tržište Srbije i deo za Bosnu. Druga konekcija je sa BiH kod Zvornika, preko koje se otprema gas u susjednu državu. U ovom slučaju Srbija ima ulogu tranzitne zemlje. Razvojem gasne mreže u državama regiona, interkonekcijom i formiranjem gasnog prstena Balkana, pozicija transporta zemnog gasa ima dominantan uticaj na snabdevenost tržišta regiona Balkana.

**11. Gasni prsten Balkana.** Države Balkanskog poluostrva i srednje Evrope nisu međusobno povezane gasovodima na potrebnom nivou. Ovaj koncept je prvi put prezentovan 2007. godine.<sup>118</sup> Izgradnjom transmisijskog prstena direktno bi se povezale: Albanija, BiH, Hrvatska, Srbija, Makedonija, Crna Gora, a putem interkonekcije i sve druge zemlje ovog regiona. Njegovom izgradnjom bi se ostvarilo bolje, pouzdanije, fleksibilnije, sigurnije i bezbednije snabdevanje celoga regiona ovim energentom. Gasni prsten bi omogućio snabdevanje i onih država koje nemaju danas dovoljno razvijenu mrežu, niti pristup uvoznom gasu. Njime bi se ostvario nesmetan protok gasa i njegova trgovina u regionu na višem nivou i obimu. On se može graditi postepeno u fazama. Bio bi povezan ili bi bio deo već postojećeg gasnog sistema zemalja kroz koje prolazi. Planirano je da se on priključi na dosadašnje uvozne pravce (iz Rusije), na buduće gasovode koje prolaze njegovom teritorijom ili u neposrednoj blizini (Nabuko, Južni tok, TAP, IAP, ...), na terminale za LNG, CNG.



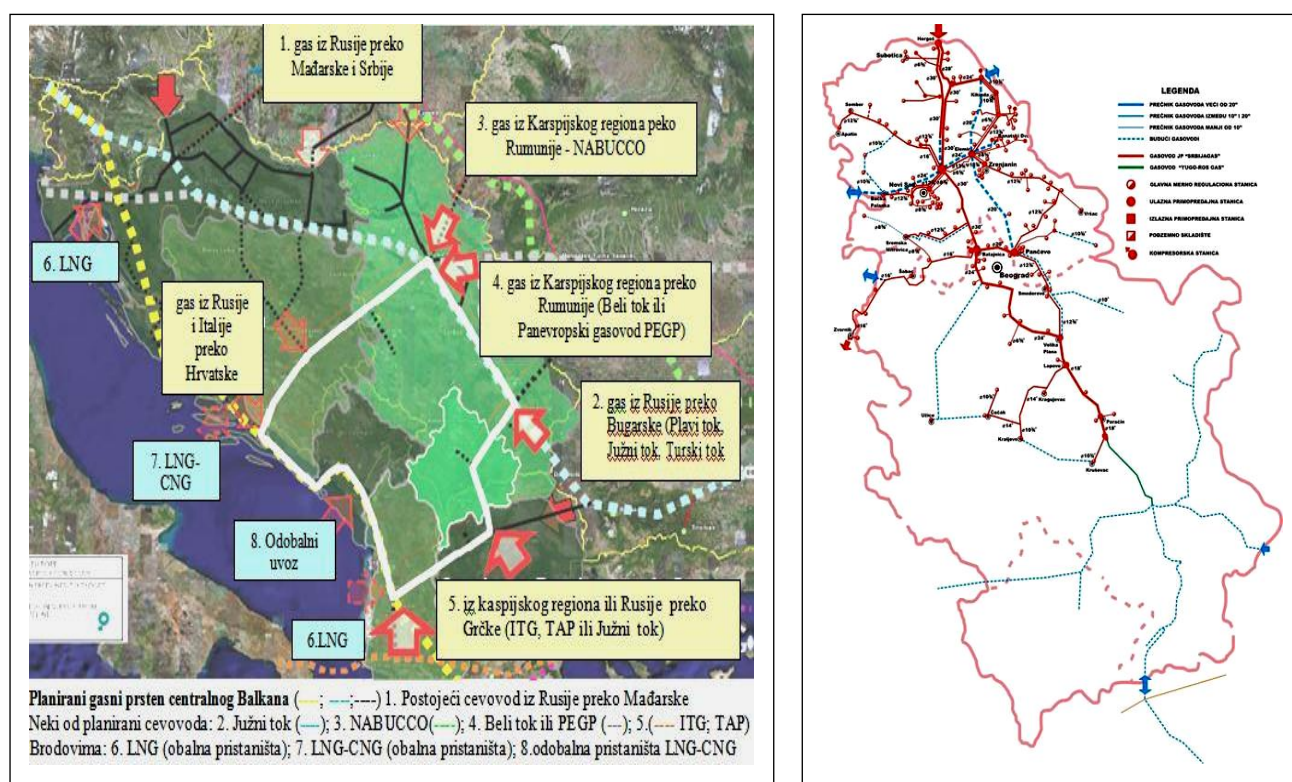
Slika 4.11. Gasni prsten Balkana i povezanost sa nekim od potencijalnih gasovoda<sup>119</sup>

<sup>118</sup> Na Mini-gasnom forumu u Beču 2007. godine.

<sup>119</sup> Izvor: Đurović V., „Jonsko – Jadranski plinovod i njegov potencijal“, *EGE 3*, Zagreb, 2008, str. 100–103.

Izgradnjom jednog ovakvog sistema značajno bi se poboljšala sigurnost i snabdevenost gasom tržišta regiona Jugoistočne Evrope (slika 4.11). Pružila bi se mogućnost za integracije svih zemalja regiona u jedinstveno tržište. Gasni prsten omogućuje dopremanje gasa na tržište povezanih država preko regionalnih transportnih cevovoda koji formiraju prsten, a povezani su s glavnim međunarodnim transportnim cevovodima. Sâm ovaj prsten treba posmatrati kao fizički i virtualni gasovod, koji bi izgradilo i njime upravljalo nekoliko operatora gasnog sistema TSO (eng. Transmission Systems Operator) uz harmonizaciju pravila pristupa sistemu.<sup>120</sup>

Ovaj prsten može obezbediti: 1. Integraciju nacionalnih tržišta u zajedničko tržište zemnog gasa energetske zajednice; 2. Visoku sigurnost snabdevenosti putem pristupa većeg broja izvora i podzemnih skladišta gasa u regionu; 3. Visoku pouzdanost sistema dopreme zbog mogućnosti dopremanja zemnog gasa u bilo koju tačku preuzimanja u prstenu iz alternativnog pravca; 4. Bolju fleksibilnost uravnoteženja na regionalnoj razmeni; 5. Veću diversifikaciju putem dopreme zemnog gasa iz više smerova, što uključuje nove glavne gasovode (Nabuko, Južni tok, Beli tok, TA). Karakteristika Srbije ogleda se i u specifičnosti njenog geografskog položaja. Ona u svom susedstvu ima osam država. Uspostavljanjem gasne povezanosti između zemalja ostvarila bi se ukupna sigurnija i pouzdanija snabdevenost regiona. Zemlje iz okruženja zainteresovane su za međusobnu gasnu interkonekciju. Srbija trenutno ima samo jedan ulazni pravac dotoka gasa iz pravca Mađarske (Horgoš) i jednu izlaznu konekciju prema Bosni (Loznica – Zvornik).<sup>121</sup> Započeta je saradnja Srbije i Bugarske u vezi sa izgradnjom cevovoda Sofija – Niš.<sup>122</sup> Razmatra se izgradnja interkonekcije Srbije sa Rumunijom, Mokrin – Arad, u dužini od 76 km. Sagledava se i mogućnost povezivanja sa: Hrvatskom, Crnom Gorom, BiH (Loznica) i Makedonijom u narednom periodu (slika 4.12).



Slika 4.12. Koncept gasnog prstena zemalja centralnog Balkana i gasovodna mreža Srbije<sup>123</sup>

<sup>120</sup> Pavlović D., *Optimizacija plinskog sustava Republike Hrvatske, integrisanje terminala za ukapljeni prirodni plin*, doktorska disertacija, RGNF, Zagreb, 2011, str. 53.

<sup>121</sup> Planirano je proširenje interkonekcije sa Bosnom, posebno sa R. Srpskom, ukupnog kapaciteta od 1,2 milijarde m<sup>3</sup>.

<sup>122</sup> Dužina gasovoda je 108 km. Ukupna vrednost izgradnje je procenjena na 120 miliona evra. Procenjuje se da bi kapacitet interkonekcije (gasovoda) bio 1,8 milijardi kubnih metara.

<sup>123</sup> Izvor: autor prema *Energy Community* i drugim izvorima, korigovao. Izvor: karte gasovoda Srbije, Ministarstvo energetike Srbije; postojeći i planirani cevovodi u budućnosti.

### 1.1.4. Primer: Okvirno sagledavanje nekih elemenata vezanih za realizaciju izgradnje tranzitnog gasovoda

Na visinu investicionih troškova izgradnje gasovoda utiče veliki broj različitih parametara, činilaca i elemenata vezanih za niz različitih aktivnosti, koje se sprovode u procesu realizacije njegove izgradnje. Reč je o parametrima vezanim za: trasu gasovoda (podzemni, nadzemni ili ispod mora); dužinu gasovoda; prečnik; kapacitet; radni pritisak; potreban broj kompresorskih stanica; konfiguraciju terena; geološku strukturu tla; to da li je reč gasovodu na čijoj se trasi nalaze vodene i infrastrukturne prepreke; dubine na kojima se instalira cevovod (kopnu, moru); cene eksproprijacije zemljišta, opreme i instalacije, kao i cenu čelika tog trenutka; izolaciju; angažovanje radne snage i tehnike; rokove izgradnje; izradu studije izvodljivosti; projekat; tehnike i tehnologije polaganja cevovoda; vreme kada je izvršena realizacija projekta; zakonske odredbe i propise; takse, poreze i dažbine; uticaj države; nivo ekoloških zahteva itd.

Izračunavanje troškova izgradnje jednog tranzitnog ili magistralnog gasovoda je kompleksna aktivnost zbog velikog broja različitih činilaca i elemenata koji učestvuju u realizaciji njegove kompletne izgradnje. Dodatno ovu aktivnost čini još složenijom činjenica da su svi oni istovremeno, najčešće i međusobno, različiti. Ta razlika, između činilaca i elemenata uvek neizostavno postoji, u manjoj ili većoj meri, kod svakog tranzitnog gasovoda koji je do sada izgrađen ili se planira realizacija njegove izgradnje u budućnosti. Tako da, jedino tačno i pouzdano izračunavanje visine troškova i cene izgradnje gasovoda, zahteva detaljan obračun i kalkulaciju za svaki konkretni gasovod koji planira da se gradi. Ovo se sprovodi u okviru studije izvodljivosti i detaljnog projekta.

U praksi postoje različite investicione tabele, koje služe za brzu, grubu i okvirnu procenu potrebnih ulaganja za izgradnju jednog gasovoda. One najčešće iskazuju visinu izdataka za izgradnju jedinice mere cevovoda u odnosu na njen prečnik.

Kao primer i ilustracija kompleksnosti izgradnje i visine ulaganja u jedan gasovod može da posluži sagledavanje samo dela troškova u okviru jednog segmenta u njegove izgradnji. Tačnije, reč je o konkretnom investicionom trošku u fizičku izgradnju samog cevovoda.<sup>124</sup> Ovo prezentovanje može da posluži samo kao trenutna orijentacija za jedan deo troškova, za neke od njegovih konkretnih elemenata. Reč je o troškovima vezanim za čelični gasovod, prečnika od 48" (coli).<sup>125</sup>

Tako da bi ovog trenutka prilikom izgradnje jednog magistralnog ili tranzitnog gasovoda u regionu Balkana, izdaci i troškovi odnosili se na: nabavku cevi 515 evra/m; transport cevi od skladišta do gradilišta (terena, mesta izgradnje) kamionom, 60% cene goriva/km; utovar-istovar 1500 vra/tura; hidroizolacija 50 evra/m; zavarivački radovi 410 evra/spoj; priprema cevi – obrada krajeva 185 evra/spoj; radiografija zavarivačkog spoja sa izveštajem 125 evra/spoj; hidroizolacija zavarenih spojeva 220 evra/spoj; ispitivanje hidroizolacije na elektroprobojnost 75 evra/spoj; mašinski iskop rova 2250x2500 mm 70 evra/m<sup>3</sup>; spuštanje cevi cevopolagačem 150 evra/h/kom; zatvaranje rova, ubacivanje peska i pozor trake 45 evra/ m<sup>3</sup> itd. Ovo je samo deo troškova izgradnje.

$$T = L \times P \times C \times k \quad (4.10)$$

$T$  = Trošak izgradnje tranzitnog ili magistralnog gasovoda;  $L$  = dužina gasovoda (izražena u metrima);  
 $P$  = prečnik cevovoda (izraženo colima); koeficijent  $C$  = cena 10 kg čelične cevi (izraž. u n. jedin.);  
 $k$  = koeficijent izgradnje – kreće se od 1 do 1,4 (zavisi od uslova izgradnje; težine iskopa tla (zemlja, šljunak, kamen, stena); vodenih prepreka; cene eksproprijacije zemljišta; visinske razlike duž trase gasovoda; angožavanja radnih mašina; angožovanja radnika itd.)

Zbog potreba i zahteva, a u cilju bržeg sagledavanja i izračunavanje visine investicionih ulaganja u izgradnju jednog tranzitnog ili magistralnog gasovoda, sami troškovi izgradnje mogu se

<sup>124</sup> Reč je o delu investicionih troškova, jednog od segmenta u ukupnoj izgradnji tranzitnog gasovoda.

<sup>125</sup> Dimenzije cevovoda od 48 coli je fi 1219 x 12,7mm.

grubo izračunati. Na osnovu empirijskog istraživanja, trenutno je moguće okvirno izračunati troškove izgradnje tranzitnog kopnenog cevovoda pomoću odgovarajućih metoda i pristupa, bez troškova za kompresorske stanice duž trase gasovoda i kancelarijskih objekata.<sup>126</sup> Za okvirno sagledavanje visine finansijskih troškova ( $T$ ) izgradnje jednog tranzitnog ili magistralnog cevovoda, koji se prostire ispod nivoa zemlje, može se uslovno koristiti i jedna od formula (4.10), u cilju grubog izračunavanja cene.<sup>127</sup>

Na konkretnom primeru, danas prema ovoj formuli, trošak izgradnje 1 km cevovoda, pri ceni čelične cevi od 1,2 evra/kg, u najpovoljnijim uslovima izgradnje (koeficijent  $k=1$ ), cena izgradnje prečnika od 54 cola je 576000 evra ( $T=1000 \times 48 \times 12 \times 1 = 576000$ ). Kod izgradnje cevovoda, istim parametrima, ali pri koeficijentu izgradnje  $k=1,3$ , trošak izgradnje iznosi 748800 evra. Više sprovedenih studija pokazuju da se ukupni troškovi izgradnje jednog cevovoda, sastoje iz tri procentualno podjednaka dela. Tako da su troškovi izgradnje cevovoda, podeljeni na sledeća ulaganja: materijal, radnu snagu i druge izdatke (ostalo).<sup>128</sup> U periodu od 1993. do 2004. godine, troškovi izgradnja cevovoda u svetu, nisu imali značajniji rast. Naredne dve godine, došlo je do značajnog porasta cene izgradnje, koja je eskalirala 2006. godine. U prvom redu, kao opravdanje povećanja izgradnje cevovoda navodio se porast cene čelika na svetskom tržištu. Taj iznos porasta cene čelika i njegovog učešća u ukupnom trošku izgradnje gasovoda mnogo je manji od visine krajnje cene.

Tabela 4.4. Cena izgradnje cevovoda<sup>129</sup>

Prečnik (inch)	Cena izgradnje cevovoda (\$/km)	Jedinična cena \$/m
12	160 340	496
16	202 765	506
20	245 200	462
28	330 050	464

Izvor: *Oil & Gas Journal*Tabela 4.5. Inves. ulaganja u komp. stanicu<sup>130</sup>

Instalisana snaga (kW)	Cena izgradnje (\$/kW)
992	2924
3234	1972
6615	1876
10290	1632

Izvor: *Oil & Gas Journal*

Danas se u svetu susreću veoma različiti iskazani iznosi cene projekata i izgradnje, istih ili sličnih gasovoda.<sup>131</sup> Međusobne razlike su značajne, iako je reč o istom posmatranom vremenskom periodu njihove gradnje. Veoma često u tim slučajevima, veća finansijska odstupanja i iskazani krajnjih troškovi nisu rezultat ekonomskih faktora, već niza drugih činilaca u njihovoj izgradnji.<sup>132</sup>

<sup>126</sup> Autor. Reč je o okvirnom, uslovnom i grubom izračunavanju troškova izgradnje cevovoda. Ova formula, rezultat je rada i istraživanja autora na ovoj tezi. Formirana je na osnovu sprovedenih istraživanja i nekih od dostupnih stavova. Sagledavanje nekih od načina, postupaka i metoda, sagledavanje okvirnog empirijskog izračunavanja cene izgradnje cevovoda, koji se koriste u praksi, poslužile su za njeno formiranje. Izračunavanje cene cevovoda na ovaj način ne obuhvata investiciju u kompresorske stanice. Provera uslovne tačnosti i ispravnosti jednačine urađena je na osnovu nekih dostupnih cena već izgrađenih cevovoda (dimenzija, kapaciteta) u praksi: na različitim lokacijama u više zemalja. Cena je izražena u evrima, ali može da se primenjuje kod obračuna u bilo kojoj drugoj novčanoj valuti.

<sup>127</sup> Porast cene čelika poslužio je samo kao opravdanje za iskazane visoke troškove i neopravdano ostvarivanje visokih ekstra profita. Svi izdaci na kraju su ugrađeni u prodajnu cenu gasa.

<sup>128</sup> U druge izdatke ubrajaju se troškovi za: inženjering, geodetske radove, administraciju, zaštitu životne sredine.

<sup>129</sup> Ilustrativni prikaz cena. U drugoj koloni iskazana je cena izgradnje 1 km cevovoda u zavisnosti od njegovog prečnika. U trećoj koloni iskazan je odnos cene izgradnje metra cevovoda u odnosu na prečnik metra dužine. Vidljivo je da porastom prečnika cevi opada jedinična cena izgradnje u odnosu na cenu izgradnje cevovoda. Reč je o ceni u SAD 1990. god. Približno je bila cena i u Evropi. Posle 1992. došlo je do porasta cene izgradnje. (*Oil & Gas Journal*)

<sup>130</sup> Ilustrativni prikaz cena. U tablici su iskazana investiciona ulaganja u kompresorsku stanicu. Porastom instalisane snage (kW) kompresorske stanice, opada cena izgradnje po jedinici instalisane snage. Cene se odnose na SAD 1992. Danas su ove cene različite, ali se međusobni odnos između prečnika zadržao. (*Oil & Gas Journal*)

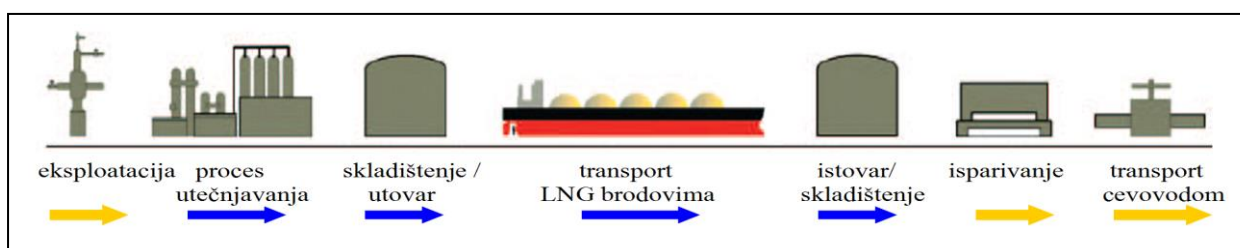
<sup>131</sup> Iako je reč o istim ili sličnim parametrima (pritisak, kapacitet) i o distancama, u praksi su cene značajno različite.

<sup>132</sup> U većini slučajevima, povećanje cene nije odraz ekonomskih, već najčešće „zakulisnih aktivnosti“ direktnih i indirektnih učesnika u realizaciji izgradnje gasovoda. U prilog takvom finansijskom manipulisanju i neosnovanom „pumpanju cene izgradnje“ išla je činjenica porasta cene energenata (gasa i nafte) na tržištu. Ova činjenica služila je kao paravan za pokriće neopravdano visokih troškova i ekstra bogaćenje različitih aktera, na račun krajnjih potrošača.

## 1.2. Savremena rešenja prevoza gasa u tečnom stanju brodovima kao jedno od efikasnih rešenja za bolju snabdevenost tržišta Balkana

Jedan od oblika prevoza zemnog gasa, s ciljem efikasnog snabdevanja velikim količinama tržišta ovim energentom na globalnom nivou, može da bude njegov prevoz u tečnom agregatnom stanju. Kod primene ovog načina prenosa zemnog gasa, najčešće je reč o najdužoj prostornoj distanci na transportnom putu ovog energenta, od mesta proizvodnje do krajnje potrošnje. Ovaj „savremeni vid“ dopreme gasa danas ima sve značajniju ulogu i poziciju u svetskoj trgovini. Trenutno se na svetskom tržištu preko 30% ukupne godišnje trgovine zemnim gasom obavlja u njegovom tečnom stanju.<sup>133</sup>

Osnovne aktivnosti klasičnog lanca transporta tečnog zemnog gasa specijalno namenjenim brodovima su: utečnjavanje (prevođenje iz gasovitog u tečno agregatno stanje) gasa, skladištenje tečnog gasa u kriogenim skladištima (rezervoarima), utovar tečnog gasa na brodove, prevoz tečnog zemnog gasa brodom, istovar tečnog gasa sa broda, skladištenje tečnog zemnog u kriogenim skladištima i isparavanje (prevođenje u gasovito agregatno stanje) gasa (slika 4.13).



Slika 4.13. Lanac snabdevanja tečnim zemnim gasom (TZG – LNG)<sup>134</sup>

Sâm lanac snabdevanja velikim količinama gasom u tečnom stanju, specijalno konstruisanim brodovima, uslovno čine tri segmenta, u okviru njega (tabela 4.6), kao jedinstvene celine lanca dostave: 1. Utečnjavanje sa skladištenjem; 2. Transport brodom i 3. Skladištenje sa isparavanjem. U okviru svakog od ovih segmenata realizuje se niz različitih procesa, aktivnosti i operacija.

Tabela 4.6. Aktivnosti u okviru segmenata lanaca snabdevanja tržišta tečnim zemnim gasom

Segment	Utečnjavanje	Transport	Isparavanje
Aktivnosti	Prijem gasa; prečišćavanje; utečnjavanje; skladištenje.	Prijem broda; manipulacija utovara; prevoz gasa; prijem broda i istovar.	Skladištenje; Isparavanje; otprema gasa. <sup>135</sup>

### 1.2.1. Savremena tehnička rešenja utečnjavanja gasa u funkciji boljeg, pouzdanijeg i efikasnijeg snabdevanja tržišta gasom

Proces prevođenja (utečnjavanja) zemnog gasa iz gasovitog u tečno agregatno stanje obuhvata aktivnosti prečišćavanja, utečnjavanja i skladištenja. Sam proces utečnjavanja ovog energenta realizuje se na ekstremno niskim temperaturama. Neka jedinjenja i sastojci iznad određene

<sup>133</sup> Ukupna trgovina zemnim gasom 2012. bila je 1033,4 milijardi metara kubnih, a 327 milijardi metara od toga u tečnom agregatnom stanju (LNG), što predstavlja 31,17%. Japan 97% svojih potreba za zemnim gasom podmiruje iz uvoza. Sav gas koji uvozi, doprema u tečnom agregatnom stanju kao –LNG (TZG).

<sup>134</sup> Autor, na osnovu više stručnih izvora. Tečni zemni gas (TZG) ili engleski *Liquefied Natural Gas* (LNG).

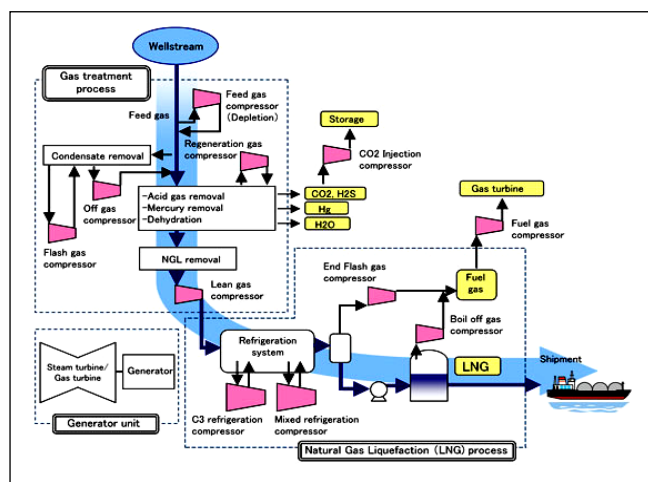
<sup>135</sup> U klasičnom lancu snabdevanja LNG podrazumeva se da se tečni zemni gas, koji je dopremljen brodom, dalje nakon isparivanja, isporučuje u gasovitom stanju potrošaču. To ne mora uvek da bude tako. Neki se kupci dalje snabdevaju gasom iz prihvatnih terminala u tečnom stanju: kamionskim i železničkim cisternama, palet tankovima, kontejnerima.

koncentracije stvaraju probleme u proizvodnji, transportu, skladištenju i potrošnji tečnog zemnog gasa. Iz tog razloga, potrebno je da se on pre samoga utečnjavanja prečisti. Prečišćavanjem se iz zemnog gasa odstranjuju određeni sastojci, koji se nalaze u prekomernoj nedozvoljenoj koncentraciji. Nakon prečišćavanja, primenom jednog od tehnološki procesa, gas se utečnjava. U sklopu segmenta utečnjavanja, kao dela lanca snabdevanja tržišta tečnim zemnim gasom, nakon samog utečnjavanja, skladišti se u kriogenim sudovima.<sup>136</sup>

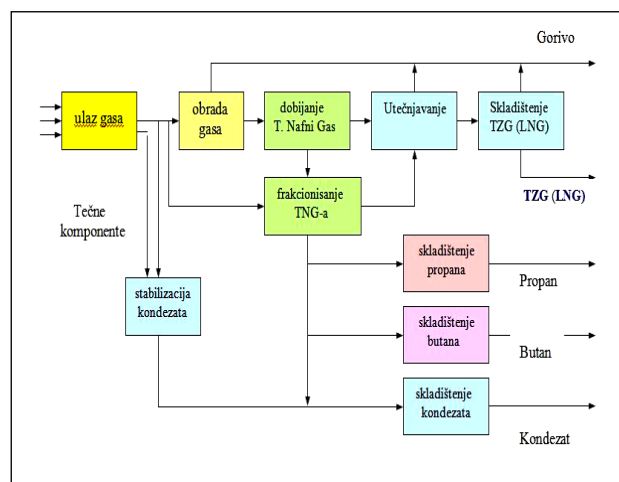
### 1.2.1.1. Proces prečišćavanja zemnog gasa u funkciji njegovog utečnjavanja

Neželjeni sastojci, koji stvaraju probleme tehnološkom procesu utečnjavanja i daljim aktivnostima sa zemnim gasom, jesu: voda, ugljen-dioksid, sumpor-dioksid, živa, teži ugljovodonici. Sve te neželjene nečistoće i komponente mogu se grupisati u četiri grupe: komponente koje prelaze u čvrsto stanje prilikom utečnjavanja ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , teški ugljovodonici); toksične komponente ( $\text{H}_2\text{S}$ ); korozivne i erozivne komponente (živa, čvrste čestice); inertne komponente (azot, helijum).

Samo prečišćavanje zemnog gasa potrebno je realizovati pre njegovog utečnjavanja. To se sprovodi zbog mogućnosti da određene nečistoće mogu da prouzrokuju neželjene efekte u toku samog tehnološkog procesa utečnjavanja, ali i prilikom daljih aktivnosti vezanih za njegov prevoz i skladištenje (slika 4.14). Zato će se, kao prva etapa u procesu utečnjavanja ovog energenta, vršiti njegovo prečišćavanje. Proces prečišćavanja se realizuje u nekoliko koraka (slike: 4.15 i 4.16).



Slika 4.14. Šema prerade, utečnjavanja i otpreme zemnog gasa u funkciji LNG lanca<sup>137</sup>



Slika 4.15. Dijagram prerade i proizvodnje tečnog zemnog gasa (TZG (LNG))<sup>138</sup>

Etapa prečišćavanja u procesu separacije gasa obuhvata stabilizaciju kondenzata i otklanjanja svih nečistoća. Prvo se odstranjuje voda i teži ugljovodonici, koji se u cevovodima, kojima se doprema fluid u gasovitom stanju, nalaze u formi kapi. Prečišćavanje se realizuje u separatorima za odstranjivanje tečne od gasne faze. Gas se hladi do temperature od nekoliko stepeni ispod nule, dalje se kondenzuje voda i tečni ugljovodonici. U sledećem koraku, odvajaju se kiseli gasovi,  $\text{CO}_2$  i sumpor-dioksid. Uklanjanje kiselih gasova sprovodi se tehnološkim procesima, koji se dele na: hemijsku apsorpciju, fizikalnu apsorpciju, fizikalno-hemijsku apsorpciju i apsorpciju.<sup>139</sup>

Nakon ove etape zemni gas se suši. Odvaja se iz njega najčešće vodena para, kojom je u ovoj fazi zemni gas uglavnom zasićen. Sušenje se može postići: hlađenjem do dovoljno niske temperature, apsorpcijom (silikagel, dietilenglikolaks...). Zemni gas koji ide na utečnjavanje mora da

<sup>136</sup> Detaljna prezentacija rezervoara i skladištenja tečnog zemnog gasa, u okviru segmenta utečnjavanja i isparivanja, biće prikazana u drugoj tački ove glave.

<sup>137</sup> Izvor: više stručnih radova i publikacija iz ove oblasti.

<sup>138</sup> Autor na osnovu većeg broja stručnih radova iz ove oblasti.

<sup>139</sup> Opširnije o ovim postupcima v. u uže stručnim radovima, vezanim za tehnologiju prečišćavanja gasa.

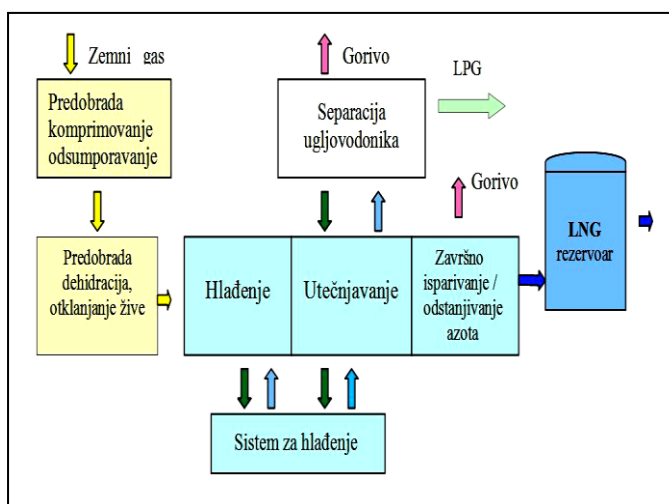


sadrži: manje od 1 ppm vode, manje od 50 ppm CO<sub>2</sub>, sumpor-dioksida do 4 ppm, žive manje od 10 ng/m<sup>3</sup>, težih ugljovodonika manje od 1000 ppmv, aromata manje od 10 ppm, merkaptana 0. Nakon prečišćavanja i dovođenja gasa na potreban nivo čistoće, zemni gas ide na utečnjavanje.

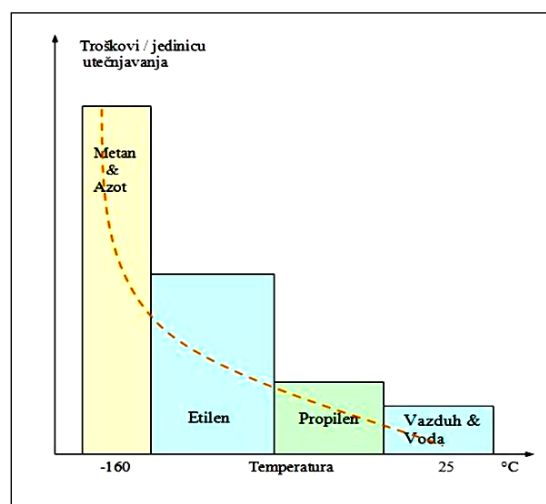
Postoje dve metode za utečnjavanje zemnog gasa.

1. Prva metoda utečnjavanja se zasniva na njegovom dovođenju u kritično stanje. Kritično stanje je stanje u kome zemni gas prelazi iz svog gasovitog u tečno agregatno stanje. To stanje zemnog gasa se nalazi na temperaturi od -82°C i pritisku od 4,63 MPa (46,3 bara).
2. Druga metoda utečnjavanja se bazira na snižavanju temperature ovog energenta ispod njegove tačke utečnjavanja (vrelišta) na atmosferskom pritisku. Tačka utečnjavanja zemnog gasa na atmosferskom pritisku iznosi -161,5°C.

Opšte je pravilo da su troškovi hlađenja obrnuto proporcionalni temperaturi koju treba ostvariti (slika 4.17). Dakle, što je temperatura koju treba postići niža, troškovi su veći po jedinici hlađenja. Cilj procesa utečnjavanja je ostvariti što je moguće niže troškove hlađenja. Prva metoda je ekonomski nepovoljnija (zbog visokih troškova vezanih za hlađenje i kompresiju), tako da se danas u praksi primenjuje druga metoda.



Slika 4.16. Blok-šema procesa utečnjavanja zemnog gasa kao segmenta lanca<sup>140</sup>



Slika 4.17. Troškovi po jedinici utečnjavanja u zavisnosti o temperature hlađenja<sup>141</sup>

Realizacije druge metode, snižavanje temperature zemnog gasa do temperature utečnjavanja, postiže se na dva načina: a) postupkom ekspandiranja i b) korišćenjem rashladnog sredstva.

- a) Postupak hlađenja i snižavanja temperature zemnog gasa ekspanzijom se realizuje na taj način što se povećava pritisak do određenog nivoa, a zatim naglo obara (ekspandira). Ovaj proces ima svoja mehanička i termodinamička ograničenja.<sup>142</sup> On je znatno ekonomski nepovoljniji i nije u upotrebi.
- b) Kod drugog načina, hlađenje se bazira na rashladnom ciklusu koji se ostvaruje pomoću rashladnog sredstva.<sup>143</sup> Tehnologija utečnjavanja se bazira na ciklusu hlađenja, kod koga rashladno sredstvo „odnosi“<sup>144</sup> toplotu zemnog gasa. Fluid koji služi kao rashladno sredstvo stalno je u neprestanom ciklusu ekspanzije i kompresije. Ovaj način se koristi u praktičnoj primeni u različitim procesima utečnjavanja.

Danas se, u praktičnoj primeni, za utečnjavanje zemnog gasa koristi metoda koja se bazira na snižavanju temperature ispod tačke utečnjavanja na atmosferskom pritisku primenom rashladnog

<sup>140</sup> Autor, prema Mokhatab S., Economides, M.J., „Onshore LNG Production Process selection“, *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, San Antonio, Texas, U.S.A., 2006, SPE's eLibrary, 102160, pages 1–10.

<sup>141</sup> Autor. Grafička ilustracija prema radu Choi M., „LNG FOR Petroleum Engineers“, paper SPE 133722, presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Florence, Italy, 2010.

<sup>142</sup> Kod većine procesa povećanje pritiska je moguće od 40 do 83 bara.

<sup>143</sup> Kao rashladno sredstvo mogu da se koriste različiti medijumi (vazduh, voda, propan, etilen, azot, metan, ili njihova kombinacija) u zavisnosti od opsega hlađenja i vrste procesa koji se primenjuje.

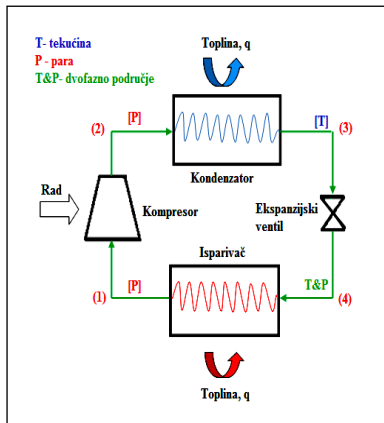
<sup>144</sup> Preuzima, prenosi, odvodi višu temperaturu sa zemnog gasa, a predaje svoju nižu. Razmenjuje se temperatura.

sredstva. Primena rashladnog sredstva za hlađenje i utečnjavanje zemnog gasa postiže se putem jednog od savremenih procesa.

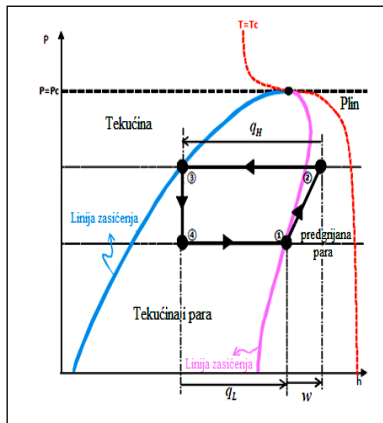
Nastoji se da se projektuje i realizuje takav proces utečnjavanja zemnog gasa kod koga postoji usklađenost krive hlađenja/zagrevanja između zemnog gasa koji se hladi i medijuma za hlađenje, s ciljem postizanja što većeg stepena efikasnosti i nižih troškova hlađenja, a samim time i veće ekonomičnosti. Ovo se postiže ostvarivanjem minimalno potrebne temperaturne razlike za postizanje prenosa (razmene) toplote između zemnog gasa i rashladnog sredstva. Rashladno sredstvo svakog trenutka treba da ima nižu temperaturu. Na ovaj način se postiže najveći stepen termodinamičkog učinka i najniži troškovi po jedinici utečnjavanja. Manja temperaturna razlika između dva činioca uslovljava primenu što veće aktivne površine samog izmenjivača, s ciljem što bolje razmene temperature i hlađenja. Proces samog utečnjavanja gasa ima tri faze (područja, segmenta): pred hlađenje, utečnjavanje i podhlađivanje.

Osnovu procesa utečnjavanja zemnog gasa čini rashladni ciklus utečnjavanja. Najjednostavniji rashladni proces se realizuje kroz četiri koraka (slika 4.18). Odvijanje rashladnog ciklusa može da se sagleda i kroz fazni dijagram (slika 4.19).<sup>145</sup> Rashladni ciklus se realizuje pomoću kompresora, kondenzatora, ekspanzijskih ventila i isparivača. Svi načini utečnjavanja gasa se u osnovi baziraju na ovom principu. U praksi dolazi do: promene konfiguracije ciklusa, primene različite količine opreme (broja delova, njihovog povezivanja).

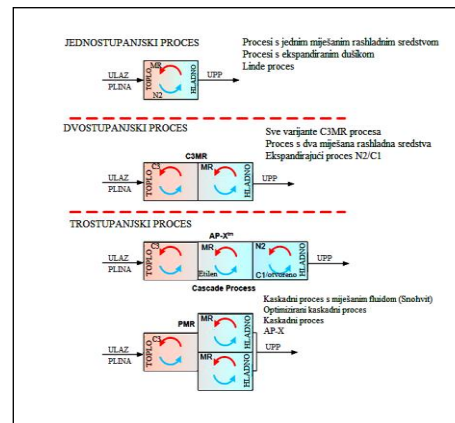
Sami procesi utečnjavanja se međusobno razlikuju prema broju rashladnih ciklusa, vrsti rashladnog sredstva, promeni pritiska u projektovanim ciklusima. Broj ciklusa u okviru jednog tehnološkog procesa utečnjavanja zemnog gasa je ključni faktor. U svetu sva velika postrojenja za utečnjavanje gasa primenjuju procese koji imaju dva ili veći broj rashladnih ciklusa (slika 4.20).<sup>146</sup> Posmatrano sa ekonomskog aspekta, po pravilu najčešće je najisplativije ono postrojenje kod koga je moguće povećati njegov kapacitet utečnjavanja bez povećanja broja ciklusa. Samim povećanjem broja ciklusa povećava se složenost opreme i potrebnog prostora za njegovo instaliranje.



Slika 4.18. Šema rashladnog procesa gasa<sup>147</sup>



Slika 4.19. Rashladni ciklus u faznom dijagramu<sup>148</sup>



Slika 4.20. Proces utečnjavanja sa različitim brojem ciklusa<sup>149</sup>

### 1.2.1.2. Savremeni procesi utečnjavanja zemnog gasa u funkciji prevoza

Danas u svetu postoji veliki broj različitih tehnoloških procesa za utečnjavanje zemnog gasa. Među njima, najznačajniji su: 1. Proces s mešanim rashladnim sredstvom uz podhlađivanje

<sup>145</sup> Opširnije i detaljnije o samom rashladnom procesu i faznom dijagramu v. u uže stručnim radovima iz ove oblasti.

<sup>146</sup> Sagledavanje procesa hlađenja u zavisnosti od broja ciklusa v. detaljnije u uže stručnim radovima iz ove oblasti.

<sup>147</sup> Izvor: više stručnih radova i publikacija iz ove oblasti.

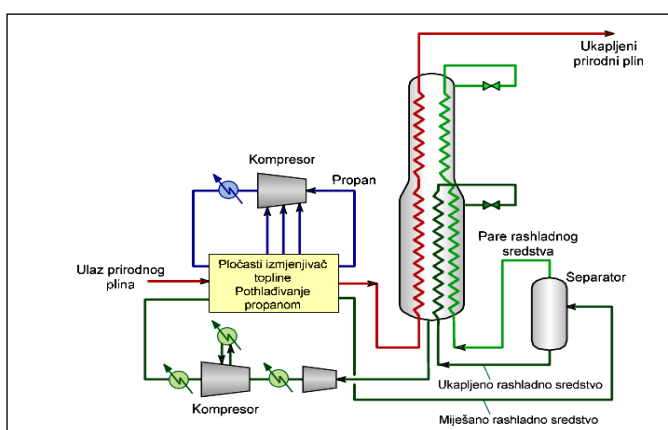
<sup>148</sup> Izvor: Jihyungu (2012), preuzeto iz većeg broja stručnih radova.

<sup>149</sup> Izvor: Barclay, M., Shukri T., „Enhanced single mixed refrigerant process for stranded gas liquefaction“, 15th International Conference&Exhibition on Liquefied Natural Gas, Barcelona, Spain, 2007, preuzeto od Galešić Z., Koptena i odobalna postrojenja za ukapljivanje prirodnog plina, RGN Fakultet, Zagreb, 2013, str. 20).

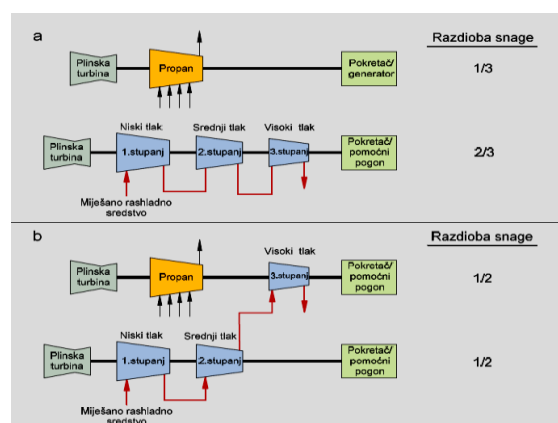
propanom; 2. Modifikovani procesi s mešanim rashladnim sredstvom uz podhlađivanje propanom; 3. AP-X proces; 4. Optimizarni kaskadni proces; 5. Kaskadni proces sa mešovitim fluidima, 6. Proces s dva mešovita rashladna sredstva, 7. Proces s mešovitim rashladnim sredstvom; 8. *Prico* proces; 9. Proces s turbo ekspanderom; 10. Liquefin proces.<sup>150</sup>

### 1. Proces s mešanim rashladnim sredstvom uz podhlađivanje propanom (C3MR).

Proces utečnjavanja metana pomoću mešanog rashladnog sredstva uz podhlađivanje propanom naziva se i C3MR proces.<sup>151</sup> Sam proces je razvila kompanija *Air Products & Chemicals Int.* (APCI) i danas se on, najčešće, primenjuje u praksi u postrojenjima za utečnjavanje. Njegova primena se može prilagoditi različitom sastavu ulaznog gasa i koristiti u različitim ekstremnim uslovima.<sup>152</sup> Tehnološki, proces se zasniva na dva glavna ciklusa hlađenja i dve vrste različitog rashladnog sredstva. U prvom ciklusu, čist propan se koristi kao rashladno sredstvo za utečnjavanje zemnog gasa, a u drugom ciklusu mešavina više gasova<sup>153</sup> ima funkciju rashladnog sredstva. Tehnička rešenja ovog procesa vremenom su se razvijala i unapređivala, tako da su dostigla maksimalni mogući kapacitet utečnjavanja LNG na godišnjem nivou.<sup>154</sup> Maksimalni kapacitet postrojenja uslovljen je ograničenjima vezanim za izmenjivače toplote.<sup>155</sup>



Slika 4.21. Proces sa mešanim rashladnim sredstvom uz podhlađivanjem propanom<sup>156</sup>



Slika 4.22. Razlika između C3MR i C3MR/Split procesa<sup>157</sup>

U prvom ciklusu, upotrebom propana kao rashladnog sredstva, temperatura gasa koji se utečnjava spušta se do  $-35^{\circ}\text{C}$ , putem stepena promene pritiska 3 do 4 četiri puta (slika 4.21). Nakon toga, u drugom glavnom ciklusu, gas prolazi kroz cevi spiralnog izmenjivača toplote<sup>158</sup> gde se pomoću rashladnog sredstva utečnjava i dohlađuje (drugi ciklus utečnjavanja). U ovom drugom ciklusu, pre ulaska u izmenjivač toplote, u separatoru se razdvajaju komponente mešanog rashladnog

<sup>150</sup> Detaljnije u nastavku ovoga rada biće prezentovano: funkcionisanje, karakteristike, kapaciteti, šeme.

<sup>151</sup> Ovaj proces se u literaturi najčešće naziva C3MR proces. Njega je razvila kompanija *Air Products & Chemicals Int.* (APCI). Prvi put se upotrebio u Alžiru 1972. Njegova dominacija počinje krajem sedamdesetih godina XX veka.

<sup>152</sup> Na osnovu Simon K. i dr., „Pregled procesa ukapljavanja prirodnog plina“, RGN Zbornik, br. 21 Zagreb, 2009.

<sup>153</sup> Mešavinu za hlađenje čine gasovi: etan (50%), metan (27-30%), propan (18-20%), butan (1-2%) i azot (1%).

<sup>154</sup> Za postizanje većeg kapaciteta utečnjavanja zemnog gasa na godišnjem nivou, sve češće se koristi poboljšani proces. Ovaj poboljšani proces se temelji na ekspanziji azota. Reč je o AP-X<sup>TM</sup> procesu.

<sup>155</sup> APCI je vlasnik licence procesa, inženjerskih radova i izvođenja radova. Druge kompanije (*KBR, Chiyoda, JGC*) su u svetu izgradile postrojenja na osnovu njihovog dizajna.

<sup>156</sup> Izvor: Pillarella M. i dr., *Large LNG Trains: „Developing the Optimal Process Cycle“*, Gastech 2005, Conference & Exhibition, Bilbao, 2005. Preuzeto od Simon K. i dr., „Pregled procesa ukapljavanja prirodnog plina“, RGN Zbornik, br. 21 Zagreb, 2009, str. 94.

<sup>157</sup> Izvor: Pillarella M. i dr., (preuzeto iz rada Galešić Z., *Kopnena i odobalna postrojenja za ukapljivanje prirodnog plina*, diplomski, RGNF Zagreb, 2013, str. 26.

<sup>158</sup> Spiralni izmenjivač toplote (eng. Spiral Wound Heat Exchanger – SWHE) često se naziva i glavni kriogeni izmenjivač toplote (eng. Main Criogenic Heat Exchanger – MCHE). Kod spiralnog izmenjivača, sklop cevi malog prečnika nalazi se u vertikalnom kućištu.

sredstva na dve faze.<sup>159</sup> „Zemni gas i struje rashladnog sredstva ulaze u cevi na dnu izmenjivača toplote i teku prema gore pod određenim pritiskom. Gas na vrhu izmenjivača izlazi u tečnom stanju i skladišti se. Struja mešanog rashladnog sredstva u tečnom stanju nakon izlaska iz cevi prolazi kroz prigušnicu i usmerava se na zidove kućišta“.<sup>160</sup> U ovom delu procesa utečnjavanja, u nekoliko segmenata, koristeći struju mešanog rashladnog sredstva, zemni gas prolazi kroz sistem cevi, seperator, prigušnicu (ili hidraulični ekspander), izmenjivače toplote, podhlađivanjem i naizmeničnim strujanjem u nekoliko navrata, on se, delimično utečnjen, ponovo vraća u izmenjivač toplote, dok se u potpunosti zemni gas ne utečni na temperaturi od  $-161,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .<sup>161</sup>

**2. Modifikovani procesi s mešanim rashladnim sredstvom uz pothlađivanje propanom – C3MR/SplitMR proces.** Poboljšavanje C3MR procesa postiglo se na taj način, što je u tehničkom rešenju iznađena mogućnost da se koristi isti pogonski motor za kompresore za sabijanje propana i rashladnog sredstva. Kod C3MR procesa koriste se posebni motori za kompresiju propana i rashladnog sredstva, dok se kod novog poboljšanog C3MR/SplitMR procesa, koriste isti pogonski uređaji.<sup>162</sup> Kod normalnog procesa,  $1/3$  ukupne potrebne snage koristi se na kompresoru za hlađenje, a ostatak na hlađenje rashladnog sredstva. Korišćenjem istog pogonskog sredstva u procesu doprinelo se direktno povećanju samog kapaciteta postrojenja (slika 4.22). Kao primer uticaja i doprinosa ove modifikacije, na sam proces i proizvodni kapacitet, može da posluži konkretna ilustracija. Kod jednog sistema čije postrojenja koristi C3MR proces za utečnjavanje zemnog gasa i ima proizvodni kapacitet od  $3,3 \times 10^6$  tone LNG na godišnjem nivou, primenom C3MR/SplitMR procesa, postiže se proizvodnja od  $4,7 \times 10^6$  tone tečnog zemnog gasa.

**3. AP-X proces.** Reč je o procesu kod koga je izvršena modifikacija osnovnog procesa sa mešanim rashladnim sredstvom uz pothlađivanje propanom (C3MR) uvođenjem trećeg ciklusa u pothlađivanju gasa. Poboljšanje procesa utečnjavanja bazira se na razdvajanju ciklusa utečnjavanja i dohlađivanja ugradnjom trećeg ciklusa koji kao rashladno sredstvo koristi azot kao fluid. Modifikacija se bazira u razdvajanju kondenzacije i dohlađivanja u dva odvojena spiralna izmenjivača toplote. Ovom modifikacijom,<sup>163</sup> omogućeno je povećanje kapaciteta jedne jedinice postrojenja za utečnjavanje zemnog gasa i mogu da dostignu obim 8–10 miliona tona LNG na godišnjem nivou.<sup>164</sup> U cilju obezbeđenja neophodne snage za pogon kompresora većeg kapaciteta, često se u praksi koriste gasne turbine.<sup>165</sup>

**4. Otimizarni kaskadni proces.** Ovaj originalni proces utečnjavanja zemnog gasa je razvijen šesdesetih godina XX veka.<sup>166</sup> Nastojanje je bilo da se razvije tehnologija koja ima jednostavno pokretanje procesa proizvodnje i mogućnosti primene u širokom rasponu različitog sastava i kvaliteta zemnog gasa. Svaki od tri ciklusa u procesu hlađenja zemnog gasa upotrebljava jedno od komponenata jedinjenja za hlađenje (propan, etan i metan).<sup>167</sup> Posle odstranjivanja primesa iz gasa, on se pod visokim pritiskom uvodi u izmenjivač toplote, gde se kroz nekoliko koraka vrši njegovo pred podhlađivanje. Molekuli ugljovodonika veće molekulske mase odvajaju se iz struje

<sup>159</sup> Jedna faza je u tečnom stanju, koju formiraju teške komponente rashladnog sredstva (propan, butan i deo etana), a druga je u gasovitom agregatnom stanju, koju čine lakši elementi (metan, etan, azot) rashladnog sredstva.

<sup>160</sup> Simon K. i dr., „Pregled procesa ukapljavanja prirodnog plina“, *RGN Zbornik*, br. 21 Zagreb, 2009, str. 95.

<sup>161</sup> Detaljniji opis tehnike i tehnologije ovog procesa utečnjavanja gasa može se videti u većem broju stručnih radova. Posebno mesto zauzima detaljno sagledavanje strujanje rashladnog sredstva, način na koji ono vrši podhlađivanje i utečnjavanje zemnog gasa, kao i njegovo ponovno hlađenje i delimično utečnjavanje.

<sup>162</sup> Od 2003. godine u praksi se koristi modifikovani proces. Razlika između ova dva procesa može da se vidi na slici.

<sup>163</sup> Dodavanjem trećeg ciklusa, u procesu je smanjeno za 40% opterećenje na opsluživanju rashladnim fluidom.

<sup>164</sup> Prvo AP-X postrojenje instalirano je u Kataru 2009. godine u pogonu *Qatargas II* na postrojenju 1.

<sup>165</sup> Često su u praksi u upotrebi *General Electric* gasne turbine tipa *Frame 9*, turbine imaju snagu 120 MW.

<sup>166</sup> Proces je razvila kompanija *Phillips Petroleum* (danas je to *Conoco Phillips*). Prvi put je u praksi primenjen 1969, na *Keani* postrojenju na Aljasci.

<sup>167</sup> Proces hlađenja propanom i metanom su dva odvojena zatvorena sistema hlađenja, a hlađenje metanom je otvoren sistem sa velikom količinom ulaznog metana. Kod metanskog sistema ispareni kondenzati koji struje pod visokim pritiskom, putem većeg broja koraka, smanjuje se pritisak, a u svakom koraku ispareni sastojci komprimuju i vraćaju u radni ciklus.

gasa. „Kondenzat se izdvaja i skladišti, deo izdvojenog propana skladišti se i koristi za pripreme rashladnog sredstva, a ostale frakcije se ponovo utiskuju u gas i zajedno s njim utečnjavaju.“<sup>168</sup>

Posle odvajanja težih frakcija gas se hladi etelinom. Gas prolazi kroz izmenjivače toplote, potpuno kondenzira, a struja gasa u proces iz kompresora metana hladi na isti način. U nekoliko naizmeničnih koraka gas se komprimuje, hladi i kondenzuje, te se ponovo vraćaju u krug za hlađenje gasa dok se potpuno ne kondenzira.<sup>169</sup> Ukapljeni gas i struje recikliranog metana, na temperaturi od  $-90^{\circ}\text{C}$  izlaze iz etilenskog isparivača, gde se odstranjuje i azot zbog smanjenog pritiska. Daljim procesom kompresije, zemni gas se utečnjava, kroz metanski ciklus. Za realizaciju procesa utečnjavanja upotrebljavaju se pločasti izmenjivači toplote koji se nalaze u rashladnim komorama. Ova tehnologija utečnjava gasa vremenom se razvija u cilju povećanja njegovog radnog kapaciteta. Radni kapacitet jedinice za utečnjavanje kod najvećih postrojenja iznose do  $7,2 \times 10^6$  t/godišnje.

**5. Kaskadni proces s mešovitim fluidima.** Kod ovog procesa, predhodno očišćen zemni gas se utečnjava u tri odvojena rashladna ciklusa (prethlađivanje, utečnjavanje, dohlađivanje) pomoću mešanih rashladnih sredstava (propan, etan, metan, azot). Kod pothlađivanja, zemni gas se prvo hladi sa rashladnim sredstvom pomoću dva pločasta izmenjivača. U druga dva procesa (utečnjavanja i dohlađivanja) hladi se korišćenjem druga dva rashladna sredstva i spiralna izmenjivača.

**6. Proces s dva mešovita rashladna sredstva (DMR).**<sup>170</sup> Ovo je proces utečnjavanja zemnog gasa. U osnovi se bazira na dva ciklusa sa dva različita mešana rashladna sredstva. U prvom ciklusu pothlađivanja koristi se mešavina etana i propana. Ova mešavina hladi zemni gas na temperaturu do  $-50^{\circ}\text{C}$ . Nakon samog hlađenja, ovo rashladno sredstvo, iz izmenjivača za pothlađivanje ide preko separatora u dvostepeni centrifugalni kompresor. Samo rashlađivanje, kondenzacija i dohlađivanje rashladnog sredstva realizuje se pomoću vazduha.

U drugom ciklusu ovog tehnološkog procesa, za utečnjavanje i dohlađivanje gasa, upotrebljava se mešavina četiri gasa (metana, etana, azota i propana). Ovaj ciklus je sličan C3MR procesu, uz osnovnu razliku – temperatura zemnog gasa u ovom slučaju na ulazu u glavni izmenjivač znatno je niža. Temperatura gasa je niža, jer je zemni gas u prvom ciklusu pothlađen. Medijum koji služi kao rashladno sredstvo u ovom ciklusu komprimuje se upotrebom dva kompresora, posle čega se on hladi i delimično utečnjava u okviru prvog ciklusa podhlađivanja gasa.

U cilju povećanja radnog kapaciteta, jedne jedinice ovoga procesa, koja može da iznosi do  $4,8 \times 10^6$  t/god. razvijeno je postrojenje sa paralelnim mešanim rashladnim sredstvom. U ovom modifikovanom načinu, novi proces ima ciklus podhlađivanja gasa i dva paralelna ciklusa utečnjavanja zemnog gasa. Novim konstrukcionim rešenjima ovog procesa, jedna jedinica za utečnjavanje, može da proizvodi do  $8 \times 10^6$  tona tečnog zemnog gasa na godišnjem nivou.

### 1.2.1.3. Komparativna analiza najznačajnijih postrojenja za utečnjavanje zemnog gasa u funkciji snabdevanja tržišta

Klasifikacija, podela i analiza postrojenja za utečnjavanje zemnog gasa može da se izvrši na osnovu različitih parametara i karakteristika: lokacije, radnog kapaciteta, tehnologije.

**1. U zavisnosti od samoga mesta njihove lokacije** razlikujemo postrojenja za utečnjavanje koja su instalirana: a) na kopnu i b) moru (odobalna postrojenja).

a) Postrojenja za utečnjavanje gasa koja se grade na kopnu najčešće su locirana na samoj ili u neposrednoj blizini obale. Prilikom razmatranja i analize ovih postrojenja, u fokusu se uvek nalaze njihove glavne karakteristika, veličina i efikasnost (učinak, korisnost). Kod razmatranja fizičke veličine, sagledavaju se ukupni njihovi prostorni gabariti koje zauzimaju i broj delova opreme.

b) Pogodnost primene odobalnih postrojenja za utečnjavanje zemnog gasa: mogu se upotrebiti kod zarobljenih gasnih ležišta (na moru i kopnu) koja su na velikoj udaljenosti od

<sup>168</sup> Simon K. i dr., „Pregled procesa ukapljavanja prirodnog plina“, RGN Zbornik, br. 21 Zagreb, 2009, str. 96.

<sup>169</sup> Detaljnije o ovom procesu utečnjavanja može se videti u radovima iz ove oblasti.

<sup>170</sup> DMR (engl. *Dual Mixed Refrigerant*) proces. Ovaj proces je razvila kompanija Shell.

postojećih proizvodnih objekata ili gasnih cevovoda; kod naftnih ležišta sa gasom; kod početka nove eksploatacije (proizvodnje) gasa na novim ležišta ili njihovog etapnog razvoja; kod nekonvencionalnih ležišta gasa; kod problema ograničenja prostora na kopnu za izgradnju kopnenih postrojenja. Danas se kapacitet odobalnih postrojenja kreće od 1 do 3 miliona tona gasa na godišnjem nivou. Posebno mesto vezano za odobalna postrojenja zauzimaju postrojenja koja objedinjuju proizvodnju zemnog gasa, obradu, skladištenje FPSO i tehnologije utečnjavanje zemnog gasa LNG FPSO.<sup>171</sup>

**2. Posmatrano prema radnom obimu,** podela postrojenja za utečnjavanje zemnog gasa može da se izvrši na postrojenja:<sup>172</sup> a) malog, b) srednjeg i c) velikog kapaciteta.

a) Postrojenja maloga kapaciteta za utečnjavanje gasa (eng. *peak sheaving facilities*) su postrojenja koja su namenjena pokrivanju vršne potrošnje. Imaju kapacitet između 30 i 50000 t/god.

b) Postrojenja srednjeg kapaciteta (eng. *medium scale facilities*) imaju proizvodnju u obimu između 400 hiljada i 2,5 miliona tona na godišnjem nivou.

c) Postrojenja velikog kapaciteta (eng. *base-load facilities*) imaju mogućnost da dnevno utečne nekoliko hiljada tona gasa, a na godišnjem nivou proizvodnja je od 4 do  $10 \times 10^6$  gasa.<sup>173</sup>

Prilikom analize postrojenja za utečnjavanje zemnog gasa, neophodno je sagledati učinak procesa, potrošnju energije, složenost sistema. U cilju izbora adekvatnog procesa utečnjavanja gasa potrebno je uporediti procese, sagledavajući sve njihove prednosti i nedostatke vezane za konkretno planirano postrojenje (tabela 4.7). Na osnovu zahteva vezanih za postrojenja bira se adekvatan proces. Svi procesi mogu da se koriste u postrojenjima za utečnjavanje koji se nalaze na kopnu ili moru, ali prema svojim karakteristikama i obeležjima neki procesi se mogu lakše i efikasnije koristiti na određenim lokacijama (tabela 4.8).

Tabela 4.7. Komparativna analiza neki od procesa za utečnjavanje zemnog gasa<sup>174</sup>

	Proces	SMR	C3MR	DMR	AP-X
1	Godina prve primene	1970	1972	2009	2009
2	Broj rashladnih ciklusa	1	2	2	3
3	Rashladno sredstvo	1 MR	C3+MR	2 MR	C3+MR
4	Učink (kw dan/tona)	>13,5	>12,2	>12,8	-
5	Pogonski sitem	1xTrent 60	2xFR7	2xFR7	2xFR9
6	Broj stepena kompresije	2	4-5	4-5	6-7
7	Broj izmenjivača toplote	2	4-6	3-5	7
8	Kapacitet ( $10^6$ t/god)	do 1,3	Do 5,5	1-5	7,5-10 >

Izvor: Barcaly M. Shukri T., „Enhanced single mixed refrigerant process for stranded gas liquefaction“

**Izbor procesa i tehnologije** zavisi od toga da li je reč o postrojenjima koja se nalaze na obali ili na vanobalnim lokacijama. Izbor adekvatnog postrojenja, nezavisno od toga da li je reč o postrojenjima na kopnu ili obali, zavisi od: zahteva za kapacitetom proizvodnje, njegovog učinka, potrebne snage, potrošnje energije, složenosti sistema, cene potrebne opreme. Kod donošenja odluke, a u vezi sa prilikom izbora tehnologije i procesa utečnjavanja, fokus je na njegovom učinku i potrebnoj snazi koju treba angažovati u proizvodnji. Nova obalna postrojenja za utečnjavanje gasa koja se grade imaju sve veći kapacitet. Poslednjih godina oni dostižu i veći obim proizvodnje od  $8 \times 10^6$  t na godišnjem nivou. Zbog složenosti tehničkih rešenja, cena ovih postrojenja za utečnjavanje zemnog gasa većeg kapaciteta iznosi više od 1 milijarde dolara.

Kod izbora odobalnog postrojenja, akcent interesovanja je na: kompaktnosti, težini, gabaritu, sigurnosti, bezbednosti. Kriterijumi za analizu i razmatranje odobalnih postrojenja i

<sup>171</sup> LNG FPSO (eng. *floating production, storage and offloading units for Liquefied Natural Gas*)

<sup>172</sup> Prema Bronfenbrenner J.C., Pillarella M., Solomoy J., *Selecting a Suitable Process LNG Industry*, Summer 2009.

<sup>173</sup> Danas najveći broj izgrađenih velikih postrojenja imaju kapacitet do 8 miliona tona/god. Neka nova postrojenja koja se danas grade imaju i veći projektovani radni kapacitet.

<sup>174</sup> Barcaly M., Shukri T., „Enhanced single mixed refrigerant process for stranded gas liquefaction“, *15<sup>th</sup> International Conference & Exhibition on Liquefied Natural Gas*, Barcelona, Spain, 2007.

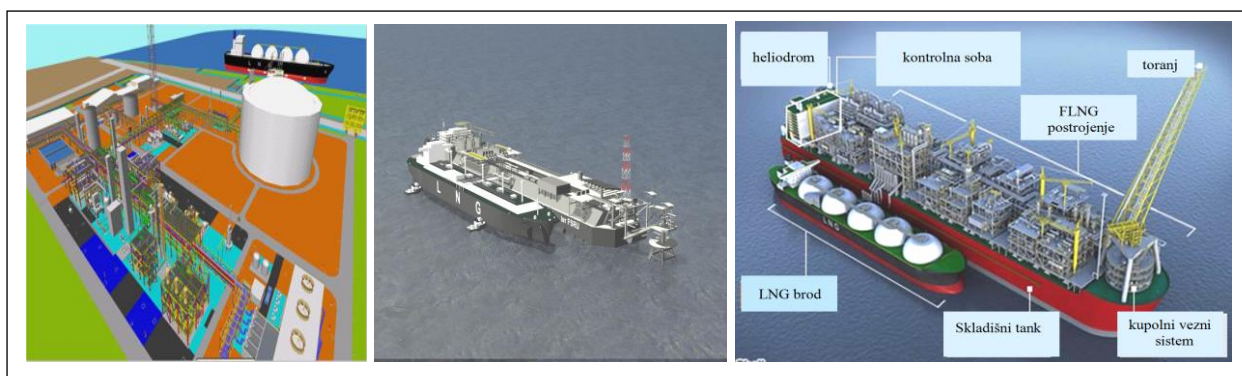
tehnologija utečnjavanja gasa su: potreban prostor i težina; jednostavnost operacija (pokretanje, zaustavljanje); prilagodljivost i učinak; sigurnost; uslovi u luci; hemijski procesni sistem; integracija. Prilikom izbora odobalnih postrojenja za utečnjavanje gasa, sam proces je složeniji i kompleksniji u odnosu na izbor postrojenja za utečnjavanje koje će biti instalirano na obali. Danas se kapacitet odobalnih postrojenja kreće od 1 do 3 miliona tona gasa na godišnjem nivou.

Tabela 4.8. Procentualno % učešće određenih procesa u novo izgrađenim postrojenjima za utečnjavanje zemnog gasa u svetu do 2000. godine i posle 2000. godine<sup>175</sup>

Proces Period	C3MR	Optimizirani kaskadni	AP-X	DMR	Kaskadni sa mešanim	SMR	Osnovni kaskadni	%
Do 2000 god.	90	3				5	2	100
Od 2000 god.	56	18	18	6	2			100

Izvor: Bosma P. i Nageloot R.K., „Liquefaction Technogy, Developments through History“

**Projektovanje efikasnog sistema utečnjavanja zemnog gasa** zahteva i iziskuje optimalni odnos između: izbora adekvatnog rashladnog sredstva (medijuma); usklađenosti karakteristika rashladnog sredstva sa karakteristikama kondenzacijske krive zemnog gasa; tipa i konstrukcije samog izmenjivača toplote; dodirne aktivne površine izmenjivača; primene odgovarajućeg procesa utečnjavanja; kapaciteta kompresora (turbine), a sve sa ciljem postizanja što efikasnijeg i ekonomičnijeg utečnjavanja zemnog gasa (slika 4.27).



Slika 4.27. Grafička ilustracija različitih postrojenja za utečnjavanje gasa na kopnu i moru<sup>176</sup>

### 1.2.2. Transport tečnog zemnog gasa brodovima u funkciji pouzdanog i efikasnog snabdevanja tržišta i potrošača

Realno, značajno visoki troškovi same izgradnje, održavanja i upotrebe kopnenih i podmorskih cevovoda, kojima se zemni gas transportuje u gasovitom agregatnom stanju, odredili su uslovno graničnu distancu fizičkog rastojanja iznad koje je prevoz gasa u tečnom stanju povoljniji. U svetu je prvo postrojenje za utečnjavanje gasa izgrađeno u SAD (Zapadna Virdžinija), 1912. godine.<sup>177</sup> Na samom početku proizvodnje tečnog zemnog gasa, on se namenski utečnjavao i uskladištio u rezervoarima za potrebe lokalne distribucije u neposrednom okruženju samoga mesta izvora ili potrošnje. Osnovni cilj je bio da se uskladi sezonski karakter njegove proizvodnje i potrošnje.<sup>178</sup> Nakon utečnjavanja gas se nije dalje transportovao u ovom agregatnom stanju, već kao takav se uskladištio i čekao trenutak ponovnog prevođenja u gasovito stanje i isporuku krajnjim

<sup>175</sup> Prema Bosma P., Nageloot R.K., „Liquefaction Technogy, Developments through History“, Procesings of the 1<sup>st</sup> Annual Gas Processing Symposim, 2009.

<sup>176</sup> Izvor: više stručnih radova i publikacija iz ove oblasti.

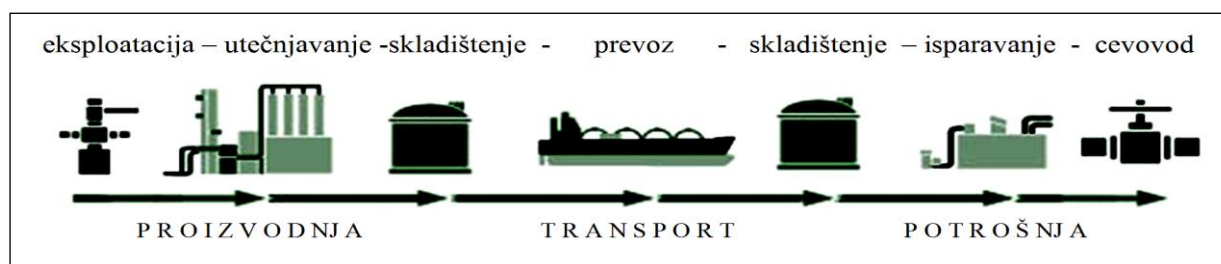
<sup>177</sup> Ono je sa proizvodnjom većih količina tečnog zemnog gasa počelo 1917. godine.

<sup>178</sup> Krajem 30-ih godina XX veka, firma *East Ohio Gas Co*, koja je od proizvodne bušotine (izvorišta) snabdevala grad Klivlend gasom sa dva cevovoda, krenula je sa izgradnjom postrojenja za utečnjavanje gasa u samom gradu. Cilj je bio da se povećana potražnja za gasom u zimskom periodu, u odnosu na letnji, prevaziđe tako što će se u letnjem periodu višak gasa utečni, uskladišti i sačuva za zimu. Detaljnije o ovome je bilo reči u II i III glavi ovog rada.

kupcima cevovodom (slika 4.28). Od prvog trenutka, kada je izvršeno utečnjavanje gasa,<sup>179</sup> javila se želja i nastojanje da se izvrši njegov transport, na veća rastojanja u većim količinama. Prvi konkretan korak u realizaciji ideje o prevozu tečnog gasa vezuje se za 1915. godinu i Goldefey L. Cabota<sup>180</sup> iz Bostona, koji je patentirao tegljač za prevoz tečnog zemnog gasa rekama. Osnova za realizaciju uspešnog transporta tečnog zemnog gasa je da se on ne dovodi u kontakt sa materijalom koji na niskim temperaturama postaje lomljiv i onemogućuje formiranje eksplozivne mešavine (isticanjem gasa u prostor za vazduhom ili gasa u prostor sa vazduhom).<sup>181</sup> Sa tehničkog aspekta, kod transporta LNG brodovima, u fokusu su dva osnovna segmenta: tank i konstrukcija trupa samoga broda.

### 1.2.2.1. Osnovne karakteristike posuda za smeštaj i skladištenje tečnog zemnog gasa na brodovima u funkciji njegovog transporta

Brodovi u funkciji prevoza tečnog zemnog gasa su posebno konstruisana i izrađena prenosna sredstva. Samu osnovu uspešnog, efikasnog i bezbednog transporta gasa brodovima predstavljaju njegovi kriogeni tankovi (rezervoari, posude, sudovi, spremnici) u kojima se skladišti ovaj energent na temperaturi od  $-162^{\circ}\text{C}$ . U osnovi, svaki tank mora da je: 1) gasno nepropustljiv, 2) adekvatno temperaturno izolovan i 3) da poseduje odgovarajuću mehaničku čvrstoću. 1. Gasna nepropustljivost podrazumeva da tank mora da obezbedi da se gas ne može mešati sa vazduhom, niti da dođe do njegov gubitka (curenja). 2. Adekvatna izolacija posude postiže dva efekta: onemogućuje da se gas zagreva i prelazi u gasovito stanje i onemogućuje prenošenje hladnoće na konstrukciju broda što povećava krutost trupa plovila. 3. Tank mora da poseduje odgovarajuću čvrstoću i konstrukciju da bi izdržao: niske temperature, hidrostatički pritisak tečnog gasa u posudi, mali podpritisak koji se javlja u tanku i dejstvo sila u slučaju vanrednih situacija.<sup>182</sup>



Slika 4. 28. Segmenti LNG lana i aktivnosti u okviru njega<sup>183</sup>

Jedno od centralnih mesta u LNG industriji zauzimaju materijali koji se koriste za izradu: tankova, uređaja, izolacije, trupa broda, opreme. Reč je o specijalnim materijalima i legurama koji se koriste. Posebno mesto u konstrukciji i izradi tankova zauzima sagledavanje, analiza i iznalaženje adekvatnih rešenja vezanih za pitanje kretanja (zapluskivanja, gibanja, ljuljanja, pomicanja) tečnosti unutar tanka u toku prevoza. Prilikom transporta i pomeranja tečnosti unutar tanka, dolazi do njenog udara o zidove suda koji mogu da prouzrokuju velika oštećenja i havarije.<sup>184</sup>

Do danas je u svetu, prema svojim tehničkim karakteristikama i rešenjima, proizveden veliki broj različitih tankova (posuda) namenjeni skladištenju tečnog gasa u funkciji transporta brodovima. U osnovnoj podeli mogu se grupisati u dve grupe: 1. samonosivi i 2. membranski tankovi (Sli. 4.30).

1. **Samonosivi i nezavisni tankovi** mogu biti oblika lopte (kugle, sfere) ili prizme. Oni su tako konstruisani da konstrukcija tanka sama preuzima unutrašnja opterećenja, a njihova nezavisnost se manifestuje kroz činjenicu da su oni izgrađeni nezavisno od konstrukcije broda. Trup broda samo

<sup>179</sup> Prvo postrojenje za proizvodnju tečnog gasa za širu potrošnju krenulo je sa radom 1941. u Klivlendu (Ohajo, SAD).

<sup>180</sup> Goldefey L. Cabota (Boston, SAD) bio je lekar i industrijalac. Njegova ideja je realizovana tek 1951. godine.

<sup>181</sup> Na osnovu međunarodnih normi za transport LNG, Bronzan B., „LNG“, Energetika Marketing, Zagreb, 1999, str. 71.

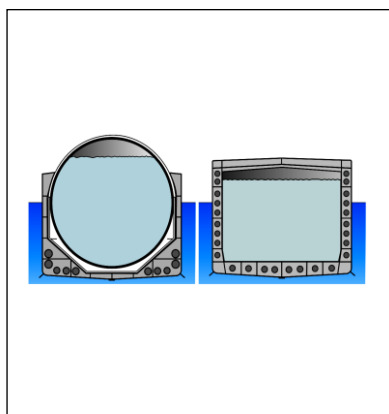
<sup>182</sup> Kod vanrednih situacija reč je o mogućem sudaru sa drugim brodom, o nasukavanju, velikom nevremenu na moru.

<sup>183</sup> Autor. Na osnovu većeg broja različitih izvora.

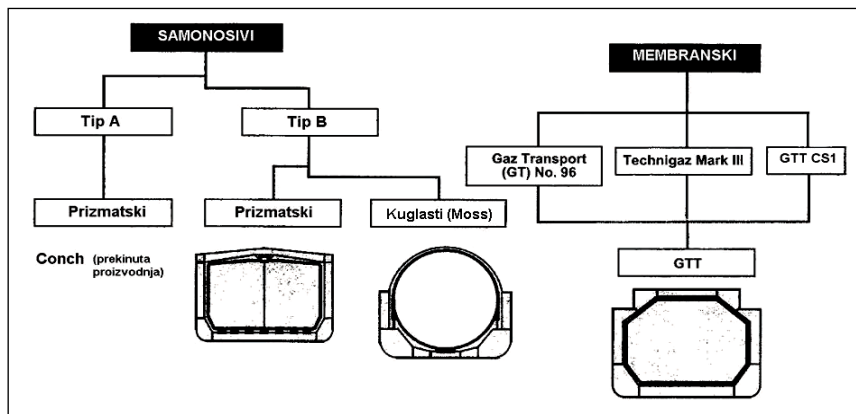
<sup>184</sup> Opširnije o ovom problemu može da se vidi u radu Malenica Š., „An Overview of the Hydro-Structure Interactions during sloshing impacts in the tanks of LNG Carriers“, časopis *Brodogradnja*, br. 64. 2013, str. 22–30.



preuzima težinu tanka. Sam tank je odvojiv od konstrukcije (trupa) plovila. Tehnološki je predviđeno da pritisak unutar tanka bude do 0,7 bara.<sup>185</sup> Grupu samonosivih tankovi čine posude: a) tipa A (prizmatski) i b) tipa B (prizmatski i kuglasti (Moss)) (slike: 4.29 i 4.30).



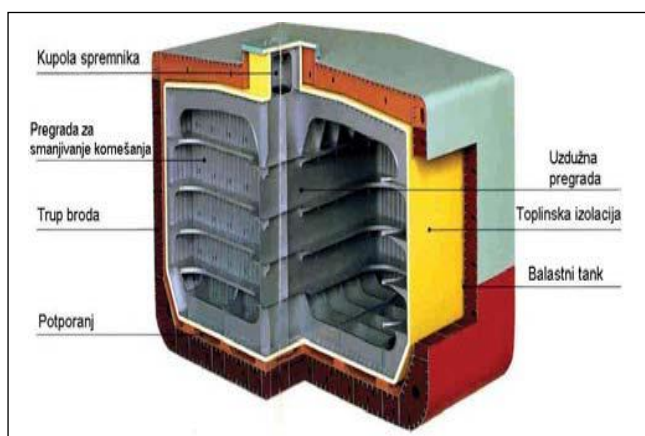
Slika 4.29. Presek tankova tipa B<sup>186</sup>



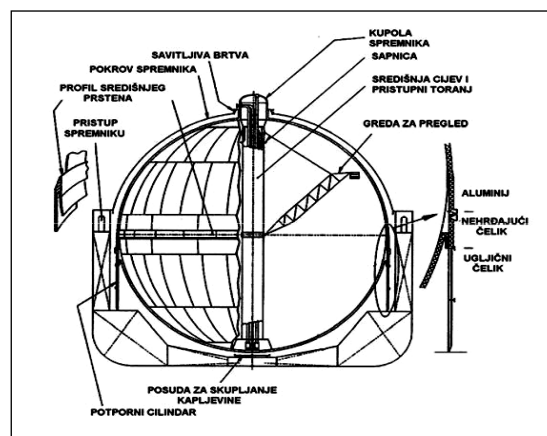
Slika 4.30. Podjela tankova za transport i skladištenje tečnog zemnog gasa (LNG) na brodovima<sup>187</sup>

a) Tankovi tipa A bili su instalirani na prvim brodovima za LNG.<sup>188</sup> Ovaj tip tanka zbog uočenih problema vezanih za potrebu da oni imaju oko sebe potpun zaštitni sekundarni zid, teškoće prilikom istovara tereta, nije bio značajnije zastupljen u primeni na većem broju brodova.<sup>189</sup>

b) Tankovi tipa B. Za razliku od samonosivih tankova tipa A, tankovima tipa B (prizmatski i kuglasti) nije potrebna potpuna (slike: 4.31. i 4.32.), već samo delimična sekundarna zaštita.<sup>190</sup> Prizmatski tank (tip B) je tako konstruisan da se u unutrašnjosti tanka nalaze postavljene poprečne unakrsne vertikalne pregrade u cilju smanjivanja efekta zapljuskivanja tečnosti. Unutrašnje pregrade



Slika 4.31. Samonosivi prizmatični tank (tip B)<sup>191</sup>



Slika 4.32. Samonosivi sferni tank (tip B)<sup>192</sup>

su ojačane rebrastim konstruktivnim rešenjima i na taj način one dodatno doprinose sprečavanju naglog pomeranja fluida.<sup>193</sup> Kod samonosivog sferičnog (kuglastog) tanka (tip B), sistem transporta

<sup>185</sup> Najčešće u praksi, pritisak u tanku je ispod 0,25 bara.

<sup>186</sup> Izvor: više stručnih radova i publikacija iz ove oblasti. Ilustracija poprečnog preseka samonosivih tankova tipa B (sferni i prizmatični) za LNG brodove preuzeta iz više stručnih inostranih radova.

<sup>187</sup> Izvor: Haug S., Chiu C., Elliot D., *LNG Basics of Liquefied Gas* The University of Texas at Austin, Austin, 2007, preuzeto od Posavac D. i dr., „Brodovi za ukapljeni prirodni plin“, *RGN zbornik* br. 22, Zagreb, 2010, str. 56.

<sup>188</sup> Kompanija *Conch* je ovaj tip rezervoara ugradila na prvim LNG brodovima *Methane Princess* i *Methane Progress*.

<sup>189</sup> Posle 3 broda na kome je ugrađen ovaj tip tanka i na kojem su uočeni nedostaci, prestalo se sa njihovom ugradnjom.

<sup>190</sup> Sekundarna zaštita se ogleda u delimičnom zaštitnom zidu u obliku posude za prikupljanje tečnog zemnog gasa ako dođe do njegovog nekontrolisanog curenja. Posuda je instalirana ispod dna tanka.

<sup>191</sup> Belamarić G., *Prevoz ukapljenog LNG plina*, Split, 2012, str. 19.

<sup>192</sup> Ilustracija preuzeta iz većeg broja radova iz ove oblasti.

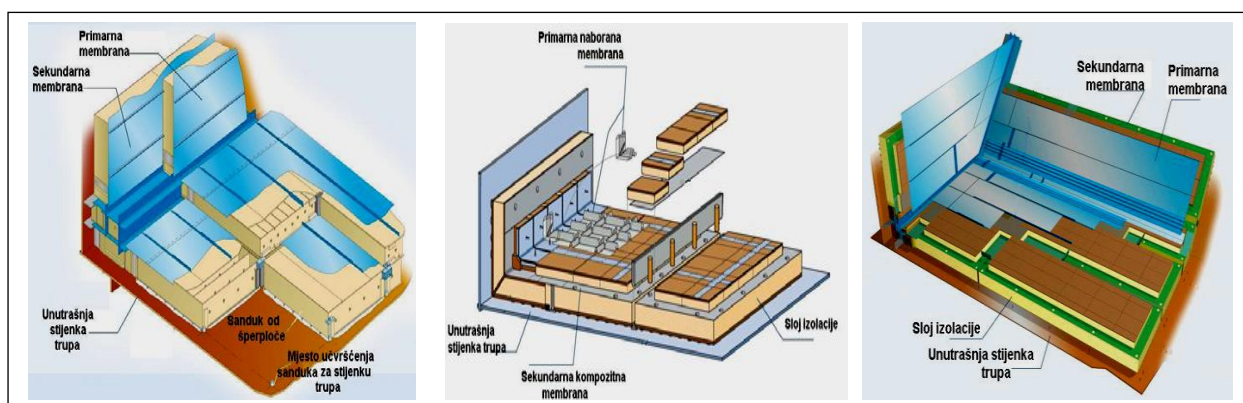
<sup>193</sup> Danas u svetu samo dva broda plove sa ovim tenkovima, *Polar Eagle* i *Arctic Sun*.

se sastoji od kuglaste posude, čiji se spoljni srednji prsten (obruč) naslanja na cilindrični nosač koji je zavaren za dno broda. Razvijeno je više različitih komercijalnih varijanti ove posude, a najveći uspeh u praksi imaju tankovi *Moss Rosenberg Verft*.<sup>194</sup> Najveći tankovi ovog tipa su prečnika 39,46 m i imaju kapacitet od 125000m<sup>3</sup>. Na novim brodovima je smešteno najčešće do 4 ovakve posude.<sup>195</sup>

**2. Membranski tankovi.** U osnovi, izolacija kod membranski tankova sastoji se od dva sloja membrane i dva sloja izolacije. Kod ovog tipa posuda, tankom membranom (invarom *Gaz Transport*) ili nerđajućim čelikom (*Technigaz*) obloženi su sa unutrašnje strane tankovi. To je prva, primarna membrana koja je uvek u direktnom dodiru sa tečnim zemnim gasom. Iza primarne membrane, nalazi se toplotna izolacija koja ima i sa druge strane postavljenu drugu sekundarnu membranu. Druga membrana ima funkciju da štiti oplatu od niskih temperatura. Sa druge strane sekundarne membrane nalazi se drugi sloj izolacije. Ona prenosi statička i dinamička opterećenja tereta koji se transportuje na konstrukciju broda. Tipovi najčešće primenjivanih membranski tankova su: a) *Gaz Transport* (GT) No. 96; b) *Technigaz Mark III* i c) *GTT CS1*.

a) Tank tipa *Gaz Transport* (GT) No. 96. Kod ovih posuda zaštita je izvedena od dva sloja izolacije i dve membrane. Svaki sloj izolacije (panel) napravljen je od dve šperploče<sup>196</sup> između kojih se nalazi izolacija (perlit). Metalne membrane su debljine 0,7 mm. One su izrađene od Invara, legure čelika i nikla.<sup>197</sup> Redosled ugradnje prilikom postavljanja je, posmatrano od unutrašnjosti ka spoljašnosti tanka: membrana, izolacija, membrana i izolacija.

b) Tank tipa *Technigaz Mark III*. Kod ovoga tipa tankova, primarna membrana je napravljena od nerđajućeg naboranog čelika debljine 1,2 mm.<sup>198</sup> Termička izolacija je napravljena u formi panela. Između dva sloja šperploče nalazi se armirana poliuretanska pena u kojoj je postavljena druga membrana. Ova druga sekundarna membrana je kompozitna.<sup>199</sup>



Slika 4.33. Presek membranskih tankova tipa: GT No 96, Technigaz Mark III i GTT CS1<sup>200</sup>

c) Tip tanka *GTT CS1*,<sup>201</sup> posmatrano sa tehničkog aspekta, predstavlja kombinaciju prethodna dva tipa tankova za LNG. Kod ovog tipa tanka, primarna membrana je izrađena od *Invera* (0,7 mm). Sama toplotna izolacija projektovana je od dva sloja između kojih se nalazi druga sekundarna membrana (slika 4.33). Jedan sloj izolacije formiraju dve međusobno udaljene šperploče (drvene kutije), čiji je međuprostor popunjen armiranom poliuretanskom penom. Drugu sekundarnu

<sup>194</sup> Ovaj tip tanka je patentirala kompanija *Moss Rosenberg Verft* 1979. godine, iz grada Stavangera u Norveškoj. Od njih je pravo otkupila finska kompanija *Kvaerner*, tako da se danas naziva i *Kvaerner-Moss*. Izrađeni su od aluminijuma američke oznake 5083-O. Debljina ploča je 3–70mm, a na ekvatorijalnom prstenu 195–202 mm.

<sup>195</sup> O materijalu od koga su izgrađeni tankovi, kao i o izolaciji Bronzan B., „LNG“, Energetika Marketing, Zagreb, 1999.

<sup>196</sup> Reč je o drvenim kutijama ojačanim uzdužnim i poprečnim pregradama. Kutije su izrađene od drvenih ploča, a njihov međuprostor ispunjen je izolatorom.

<sup>197</sup> Materijal *Invar*, od koga se izrađuju membrane za tankove ima sastav od 64% gvožđa i 36% nikla. Ovaj sastav legure ima veoma mali koeficijent istezanja, što je veoma važno za izradu tankova.

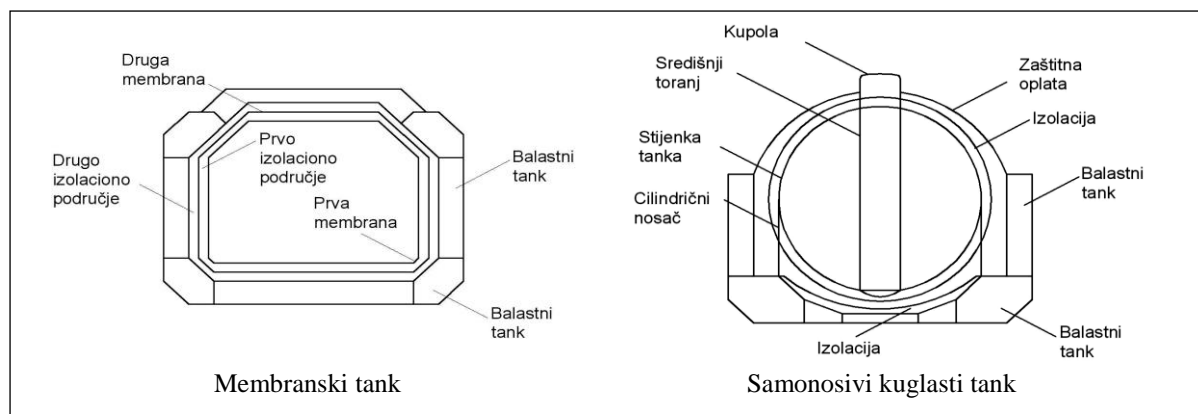
<sup>198</sup> Membrana je naborana da bi se onemogućilo njeno termičko istezanje i skupljanje.

<sup>199</sup> Druga mebrana (sekundarna) napravljena je od aluminijumske folije i vlakana od fiberglasa.

<sup>200</sup> Izvor: Posavac D. i dr., „Brodovi za ukapljeni prirodni plin“, *RGN* zbornik br. 22, Zagreb, 2010, str. 58.

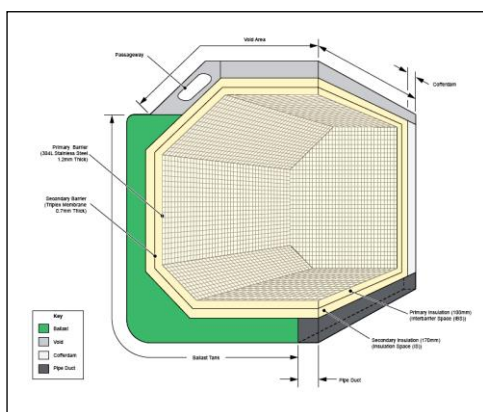
<sup>201</sup> Tank CS1 (Combined System 1) projektovala je kompanija GTT.

membranu čini kompozitni materijal,<sup>202</sup> koji je smešten između dve izolacije. Tako da je, poprečno posmatrano, presek ovog tipa tanka za LNG formiran sledećim redosledom u odnosu na gas: primarna membrana, izolacija, sekundarna membrana i drugi sloj izolacije.



Slika 4.34. Grafička ilustracija preseka dva tipa najčešće korišćenih tanka za LNG<sup>203</sup>

Svaki od ovih tankova za skladištenje ima svoje specifične prednosti i nedostatke prilikom prevoza LNG brodovima. Uočljiva je i izražena razlika između grupa samonosivih i membranskih tankova (slika 4.34), ali istovremeno postoji i razlika između pojedinih tankova unutar jedne grupe.<sup>204</sup> Membranski tankovi (slika 4.35), kao prednost imaju: manju dimenziju; pružaju bolju iskorišćenost prostora broda; potrebna je manja propulzijska snaga; brodovi sa ovim tankovima imaju manju potrošnju goriva za transport iste količine LNG; brodovi istih dimenzija sa ovim tankovima imaju veći kapacitet. Brodovi sa sferičnim (kuglasti) tankovima kao prednost imaju: manji rizik prilikom sudara ili nasukavanja; bolju mogućnost kontrole; punjenje do svih visina posude; veću mogućnost skupljanja isparenog gasa; izdržavaju veće pritiske; imaju mogućnost istovara tereta bez pumpi; tankovi se grade nezavisno od broda; kraći rok izgradnje brodova sa ovim tankovima. Nedostaci su: veća težina tanka, veća potrošnja goriva, manevarske sposobnosti.



Slika 4.35. Membranski tank GTT Mark 3X sistema<sup>205</sup>

	Membranski			Samonosivi	
	GTT Mark III	GTT No. 96	GTT CS-1	Kuglasti (Moss)	Prizmatički (tip B)
Oblik spremnika					
Stijena spremnika	Nehrđajući čelik	Invar (36% nikla)	Invar (36% nikla)	Legura aluminija, nehrđajući čelik	Legura aluminija, čelik s 9% nikla
Debljina stijenke (mm)	1.2	0.7	0.7	50	10-25
Toplinska izolacija	Armirana poliuretanska pjena	Perlit	Armirana poliuretanska pjena	Poliuretanska pjena	Poliuretanska pjena
Debljina toplinske izolacije (mm)	250-350	470-550	250-350	250	250

Slika 4.36. Komparativna analiza određenih tankova na brodovima za prevoz tečnog zemnog gasa<sup>206</sup>

Posebno mesto i pažnja u LNG industriji pridaje se materijalu koji se upotrebljava u gradnji i eksploataciji posuda, brodova, uređaja, sredstava. Iz toga razloga sprovode se i posebno realizuju

<sup>202</sup> Kompozitni materijal za sekundarnu membranu je od dva sloja specijalne mreže i jedne folije. Prilikom izgradnje ovog kompozitnog materijala, između dva sloja mreže od staklenih vlakana, postavlja se aluminijumska folija.

<sup>203</sup> Izvor: više stručnih radova i publikacija iz ove oblasti.

<sup>204</sup> Pogledati u radu Belamarić G., *Teretni sustav LNG tankera*, Split, 2012.

<sup>205</sup> Izvor: Dvornik J. i dr., „Konstrukcijska i tehnološka rešenja Q-max LNG brodova“, International Maritime Scene Conference, Split, 2014, str. 5.

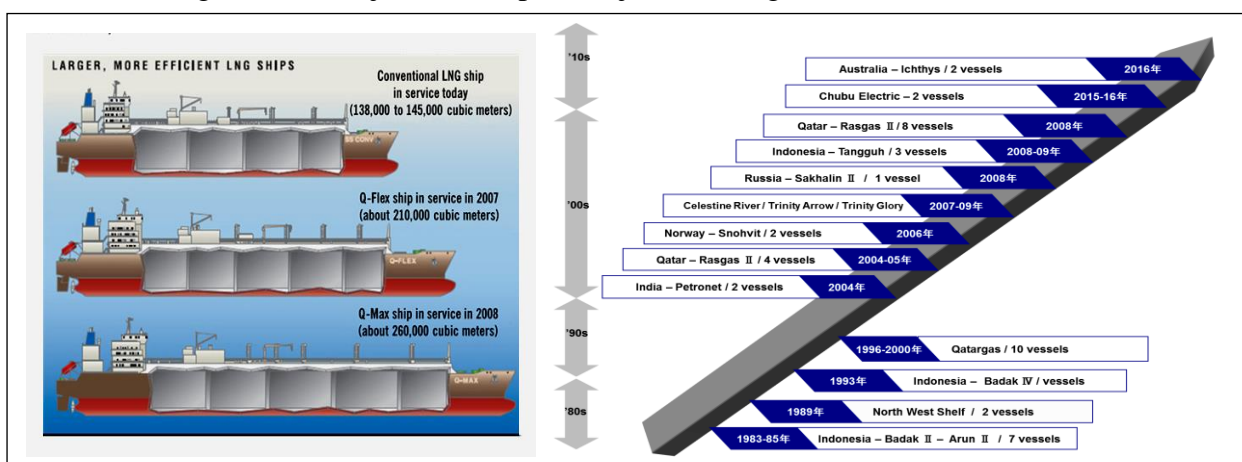
<sup>206</sup> Izvor: Belamarić G., *Prevoz ukapljenog LNG plina*, Split, 2012, str. 26.

sledeće analize: ispitivanje dinamičkih čvrstoća materijala na niskim temperaturama,<sup>207</sup> mehanička svojstva nerđajućih čelika na niskim temperaturama,<sup>208</sup> sagledavanje fizikalnih svojstava materijala (koeficijent linearnog temperaturnog istezanja, toplotna provodljivost), izbor materijala za izolaciju, instalacionu opremu (cevovod i elementi za zatvaranje, sigurnosni ventili, pumpe za pretakanje LNG, kompresori, grejači, isparivači, instalacija za isušivanje prvog i drugog izolacionog područja u slučaju curenja tanka, instalacija za utovar i istovar LNG).

Brodovi za prevoz LNG, u okviru svoje konstrukcije, imaju balastni prostor koji ima izuzetno važnu funkciju prilikom plovidbe broda bez tereta. U onim situacijama kada se na brodu ne nalazi teret, radi lakše i sigurnije plovidbe, balastni prostor se puni vodom. To se čini radi sprečavanja njegovog „isplivavanja i plutanja“ na površini vode, a u svrhu pouzdanije, bezbednije i brže plovidbe. Prazan brod zbog svog velikog volumena, a male težine, kada je prazan, izdiže se na površinu vode, a time postaje nestabilan i nesiguran. Kada prevozi LNG, balastni prostor je prazan.

### 1.2.2.2. Razvoj i karakteristike savremenih brodova namenjenih prevozu tečnog zemnog gasa u funkciji boljeg snabdevanja tržišta

**Razvoj brodova za transport tečnog gasa.** Prvi LNG brod namenjen za dopremu tečnog zemnog gasa izgrađen je 1958. godine, pod nazivom *The Methane Pioneer*.<sup>209</sup> U ovom slučaju, bila je reč o tehničkoj prepravci američkog teretnog broda *Normati* iz Drugog svetskog rata. Izvedenim konkretnim zahvatima i specijalnim prilagođavanjem, brod je osposobljen za novu namenu. Kapacitet broda bio je 5000 m<sup>3</sup> (7000 bbl). Imao je pet aluminijumskih prizmatičnih rezervoara, sa drvenim potpornjima, izolacijom od šperploče i uretana. Prvi prevoz gasa ovim brodom realizovan je početkom 1959. godine. Brod je bio u eksploataciji do 1972. godine.<sup>210</sup>



Slika 4.37 Ilustracija razvoja brodova za LNG u svetu<sup>211</sup>

U Britaniji su 1964. godine izgrađena prva dva komercijalna broda za prevoz LNG, koji su bili od samog početka namenjeni za ovu svrhu. Reč je o brodovima *Methane Princess*<sup>212</sup> i *Methane Progress*<sup>213</sup> koji su bili u vlasništvu kompanije *Conch Internacional Methane*. Svaki brod imao je 9

<sup>207</sup> Najbolje su se u praksi pokazali materijali koji imaju kubnu rešetku.

<sup>208</sup> O mehaničkim svojstvima čelika opširnije se može videti u naučnom radu Ljubičić P. i dr., „Mehanička svojstva nerđajućih čelika na niskim temperaturama“.

<sup>209</sup> Brod je proizveden 1945. godine. Prepravka je urađena u brodogradilištu u gradu *Mobile*. Prvi prevoz utečnjelog zemnog gas (LNG) transportovan je na relaciji od *Lake Charlesa* u *Canvey* do Islanda u Ujedinjenom Kraljevstvu. Taj događaj, transport preko okeana, pokazao je da se velike količine mogu sigurno i bezbedno transportovati na velika rastojanja. U svom radnom veku obavio je trideset plovidba.

<sup>210</sup> Sledeći brod za prevoz LNG bio je teretni brod *Beauvais*, koji je 1962. godine preuređen. Imao je kapacitet 640 m<sup>3</sup>. Ovaj brod nikad nije bio u upotrebi.

<sup>211</sup> Izvor: više stručnih radova i publikacija iz ove oblasti.

<sup>212</sup> Brod *Methane Princess* obavio je više od petsto plovidba do 1998. godine, kada je povučen iz upotrebe.

<sup>213</sup> Brod *Methane Progress* realizovao je svoju poslednju četiristo šezdeset i sedmu plovidbu 1992. godine.

instaliranih tankova. Kapacitet svakog broda iznosio je 27400 m<sup>3</sup>. Početkom sedamdesetih godina došlo je do naglog razvoja tehnologije izgradnje brodova za tečni gas (slika 4.37). Od tog perioda beleži se nagli porast broja novih brodova koji se grade u svetu. Istovremeno, povećava se i njihov pojedinačni kapacitet u cilju postizanja što obimnijeg i ekonomičnijeg prevoza tečnog zemnog gasa. Stalno se unapređuje sigurnost i bezbednost manipulacije, skladištenja i prevoza LNG.<sup>214</sup>

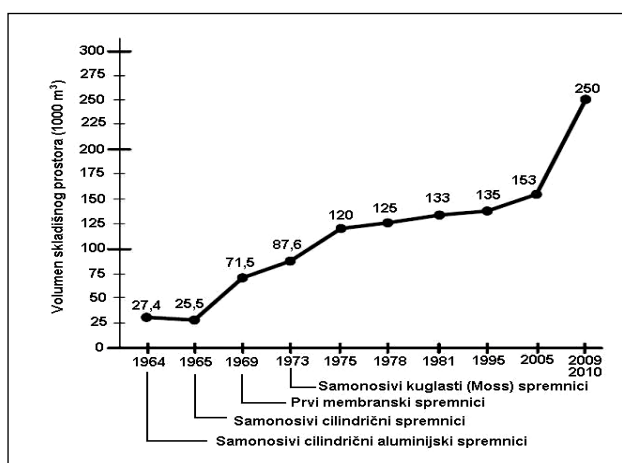
**Podela brodova.** Od početka gradnje brodova za prevoz LNG bilo je više pokušaja, nastojanja i ideja u njihovom projektovanju i izgradnji. Osnovu uspešnog, efikasnog i bezbednog prenosa tečnog gasa brodovima predstavljaju njegovi tankovi (rezervoari, posude, sudovi, spremnici), u kojima se skladišti ovaj energent na temperaturi od -162°C. Posmatrano prema tipu svog skladišnog prostora za dopremu LNG, poslednjih godina u praksi su dva tipa brodova koji imaju najveću primenu. Reč je o brodovima sa kuglastim tankovima i membranski tankovima.

Tabela 4.9. Podela LNG brodova prema veličini skladišnog prostora za membranske i kuglaste takove<sup>215</sup>

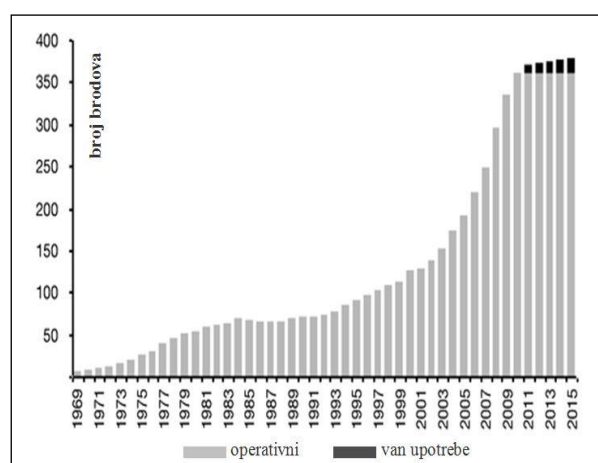
Veličina skladišnog prostora (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	18-50	65-90	120-135	137-145	209-217 (Q-flex)	255-266 (Q-max)
Bruto nosivost (10 <sup>3</sup> t)	10-22	50-60	67,5-73	68,6-76,2	~101	~122
Dužina broda (m)	130-270	216-250	280-293	276-290	~315	~345
Širina broda (m)	26,-27,5	34-40	41,5-43,5	42,5-46,6	50	55
Gaz broda (m)	7-9,5	9,5-10,5	11-12	11-12	12	12
Maksimalna brzina (čv)	14,5-16,5	17,5	18,5	18,5-19,5	~19	~19
Količina isparenog gasa (% volumena/dan)	0,26-0,24	0,21-0,18	0,25-0,15	~0,15	-	-
Broj članova posade	16-22	~27	28-34	28-34	~ 34	~ 34

Autor. Na osnovu više različitih izvora. Belamarić G., „Prevoz ukapljenog LNG plina“.

Posmatrano prema svome volumenskom kapacitetu skladišnog prostora za tečni zemni gas, uslovno je moguće izvršiti klasifikaciju LNG brodova na: male (do 60 000 m<sup>3</sup>); srednje (60 000–120 000 m<sup>3</sup>); velike (120 000–1 200 000 m<sup>3</sup>) i mega (Q-flex 200 000–250 000 m<sup>3</sup>); Q-max (preko 250 000 m<sup>3</sup>). Danas, okvirno posmatrano prema broju brodova u svetu, u eksploataciji je: 5% brodova čiji je kapacitet do 124 000 m<sup>3</sup>; 60% brodova čiji je kapacitet 124 000–150 000 m<sup>3</sup>; 60% čiji je kapacitet 150 000–150 000 m<sup>3</sup>; 15% brodova imaju kapacitet iznad 150 000 m<sup>3</sup> (tabela 4.9).



Slika 4.38 Rast skladišnog prostora LNG brodova koji su se gradili u svetu<sup>216</sup>



Slika 4.39 Ukupan broj LNG brodova u svetu posmatrano po godinama<sup>217</sup>

<sup>214</sup> O vrsti brodova i njihovim konstrukcionim karakteristikama može se videti *Ship design and Construction*, Written by an International Group of Authorities, Thomas Lamb, Editor, Pavonia Avenue, Jersey City, 2004, Chapter 32.

<sup>215</sup> Sačinjena na osnovu više različitih izvora. Podaci mogu da imaju manja odstupanja, u zavisnosti od proizvođača broda. Belamarić G., *Prevoz ukapljenog LNG plina*, Split, 2012, str. 31.

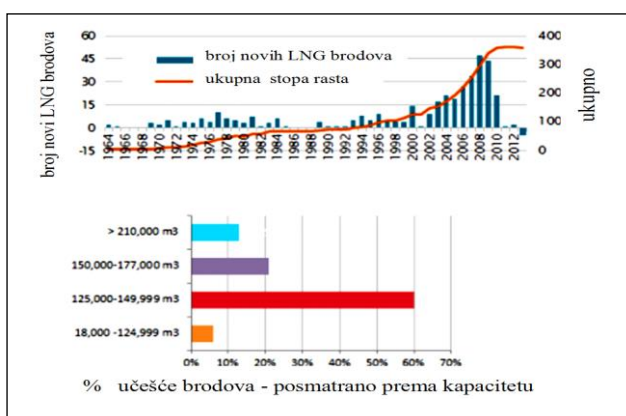
<sup>216</sup> Izvor: više stručnih radova iz ove oblasti. Preuzeto Belamarić G., *Prevoz ukapljenog LNG plina*, Split, 2012.

<sup>217</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti.

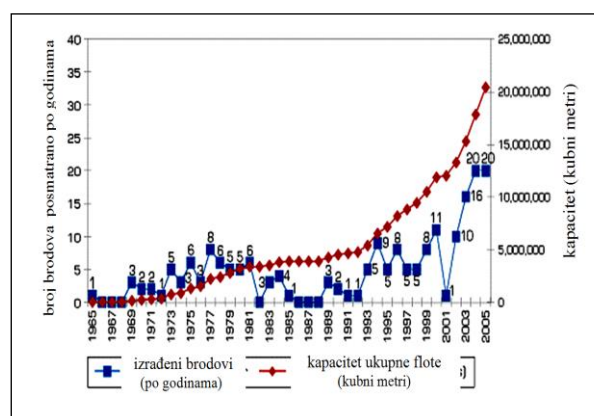
Prilikom preračuna volumenske zapremine tankova broda u težinski iznos LNG koji se doprema, potrebno je u obzir uzeti koeficijent gustoće metana u tečnom stanju, tako da se zapremina transportnog prostora suda pomnoži sa koeficijentom gustoće gasa u tečnom agregatnom stanju ( $0,422 \text{ kg/dm}^3$ ).<sup>218</sup> U volumenskom prostoru od  $1 \text{ m}^3$  staje  $422 \text{ kg}$  tečnog metana, a u prostoru od  $1000 \text{ m}^3$  LNG tanka broda, doprema se  $422$  tone metana.<sup>219</sup>

Danas većina novih LNG brodova, koji se grade u svetu, imaju relativno veliki kapacitet, tako da će se vremenom povećati procentualno učešće LNG brodova velikog kapaciteta u ukupnoj floti. Dolazi do povlačenja iz upotrebe starih brodova, koji su najčešće manjeg kapaciteta, a na njihovo mesto dolaze novi, savremeni brodovi, sa znatno većim volumenskim skladišnim prostorom za LNG. Dužina savremenih brodova je preko  $300$  metara.<sup>220</sup> Radni vek broda za dopremu tečnog zemnog gasa se najčešće kreće u rasponu između  $35$  i  $40$  godina.

Maksimalan kapacitet brodova za LNG koji su se gradili u svetu do sredine šezdesetih godina nije prelazio  $30$  hiljada  $\text{m}^3$  ukupnog volumenskog prostora za skladištenje gasa. Do sredine sedamdesetih godina XX veka, najveći kapacitet novoizgrađenog broda bio je do  $120$  hiljada  $\text{m}^3$ . U periodu  $1975$ – $2005$  brodovi dostižu kapacitet od  $150$  hiljada  $\text{m}^3$ . Do  $2001$ . godine ukupan broj LNG brodova u svetu je bio  $160$ , nakon čega je došlo do nagle ekspanzije njihove proizvodnje (slika 4.38. i 4.39). Danas, svetska flota ima preko  $350$  brodova u eksploataciji (slike 4.40. i 4.41).<sup>221</sup>



Slika 4.40. Razvoj infrastrukture LNG brodova<sup>222</sup>



Slika 4.41. Ukupni kapacitet LNG tankera<sup>223</sup>

Veličina luka za prihvatanje (utovar i istovar) brodova posredno utiču na veličinu brodova. Novoizgrađeni brodovi imaju sve veći kapacitet, mogućnost prevoza na većim rastojanjima, veću brzinu, povećanjem kapaciteta brodova smanjuju se troškovi po jedinici prevezenog tereta. Posle  $2005$ . godine na tržištu su se pojavili LNG brodovi, čiji kapacitet prelazi  $200 \times 10^3 \text{ m}^3$ . Nova generacija brodova, kapaciteta  $209$ – $217$  hiljada  $\text{m}^3$ , prilagođena je da pristane u svim većim lukama. Ta njihova karakteristika, uslovila je njihov naziv *flex* (od engleske reči „flexible“). Ovi noviji brodovi imaju na sebi sistem za ponovno utečnjavanje isparenog gasa. Pojedinačni kapacitet najveće izgrađenih *Q-max* brodova premašuje  $250$  hiljada  $\text{m}^3$ . Prvi brod za LNG, pod imenom *Mozah* iz grupe *Q-max*, zaplovio je  $2008$ . godine.<sup>224</sup> Kod ovih brodova tankovi su membranskog tipa.

<sup>218</sup> Gustoća utečnjelog metana iznosi od  $422$  do  $426 \text{ kg/m}^3$ , dok se gustoća utečnjelog zemnog gasa (gasa iz koga nisu odvojene neke primese) kreće i do  $465 \text{ kg/m}^3$ .

<sup>219</sup> Tanker od  $125\,000 \text{ m}^3$  prevozi oko  $52\,500$  tona metana. Brod od  $266\,000 \text{ m}^3$  transportuje približno  $122\,000$  tone LNG (što iznosi ekvivalent  $5800 \text{ MMcf}$ ).

<sup>220</sup> Kao ilustracija dužine velikih brodova za LNG može da posluži dužina *Mozah* tankera, koja iznosi  $315 \text{ m}$  (dužina  $1132 \text{ feet}$ ). Njegova dužina je veća od visine Ajfelovog tornja ( $300 \text{ m}$ ) u Parizu. Dubina mora u pristaništu za LNG brodove manjeg kapaciteta treba da iznosi minimalno  $12 \text{ m}$ , a kod velikih brodova dubina treba da je iznad  $15 \text{ m}$ .

<sup>221</sup> U prezentaciji prevoza LNG brodovima sagledan je i rad Guðrún Jóna Jónsdóttir, „LNG as a ship fuel in Iceland A feasibility study“, *Master of Science in Construction Management*, Reykjavik University, 2013.

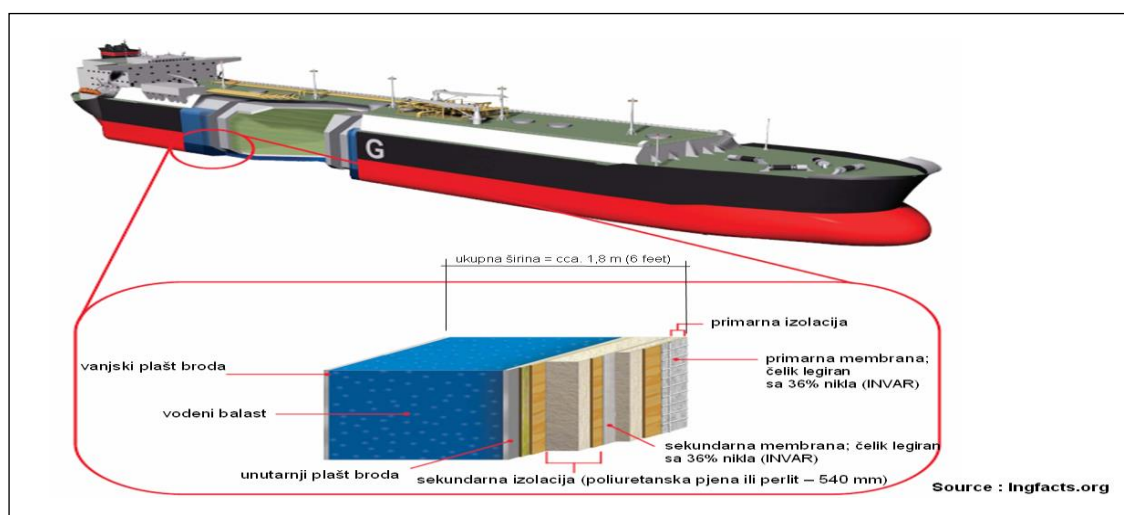
<sup>222</sup> Izvor, IGU-World LNG Report 2014. Razvoj infrastrukture LNG brodova, izgradnja i % učešća prema kapacitetu.

<sup>223</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti.

<sup>224</sup> Brod je izradila *Samsung Heavy Industries* i *Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Company* prema narudžbini *Qatar Gas Transport Company*.

**Instalacija na brodu za utovar i istovar LNG-a.** Osnovni zadatak ove instalacije na brodu je da obezbedi siguran i pouzdan utovar i istovar tereta (slike 4.42 i 4.43). Njegovu osnovu čine pokretni cevovodi koji omogućuju pomeranje broda zbog plime i oseke; balastiranja i debalastiranja; uzdužnog pomeranja uz pristanište. Pored cevovoda, zajednički za sve sisteme su i: elementi za zatvaranje, sigurnosni ventili (na tankovima tereta, na izolacijskim područjima, na cevovodima i uređajima), pumpe za rukovanje teretom,<sup>225</sup> kompresori gasa,<sup>226</sup> grejači gasa, isparivači gasa, sušači izolacionog prostora, sistem za nadzor tereta na brodu.

**Radne operacije prilikom utovara i istovara LNG** na brodove obuhvataju niz radnih postupaka: kontrolu tankova, sušenje, inertizaciju, istiskivanje (potiskivanje) inertnih gasova, pothlađivanje tankova, utovar LNG, održavanje tereta tokom plovidbe, istovar LNG, merenje tereta. Za uspešnu realizaciju ovih aktivnosti koristi se niz različitih mernih i sigurnosnih uređaja za kontrolu pritiska, merenje nivoa tereta u tankovima, merenje temperature, merenje gustoće gasa, otkrivanje vode, detekciju gasa. Posebno mesto prilikom realizacije aktivnosti utovara, transporta i istovara tečnog zemnog gasa zauzimaju protivpožarne bezbednosne mere. Reč je o nizu različitih uređaja koji se mogu grupisati u: a) uređaje za detekciju požara i b) uređaje i opremu za gašenje.



Slika 4.42. Presek LNG broda sa mebranskim tankovima<sup>227</sup>

Većinom svih operacija, radnji i aktivnosti na brodu, rukovodi se i realizuje iz visoko automatizovanih i kompjuterski sofisticiranih kontrolnih soba (kabina). Prilikom projektovanja i izgradnje LNG brodova, sa ciljem postizanja što većeg stepena sigurnosti i bezbednosti za brodove, posadu i opremu, od 1989. godine svi se pridržavaju „IGC code“ standarda.<sup>228</sup>

**Isparavanje utečnjelog zemnog gasa.** U samoj fazi prevoza gasa brodom, on prelazi iz tečne u gasovitu fazu unutar samih tankova, jer nije moguće u potpunosti onemogućiti ovu aktivnost. Najveći uticaj na isparavanje LNG ima sama debljina i kvalitet izolacije.<sup>229</sup> Koeficijent isparavanja gasa izražava se procentom prelaza tečnog gasa u gasovito stanje, na dnevnom nivou u odnosu na ukupnu zapreminu samoga tanka.<sup>230</sup> Na brodu mogu biti ugrađene instalacije za ponovno utečnjavanje zemnog gasa koji je prešao u gasovitu fazu. Instalacije mogu biti za: potpuno

<sup>225</sup> Na brodu postoje dve vrste pumpi za manipulaciju teretom: glavne teretne pumpe i pumpe za pothlađivanje.

<sup>226</sup> Kompresori gasa nalaze se instalirani u okviru brodske kompresorske stanice.

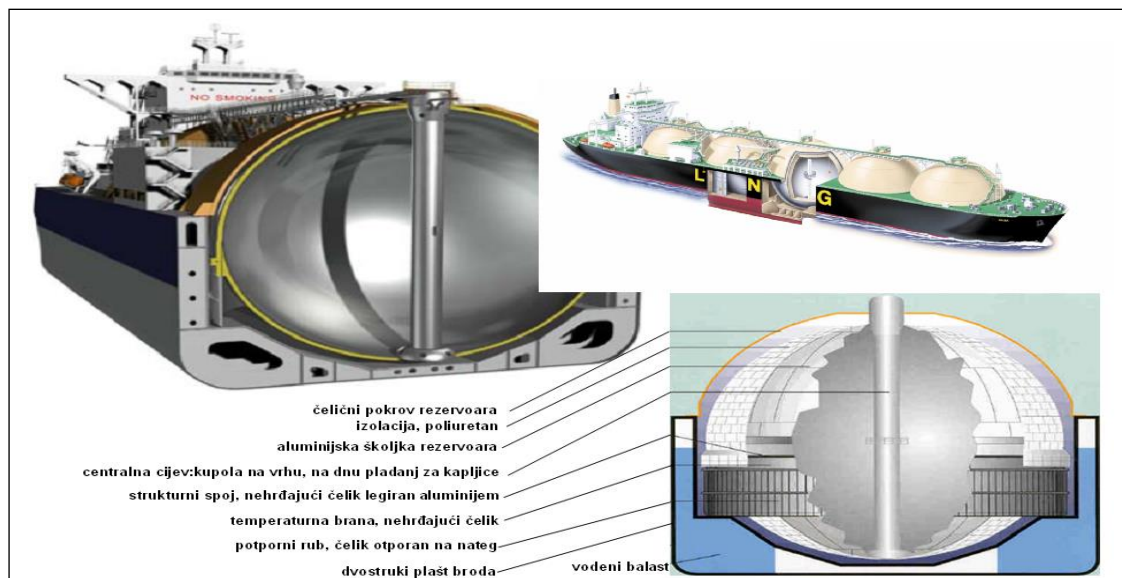
<sup>227</sup> Izvor: Šourek M. i Vugrinec M., „Aspekt sigurnosti prihvata, skladištenja i uplinjavanja LNG-a“, XXI Međunarodni znanstveno-stručni susret stručnjaka za plin, Opatija, 2006, prema Ingfacts.org.

<sup>228</sup> IGC code – *The International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk*, Internacionalni propis za konstrukciju i opremanje brodova za transport tečnog gasa, odnosi se na brodove posle 1986.

<sup>229</sup> Pored ovih faktora, uticaj ima i: sastav LNG, spoljna temperatura, pritisak gasa u tanku, vremenski uslovi na otvorenom moru, pomeranju broda.

<sup>230</sup> Stariji brodovi imaju dnevni koeficijent isparavanja 0,25%. Kod novijih sferičnih brodova on iznosi ispod 0,15%.

utečnjavanje gasa i delimično utečnjavanje.<sup>231</sup> Sama realizacija aktivnosti ponovnog utečnjavanja isparenog zemnog gasa najčešće nije ekonomski isplativ, <sup>232</sup> tako da se njegova upotreba u funkciji energenta, za pogon kod nekih brodova, pokazala kao veoma racionalna i ekonomski prihvatljiva.

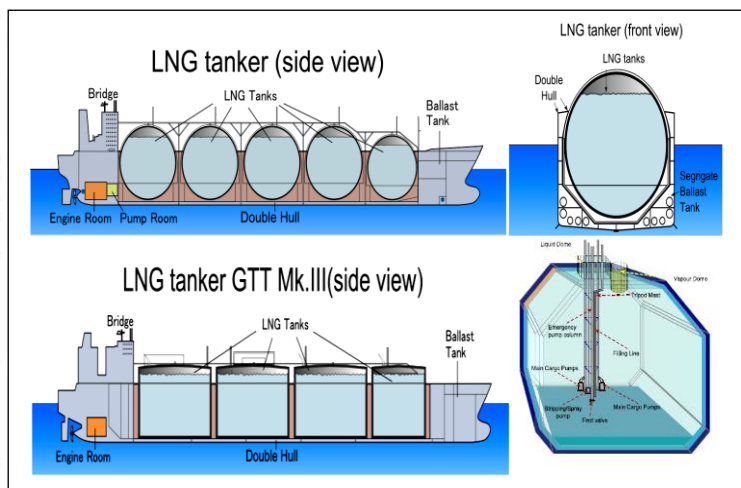


Slika 4.43. Presek broda za dopremu LNG sfernog tipa<sup>233</sup>

**Pogon na brodovima.** Različita su tehnička i tehnološka rešenja za rad motora i pogonskog sistema za plovidbu na brodovima za transport tečnog zemnog gasa. Najčešće, kao energenti za rad motora koriste se ispareni zemni gas ili dizel gorivo (tabela 4.10). Pogoni mogu biti: parni, dizel + gas, dizel sa sistemom za ponovno utečnjavanje gasom; pogoni kombiniranim ciklusom.<sup>234</sup>

Pogon	Parni stroj	Dizel + plin	Dizel s ukapljivanjem	Kombinirani ciklus
Shema sustava	ISP. PLIN DODATNO G. Niskot. turbina Parni kotao Visokot. turbina	ISP. PLIN Pomoćni kotao Dizel motor DIESEL	ISP. PLIN Prema spremniku Pogon za ukapljivanje Dizel motor DIESEL	ISP. PLIN Plinska turbina Kotao za grijanje vode isp. plin. Turbina
Prednosti	Vrlo pouzdan sustav, pogoni većinu brodova za transport UPP, izgara 100% isplinjelog plina	Veća učinkovitost, isp. plin se koristi kao gorivo	Veća učinkovitost, odvojeno spremnik i pogonski sustav	Veća učinkovitost od parnog stroja
Nedostaci	Mala učinkovitost	Nužno korištenje dizel goriva	Visoka potrošnja dizel goriva, električna en. nužna za pokretanje pogona za ukapljivanje	Nemoguće korištenje više vrsta goriva

Tabela 4.10. Različiti pogonski sistemi na brodovima<sup>235</sup>



Slika 4.44. Poprečni presek brodova i tankova (kuglasti i mebranski) za prevoz LNG<sup>236</sup>

<sup>231</sup> Instalacija za delimično utečnjavanje ima manju potrošnju energije. Za utečnjavanje 30% isparenog gasa potrebno je 1000 kW dodatne snage.

<sup>232</sup> Ugradnja složenog postrojenja za utečnjavanje isparenog zemnog gasa na brodu veoma je komplikovana i skupa, a sam proces je ekonomski neisplativ.

<sup>233</sup> Izvor: Šourek M. i Vugrinec M., *Aspekt sigurnosti prihvata, skladištenja i uplinjavanja LNG-a*, XXI Međunarodni znanstveno-stručni susret stručnjaka za plin, Opatija, 2006.

<sup>234</sup> Opširnije i detaljnije v. u radovima iz ove oblasti. Kukuljan D. i dr., „Opravdanost ugradnje i princip rada uređaja za ponovno ukapljivanje prirodnog plina na brodu“, *Pomorstvo*, 26/1, 2012, str. 215–226. i drugi radovi.

<sup>235</sup> Izvor: Yuasa K. i dr., „Key Technologies of Mitsubishi LNG Carriers – Present and Future“ *Technical Review*, vol. 38 No. 2, Tokyo, 2001, preuzeto Posavac D., „Brodovi za ukapljeni prirodni plin“, *RGN zbornik* br. 22, Zagreb, 2010.

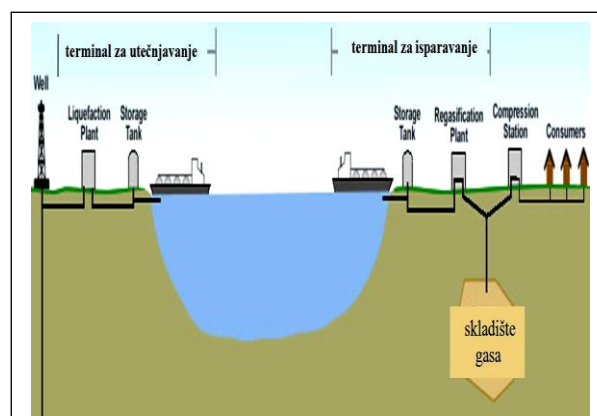
<sup>236</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti.



**LNG RV brodovi** (Liquefied natural gas regassification vessel).<sup>237</sup> Danas, kao jedno savremeno efikasno konceptualno i tehnološko rešenje predstavljaju LNG RV brodovi, koji imaju mogućnost istovremenog transporta i skladištenja većih količina tečnog metana na plovidu, ali i istovremeno i mogućnosti njegovog prevođenja u gasovito stanje, putem instaliranih isparivača na njemu. Reč je o konceptu broda za prevoz tečnog gasa, koji je specijalno namenjen za prevoz, skladištenje i isparavanje. On ima u svom sklopu integrisano tehničko i tehnološko rešenje za skladištenje i sistem za isparavanje tečnog gasa.<sup>238</sup> Ovi brodovi na sebi imaju instalirane rezervoare za skladištenje LNG (kao i svi drugi brodovi za prevoz) ovog energenta, ali i uređaje za isparavanje tečnog gasa.<sup>239</sup> Tečni gas koji se doprema brodom, nakon pristanka broda (u posebno namenjenim lukama, pristaništima ili u neposrednoj blizini obale) može se sa njega isporučiti u tečnom ili gasovitom stanju. Kod isporuke gasa u tečnom stanju, gas se sa broda pretovara kao kod svih klasičnih LNG brodova (slika: 4.44). U situaciji kada se želi da se gas sa njega isporuči u gasovitom stanju, tečni gas se pomoću instaliranih isparivača na brodu prevodi i dalje isporučuje na obalu u gasovitom agregatnom stanju, putem adekvatnog sistema za pretakanje (slika 4.45). Dalje se gas može direktno isporučivati putem cevovoda kupcima ili otpremati u skladišta (slika 4.46).



Slika 4.45. Klasičan lanca poslovanja LNG<sup>240</sup>



Slika 4.46. Segmenti u okviru LNG lanca<sup>241</sup>

Ovaj koncept prevoza i snabdevanja tržišta je adekvatan i prikladan za određene situacije kod snabdevanja tržišta gasom. Kapaciteti ovih brodova najčešće se kreću između 130 i 150 hiljada m<sup>3</sup>. Brodovi mogu da se grade sa ovim tehničkim rešenjima kao potpuno novi ili da se izvrši nadogradnja sistema za isparavanje na već postojećim brodovima.<sup>242</sup> Takođe, ovi brodovi mogu da se koriste i kao plutajući terminali. U tom slučaju, brodovi koji prevoze LNG, pristaju uz usidreni LNGRV na mestu isporuke. Tečni gas iz LNG broda se putem pumpi prevodi u gasovito stanje preko sistema za isparavanje na LNGRV brodu i isporučuje u gasovod.

**Cena LNG brodova** za prevoz tečnog gasa zavisi od kapaciteta broda, tipa tanka, tehničkog rešenja, proizvođača, opremljenosti, broja poručenih brodova, načina plaćanja, godine proizvodnje. Sistem tankova za LNG na jednom brodu dostiže gotovo polovinu njegove tržišne vrednosti. Cena tankera kreće se u rasponu 225–250 miliona USA dolara za brodove kapaciteta od 135 hiljada m<sup>3</sup>.

<sup>237</sup> LNG RG brodovi (*Liquefied natural gas regassification vessel*). Opširnije o tehničkom i konceptualnom rešenju na ovim brodovima videti u uže stručnim radovima.

<sup>238</sup> Jednostavno, reč je o specijalno konstruisanim brodovima za prevoz LNG, pri čemu su oni još opremljeni sistemom za isparavanje tečnog metana. Gas se prevodi na samom brodu iz tečnog u gasovito agregatno stanje.

<sup>239</sup> Ovi brodovi su namenjeni u prvom redu da prenos metana u tečnom stanju do mesta doprema, a zatim ga iz tečnog stanja prevede u gasovito stanje i takvog isporuče sa broda. U onim slučajevima u kojima se pokaže potreba da se metan sa broda isporuči u tečnom stanju, moguće je realizovati takav zahtev. To se postiže na taj način, što se prilikom istovara i isporuke gasa sa broda ne koriste isparivači, već se gas direktno sa broda isporučuje u tečnom stanju.

<sup>240</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti. Grafičke ilustracije jednog od mogućih različitih oblika lanca poslovanja zemnim gasom, od nalazišta do potrošača, njegovim utečnjavanjem (LNG).

<sup>241</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti. Grafičke ilustracije segmenata utečnjavanja i isparavanja zemnog gasa u okviru LNG lanca snabdevanja potrošača od mesta nalazišta do krajnjeg.

<sup>242</sup> Prvi brod ovoga tipa isporučen je 2005. godine iz korejskog bodogradilišta *Daewoo*, nosivosti od 138 000 m<sup>3</sup>.

Dok cena brodova iz klase Q (*flex* i *max*) dostiže i do 300 miliona dolara,<sup>243</sup> cena LNG RV broda, istog kapaciteta u odnosu na brodove koji su namenjeni samo za dopremu tečnog metana, značajno je veća zbog instaliranih uređaja za isparivanje koje poseduju u svom sastavu.<sup>244</sup>

### 1.2.3. Osnovne karakteristike i obeležja savremenih prihvatnih terminala za brodove u funkciji snabdevanja tržišta tečnim zemnim gasom

Terminal za prihvat brodova predstavlja treći glavni segment transportnog lanca tečnog zemnog gasa. Osnovni zadatak i funkcija klasičnog terminala za prihvat brodova sa tečnim zemnim gasom je: prihvat broda, istovar LNG sa broda, skladištenje tečnog zemnog gasa<sup>245</sup> i isporuka gasa. Sama dalja isporuka zemnog gasa, koji je dopremljen brodovima u prihvatni terminal, može biti u gasovitom i tečnom agregatnom stanju. Kod isporuke gasa u gasovitom stanju iz prihvatnog terminala, potrebno je tečni gas prvo prevesti u gasovito agregatno stanje. Prevođenje gasa iz tečnog u gasovito stanje realizuje se procesom njegovog isparavanja u posebno konstruisanim postrojenjima (isparivačima) različitih tehničkih rešenja. Najznačajniji elementi vezani za prihvatne terminale su: izgradnja i karakteristike samog terminala, skladištenje tečnog zemnog gasa i isparavanje.

#### 1.2.3.1. Kopneni i odobalni prihvatni terminali za LNG brodove

Prilikom odluke o gradnji prihvatnog terminala za brodove koji prevoze tečni zemni gas (metan), prvi konkretan korak je **izbor potencijalne lokacije**. Prilikom izbora potencijalne lokacije terminala, neophodno je imati u vidu potrebne količine, dinamiku dopreme i isporuke gasa. Zatim se sagledavaju parametri vezani za udaljenost i karakteristike tržišta sa koga se doprema gas i tržište na koje se on isporučuje. Istovremeno, potrebno je paralelno imati u vidu parametre vezane za tehničke karakteristike brodove sa kojima će se izvršiti doprema gasa, ali i prostorne geografske parametre potencijalne lokacije. U zavisnosti od svih ovih parametara, vrši se odabir šireg geografskog prostornog područja lokacije prihvatnog terminala. Posle izbora šireg geografskog područja, vrši se ocena konkretnih mogućih lokacija u okviru njega, na osnovu utvrđenih kritičnih parametara koje lokacija treba da ispuni. Prihvatni terminali za LNG brodove grade se odvojeno izvan postojećih luka za prevoz druge vrste proizvoda brodovima.

Konkretno, na odabir određene lokacije terminala utiče veliki broj različitih kriterijuma i parametara. Svi oni mogu se uslovno grupisati na: karakteristike vezane za sam prostor; parametre brodova i karakteristike gasne mreže.<sup>246</sup> Prostorni kriterijumi obuhvataju: dubinu mora u pristaništu; širinu i dubinu prilaznog morskog kanala; raspoloživi manevarski prostor za brodove; seizmičke aktivnosti u području; vremenske uslove (vetar, talasi, magla, morske struje); geološke uslove tla; nadmorska visina lokacije terminala u odnosu na moguće poplave; udaljenost između mesta pretakanja i skladištenja; površina koju zauzima terminal i postrojenje; tip rezervoara za skladištenje LNG; blizina i gustina naseljenost okruženja. Parametri koji se sagledavaju pri izboru i izgradnji terminala, a odnose se na brod, obuhvataju: tip broda; dužinu i gaz broda; potreban manevarski prostor;<sup>247</sup> nosivost broda; kapacitet broda; vrsta tanka (membranski, sferični). Karakteristike gasne mreže prilikom izbora lokacije terminala jesu: udaljenost od komercijalne gasne mreže od terminala; kapacitet gasovoda. Pored ovih parametara, na izbor lokacije utiču i konstrukcijska rešenja i gabariti

<sup>243</sup> Uslovno može da se posmatra da se cena transportnog kapaciteta LNG broda od 1000 m<sup>3</sup> kreće od 1 do 1,5 miliona \$ u zavisnosti od niza parametara vezanih za konkretni brod. Mesečna plata lica koji upravlja LNG brodom trenutno se kreće u rasponu od 12 do 17 hiljada USA \$.

<sup>244</sup> Kapacitet prostora za skladištenje tečnog zemnog gasa na LNG RV brodovima je nešto manji u odnosu na brodove istih dimenzija. Razlog je to što je potreban prostor za instalisanje postrojenja opreme za isparivanje.

<sup>245</sup> Detaljno sagledavanje skladištenja LNG u okviru ove glave u delu vezanom za skladištenje gasa.

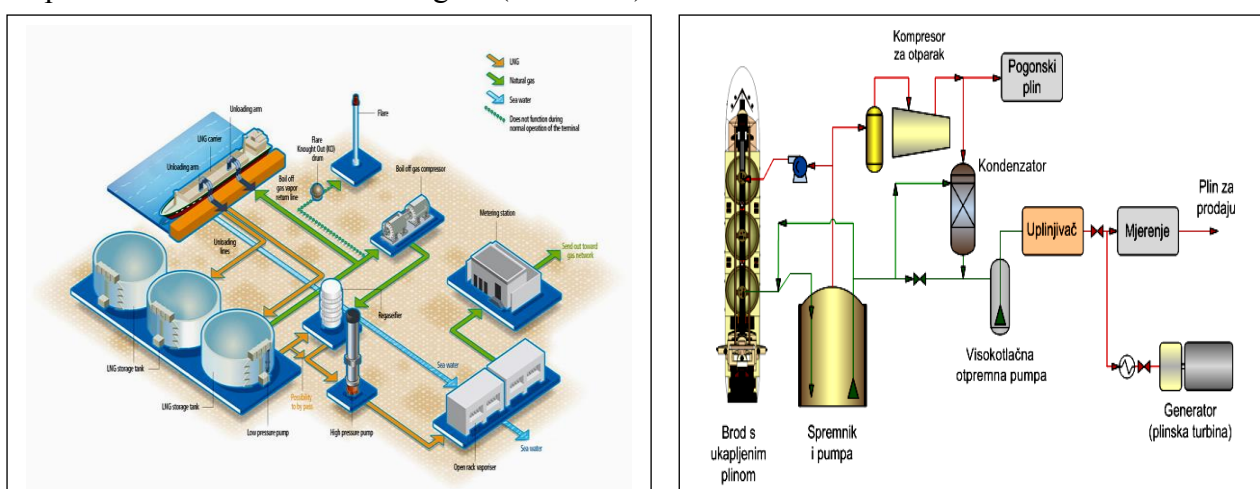
<sup>246</sup> Prema Sonne T.R., „Critical Parameters for LNG marine Terminal Site Selection“, *Offshore Tehnology Conference*, Texas, SAD, 2008.

<sup>247</sup> Potrebna minimalna dubina mora je 15 metara, manevarski prostor minimalno je 700 m (dve dužine broda), ...

terminala za utečnjavanje. Takođe, značajno mesto ima i bezbednosno-sigurnosni aspekt terminala na okruženje i njegov uticaj na ekologiju.

**Terminali za prihvat brodova.** Danas u svetu postoji više različitih varijanti građevinskih i tehničko-tehnoloških rešenja prihvatnih terminala za brodove sa tečnim zemnim gasom. Posmatrano sa aspekta lokacije na kojoj su instalirani, oni mogu biti locirani na kopnu i moru. Reč je o dva osnovna tipa terminala: 1. konvencionalni terminali (terminali na morskoj obali) i 2. *off shore* terminali (terminali na otvorenom moru).

**1. Konvencionalni terminali** (terminali na morskoj obali) grade se uz samu obalu kopna. Oni imaju funkciju da prihvate brodove, izvrše pretakanje gasa, omoguće skladištenje tečnog gasa, uz mogućnost prevođenja gasa iz tečnog u gasovito agregatno stanje i isporuku ugovorenih količina gasa. Terminali u svom sastavu imaju: pristanište (dok) sa uređajima za pretakanje, cevovod za pretakanje (povezuje brod sa rezervoarima), rezervoare za skladištenje LNG, pumpe, isparivače, kompresore i cevovodnu vezu kojom je on povezan dalje na tranzitni, magistralni, distributivni transportni sistem ili sa skladištem gasa (slika 4.47).



Slika 4.47. Grafička ilustracija i šematski prikaz klasičnog prihvatnog LNG terminala na kopnu<sup>248</sup>

Važan postupak u prihvatnom terminalu je pretakanje tečnog zemnog gasa iz broda. Za pretakanje tečnog gasa iz brodskih tankova u skladišne prihvatne rezervoare koriste se „zglobne ruke“. To su posebno dizajnirane gibljive cevi od nerđajućeg čelika, otporne na niske temperature. Svaka cev se sastoji od tri cevna segmenta. Svaki segment je približne dužine oko 9 metara. Na kopnenim terminalima najčešće se koriste tzv. pantografski pretakači s *Chiksan* okretnim zglobom.<sup>249</sup> Sistem za pretakanje treba tako dimenzionisati da on omogući celokupno pretakanje tečnog gasa iz broda u roku od 12 do 14 sati.<sup>250</sup>

**2. Terminali na otvorenom moru** (odobalni prihvatni, *off shore* terminali) za brodove sa tečnim zemnim gasom nalaze se instalirani na otvorenom moru van obale. Odobalni terminali za prihvat brodova međusobno se razlikuju u zavisnosti od spoja sa morskim dnom (čvrsti i fleksibilni); opremljenosti terminala da realizuje određene funkcije prilikom manipulacije sa LNG (skladištenje, isparivanje); načinu sidrenja broda uz terminal (bočno, čeono). Kod izbora lokacije za njihovu izgradnju potrebno je ispuniti uslove i zahteve vezane za dubinu mora, odgovarajuće klimatske i hidrografske uslove, konfiguraciju dna mora,<sup>251</sup> dovoljan prostor za manevrisanje.

<sup>248</sup> Izvor: Huang S. i dr., „Basics of Liquefied Natural Gas“, Austin, Texas, University of Texas, ontroling Education, Petroleum Extension Servie, 2007. Preuzeto iz velikog broja različitih stručnih radova iz ove oblasti.

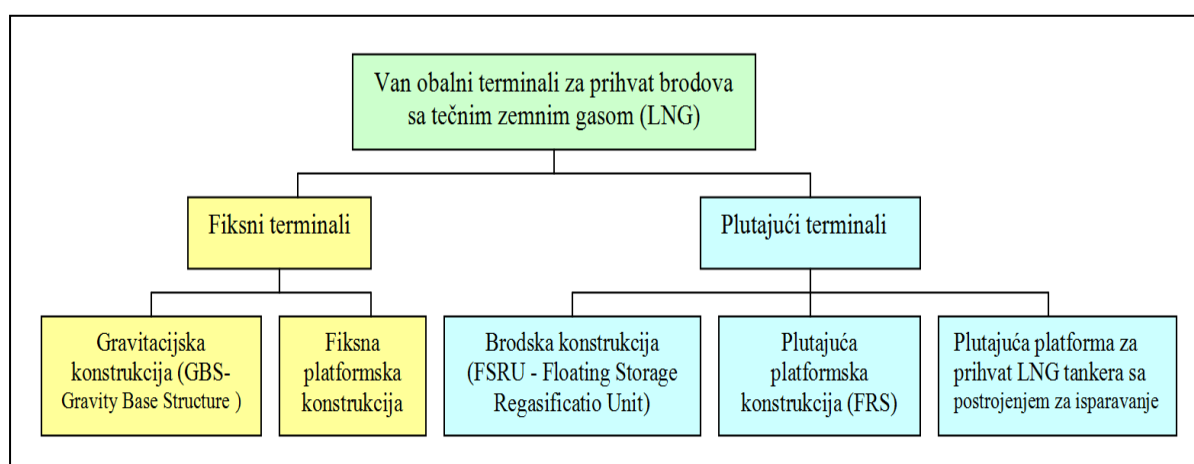
<sup>249</sup> Cev pretakača ima unutrašnji prečnik od 16 do 24 inča (0,4064 do 0,6096 m). Reč je o standardnim prečnicima. On je kod većine LNG brodova isti od 16 inča. Oko unutrašnjih cevi nalaze se spoljne cevi (od 20 do 28 inča) a između njih je vakum kao izolacija. Zglobna ruka velikog kapaciteta, ima 4 gibljive cevi namenjene istakanju tečnog metana dok peta cev (prečnika 20 in) služi za povraćaj isparenog gasa u brod u toku pretakanja.

<sup>250</sup> Kapacitet brodski pumpi kojima za pretaka gas sa broda je od 11-18 hiljada m<sup>3</sup>/h. Nominalna brzina protoka LNG kroz gibljive cevi ne bi trebalo da prelaze 10m/s. Cevi se pothlađuju prosečno oko 2 sata pre početka pretakanja.

<sup>251</sup> Bez abrazije i stena.

Osnovna podela terminala za prihvat brodova sa tečnim zemnim gasom na otvorenom moru je, u zavisnosti od načina sidrenja osnovne konstrukcije, sledeća: 1. fiksni i 2. plutajući. 1. Fiksni terminali imaju čvrstu vezu sa dnom mora. Oni se grade i instaliraju na plitkim lokacijama mora čija dubina ne prelazi 35 metara. U zavisnosti od tehničkih rešenja i realizacije ostvarivanja same fiksne veze sa dnom mora, oni mogu biti izgrađeni na taj način da: a) koriste vlastitu težinu konstrukcije terminala (GBS – *Gravity Base Structure*) i b) pomoću posebne platformske konstrukcije na temeljima koji se nalaze na morskom dnu. 2. Plutajući prihvatni terminali imaju fleksibilnu vezu sa dnom mora. Ovi terminali se realizuju kao: a) usidrene modifikovane brodske konstrukcije (FSRU); b) različita tehnička rešenja plutajućih platformskih konstrukcija (FRS) i c) plutajuće platforme za prihvat LNG tankere sa postrojenjima za isparivanje (slika 4.48).<sup>252</sup>

Prednosti odobalnih prihvatnih terminala u odnosu na kopnene terminale je u tome da su njihovi troškovi izgradnje ekonomski znatno prihvatljiviji; u slučaju havarija imaju manji direktni uticaj i opasnost na stanovništvo; da oni ne narušavaju pejzažni ambijent same obale i kopna; imaju veću naklonost široke društvene zajednice za njihovu izgradnju; lakše dobijaju građevinske i upotrebne dozvole.



Slika 4.48. Podela terminala za prihvat LNG brodova koji se nalaze na otvorenom moru<sup>253</sup>

**LNG RV brod** (*Liquefied natural gas regassification vessel*) u funkciji terminala.<sup>254</sup> Posebno mesto sa aspekta prihvatnih terminala zauzima savremeno tehničko-tehnološko konceptualna rešenje primene LNG RV brodova. Ovi brodovi, pored funkcije prevoza tečnog zemnog gasa i njegove isporuke (u gasovitom ili tečnom stanju) iz prihvatnog terminala, dalje u gasovodni sistem, mogu i da se koriste kao plutajući terminali.

U ovoj situaciji brodovi koji prevoze LNG pristaju uz LNGRV brod (usidren na mestu isporuke, nebitno je da li ima ili nema uređen prihvatni terminal), čiji se sistem za pretakanje (ako je potrebno i za isparivanje) koristi za istovar i dalju isporuku gasa.<sup>255</sup> Tečni gas iz LNG broda prevodi se putem pumpi, ako se to želi, preko sistema za isparavanje na LNGRV brodu, u gasovito stanje i isporučuje se u cevovodni transportni sistem ili u skladišta. Prednosti ovakvog načina dopreme gasa: jeftinija i brža izgradnja prihvatnih terminala; manje zauzimanje prostora, jednostavno rešenje

<sup>252</sup> Opširnije i detaljnije o svakom od pojedinačnih vanobalnih prihvatnih terminala za LNG brodove videti u radovima koji tretiraju uže stručno ova pitanja.

<sup>253</sup> Autor. Izrađeno na osnovu velikog broja stručnih radova.

<sup>254</sup> Reč je o konceptu broda za prevoz tečnog gasa, koji je specijalno namenjen za prevoz i isparavanje. Ovi brodovi imaju savremeno efikasno konceptualno i tehnološko rešenje, istovremenog prenosa većih količina tečnog metana brodovima i mogućnosti njegove isporuke, cevovodni transportni sistem u gasovitom agregatnom stanju. To predstavlja objedinjavanje dve funkcije u okviru samog broda.

<sup>255</sup> Povezivanje LNGRV broda i gasnog sistema se realizuje ili na pučini, korišćenjem podmorskog priključka ili na gatu, korišćenjem obalnog priključka.

(izgradnje, puštanja u rad, upravljanje), mogućnost promena lokacije. Nedostatak: nova tehnologija, ograničen kapacitet rezervoara za LNG, manji izlazni kapacitet.<sup>256</sup>

Ovi brodovi su tehnološki opremljeni i sistemom za isparavanje koji se nalazi instaliran na njima. Tako da se gas može direktno isporučiti sa broda u tečnom i gasovitom agregatnom stanju na obalu. Ovi brodovi mogu da ostvare istovar gasa, sa uređenim terminalom ili bez uređenog terminala za istovar robe. Istovar gasa sa broda može da se realizuje i ako ne postoji uređen terminal za prihvatanje LNG broda. U ovoj situaciji, brod se prilikom aktivnosti istovara robe sa njega, usidri pomoću uronjene plutače na otvorenom moru i tako isporučiti gas sa njega na obalu. Kod uređenog prihvatnog gasa, brod pristaje uz njega i aktivnost se realizuje kao i kod drugih klasičnih LNG brodova.

### 1.2.3.2. Tehničko-tehnološke karakteristike savremeni procesa isparavanja tečnog gasa u funkciji njegovog prevoza

U većini situacija, isporuka tečnog zemnog gasa iz prihvatni skladišni rezervoara, dalje se vrši u gasovitom agregatnom stanju cevovodnim prenosnim sistemima.<sup>257</sup> Tehnološki posmatrano, tečni gas koji se nalazi u prihvatnim skladišnim rezervoarima<sup>258</sup> na temperaturi od  $-162^{\circ}\text{C}$ , pre njegovog daljeg transporta i isporuke, potrebno je da se prevede u gasovito agregatno stanje. Sam tehnološki postupak prevođenja metana iz tečnog u gasovito stanje naziva se isparavanje. On se realizuje u postrojenjima za isparivanje tečnog gasa, čiji je centralni segment isparivač.<sup>259</sup>

Prvo se, u sklopu sveukupnog tehnološkog postupka pripreme gasa za transport cevovodom, tečni gas prevodi (transformiše, prelazi) u gasovito agregatno stanje postupkom njegovog isparavanja. Zatim se zemni gas u gasovitom stanju dodatno zagreva do optimalne vrednosti.<sup>260</sup> Dodatno dogreavanje gasa, do temperature oko  $+15^{\circ}\text{C}$ , vrši se u cilju efikasnog prenosa fluida gasovodnim sistemom.<sup>261</sup> Ukupna toplotna energija koja se troši za zagrevanje gasa, deli se na onu energiju potrebnu za isparavanje (prevođenje gasa iz tečnog stanja u gasovito stanje) i energiju koja se koristi da se temperatura gasa podigne do optimalne temperature za njegov transport.<sup>262</sup>

U primeni danas postoji više različitih vrsta i tipova postrojenja za isparavanje tečnog gasa. Isparivači se međusobno razlikuju prema: tehnologiji, tehničkim rešenjima, izvoru toplote, medijumu koji se koristi za zagrevanje tečnog gasa, konstrukcijskim rešenjima,<sup>263</sup> kapacitetu, gabaritu, ekonomskim parametrima. U primeni su različita savremena tehničko-tehnološka rešenja uređaja i postrojenja za isparavanja tečnog zemnog gasa. Reč je o isparivačima pomoću morske vode bez dodatnog grejanja; potopljenom komorom i grejanjem; pomoću sistema izmene vazduha u kombinaciji sa posrednim vodovima; tornjevima za posredno zagrevanje sa vodom; generatorima sa gasnom turbinom koji koriste višak toplote i kružni proces generatora s parnom turbinom;

<sup>256</sup> Prvi priključak za LNG RV pušten je u rad 2005. Najčešći kapacitet priključka je od 5,2 do 7,1 milijarde  $\text{m}^3/\text{god}$ .

<sup>257</sup> U zavisnosti od potreba, gas je moguće transportovati dalje i: specijalnim cisternama, tankovima, kontejnerima i posudama u tečnom agregatnom stanju. Prevoz se može realizovati drumskim ili železničkim vidom prevoza.

<sup>258</sup> Najčešće, reč je o skladišnim rezervoarima LNG, koji se nalaze u okviru prihvatnih terminala za prevoz brodovima.

<sup>259</sup> Engleski: *evaporate* (*vaporise, gasify*)

<sup>260</sup> Da bi se dobio  $1\text{m}^3$  metana u gasovitom stanju iz tečnog stanja, na temperaturi od  $15^{\circ}\text{C}$  i pritisku od 70 bara, potrebna je energija od 1,015 MJ.

<sup>261</sup> Potrebno je gas pre transporta cevovodom podgrejati na temperaturi do  $+15^{\circ}\text{C}$ . Ovo se radi iz razloga što tranzitni gasovodi visokog pritiska za prenos gasa nisu predviđeni da se kroz njih dostavlja „hladan“ gas.

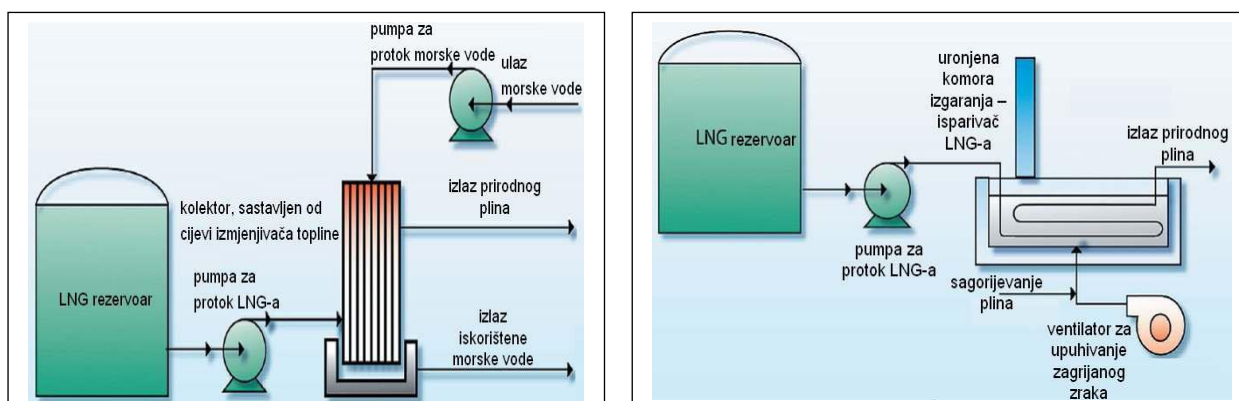
<sup>262</sup> Posebno mesto vezano za isparivače zauzima potrošnja energije koja je potrebna da bi se preveo tečni zemni gas iz tečnog stanja u gasovito agregatno stanje. Kao adekvatan primer potrošnje energije, može da posluži detaljna analiza potrošnje energije prilikom za isparavanja LNG pri različitim količinama protoka u radu Martić F., *Potrošnja energije pri pretvorbi plina iz tekućeg u plinovito stanje na brodovima za prevoz ukapljenog prirodnog plina*, časopis *Naše more* 58 (5–6), 2011, str. 206–211. Urađeno na primeru gasnog terminala *Mina Al Ahmadi Gas Port* u Kuvajtu.

<sup>263</sup> Prema konstrukcionom rešenju i principu rada, isparivači mogu biti: potopljeni sa dodatnim grejanjem; isparivači otvorenog tipa; vazdušni isparivači i oklopno-cevni isparivači.

kombinovanim isparavanjem i grejanjem i mešavinom fluida voda/etielen glikol.<sup>264</sup> Svaka od ovih tehnologija ima svoje prednosti i nedostatke u procesu eksploatacije. Trenutno su u svetu najčešće u primeni dve tehnologije za prevođenje metana iz tečnog u gasovito agregatno stanje: isparivanje pomoću morske vode bez grejanja i isparivanje pomoću uronjene komore u medijumu koji se greje.

**1. Isparivanje pomoću morske vode bez grejanja** (*Sea water vaporizer with open rack [ORV]*). Od svih instalisanih postrojenja za isparavanje LNG, ova tehnologija se u svetu koristi u preko 50% uređaja. Postrojenja su instalirana uz samu obalu. Isparivači se sastoje od velikog broja cevi za izmenu toplote. Reč je o nizu vertikalnih ožljebnih cevi (najčešće od aluminijuma), koji su grupisani u više panela, preko kojih se sliva voda. Najčešće, isparivači su delimično uronjeni u morsku vodu.<sup>265</sup> Tehnički posmatrano, velika količina morske vode se sliva preko cevi isparivača.<sup>266</sup> Na ovaj način, gas se progresivno zagreva<sup>267</sup> i kontinuirano prelazi iz tečnog u gasovito agregatno stanje. Efikasnost ovog tipa izmenjivača zavisi od: kvaliteta vode;<sup>268</sup> stabilnog strujanja i slivanja vodene mase; profila žljeba cevi (slika 4.49). U cilju zaštite od uticaja strujanja vazduha (vetra), paneli izmenjivača su najčešće instalirani između zaštitnih zidova.<sup>269</sup>

Prednost primene ove tehnologije u postrojenjima za isparavanje je to što: kao energent za isparivanje koristi obnovljive energente (morsku vodu), ima niske operativne troškove, niske troškove održavanja, nema emisije štetnih gasova. Njeni osnovni nedostaci jesu: velika količina vode koja se koristi za hlađenje ponovo se vraća u more, i pri tome ima povišenu temperaturu (za 5–12°C); postoji problem vezan za prisustvo natrijum-hipohlorida u vodi koja se ponovo vraća u more; velika gabaritska zapremina postrojenja.



Slika 4.49. Ilustracija tehnološkog procesa isparavanja tečnog zemnog gasa: 1. Pomoću morske vode bez grejanja, 2. Pomoću uronjene komore u medijumu koji se greje.<sup>270</sup>

**2. Isparivanje pomoću uronjene komore u medijumu koji se greje** (*Submerged combustion vaporizers, SCV*). Deo postrojenja (izmenjivač) kroz koga prolazi tečni gas zaronjen je u medijum koji se zagreva sagorevanjem dela isparenog tečnog zemnog gasa. Prolaskom LNG kroz izmenjivač, koji preuzima toplotu iz ugrijanog medijuma, vrši se isparavanje LNG. Kao najznačajnije prednosti ove tehnologije navodi se: ne koristi morsku vodu, na sistem nemaju uticaj klimatski faktori, ima veći stepen mogućnosti izbora mesta instaliranja postrojenja na lokaciji,

<sup>264</sup> Opširnije o svakoj tehnologiji, njenim prednostima i nedostacima može se videti u radovima: Lopac A. A., Vugrinec M., *Nove tehnologije uplinjavanja ukapljenog prirodnog plina (LNG-a)*, Naučni skup u Opatiji, 2010. god; Rožić Ž., *Napredne mogućnosti rasplinjavanja ukapljenog plina kogeneracijskim postrojenjima na LNG terminalu*, Vjesti 30, Zagreb, 2009, str. 50–53.; Smontara N., *Terminali za uplinjavanje ukapljenog plina*, RGNF, Zagreb, 2010.

<sup>265</sup> Poželjno je da temperatura morske vode uvek bude iznad +8°C.

<sup>266</sup> Terminali koji koriste ovu tehnologiju (ORV) radnog su kapaciteta isporuke 28 miliona m<sup>3</sup> gasovitog zemnog gasa dnevno, za njihov rad od 24 sata potrebno im je približno 380000 m<sup>3</sup> morske vode. Reč je o terminalima koji imaju kapacitet ispruke tržištu 10 milijardi m<sup>3</sup> zemnog gasa u gasovitom stanju na godišnjem nivou.

<sup>267</sup> Podižući temperaturu LNG do 1,1-1,7°C (35-40°F).

<sup>268</sup> U slučaju da morska voda nije odgovarajućeg nivoa, ona se filtrira.

<sup>269</sup> Zaštitni zidovi isparivača najčešće su izgrađeni od betona.

<sup>270</sup> Izvor: Lopac A., Vugrinec M., „Nove tehnologije uplinjavanja ukapljenog prirodnog plina (LNG-a)“, Opatija, 2010.

tehnologija je poznata u svetu. Među glavnim nedostacima ove tehnologije ističu se to što: koristi zemni gas za isparivanje, ima negativan ekološki efekat zbog otpadanih elemenata pri sagorevanju gasa za grejanje medijuma, visoke emisija vodene pare.<sup>271</sup> Danas je ova tehnologija prisutna kod 35% svih instaliranih postrojenja u svetu za isparivanje LNG.

**Potrebna energija.** Za realizaciju aktivnosti isparavanja tečnog zemnog gasa potrebna je određena količina energije. Ukupna potrebna količina energije ( $E$ ) za zagrevanje i isparavanje  $1 \text{ m}^3$  LNG može se matematički iskazati pomoću jednačine (4.11).<sup>272</sup> Kod isparivača sa morskom vodom, potrebna količina energije izračunava se upotrebom adekvatne formule za računanje (4.12). Sama količina izmenjene toplote kod ovih isparivača uslovljena je tehničkim rešenjima i ukupnim brojem cevi. Izmena toplote kod jednog izmenjivača toplote može se računski utvrditi upotrebom odgovarajuće jednačine (4.13). Kod tipa isparivača pomoću uronjene komore u medijumu koji se greje za dobijanje potrebne energije utroši se prosečno oko 1,5% količine isparenog gasa.<sup>273</sup>

$E = c (b_2 - b_1) \text{ kJ/m}^3$ <p>(4.11)</p>	$E = \eta m_v c_v (T_1 - T_2)$ <p>(4.12)</p>	$E = k A \frac{(T_2 - T_{\text{LNG}}) - (T_1 - T_{\text{ZG}})}{\log [(T_2 - T_{\text{LNG}}) - (T_1 - T_{\text{ZG}})]}$ <p>(4.13)</p>
$b_1$ – entalpija gasa u tečnom stanju (kJ/kg) $b_2$ – entalpija gasa u zagrejanom stanju (kJ/kg) $c$ – specifična toplota isparavanja (kJ/kg °C)	$E$ – energi. Ispara. ( $1 \text{ m}^3$ LNG) $\eta$ – koefici. iskorivosti izmene $m_v$ – masa vode (kg) $c_v$ – specifična toplota vode (4.18 kJ/kg °C) $(T_1 - T_2)$ – razlika tem. na ulazu i izlazu iz izmenji.	$k$ – koeficijent prolaza toplote (W/m <sup>2</sup> K) $A$ – površina izmenjivača toplote (m <sup>2</sup> ) $T_1$ – tempe. vode na ulazu u izm. toplote (K) $T_2$ – tem. vode na izlazu iz izmenji. topl. (K) $T_{\text{LNG}}$ – tempe. LNG-a na ulazu u izmenji. (K) $T_{\text{ZG}}$ – te. zem. gasa na izlazu iz izmenjivača

#### 1.2.4. Transport tečnog zemnog gasa u cilju bolje snabdevenosti potrošača na teritoriji Balkana i izgradnja novih terminala

Danas je u razvijenom svetu zemni gas bitan faktor opšte energetske sigurnosti, dok je istovremeno, tečni zemni gas u okviru njega, važan i značajan element povećanja sigurnosti snabdevanja gasom tržišta i kupaca. Trenutno u svetu, posle azijskog tržišta tečnim zemnim gasom, najveće tržište ovog energenta je u Evropi. Primena mogućnosti transporta i trgovine LNG pružila je mogućnost diversifikacije snabdevanja velikog broja država Evrope. Najveća količina gasa na Evropsko tržište doprema se iz: Katara, Alžira, Nigerije, Trinidada i Tobaga, Egipata i Omana. Istovremeno, najveći njegovi kupci u Evropi su: Španija, Velika Britanija i Francuska (slika 4.50).

Ukupni ekonomski razvoj i napredak celokupnog regiona Balkana, u znatnoj meri, počiva na primeni i obezbeđivanju dovoljnih količina energije. Zemni gas predstavlja značajnu osnovu tog delokruga. Pored napretka u integraciji regionalnog gasnog tržišta, liberalizacije tržišta i trgovine, samo unapređenje gasne infrastrukture regiona predstavlja važan element tog uspeha. Unapređenje gasne infrastrukture regiona obuhvata, pored izgradnje novih tranzitnih gasovoda, unapređenja postojećih i izgradnje novih magistralnih i nacionalnih cevovoda, gasne interkonekcije između država regiona, i izgradnja terminala za prihvatanje tečnog zemnog gasa i njegovo skladištenje.

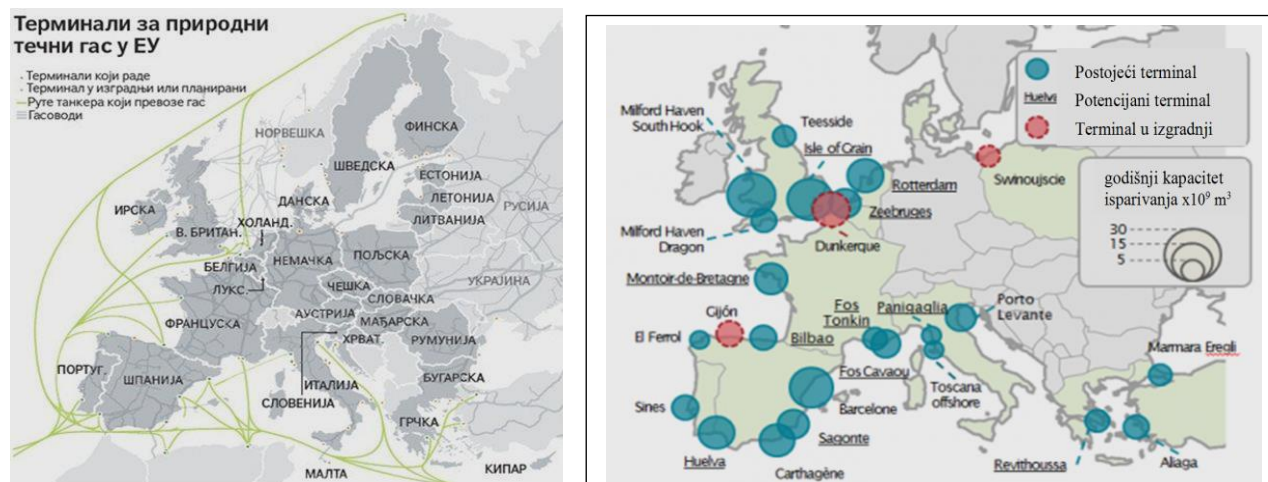
Snabdevanje zemlja na Balkanskom poluostrvu ovim energentom u tečnom agregatnom stanju nedovoljno je razvijeno i nije adekvatno realnim potrebama i stvarnim mogućnostima. Prve količine su uvezene veoma kasno u ovaj region u odnosu na druge države Evrope. Tek 1994. godine, izgradnjom postrojenja za regasifikaciju u Turskoj, zemni gas počeo je da se doprema u tečnom stanju i na ovo tržište. Danas samo dve zemlje Balkanskog regiona poseduju terminale za

<sup>271</sup> Emituje se iz dimnjaka kod procesa grejanja velika količina vodene pare, koja često stvara velike oblake pare.

<sup>272</sup> Orijentaciono, u praksi se pokazalo da je potrebna količina toplote  $E=300000 \text{ kJ/m}^3$  LNG-a.

<sup>273</sup> Ovaj procenat potrošenog gasa zavisi od velikog broja činilaca: tipa izmenjivača, kapaciteta, izrade, medijuma.

prihvatanje LNG brodova.<sup>274</sup> Turska poseduje dva prihvatna terminala i Grčka jedan (tabela 4.11). Ovi terminali nisu dovoljnog kapaciteta, nemaju mogućnost istovremenog prihvatanja većeg broja brodova, kao ni dovoljno veliki skladišni kapacitet za tečni zemni gas.



Slika 4.50. Prihvatni terminali i dostavne rute za LNG u Evropu i u regionu Balkana<sup>275</sup>

U cilju diversifikacije snabdevanja zemnim gasom, u državi posebno mesto predstavlja snabdevanje gasom u tečnom stanju. Snabdevanje TZG omogućuje dopremu gasa sa udaljenih prekomorskih i okeanskih destinacija, sa kojih nije moguće dopremiti gas putem cevovoda ili po konkurentnoj ceni u odnosu na transport metana u tečnom stanju brodovima. Položaj regiona i njegov izlaz na veliki broj mora omogućuje laku dostupnost na različite lokacije brodova sa LNG. Prihvatni terminali mogu biti izgrađeni na obali ili na moru u neposrednoj blizini kopna. Pravilnim planiranjem lokacije izgradnje terminala, sa aspekta potreba tržišta, omogućuje se ravnomerna doprema gasa svim delovima poluostrva i postižu se niske troškove transporta gasa (u gasovitom stanju cevovodom ili u tečnom stanju vozovima i kamionima) od obale do potrošača u regionu.<sup>276</sup>

Tabela. 4.11. Postojeći prihvatni terminali za LNG na prostoru regiona Balkana<sup>277</sup>

	Terminal	Izgrađen	Kapacitet isporuke $\times 10^9$ m <sup>3</sup> /god	Maks-satni kapacitet m <sup>3</sup> /h	Kapacitet skladišnog prostora m <sup>3</sup>	Broj rezervoara	Prihvata broda kapaciteta do m <sup>3</sup>	Broj pristaništa/dubina mora (m)
1	<i>Marmara Ereğlisi</i> (Turska)	1994.	5,0	685 000	225 000	2	135 000	1
2	<i>Aliaga</i> (Turska)	2002.	6,0	680 000	280 000	3	130 000	1
3	<i>Revithoussa</i> (Grčka) <sup>278</sup>	2000.	5,3	750 000	130 000	2	265 000	1 13.8 m

Autor. Na osnovu više različitih izvora.

<sup>274</sup> Ne računaju se terminali za LNG koji se nalaze u neposrednoj njenoj blizini. Reč je o postojećim terminalima kojima raspolaže Italija. Prilikom šireg sagledavanja određenih segmenata snabdevanja regiona u okviru strategija snabdevanja tržišta Balkana zemnim gasom, potrebno je u obzir uzeti sadašnje, ali i potencijalne buduće terminale LNG u ovoj zemlji. Dva su osnovna razloga za ovaj stav: prvo – zajedničko korišćenje Jadranskog mora kao transportnog pravca za LNG i drugo – izgradnjom gasovodne interkonekcije regiona sa ovom državom ostvarila bi se bolja i sigurnija snabdevenost tržišta.

<sup>275</sup> Izvor: *Rojters i GICNL*. Preuzeto iz većeg broja stručnih radova.

<sup>276</sup> U sagledavanju problematike vezane za izgradnju prihvatnih terminal, analizirana je i prezentacija Trond Jerve, *LNG TERMINAL STOCKHOLM - Opportunity for LNG in the Baltic Sea*, Linde AG, 2010.

<sup>277</sup> Na osnovu raspoloživih tehničkih podataka postrojenja.

<sup>278</sup> Planirano je proširenje ovog terminala na 7,4 milijarde m<sup>3</sup> gasa.



Posmatrajući sa jedne strane trenutni ukupan uvoz gasa u regionu (70–80 milijardi m<sup>3</sup>) i realnu mogućnost izgradnje prihvatnih kapaciteta za LNG u regionu, ovaj vid transporta i snabdevanja tržišta gasom, predstavlja realno veoma značajan potencijal za diversifikaciju i sigurno snabdevanje. Imajući u vidu da se danas grade često prihvatni terminali čiji je kapacitet 10 i više miliona m<sup>3</sup> gasa na godišnjem nivou, izgradnjom nekoliko novih terminala, obezbedila bi se potpuno nova slika na tržištu zemnog gasa Balkana. Na ovaj način ostvaruje se visok stepen nezavisnosti, od jednog do sada dominantnog dobavljača, iz Rusije. Zaista, izgradnjom deset terminala za LNG, u potpunosti bi se mogao podmiriti celokupni sadašnji uvoz gasa u širi region Balkanskog poluostrva bez dopreme gasa cevovodom. Podatak biva još dominantno izraženiji ako se posmatra uvoz gasa u užem poimanju Balkanskog regiona (bez Austrije, Mađarske i Turke), koji je iznosio 11,29 milijardi m<sup>3</sup> gasa u 2013. godini. Faktički, celokupni uvoz gasa posmatrano sa aspekta prihvatnog kapaciteta terminala za LNG, mogao je da se realizuje preko jednog terminala kapaciteta 10–15 milijardi.

Pored postojeća izgrađena tri terminala u regionu Balkana, danas se razmatra i planira izgradnja još nekoliko terminala. Reč je o terminalima u Hrvatskoj (na ostrvu Krk), Albaniji (*Fiere*), Rumuniji (*Konstanta*), Bugarskoj, Grčkoj i Turskoj. Posao oko izgradnje novih potencijalnih terminala je u različitim fazama, u zavisnosti o kojim je državama i terminalima konkretno reč. Treba napomenuti da trenutno kao veoma efikasno i finansijski prihvatljivo konceptualno rešenje u snabdevanju tržišta LNG pored fiksnih terminala (na kopnu i moru) u nekim situacijama može da ima primena LNG RV brodova.

**Planirani LNG obalni regionalni terminal.**<sup>279</sup> Pozicija države Hrvatske kao teritorije u regionu, dužina njene Jadranske obale i potencijalne moguće lokacije, pristup morskim rutama i tržištima LNG, mogućnost gasne interkonekcije sa zemljama u okruženju i posedovanje sopstvenog podzemnog skladišta zemnog gasa daje joj značajno mesto i ulogu u mogućnosti snabdevanja regiona tečnim zemnim gasom.<sup>280</sup> Do danas postoji više različitih radova, analiza, studija, idejni projekata, projekata ... o mogućnosti, lokaciji, vrsti terminala, njegovom potencijalnom kapacitetu, korisnicima usluga, vlasniku i izvođaču radova. Jedna od planiranih potencijalnih obalnih lokacija terminala, za dopremu LNG na delu hrvatske obale Jadranskom mora je na ostrvu Krk (slika 4.51.).



Slika 4.51. Grafičke ilustracije postojećih i planiranih LNG terminala u Evropi, pozicija LNG terminala na ostrvu Krk i njegov uticaj na snabdevanje tržišta Balkana<sup>281</sup>

Ovaj terminal na ostrvu Krk imao bi značajnu stratešku poziciju u snabdevanju regiona Balkana zemnim gasom. Njegova geografska pozicija sa aspekta snabdevanja regiona tržišta je izuzetno povoljna. Tečni gas bi se dovozio do zapadnog dela regiona i dalje transportovao u gasovitom stanju budućim gasovodnim sistemom. Terminal bi istovremeno omogućio: diversifikaciju pravaca snabdevanja, izvora gasa i agregatnog stanja u snabdevanju regiona. On bi u prvom redu, doprineo boljem i sigurnijem snabdevanju Balkana. Od izuzetnog značaja je da

<sup>279</sup> U ovom radu detaljnije se prezentuje potencijalni terminal na ostrvu Krk u Hrvatskoj.

<sup>280</sup> Vaslav Chrz, „Opportunities for an LNG direct distribution chain in Croatia and Adriatic region“, *Gas professionals*, Opatija, 2003.

<sup>281</sup> Izvor: snabdevanje utečnjem zemnim gasom (LNG), preuzeto su iz većeg broja stručnih inostranih radova.

izgradnja ovog terminala podrže sve zemlje regiona koje bi koristile gas sa njegovih dokova. Za sada postoji nekoliko studija i idejnih projekata izgradnje ovog terminala.<sup>282</sup> Njegova pozicija je oko 1,5 km jugozapadno od mesta Omišalj i 2 km severno od mesta Njivice.<sup>283</sup>

Prema jednoj od studija, vezanoj za izgradnju obalnog LNG terminal na ostrvu Krk, reč je o terminalu koji ima kapaciteta 6 milijardi m<sup>3</sup> gasa na godišnjem nivou, u prvoj fazi izgradnje. Predviđena je mogućnost njegovog proširenja u drugoj fazi na 10-15 milijardi m<sup>3</sup>. Pristanište bi bilo dužine oko 400 m, moglo bi da prihvati brodove kapaciteta od 75000 do 265000 m<sup>3</sup>. U toku rada, predviđeno je da na godišnjem nivou u luku dopremu vrši 50 do 80 brodova. Sam kapacitet sistema za pretakanje je od 15000 m<sup>3</sup> na sat. Predviđena su dva (moguće i tri) skladišna rezervoara za LNG u varijanti „full-containment“ pojedinačne zapremine od 180000 m<sup>3</sup>, tako da bi ukupna zapremina skladišta na terminalu, u slučaju instalisanja dva rezervoara bila 360 000 m<sup>3</sup> (a u slučaju tri posude, 540 000 m<sup>3</sup>). Pojedinačno, rezervoari bi imali fizičke dimenzije, čija je visina oko 55 m i prečnik 80 m.<sup>284</sup> Pored ove studije, o snabdevanju LNG putem obalnih terminala, postoji još nekoliko sličnih studija vezanih za ovu konkretnu lokaciju, ali i neke druge lokacije u hrvatskom delu primorja.

**LNG RV brodovi u funkciji snabdevanja Balkana.** U narednom periodu, posebno mesto u analizi strategija snabdevanja zemnim gasom regiona Balkana, treba da imaju LNG RV brodovi,<sup>285</sup> kao savremeno efikasno konceptualno i tehničko-tehnološko rešenje. Oni u budućnosti, mogu i treba da imaju značajniji uticaj na pouzdano snabdevanje tržišta regiona ovim energentom.

Zemni gas, primenom ovi brodova može se direktno isporučiti sa broda u tečnom ili u gasovitom agregatnom stanju na obalu. Ovi brodovi, mogu da ostvare istovar gasa, sa ili bez uređenog terminala za istovar robe i otpreme u cevovodni ili skladišni prostor (gasovitog ili tečnog agregatnog stanja) što je veoma bitna parametar LNG RV brodova. Ovi brodovi mogu se koristiti u funkciji prihvatnog terminala. Takođe, oni se mogu nakon određenog perioda u funkciji prihvata i pretovara na konkretnoj lokaciji dislocirati. Premeštaju se na drugu lokaciju, gde su ponovo instaliraju. Ova činjenica pruža mogućnost korišćenja jednog broda na više različitih lokacija u funkciji prihvatno-pretovarnog terminala i isparavanja tečnog gasa.

Tako da se u strategiji snabdevanja regiona Balkana ovaj tip broda može koristiti na više različitih lokacija uz morsku obalu regiona. Njegova efikasna primena ogleda se u konceptijskoj mogućnosti da se nakon jednog perioda i istovara gasa (tečnog u rezervoare) premesti na novu lokaciju. U ovom slučaju, uz morsku obalu Balkana, moglo bi da se na više različitih lokacija, izgraditi više skladišnih rezervoara LNG-a. Nakon popunjavanja skladišnih LNG rezervoara, LNG RV- brod bi se premestio na novu lokaciju u neposrednoj blizini u funkciji terminala. Na ovaj način, u značajnoj meri, može da se obezbedi efikasno i pouzdano snabdevanje regiona (interkonekcijom skladišni rezervoara na tranzitni gasovod), ali i rešavanjem samo potreba određenog dela (segmenta). Izgradnjom LNG rezervoara može da se na efikasan način, primenom ove koncepcije reši pitanje tržišnih niša. Kao jedan od primera mogućnosti primene ove koncepcije u snabdevanju može da posluži tržište Crne Gore, Albanije, ali i većih ostrva.

Prednost primene ove koncepcije, kao alternative LNG terminalima, ogleda se u:<sup>286</sup> manjim investicionim troškovima; kraćem vremenu izgradnje i bržem puštanju u eksploataciju; kratkoročna isplatljivost; sigurnom snabdevanju i balansiranju sezonskog vrha; fleksibilnost kroz pokretljivost

<sup>282</sup> Razmatrane su mogućnosti izgradnje terminala za prihvatanje brodova na obali i na moru.

<sup>283</sup> Studija, *Terminal za ukapljeni prirodni plin na otoku Krku*, OIKON, Zagreb, 2013.

<sup>284</sup> Opširnije može se videti u radovima: 1. Kolundžić S., Lopac A.A., „LNG terminal doprinos umrežavanja RH u regionalne tokove energetike“, *Naučni skup Opatija 2007*; 2. Đurović V., „Novi plinski sustav Republike Hrvatske i novi projekti – osnova regionalnog trans- regionalnog povezivanja plinskih sustava i tržišta“, *Naučni skup Opatija 2013*; 3. Frančić G., *Ukapljeni prirodni plin značajan potencijal za regiju*, *Naučni skup Sarajevo, 2012*; 4. Jerolimov Z., *Projekat izgradnje alternativnog terminala uza ukapljeni prirodni plin RGNF*, Zagreb 2011; 5. Pavlović D., „Prikaz načela bitnih za odabir terminala za uplinjavanje“, *Naučni skup Opatija 2013*.

<sup>285</sup> LNGRV – Liquefied Natural Gas Regasification Vessel, tanker za prevoz tečnog zemnog gasa s mogućnošću njegove upotrebe da: a) prevozi gasa u tečnom stanju i isporučiti u tečnom stanju, b) transport gasa u tečnom stanju i isporuke gasa u gasovitom stanju u transportni sistem, c) da je usidren i služi za pretakanje, skladištenje ili isparavanje LNG.

<sup>286</sup> Prema Ivanšić I., „Prednosti i nedostaci LNG RV projekata na području otoka Krk“, *Naučni skup, Opatija 2011*.

samih LNG RV jedinica; veći stepen ekološke zaštite. Nedostatak ovog koncepta se manifestuje kroz činjenicu da je limitiran skladišnim opcijama u slučaju da nema izgrađene LNG rezervoare na obali; snabdeva manje tržište (ako nije priključen na tranzitni gasovod).

U razmatranju ovog potencijalnog načina dopreme zemnog gasa, veoma često se u analizi sagledavaju LNG RV brodovi, kapaciteta 138000–150000 m<sup>3</sup> LNG (sa izlaznim protokom max. cca 800.000 Sm<sup>3</sup>/h, pritiska 50–120 bara).<sup>287</sup> Jedan od radova o potencijalnoj izgradnji pristaništa za LNG RV brodove na Krku,<sup>288</sup> predviđa realizaciju izgradnju ovog postrojena u 3 faze. Ukupna cena izgradnje ovog terminala iznosila bi okvirno oko 750 miliona evra.

Naspram ovog rada, jedan drugi stručni rad, detaljnije vrši analizu i sagledava potencijal primene LNG RV broda u funkciji snabdevanja regiona Balkana, njegovom primenom u izgradnji terminala na Krku u tri etape.<sup>289</sup> Ovaj rad obuhvata detaljniji pristup i komparativnu SWOT analizu potencijalnog terminala na Krku sa druga dva terminala. Reč je o terminalima u Litvaniji i Poljskoj. Tehničko rešenje prihvata LNG brodova u Litvaniji je rešeno u formi FSRU terminala, dok je Poljskoj (*Swinoujscie*) reč o klasičnom kopnenom terminalu. Realizacija izgradnje LNG terminala na Krku, prema ovoj opciji, realizovao bi se kroz tri koraka. U prvoj fazi, predviđena je izgradnja instalacija za prihvata LNG RV brodova i njihovo povezivanje sa kopnenim transportnim sistemom. On bi se koristio u funkciji skladištenja i isparivanja gasa. Istovremeno, ovo plovilo ima i mogućnost prihvata drugih LNG brodova. Druga faza predviđa da se LNG RV koristi kao stalno instaliran „fiksiran“ uz gat. Njegova funkcija u ovoj fazi bi bila da prihvata (prima) tečni zemni gas pretakanjem iz drugi LNG brodova. Ne bi imao više funkciju isparivača, već plutajućeg skladišta (FSU).<sup>290</sup> Isparivanje gasa realizovalo bi se u postrojenju koje je izgrađeno na kopnu. Treća faza projekta predviđa izgradnju kompletnog LNG terminala, rezervoare, postrojenja za isparavanje.

U ovom trenutku, koncept primene LNG RV brodovima, kao jednog od mogućih segmenata u dopremi tečnog zemnog gasa u okviru ukupne strategije snabdevanja regiona Balkana, u prvom redu uvoznim zemnim gasom, može da bude u određenim situacijama važan i značajan činilac. On predstavlja pouzdan način snabdevanja, nezavisno od načina i forme korišćenja LNG RV broda. U cilju i funkciji diversifikacije pravaca snabdevanja, načina transporta i vidova snabdevanja, ovaj vid dopreme LNG na tržište regiona, može da bude prihvatljiv i opravdan. Ovaj način snabdevanja tržišta regiona Balkana LNG, u okviru ukupne strategije obezbeđivanja zemnim gasom, predstavlja efikasno, sigurno, pouzdano i ekonomski prihvatljivo tehničko-tehnološko rešenje. U prvom redu, to je posledica geografske činjenice da se velikim delom svoje teritorije region naslanja na mora (Jadransko, Egejsko, Jonsko, Crno); da postoji realna mogućnost izgradnje prihvatnih terminala na više lokacija; da je uspostavljanje (izgradnja i konekcija) gasnih cevovoda ovog trenutka, kopnenim putem otežano zbog teške konfiguracije terena;<sup>291</sup> nedovoljno razvijene gasne infrastrukture. Ovaj koncept može da se primenjuje kao konačno rešenje (alternativa standardnom LNG terminalu) u snabdevanju ili kao jedna od etapa u izgradnji obalnog LNG terminala.

<sup>287</sup> LNG RV se može koristiti i kao prihvatni terminal za LNG tanker, Q-flex izvedbe, kapaciteta 260 000 kubnih metara.

<sup>288</sup> O prednostima i nedostacima primene LNG RV brodova u snabdevanju regiona Balkana može se videti i u radu Ivančić R., „Prednosti i nedostaci LNG RV projekta na području otoka Krk“, Naučni rad, *Međunarodni znanstveno-stručni susret stručnjaka za plin*, Opatija, 2011.

<sup>289</sup> Pavlović D., „Prikaz načela bitnih za odabir terminala za uplinjavanje (UPP) u Republici Hrvatskoj temeljem usporednih elemenata UPP terminala u Poljskoj i Litvi“, *Naučni skup* u Opatiji, 2013.

<sup>290</sup> FSU – Floating Storage Unit.

<sup>291</sup> Reč je u prvom redu, o brdima i planinskim vencima, uz neposrednu blizinu mora, koja odvajaju obalne delove nekih država od drugog dela njihove teritorije. Ovo pojava je veoma izražena u Albaniji, Hrvatskoj, Crnoj Gori, Grčkoj, Bugarskoj i Rumuniji. Tako da bi se ovim konceptom snabdevanja LNG RV određenih delova tržišta (niša) rešio privremeno, odn. do izgradnje celovitog jedinstvenog gasnog cevovodnog sistema zemlje ili do krajnjeg rešenja snabdevanja.

### 1.2.5. Primer: Okvirna ekonomska analiza isplativosti izgradnje potencijalnog LNG terminala u cilju boljeg i sigurnijeg snabdevanja tržišta Balkana zemnim gasom

Uticao transporta na snabdevanje tržišta regiona Balkana zemnim gasom moguće je sagledati kroz okvirnu ekonomsku analizu i efekat koji se postiže njegovom dopremom u tečnom agregatnom stanju. Ekonomska isplativost izgradnje i eksploatacije novog terminala za tečni gas može da se sagleda kroz komparativnu analizu njegovoga rada, snabdevanjem gasom sa više potencijalnih različitih izvora. Kao primer može da se uzme izgradnja prihvatnog terminala u Jadranskom moru i njegovo snabdevanje tečnim zemnim gasom sa više različitih destinacija.<sup>292</sup> Kao potencijalne lokacije izvora gasa u cilju sveukupne analize, mogu da se uzmu Egipat, Katar i Nigerija. Količina gasa koja se uvozi na godišnjem nivou iznosi 11 milijardi standardni m<sup>3</sup>. Okvirno, izgradnja adekvatnog prihvatnog terminala za postrojenje (ovog kapacitet na godišnjem nivou) i delom cevovoda za njegov priključak na transportni magistralni gasovod iznosi oko 930 miliona dolara. Nabavna cena zemnog gasa iznosi 154 dolara SAD za 1000 m<sup>3</sup>. Prosečna cena transporta dopreme jedne ture LNG brodom gasa iznosi 140 hiljada dolara (tabela 4.12).

U prvoj varijanti analize isplativosti izgradnje LNG terminala, kada se on snabdeva zemnim gasom iz Egipta, ukupni trošak jednog m<sup>3</sup> standardnog gasa koji se isporučuje kupcima iz terminala u cevovod iznosi 0,1876 \$. U ovom slučaju, čista dobit isporukom 10,5 milijardi m<sup>3</sup> iznosi 445,2 miliona dolara. Tako da vreme povratka investicije u izgradnju terminala iznosi 2,22 godine. Druga varijanta, u kojoj se gas doprema iz Katara – ukupni troškovi gasa za 1 m<sup>3</sup> koji se otprema u gasovod iznosi 0,2022 \$. To znači da je u ovom slučaju dobit od 291,9 miliona \$ na godišnjem nivou, a vreme povratka uloženi sredstava u terminal za 3,46 godine. Kod snabdevanja gasom iz Nigerije, ukupan trošak za isporuku 1m<sup>3</sup> gasa iz terminala je 0,2052 \$. Godišnja dobit koja se ostvaruje je 260,4 miliona dolara, vreme otplate troška izgradnje terminala iznosi 3,92 godine.

Tabela 4.12. Osnovni polazni podaci analize jednog obalnog terminala u cilju snabdevanja tržišta<sup>293</sup>

	Aktivnost	Iznos
1	Ukupna investicija u izgradnju terminala i potrebnog gasovoda miliona \$	930
2	Godišnja količina gasa koja se uvozi (u milijardama standardni m <sup>3</sup> )	11
3	Godišnja isporuka zemnog gasa kupcima (milijarde m <sup>3</sup> standardni)	10,5
4	Ugovoreni period uvoza i isporuke gasa kupcima (godina)	15
5	Kapacitet brodova za dopremu gasa - m <sup>3</sup>	250 000
6	Prosečna cena transporta LNG (po brodu) \$	140 000
7	Nabavna cena gasa (vezana za cenu nafte od 55 \$/bar) - 1m <sup>3</sup> \$	0,154
8	Godiš. troškovi pogona i održ. termi. (u odnosu na nabavnu cenu gasa)	5 %
9	Kamata na podignuti zajam za investiciju (na godišnjem nivou)	8 %
10	Period podizanja zajma (godina)	10
11	Predviđena prosečna inflacija	4 %

Izvor: Matić M., „Terminal za ukapljeni prirodni plin na Hrvatskom djelu Jadrana“

Posmatrano za period od petnaest godina, kupovinom 11 milijardi m<sup>3</sup> i isporukom 10,5 milijardi m<sup>3</sup> standardnog zemnog gasa na godišnjem nivou, ako se gas doprema iz Egipta, ostvaruje se čista zarada od 7,37 milijardi \$. Kod snabdevanja iz Katara, ukupna zarada za petnaest godina iznosi 5,07 milijardi. Posmatrano za isti period, nabavkom i dopremom gasa iz Nigerije, ostvaruje se profit od 4,6 milijarda. Posmatrano pod ovim uslovima, izgradnja terminala je ekonomski isplativ i tržišno prihvatljiv za snabdevanje tržišta Balkana zemnim gasom.

<sup>292</sup> Ovaj deo zasniva se na analizi i izlaganju Matić M., „Terminal za ukapljeni prirodni plin na Hrvatskom djelu Jadrana“, *Ege* 3, 2008, str. 56–58.

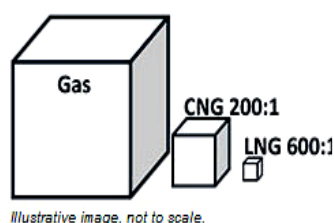
<sup>293</sup> Matić M., „Terminal za ukapljeni prirodni plin na Hrvatskom djelu Jadrana“, *Ege* 3, 2008, str. 56–58.

### 1.3. Komprimovanje kao savremeno rešenje dopreme velikih količina gasa brodovima u funkciji veće efikasnosti snabdevanja tržišta i realna mogućnost njegove primene u regionu Balkana

Zbog svoje udaljenosti i kapaciteta kojima raspolažu, neka ležišta zemnog gasa nisu u eksploatacionoj funkciji. Danas u svetu postoji veliki broj takvih ležišta gasa (na kopnu i moru),<sup>294</sup> koji su locirani daleko od potencijalnih tržišta, a izgradnja adekvatnog sistema transporta (cevovodi ili LNG tehnologija) nije ekonomski isplativ. Ova tehnologija može biti adekvatna i prikladna kod manjih polja, koja imaju manji kapacitet proizvodnje i rezerve gasa.<sup>295</sup> Trenutno, više od 30% otkrivenih konvencionalnih količina gasa se ne eksploatiše, jer ležišta imaju male rezerve i veliku distancu od potencijalnih potrošača ili se zbog nepostojanja odgovarajuće infrastrukture, proizvodnja gasa smatra neisplativom. Takođe, velike količine zemnog gasa koje se dobijaju na naftnim poljima u procesu eksploatacije nafte, najčešće se u sklopu tehnološkog procesa proizvodnje spaljuju ili ponovo ubacuju (vraća, utiskuje) u bušotine.<sup>296</sup> Ovo se radi iz razloga što se proizvodnja zemnog gasa ne smatra ekonomski opravdanom. Jedna od adekvatnih i prikladnih načina eksploatacije zemnog gasa nekih od ovih ležišta predstavlja tehnologija i sistem komprimovanja zemnog gasa KZG (CNG) na visoke pritiske i njegovo transportovanje do tržišta. Gas se komprimuje i skladišti u sudovima za transport pod pritiscima 125–275 bara.<sup>297</sup> Pored ovih ležišta, danas, realan potencijal snabdevanja gasom tržišta i potrošača predstavljaju i veliki konvencionalni izvori ovog energenta širom sveta.

Prevoz komprimovanog gasa može se realizovati brodovima, vozovima i kamionima.<sup>298</sup> Doprema KZG (KZG/CNG)<sup>299</sup> brodovima predstavlja značajnu alternativu o kojoj se raspravlja u poslednje vreme, ali koja do sada u praksi nije pružila svoj potencijal (tabela 4.13).<sup>300</sup> U osnovi, većina tehničkih i tehnoloških rešenja koji su razvijeni ili se danas razvijaju, za dostavu velikih količina komprimovanog gasa brodovima, mogu se uz adekvatnu tehničku modifikaciju, primenjivati i kod prenosa zemnog gasa vozovima i kamionima.

Tabela 4.13. Komparativna analiza LNG i CNG tehnologije transporta i skladištenja<sup>301</sup>



	CNG	LNG
Agregatno stanje	Gas	Tečnost
Pritisak (bar)	100–250	1
Temperatura °C	od -40 do +30	-162
Utovar	Komprimiranje	Prerada, utečnjavanje
Brodovi	jednostavnog rešenja	sofisticirani
Utovar/istovar	gas pod pritiskom	tečnost
Odnos prema norma	1 : 250–350	1 : 600

Autor. Na osnovu više različitih izvora.

<sup>294</sup> Nalazišta zemnog gasa čija eksploatacija nije trenutno isplativija tradicionalnim metodama eksploatacije, za njih se koristi engleski termin *stranded gas*.

<sup>295</sup> Primena tehnologije komprimovanja gasa u funkciji prenosa omogućuje ekonomski prihvatljivo rešenje da se vrši i eksploatacija sa manjih polja zemnog gasa. Reč je o poljima čiji je potencijal otprilike oko  $3 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/dnevo.

<sup>296</sup> Hodak K., *Transport stlačenog plina brodovima*, RGNF, Zagreb, 2010, str. 8.

<sup>297</sup> Ovaj pritisak je približno sličan pritiscima gasa u samim bušotinama. Konkrentno, najčešće kao tehnološko rešenje kod transporta mokrog gasa uzima se da je pritisak od 124 bara, a kod suvog gasa 248 bara.

<sup>298</sup> Sama tehnika i tehnologija, kao i primena kod prevoza komprimovanog zemnog gasa kamionima i vozovima, veoma je razvijena i primenjivana u svetu. Na tržištu regiona Balkana razvijen je prevoz CNG drumskim saobraćajem.

<sup>299</sup> KZG (komprimovani zemni gas) = CNG (Comprimovani Natural Gas). Ovi termini se ravnomerno upotrebljavaju.

<sup>300</sup> Razlozi što tehnologija prevoza komprimovanog zemnog gasa u gasovitom agregatnom stanju nije do sada pružila očekivanu primenu: 1. investicije u svetu u najvećem procentu plasiraju LNG tehnologiju, 2. Projekti i transport CNG brodova u značajnoj meri zadiru u područje LNG-a.

<sup>301</sup> Komparativna analiza CNG i LNG tehnologije u funkciji prevoza i skladištenja. Ova analiza se odnosi na zapreminski prostor koji zemni gas zauzima u normalnom stanju na atmosferskom pritisku i u CNG i LNG stanju. Autor.

Tehnologija transporta većih količina zemnog gasa brodovima, njegovim komprimovanjem na veće pritiske u gasovitom stanju je adekvatan, prikladan i konkurentan način i dopuna prenosu cevovodima i gasu u tečnom stanju brodovima (LNG) na određenim rastojanjima u određenim količinama. Cena izgradnje infrastrukture za ovaj način dopreme značajno je niža u odnosu na LNG i cevovodni sistem u nekim konkretnim situacijama. Tada je izgradnja i uspostavljanje ovakvog sistema lanca snabdevanja potrošača ekonomski isplativija i opravdana.<sup>302,303,304</sup>

Elementi lanca snabdevanja potrošača komprimovanim gasom brodom su: proizvodnja, postrojenje za preradu (dehidraciju, prečišćavanje), kompresori za transport, sistem transporta gasa do pristaništa, pristanište, kompresor, brod, pristanište, kompresor, skladište, distributivni sistem.

### 1.3.1. Razvoj savremenih tehničko-tehnoloških rešenja u oblasti prevoza gasa brodovima procesom komprimovanja

Danas su u svetu najznačajnije savremene tehnologije skladištenja i transporta gasovitog zemnog gasa komprimovanjem, u cilju komercijalizacije broskog transporta, koje se primenjuju ili su u samoj fazi razvoja: 1. Skladištenje u namotanim čeličnim cevima maloga prečnika (*Coselle*); 2. Sistem prevoza gasa u čeličnim cevima većeg promera kompanije Knutsen (*PNG*); 3. Tehnologija volumnog optimiziranja skladištenja i dostava gasa, koje se bazira na optimiziranju temperature i pritiska da bi se povećala gustoća i smanjio volumen gasa (*VOTANS*); 4. Skladištenje i prenos gasa u kompozitnim čeličnim bocama postavljenim u module (*CRPV* i *GTM*); 5. Doprema gasa uskladištenog u kompozitne posude od ojačane plastike-FRP.

#### 1. Skladištenje i transport gasa u namotanim čeličnim cevima malog prečnika – *Coselle*.

Među prvim kompanijama u svetu koje su se bavile tehnologijom prevoza gasa njegovim komprimovanjem u gasovitom agregatnom stanju, na početku devedesetih godina XX veka, bila je firma *Cran&Stennings Technology Inc of Calgary*. Ova firma je predložila koncept dopreme gasa poznatom pod imenom „*Coselle*“.<sup>305</sup> Razvoj i ekspanziju ovog koncepta u svetu učinila je kompanija *Sea NG*.<sup>306</sup> Tehnologija skladištenja i prenos zemnog gasa brodovima u gasovitom stanju, prema *Coselle* tehnologiji, bazira se na komprimovanju fluida na visoke pritiske u cevima maloga poprečnog preseka (slika 4.52). Gas se komprimuje na pritisku od 205 do 227,5 bara (3000–3500 psi) i na temperaturi okruženja.<sup>307</sup>

Savitljive čelične cevi kružno se namotavaju u formi bubnja. Na ovaj način, namotane cevi (prečnika 0,1524 m i dužine 16,1x10<sup>6</sup> m) formiraju samostalnu kompaktnu jedinicu.<sup>308</sup> Spoljni prečnik jedinice je između 15 i 20 m i visine od 2,5 do 4,5 m. U svaku ovu jedinicu može da se uskladišti oko 93445 m<sup>3</sup> (3,3 MMscf) zemnog gasa, što zavisi od dimenzije jedinice, pritiska, temperature i sastava gasa. Ukupna težina jedinice može da bude do 550 tona.<sup>309</sup>

<sup>302</sup> Opširnije o transportu gasa brodovima u komprimovanom stanju može da se vidi u radu Власов А.А., *Морская транспортировка сжатого газа, Техническая утопия или реальность?*, Морская Биржа N2 (16) / 2006, str. 55.

<sup>303</sup> Opširnije o prevozu zemnog gasa brodovima u komprimovanom stanju može da se vidi u radu Блинков А.Н. и др., *Морская транспортировка сжатого газа, Новые возможности для освоения месторождений природного газа на шельфе*, Морская Биржа N2 (16), 2006, str. 65.

<sup>304</sup> С. І. Крижанівський, *ВИКОРИСТАННЯ SNGТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПОСТАЧАВАННЯ ГАЗУ ДО УКРАЇНИ*, Новітні технології транспортування нафти и газу, 2012.

<sup>305</sup> Ime je nastalo spajanjem engleskih reči „coil“ i „carousel“.

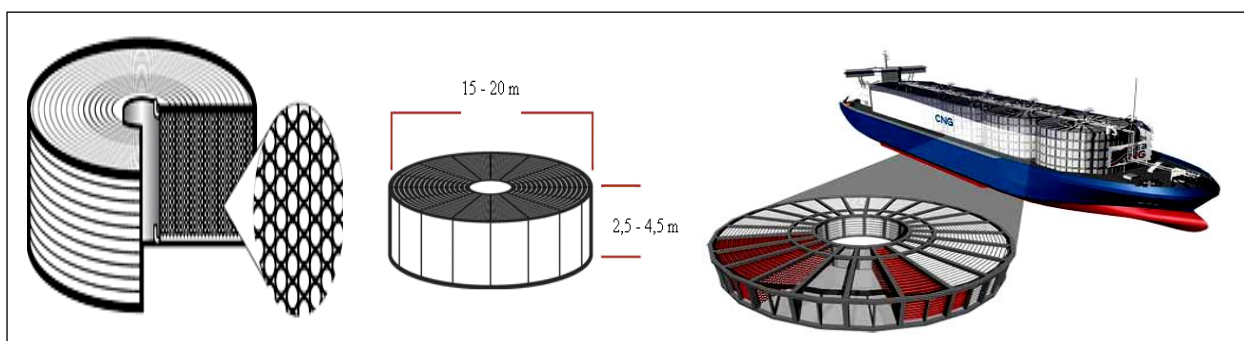
<sup>306</sup> Kompanija *Sea NG* je 1997. dobila odobrenje za razvoj ovog načina skladištenja i dopreme od Američkog ureda za brodove i sertifikacionog društva *Det Norske Veritas* (DNV). Kompaniju *Sea NG* osnovala je korporacija *Marubeni* i kanadska *Teekay*.

<sup>307</sup> Korišćen materijal iz rada Hodak K., *Transport stlačenog plina brodovima*, RGNF, Zagreb, 2010.

<sup>308</sup> Bujanj se izgrađuje namotavanjem čelične cevi prečnika 6 inča (15.24 cm) i dužine 16,1 km oko središnjeg dela prečnika 5 m. Na ovaj način se formira kompaktna jedinica.

<sup>309</sup> Dekanić I. i dr., *Studija o primjeni stlačenog prirodnog plina u Republici Hrvatskoj, diverzifikacija dobavnih pravaca SPP-a brodovima*, Studija, 2008, str. 11.

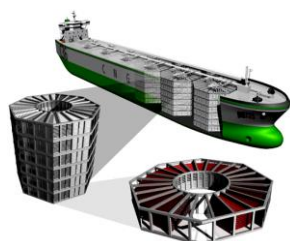
Na samome brodu moguće je postaviti vertikalno, 6 do 8 ovih jedinica jednu na drugu, formirajući jedan modul. Ređanje više samostalnih jedinica, jednu na drugu, u cilju je postizanja što većeg iskorišćenja aktivne skladišne površine broda i ostvarivanja transporta veliki količina gasa. Količina gasa koji može se doprema zavisi u prvom redu od karakteristika samoga tipa broda.<sup>310</sup> Transportne karakteristike broda (nosivost i raspoloživa aktivna skladišna površina) određuju maksimalan broj modula koji je moguće postaviti na njega u procesu aktivnosti prevoza gasa.



Slika 4.52. Tehničko rešenje dopreme komprimovanog gasa brodovima *Coselle* tehnologijom<sup>311</sup>

Prevoz ovako uskladištenog gasa se realizuje posebno opremljenim brodovima, od čije veličine zavisi broj modula koji se mogu prevoziti. Kapacitet brodova se kreće od 6 do 84 i više jedinica (tabela 4.14). Brod od 6 jedinica može da dostavi  $0.51 \times 10^6 \text{ m}^3$  gasa, a brod od 84 jedinice od  $7,1$  do  $7,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Brod dizajniran 1996. godine imao je kapacitet od 330 MMSCF komprimovanog gasa, dok brod iz 2003. godine 144 jedinice i kapacitet od 600 MMSCF. Ovaj brod od 144 jedinice je kapaciteta  $12,24 \times 10^6 \text{ m}^3$  gasa, što na temperaturi od  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  iznosi približno 82 tone gasa u svakoj jedinici.<sup>312</sup>

Tabela 4.14. Osnovne karakteristike nekih brodova za prevoz komprimovanog zemnog gasa<sup>313</sup>



Model	C6	C16	C25	C84
Zapremina $10^6 \text{ m}^3$	0.51–0.57	1.4–1.7	2.1–2.4	7.1–7.2
Broj modula	6	16	25	84
Ukupna dužina (m)	90	118	142	204
Širina (m)	24	28	30	39
Gaz (m)	4	5.95	6.1	10.63

Izvor: Dokumentacija kompanije *SeaNG*, 2010.

### 1. Sistem skladištenja i prevoza komprimovanog gasa kompanije *Knutsen – PNG*.

Ovaj sistem skladištenja i dopreme zemnog gasa PNG<sup>314</sup> razvila je kompanija *Knutsen OAS Shipping*,<sup>315</sup> u saradnji sa Norveškom kompanijom *Det Norske Veritas (DNV)* i firmom *Europipe GmbH* iz Nemačke. Gas se skladišti na ambijentalnoj temperaturi okruženja na pritisku od 250 bara u čeličnim bocama. Boce se proizvode od čelika,<sup>316</sup> imaju prečnik od 42 inča (106 cm), dužine su od

<sup>310</sup> Tip broda određen je njegovim modelom i nosivošću. Tako da najčešće susrećemo u upotrebi modele broda C16, C25 i C84. U zavisnosti od broja modula koji se mogu postaviti na brod, označen je model broda. Praktično, model broda C16 na sebi nosi 16 modula. Brodovi kao pogonsko gorivo motora na brodu mogu da koriste gas koji prevoze.

<sup>311</sup> Izvor: Dunlop P.J., „CNG Transport Tehnology is Delivering on Promises“, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Denver, 2003, SPE 84254, str. 1–7.

<sup>312</sup> U izradi ovog segmenta rada korišćen je i materijal Dvornik J. i dr., „Budući projekti prevoza komprimovanog prirodnog plina brodovima“, 4 th Internacionalni Martine Science Conference, Split, 2012.

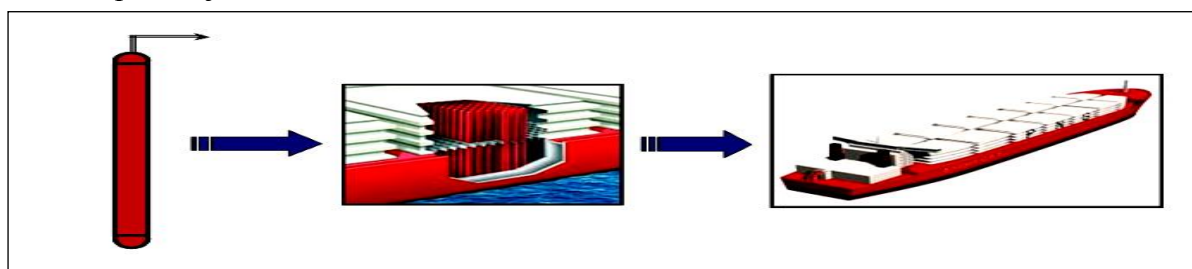
<sup>313</sup> Karakteristike brodova u tabeli su prema dokumentaciji kompanije *SeaNG*, 2010.

<sup>314</sup> Naziv PNG je skraćenica od eng. reči *Pressurised Natural Gas*.

<sup>315</sup> Kompanija se bavi pružanjem uslugama transporta energenata.

<sup>316</sup> Čelik je prema API 5L X-80.

19 i 38 metara, sama debljina zida boca je 33,5 mm.<sup>317</sup> Boce se postavljaju vertikalno na brodu i međusobno povezuju u module adekvatnim cevnim sistemom (slika 4.53).

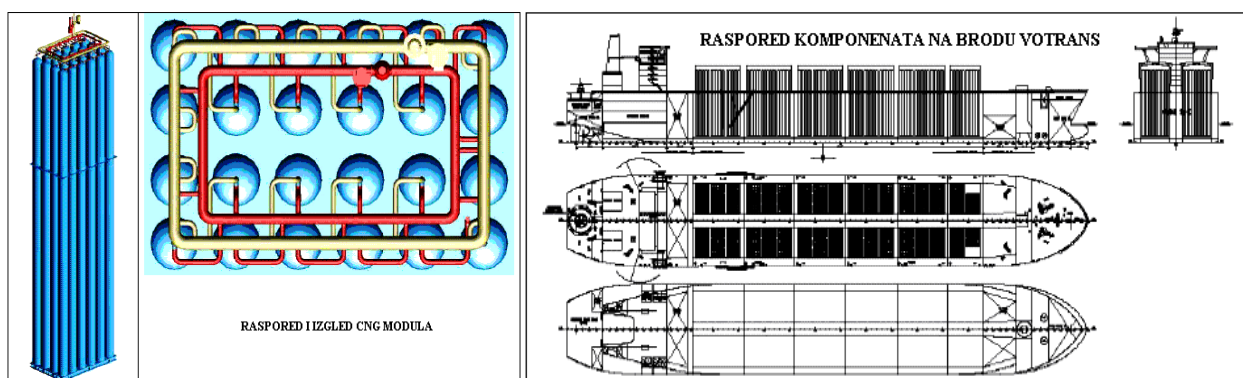


Slika 4.53. Sistem skladištenja i prevoza gasa u PNG bocama brodovima<sup>318</sup>

Planirana izgradnja brodova je da imaju kapacitet skladištenja i prevoza zemnog gasa u rasponu od  $1,5$  do  $30 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Brodovi velikog kapaciteta su dimenzija tankera za transport nafte. Ovi brodovi bi trebalo da omoguće skladištenje i dostavu od 70 do 1060 MMSCF<sup>319</sup> u maksimalno instaliranih 2600 boca. Njihova dužina bi bila oko 290 m, širina 54 m i brzinom od 15,5 do 18 čvorova.

## 2. Tehnika i tehnologija volumenog skladištenja i prevoza gasa – VONTRAS.

Sam naziv tehnologije VONTRANS, potiče od engleskih reči: *Volume Optimized Transport and Storage*. On označava volumno optimizirani transport i skladištenje gasa. Ovu tehnologiju je razvila američka kompanija *EnerSea*, u saradnji sa svojim partnerima, kompanijom *Kawasaki Kisen Kaishi, Ltd (K Line)* i *Hyundai Heavy Industries Co. Ltd (HHI)*. Tehničko rešenje ove tehnologije skladištenja i prvoza zemnog gasa zasniva se na komprimovanju ohlađenog fluida ( $-29^\circ\text{C}$ ) na nižim pritiscima, u dugim ravnim čeličnim cevima velikog prečnika, međusobno povezanim u izolovanim paketima. Cevi su dimenzije prečnika 1,06 m (42"), dužine od 36 metara. Boce se postavljaju vertikalno, formirajući kompaktni modul.<sup>320</sup> Modul se najčešće formira od 24 do 36 boca.<sup>321</sup> Moduli boca su smešteni u zatvorenom prostoru od tankih ploča (poliuretanske pene) u kome struji azot u cilju obezbeđivanja niže potrebne temperature (slika 4.54). Međusobno se najčešće povezuje 3–6 modula sistemom ventila i cevi koji imaju funkciju utakanja i istakanja gasa.<sup>322</sup>



Slika 4.54. Raspored i izgled CNG modula i ilustracija njegovog rasporeda na VOTRAS brodu<sup>323</sup>

Na specijalno prilagođenim VOLTRANS brodovima može da se uskladišti i prevozi od  $5,66 \times 10^6 \text{ m}^3$  do  $56,6 \times 10^6 \text{ m}^3$  zemnog gasa.<sup>324</sup> Gas se skladišti na temperaturi od  $-29^\circ\text{C}$  ( $243,15 \text{ K}$ ) i

<sup>317</sup> Samo dizajniranje boce (posude, suda) je u skladu sa DNV-OS-F101 pravilnikom.

<sup>318</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti.

<sup>319</sup> MMSCF – eng. *million standard cubic feet*.

<sup>320</sup> U početku, u modulu, boce su bile postavljane horizontalno, instalisane, a kasnije vertikalno.

<sup>321</sup> Kada je reč o pojedinačnoj posudi u koju se skladišti komprimovani gas, ona se može uslovno nazvati ili označiti kao: boca, sud, rezervoar, skladište, zbog svojih velikih dimenzija i kapaciteta.

<sup>322</sup> Ova tehnologija dobila je 2003. odobrenje za razvoj takvog načina skladištenja i prevoza, od Američkog ureda za brodove (ABS – American Bureau for Shipping).

<sup>323</sup> Izvor: Dunlop P. J., „CNG Transport Tehnology is Delivering on Promises“, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Denver, 2003, SPE 84254, str. 1–7.

<sup>324</sup> Reč je o kapacitetu VOTRAS brodova od 200 mmscf do 2 biliona csf.

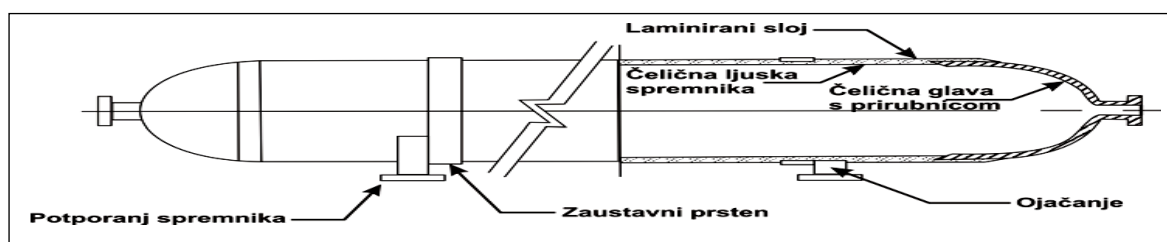


komprimuje na pritisku od  $13 \times 10^6$  Pa. Pri ovoj temperaturi, ovaj sistem omogućuje niže pritiske za skladištenje<sup>325</sup> u odnosu na druge sisteme, koji funkcioniše na temperaturama okruženja. Ovaj parametar, niži radni pritisak, direktno uslovljava pozitivan efekat, jer je debljina čelične posude manja (19 mm), a samim tim i njena težina.<sup>326</sup>

Brod može istovremeno za sobom da vuče i baržu sa instaliranim modulima za gas.<sup>327</sup> Ovim brodovima zemni gas se može transportovati na rastojanjima do 4500 km (2500 miles).<sup>328</sup> U posude (boce) na brodu može da se skladišti direktno gas iz proizvodnih postrojenja sa samog izvorišta (bušotine) različitog sastava,<sup>329</sup> što ovaj način skladištenja i prevoza gasa čini prihvatljivijim i fleksibilnijim. Kod ovoga sistema, pritisak za potiskivanje u transportni sistem na brodu, može da bude i niži u odnosu na druge sisteme.<sup>330</sup> Kod VOTRANS sistema pritisak je između 90 i 135 bara, što ga čini pogodnim i za one bušotine i izvorišta sa manjim radnim pritiskom.

### 3. Skladištenje i doprema zemnog gasa u kompozitnim bocama CRPV ili GTM modul.

Ovu tehnologija GTM<sup>331</sup> se bazira na komprimovanju zemnog gasa na pritisku do 250 bara u specijalno izgrađenim bocama.<sup>332</sup> Kanadska kompanija *Trans CNG International* je usavršila tehnologiju GTM skladištenja i prevoza zemnog gasa na visokim pritiscima u kompozitivnim sudovima. Sama debljina zida boce, u odnosu na iste klasične sudove namenjene za iste pritiske, značajno je manja (reducirana). Telo boce se proizvodi od konvencionalnih niski legura čelika velike čvrstoće (sa malim sadržajem ugljenika),<sup>333</sup> a poklopci (kalotne) od nerđajućeg čelika (slika 4.55). Ovakve boce se koriste za dostavu velikih količina gasa u pomorskom i kopnenom prevozu. Boce proizvodi kompanija *Floting Pipeline Companiny* iz Kanade.<sup>334</sup>



Slika 4.55. Tehnički prikaz preseka GTM boce<sup>335</sup>

Posuda ima prečnik 1,0668 m, a njena dužina može biti različita (6,09; 12,19 i 24,38 metara). Pri ovakvom načinu izrade boca, njihova težina je manja do 40% u odnosu na iste klasične boce.

<sup>325</sup> Kod skladištenja zemnog gasa ovom metodom pritisak je od  $12,4 \times 10^6$  Pa za suvi gas do  $9,65 \times 10^6$  Pa mokri.

<sup>326</sup> Kod VOTRANS tehnologije za skladištenje suvog gasa dimenzije prečnika 106 cm (42 inča) debljina zida je  $19 \times 10 - 3$  m (19 mm), dok kod sistema kod kojih je radni pritisak oko 250 bara, debljina zida boce je  $30 \times 10 - 3$  m (30 mm). Iz ove činjenice da je debljina zida posude kod ovog sistema za 1/3 tanja i težina ambalaže je niža.

<sup>327</sup> Kapacitet barže je 1100 mt zemnog gasa. Neke druge tehničke karakteristike barže koje može da vuče brod su: dužina 112 m; širina 25 m; dubina trupa 7,6 m; dubina gaza punog broda 3,5 m; dubina gaza praznog broda 3 m; težina tereta (suvog gasa) 1100 mt; brzina broda sa baržom je 10-12 čvorova. Prema tehničkoj dokumentaciji.

<sup>328</sup> Tehničke karakteristike broda su: dužina 306 m; širina 50 m; dubina trupa 27,4m; dubina gaza punog broda 10,3 m; dubina gaza praznog broda 7,5 m; težina tereta (suvog gasa) 19600 mt; težina praznog broda (deadweight-DWT) 40600; brzina broda 33,336 km/h (18 čvorova); broj članova posade 36. Na osnovu tehničke dokumentacija broda.

<sup>329</sup> Od gasa iz ležišta, na proizvodnoj bušotini se preko trofaznog seperatora, oslobađa kondezati i voda. Drugi prisutni ugljovodonici mogu se transportovati zajedno sa metanom. To čini da zemni gas ima veću ogrevnu moć, a istovremeno pojednostavljuje proces njegove proizvodnje (prečišćavanja). U zavisnosti od korozivnosti fluida (prisutnosti CO<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>S) u zemnom gasu može da bude prisutna veća količina vode (u iznosu 1,36–2,72 kg u 28316,85 m<sup>3</sup> gasa). Ova tehnologija omogućuje da se i sa ovom količinom vode nesmetano može skladišti i transportovati zemni gas.

<sup>330</sup> Kod većine drugih sistema za skladištenje i prevoz gasa brodovima u komprimovanom stanju, radni pritisak je najčešće između 206,8 i 248 bara.

<sup>331</sup> GTM (Gas Transport Modul) ili CRPV (Composite Reinforced Pressure Vessels)

<sup>332</sup> Ova tehnologija izgradnje koristi se od 70-ih godina XX veka u izgradnji manjih boca (vatrogasne, ronilačke, medicinskih i planinarskih)

<sup>333</sup> HSLA – High Strength Low Alloy

<sup>334</sup> Vlasnik licence za proizvodnju ovih boca je kompanija *Trans Canada*.

<sup>335</sup> Izvor: Matejić A., *CNG – stlačeni prirodni plin*, RGNF, Zagreb 2008, str. 15.

Tehničke i kapacitivne karakteristike boce dužine 24,38 m su: težina 17297 kg, zapremina 19,62 m<sup>3</sup>. U ovu bocu na pritisku od 207 bara skladišti se 4870,5 m<sup>3</sup> suvog gasa.<sup>336</sup> Na brodovima, ove boce većih dimenzija se instaliraju horizontalno.

#### 4. Prevoz komprimovanog gasa u kompozitnim bocama ojačanim plastikom – FRP.

Tehnologiju FRP<sup>337</sup> skladištenja zemnog gasa u funkciji dopreme komprimovanog u sudovima (bocama, rezervoarima) izrađenim od kompozitnog materijala patentirala je kanadska kompanija *Trans Ocen Gas*, 2003. godine. Posude bi se izrađivale od polietilena velike gustoće,<sup>338</sup> na koju se namotavaju ugljenična ili staklena vlakna.<sup>339</sup> Boce namenjene za prevoz velikih količina zemnog gasa na svojim završecima imaju kalotne (poklopce oblika polukugle) od nerđajućeg čelika na kojima se instaliraju ventili i cevni sistemi za povezivanje (slika 4.56). Prednost ovakvih sudova je da su znatno lakši (imaju samo 1/3 težine u odnosu na iste čelične boce), otporni na niske temperature, nema njihove korozije u toku vremenskog veka eksploatacije. Danas se ovi materijali koriste i za izgradnju rezervoara za KZG kod putničkih vozila i javnom saobraćaju.



Slika 4.56. Ilustracija različitih tipova brodova za dostavu komprimovanog zemnog gasa<sup>340</sup>

Boce izgrađene FRP tehnologijom, namenjene za dopremu komprimovanog zemnog gasa brodovima, većih su dimenzija (prečnika 1,066 m i dužine 12,19 m). U ovim posudama gas se skladišti na pritiscima do 250 bara i temperaturi okruženja. Boce se na brodovima instaliraju u vertikalnom položaju u konstruisanim čeličnim okvirima (ramovi, kasete). Ram ima funkciju da se boce mogu smestiti u jednu celinu, zaštititi i obezbediti od fizičkog uticaja, lakše međusobno povezati, sigurnije i lakše utočiti ili istočiti gas iz njih, uskladištiti veći broj boca, racionalnije iskoristiti skladišni kapacitet broda, brže i bezbednije manipulirati. Najčešće se u jedan okvir (ram) ugrađuje 20 ili 24 boce, koje se međusobno povezuju instalacionim sistemom za gas, na taj način formira se jedna kompaktna skladišna jedinica. Dimenzija kasete je 12,19 x 12,19 x 2,6 metara. Na brodu se kasete slažu jedna na drugu u cilju maksimalnog iskorišćenja aktivne skladišne površine. Broj kaseti i redova uslovljen je tehničkim karakteristikama samoga broda. Orijentaciono, ukupan kapacitet brodova kreće se u rasponu od 4,42 do 34x10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> zemnog gasa (tabela 4.15).

Takođe, pored samih brodova za CNG, koji su opremljeni odgovarajućim skladišnim kapacitetima, grade se i „barže“ za dopremu komprimovanog gasa. „Barže“ nemaju sopstveni pogon, nego se gas prevozi na taj način što njih vuku CNG brodovi ili posebni tegljači (koji vuku ili potiskuju baržu). Njihov kapacitet se kreće u rasponu od 1.416 od 2,832 miliona m<sup>3</sup> (od 50 do 100 miliona kubni stopa) gasa. Kao primer za ilustraciju nekih tehničkih karakteristika konstrukcionog rešenja jedne „barže“, može da posluži standardna „barža“ tipa VOTRANS. Neke od njenih dimenzija su: dužina 112 m; širina 25,2; dubina trupa 7,6 m; težina tereta (suvog gasa) 1100 mt.<sup>341</sup>

<sup>336</sup> 4870,5 m<sup>3</sup> (0,172 MMSCF)

<sup>337</sup> FRP – *Fiber Reinforced Plastic*

<sup>338</sup> *High density poliyethylene* – HDPE

<sup>339</sup> Prva dozvola za izgradnju ovakvih boca izdata je 2005. godine. Količina vlakana koja se upotrebljava zavisi od zahteva koji treba da ispuni posuda i njenog radnog pritiska koji treba da ima. Ugljenična vlakna su čvršća i lakša, a staklena vlakna jeftinija. Moguće je i kombinovati oba vlakna u izgradnji posude. Tada je reč o hibridnim vlaknima.

<sup>340</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti.

<sup>341</sup> Istovremeno, karakteristike broda VOTRANS su: dužina je 306 m; širina 50; dubina trupa 27,4 m; težina 19600 mt.

Ukupne troškove transporta pomorskim putem, u lancu snabdevanja tržišta zemnim gasom, metodom komprimovanja, čine izdaci za: utovar (punjenje i kompresiju) gasa na brod, prevoz brodom i istovar (pražnjenje i ekspanzija) gasa sa broda.<sup>342</sup> Okvirno, procentualno posmatrano, u strukturi ukupnih troškova dopreme KZG (CNG) brodovima postoje troškovi: utovara gasa na brod, koji iznose 6%; prevoz (transport) gasa brodom iznosi oko 89%, a pražnjenje broda 5%.

Tabela 4.15. Komparativna analiza tehnologija komprimovanja kod prevoza brodovima<sup>343</sup>

Tehnologija (kompanija)	Coselle (Sea NG)	VOLTRANS (Ener Sea)	GTM (Transcanada)	FRP (Trans Ocean Gas)	PNG (Knutsen)
Kapaci. skladišten. gasa 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	1,42–1,34	5,66–56,6	13	28,3	2–30
Udaljenost, km	300–2400	100–5000	-	-	4800
Tip skladišta	Čelična cev namotana na bubanj	Čelična posuda cilindričnog oblika	Posuda od čelika velike čvrstoće s malim sadržajem ugljenika	Polietilenski skladište s laminiranim slojem	Čelična posuda (kvalitet čelika X-80)
Dimenzije skladišta (prečnik, dužina) m	0,152x16100	1,0668 x 24–36	1,0668 x 24	1,0668 x 12	1,0668 x 19–38
Pritisak, bar	250	90–135	250	250	250
Temperatura, °C	0	- 30	okoline	5	okoline
Nosivo. broda, dwt	60000–80000 (Panamax)	60000–80000 (Arfamax)	32000	60000–80000 (Panamax)	20000

Izvor: Dekanić I. i dr., „Studija o primjeni stlačenog prirodnog plina“

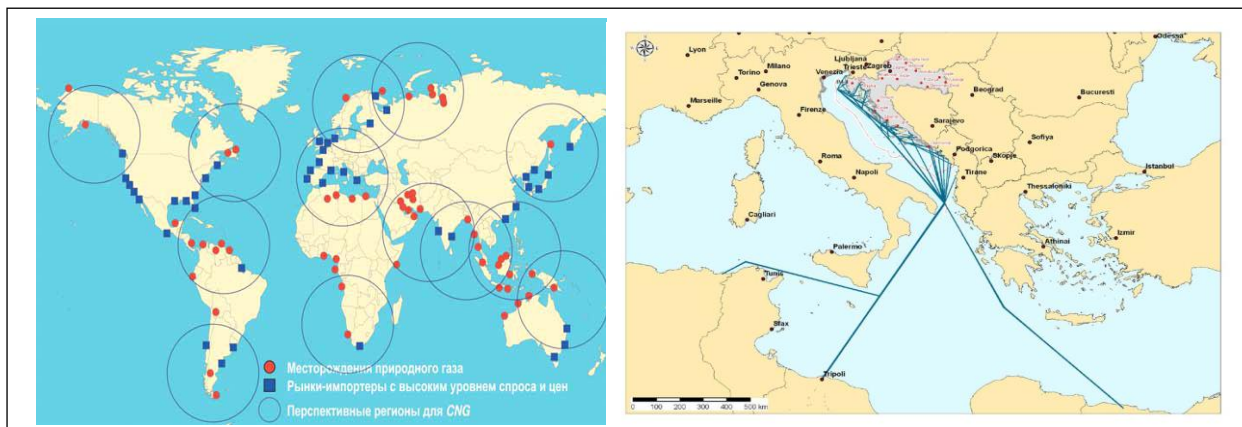
### 1.3.2. Mogućnost primene koncepta prevoza komprimovanog zemnog gasa brodovima u cilju bolje snabdevenosti tržišta regiona Balkana

Koncept primene snabdevanja tržišta komprimovanim zemnim gasom u gasovitom agregatnom stanju, kao savremen način snabdevanja potrošača u svetu ima sve značajnije mesto u analizama i potencijalnoj primeni (slika 4.57). Ovaj vid dopreme gasa neizostavno ima veliki potencijal u snabdevanju tržišta regiona Balkana u narednom periodu. Snabdevanje tržišta na ovaj način predstavlja izuzetno pogodan način iz više razloga. Sama pogodnost ovog načina snabdevanja gasom regiona Balkana se ogleda u tome da ima povoljan geografski položaj; udaljenost do izvora gasa; većina zemalja ima pristup morskoj obali (Slovenija, Hrvatska, BiH, Crna Gora, Albanija, Grčka, Bugarska, Rumunija i Turska); lakše iznalaženje lokacija za izgradnju prihvatnih terminala u odnosu na LNG; pogodnost ovog vida prevoza za snabdevanje izolovanih delova i segmenata regiona (niša) uz obalu i u neposrednoj blizini; manji gradovi na obali su pogodni za snabdevanje; snabdevanje većih ostrva; lakša i jeftinija izgradnja prihvatnih terminala; CNG tehnologija je jednostavna; priključkom (interkonekcijom) na tranzitni gasovod moguće je snabdevanje zemalja u unutrašnjosti regiona (Austrije, Mađarske, Srbije) koje nemaju izlaz na more.

Trenutno, najpogodniji izvori za snabdevanje komprimovanim zemnim gasom regiona Balkana su izvori u Libiji, Alžiru i Egiptu (tabela 4.16). Pored ovih država, kao potencijalna mogućnost, postoji i opcija snabdevanja iz regiona Bliskog istoka, korišćenjem pomorskog puta kroz Suecki kanal. Količina gasa na godišnjem nivou, koja bi se dovozila u komprimovanom stanju, na svako pojedinačno prihvatno mesto, može da bude do nekoliko milijardi m<sup>3</sup>.

<sup>342</sup> Uslovno posmatrano, sa aspekta fizičke realizacije i troškova, sama aktivnost utovara broda za CNG sastoji se od operacija (segmenata): prihvata broda, punjenja i kompresije. Ove aktivnosti su međusobno usko povezane i zavisne, tako da se najčešće iskazuju kao jedna – utovar broda. Slično je i kada je reč o operaciji istovara broda, tada je reč o aktivnostima i procesima: prihvata broda, pražnjenje i ekspanzije. U najvećem fizičkom obimu, sami procesi u okviru aktivnosti (punjenja i kompresije; pražnjenja i ekspanzije) su istovremeni, one su integrisane u okviru jednog procesa.

<sup>343</sup> Komparativna analiza nekih elemenata savremenih tehnika i tehnologija skladištenja gasa komprimovanjem i njegovog prevoza brodovima. Dekanić I. i dr., *Studija o primjeni stlačenog prirodnog plina u Republici Hrvatskoj, diversifikacija dobavnih pravaca SPP-a brodovima*, Studija, RGNF, Zagreb, 2008, str. 22.



Slika 4.57. Potencijalna područja za primenu koncepta prevoza CNG u svetu i regiona Balkana<sup>344</sup>

Prevoz gasa na ovaj način je siguran, pouzdan i ekonomski prihvatljiv koncept u budućnosti. Mnogo je fleksibilniji, nezavisniji i jeftiniji model snabdevanja tržišta od uvoza gasa putem cevovoda i LNG brodovima. Zbog mogućnosti lakše, brže i jeftinije izgradnje prihvatnih terminala (slika 4.58), niže cene broda i pogodnijeg rastojanja do potencijalnih izvora, neophodno je posvetiti adekvatnu pažnju ovom vidu transporta u cilju pouzdanog snabdevanja tržišta regiona Balkana. On pruža mogućnost diversifikacije izvora i pravaca snabdevana gasom regiona u narednom periodu.

Ovaj način dopreme zemnog gasa u komprimovanom stanju brodom predstavlja jedno od mogućih rešenja u okviru ukupnog snabdevanja država regiona Balkana uvoznim gasom. Potrebno je da sve države formiraju jedinstvenu strategiju snabdevanja uvoznim gasom, a u okviru nje da se odredi mesto i pozicija prevoza gasa u komprimovanom stanju brodovima. Strategija uvoza gasa u komprimovanom stanju primenjivala bi se u okviru celokupnog koncepta dostave gasa iz inostranstva u region, zajedno i ravnopravno sa transportom cevovodima i LNG brodovima u budućnosti. Prema utvrđenoj dinamici i obimu, trebalo bi u budućnosti da on zauzme svoje mesto i učešće u ukupnom uvozu zemnog gasa. Na osnovu sadašnjih procena, trebalo bi da on ima stalni procentualni rast i značaj u ukupnom uvozu gasa.

Tabela 4.16. Udaljenost određenih potencijalnih gradova od izvora u Libiji, Alžiru i Egiptu<sup>345</sup>

Mesto	Libija	Alžir	Egipt
Poreč	1705	1944	1963
Rijeka	1690	1930	1950
Split	1425	1677	1693
Ploče	1371	1633	1634
Dubrovnik	1245	1497	1513
Herceg Novi	1219	1468	1484
Bar	1189	1428	1441
Drač	1106	1356	1372

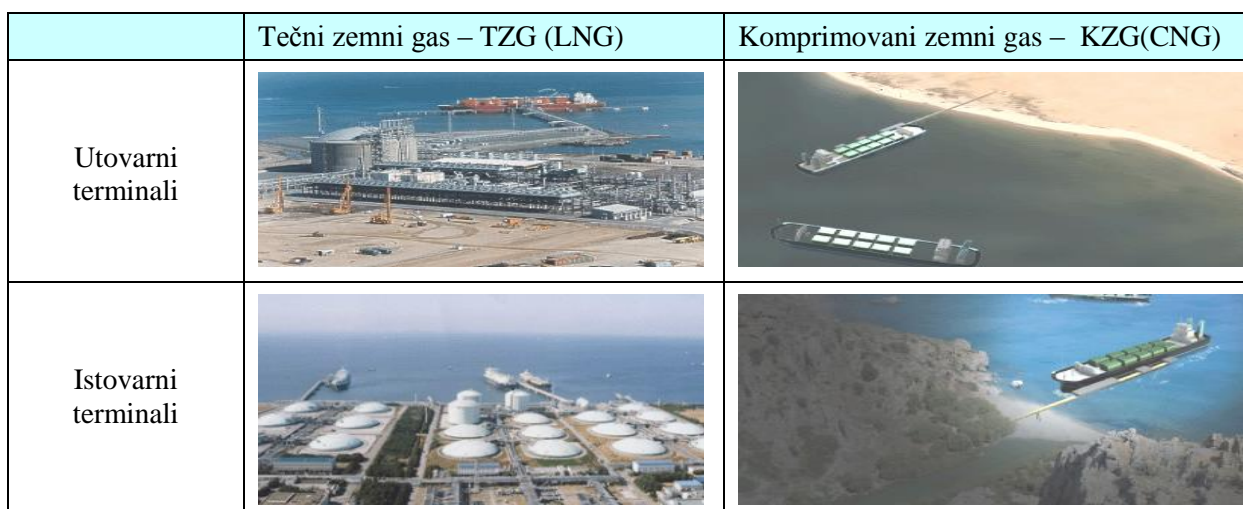
Autor.

Na osnovu svega do sada iznetog, države Balkanskog regiona, kada je reč o uvozu gasa, treba da se ujedine i formiraju zajedničko strategiju energetskeog razvoja, a u okviru njega jedinstveno tržište gasa. Treba da imaju jedinstven nastup vezan za ovaj energent. Tako bi sebi omogućile bolju poziciju, nego kad nastupaju samostalno u okviru svojih granica. Udruživanjem se ostvaruje bolja energetska pozicija svih zemalja; veća diversifikacija pravaca i izvora gasa; bolja pregovaračka pozicija; niža cena; veća sigurnost i bezbednost snabdevanja; bolji skladišni kapaciteti; novi vidovi

<sup>344</sup> Izvor: više radova iz ove oblasti. Potencijalna područja za primenu koncepta transporta CNG brodovima u svetu i mogućnost snabdevanja dela tržišta regiona Balkana, preko terminala na Jadranskom moru iz Libije, Alžira i Egipta.

<sup>345</sup> Reč je o gradovima koji su pogodni za snabdevanje komprimovanim zemnim gasom brodovima.

transporta gasa za većinu zemalja; efikasniji prevoz; veća fleksibilnost; manji rizik od iznenadnih nestašica gasa; manji uticaj politički faktora.



Slika 4.58. Prikaz odnosa terminala za utovar i istovar TZG (LNG) i KZG (CNG) u prostoru<sup>346</sup>

Prema različitim izveštajima i prognozama,<sup>347</sup> uvoz zemnog gasa u regionu Balkana, imaće u budućnosti stalni rast. Posmatrano procentualno, prema agregatnom stanju i vidu transporta, u ukupnom uvozu zemnog gasa, učešće uvoznog tečnog i komprimovanog gasa brodovima, takođe će imati stalni porast. Istovremeno, procentualni udeo uvoznog gasa putem cevovoda, u ukupnom uvozu regiona treba da ima sve manje svoje učešće. Ovo proizilazi iz činjenice da dovoljnih količina raspoloživog gasa koji se može transportovati cevovodima nema u dovoljnoj količini.

Tabela 4.17. Mogući procentualni odnos u strukturi uvezenog gasa na tržištu regiona Balkana u zavisnosti od donetih strategija o snabdevanju zemnim gasom<sup>348</sup>

	Cevovod gasovit %	Brod tečno stanje	Brod komprimovan %	Brod zmrznut %
1	80	20	-	-
2	70	30	-	-
3	70	20	10	-
4	60	30	10	-
5	50	30	20	-
6	55	25	20	-
7	45	25	25	5
8	30	30	30	10

<sup>346</sup> Izvor: Maetto Marongiu-Porcu i dr., *The Economics of Compressed Natural Gas sea Transport*, University of Houston, 2008, kao i više stručnih radova iz ove oblasti, vezanih za utovarne i istovarne terminale za tečni zemni gas TZG (LNG) i komprimovani zemni gas KZG (CNG). Vizuelno je lako uočljivo da postrojenja za otpremu i prihvatanje brodova za LNG tehnologiju prostorno zauzimaju znatno veću površinu i značajno menjaju ambijent obale.

<sup>347</sup> Prema izveštajima međunarodnih organizacija iz ove oblasti, Ministarstva za enrgetiku SR Srbije.

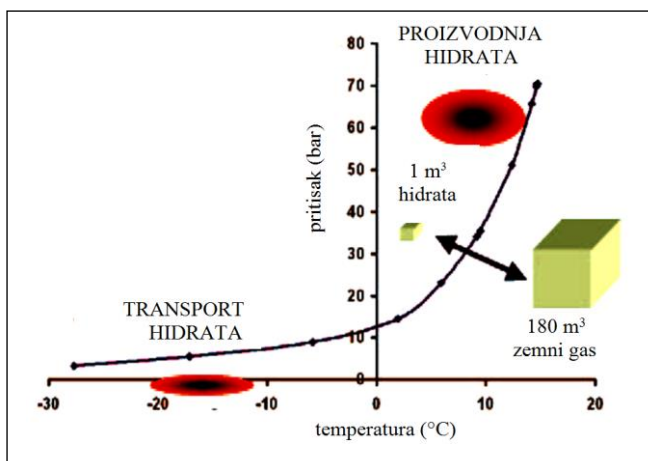
<sup>348</sup> Autor. Neki od mogućih procentualnih odnosa, u strukturi uvezenog gasa, u bližoj i daljoj budućnosti na tržištu regiona zemalja Balkana, u zavisnosti od doneti strategija o snabdevanju zemnim gasom, dostignutog stepena razvijenosti transportnih sredstava (CNG, NGH i LNG) i njihove primene u regionu. Sa velikom preciznošću nije moguće ovog trenutka dati tačan odgovor, a ni približni mogući procenat odnosa u strukturi uvezenog zemnog gasa u zavisnosti od vida transporta i njegovog agregatnog stanja, u bližoj i daljoj budućnosti za tržište regiona Balkana. Ovo nije moguće, jer ne postoji formirano jedinstveno tržište gasa, a samim time niti strategije o snabdevanju, što je neophodan preduslov za bolje i pouzdanije snabdevanje regiona. Osnovno pitanje je da li će sve zemlje i dalje pojedinačno nastupati ili će formirati zajednički savez i kroz neku od mogućih formi jedinstveno uvoziti gas. Strategija o snabdevanju gasom zavisi od niza parametara, koji nisu definisani ovog trenutka. Ako bi došlo do udruživanja, uticaj zavisi od toga koje bi to sve zemlje pristupile zajedničkom tržištu; količine gasa koja je potrebna; izvori snabdevanja; vidovi transporta koji će se koristiti; stepena tehničkog razvoja vidova transportnih sredstava toga trenutka (u prvom redu vezano za potencijal koji pruža transport gasa u čvrstom agregatnom stanju).

Region Balkana, ovog trenutka, značajno zaostaje za procentualnim odnosom uvezenog zemnog gasa u tečnom agregatnom stanju brodovima u odnosu na gasovito stanje putem cevovoda. U svetu, učešću tečnog zemnog gasa u ukupnoj svetskoj trgovini iznosi 30% sa tendencijom daljeg rasta. U zavisnosti od udruživanja i formiranja jedinstvene strategije snabdevanja regiona Balkana, procentualno učešće u dopremi zemnog gasa, moglo bi da se kreće u nekoliko različitih odnosa (tabela 4.17). Jedna od mogućih varijanti je da se 70% uvoza gasa realizuje cevovodom, a 30% brodovima u tečnom stanju. Druga varijanta je da se 70% dopreme gasa realizuje cevovodom, 20% brodovima u tečnom stanju i 10% komprimovan brodovima. Treća varijanta: 60% prevoza gasa realizovala bi se cevovodom, 30% brodovima u tečnom stanju i 10% komprimovan brodovima.

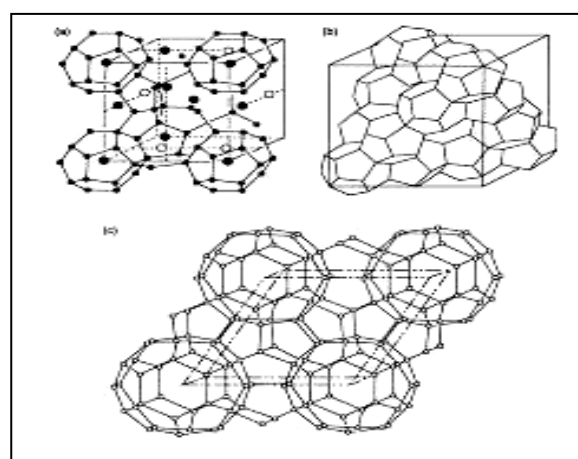
Postoji više različitih strategija i mogućih varijanti odnosa učešća agregatnog stanja gasa i vida prevoza. Ovaj odnos zavisi od velikog broja različitih činilaca i faktora: udruživanja zemalja, potrebe za gasom, investicionih sredstava, raspoloživosti gasa, izvora snabdevanja, donete strategije, cene gasa, političkih faktora, uticaja i interesa država izvan regiona, razvoja tehnike i tehnologije.

#### 1.4. Transport gasa u čvrstom agregatnom stanju u formi metanski hidrata kao značajno potencijalno konceptualno rešenje prevoza u budućnosti

Danas se sve više u svetu razmatra mogućnost praktične primene tehnika i tehnologija, transporta i skladištenja zemnog gasa u čvrstom agregatnom stanju u formi metanski hidrata (eng. *Natural Gas Hydrat NGH*). Reč je o mogućem potencijalno značajnom konceptualnom rešenju snabdevanja tržišta ovim energentom u budućnosti. Analiziraju se realne konceptualne mogućnosti prevoza gasa u čvrstom agregatnom stanju: brodovima, železnicom i kamionima. Sagledavaju se praktične okvirne mogućnosti značajnije primene ovoga načina dostave gasa od mesta proizvodnje do krajnjeg potrošača.<sup>349</sup> Sa aspekta snabdevanja značajnijim količinama određenog tržišta na ovaj način, u prvom redu nalazi se njegov transport u formi hidrata<sup>350</sup> posebno konstruisanim brodovima. Hidrati su kristalne čvrste strukture formirane (sastavljane) od vode i zemnog gasa. Sami molekuli gasa su „zarobljeni“ unutar kaveza vode.



Slika 4.59. Uslovi vezani za proizvodnju hidrata<sup>351</sup>



Slika 4.60. Neke od mogućih struktura hidrata<sup>352</sup>

<sup>349</sup> Dawe R.A. i dr., „Hydrate Technology for Transporting Natural Gas“, *Engineering Journal of the University of Qatar*, Vol. 16, 2003, str. 11–18.

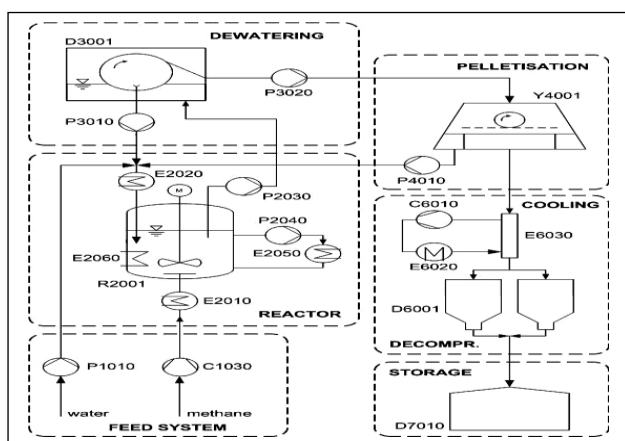
<sup>350</sup> U prirodi, metanski hidrati su najčešći oblik jedinstvene veze hemijskih spojeva nazvanih klatrati. Klatrati su spojevi koji predstavljaju kristalnu rešetku, koja se formira od jedne vrste molekula nekog elementa u kojima su zarobljeni (uhvaćeni, blokirani) molekuli drugog elementa. Između molekula ne dolazi do hemijske reakcije. U praksi je rasprostranjen i opšte prihvaćen naziv za ovu klatrate–hidrati.

<sup>351</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti. Reč je o uslovima vezanim za temperaturu i pritisak koji su potrebni prilikom proizvodnje (formiranja), transporta i skladištenja zemnog gasa u čvrstom agregatnom stanju. Grafički je ilustrovan zapreminski odnos (1:180) koji zauzima gas u čvrstom i gasovitom komprimovanom stanju.

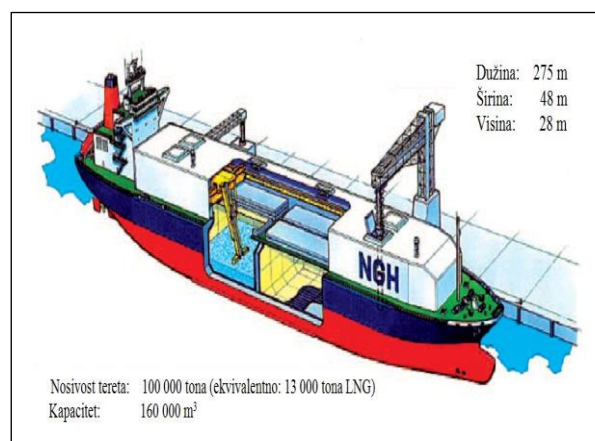
<sup>352</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti.

Proces transporta zemnog gasa u formi metanskih hidrata obuhvata njihovu proizvodnju (mešanje zemnog gasa i vode) u reaktorima, prevoz sa skladištenjem i oslobađanje metana iz hidrata. Tehnološki posmatrano, postoji više mogućih načina proizvodnje (slike 4.59. i 4.60) i transporta hidrata. U samoj osnovi, zemni gas u postrojenju za proizvodnju hidrata, prolazi kroz više različitih sudova i reaktora u kojima se meša sa vodom, na pritisku 50–90 bara i radnoj temperaturi 10–15°C. Čin samog mešanja vode i gasa može se realizovati u reaktoru, dovodenjem gasa sa dna ili vode sa vrha posude. Nakon toga, višak vode se iz mešavine odstranjuje u cilju zgušnjavanja same suspenzije (hidrat-voda) korišćenjem hidrociklona i filtera u daljem procesu proizvodnje. Pošto suspenzija nije stabilna na atmosferskom pritisku, kod proizvodnje hidrata u čvrstom stanju, sprovodi se njegova dehidracija.<sup>353</sup> Procesi proizvodnje hidrata može da se ostvari tehnologijom: a) suvoga procesa; b) stvaranja vodene suspenzije hidrata; c) metanski hidrata u prahu.

Tehnološki proces proizvodnje hidrata suvim procesom može da se realizuje na više načina i različitih oblika.<sup>354</sup> Prvi način proizvodnje suvih hidrata je odvajanje vode u dve uzastopne faze. Dugi način separacije je gravitacijskim procesom, kod koga u separatorima, metanski hidrati koji su još lakši od vode, isplivavaju na površinu, stvarajući „koru“. Hidrati se sa vrha suda izuzimaju i dalje odvođe u proces proizvodnje. Na ovaj način se odvaja oko 90% vode. Ovaj proces je vremenski dugotrajan, zahteva velike zapreminske posude. Tehnološki proces transporta hidrata u stanju suspenzije, bazira se na mogućnosti odvajanja dela vode, tako da je odnos gasa i hidrata 75:1. U ovom slučaju, koncentrirana suspenzija se skladišti u sudovima pod pritiskom od 10 bara i temperaturi od 2°C. Treća mogućnost je proizvodnja metanski hidrata u prahu (suva materija) odstranjivanjem (dehidracijom) viška vode.



Slika 4.61. Idejni dijagram proizvodnje hidrata<sup>355</sup>



Slika 4.62. Koncept dizajna broda za hidrate<sup>356</sup>

Kod prevoza gasa u formi peleta hidrata, prvo je potrebno prevesti mešavinu gasa i vode u čvrsto agrgatno stanje (slika 4.61), pri određenim temperaturama i pritiscima (od 2 do 10 °C i od 80 do 100 bara). Odnos gasovitog agregatnog stanja fluida, prema njegovom hidratnom stanju je u razmeri 1: 150~180. Tako da se u jednom kubnom metru hidrata nalazi se od 150 do 180 m<sup>3</sup> zemnog gasa. Gas u čvrstom stanju (hidratnim peletama) može da se proizvede u praškastom obliku,

<sup>353</sup> Proces dehidracija suspenzije može se sprovesti na više načina: primenom filtera, hidrociklona, centrifuga ili međusobnom kombinacijom, kada dolazi do koncentracije metanski hidrata u vodi koji sadrži 25-30%.

<sup>354</sup> Hidrati se mogu proizvesti u različitim oblicima peleta pomoću pelletizera. Pored najčešćeg oblika hidrata, koji su proizvedeni suvom tehnologijom, u obliku kuglica, danas je moguća proizvodnja u obliku cilindra prečnika 10 cm i dužine 5 cm. Murayama T., „Effects of Guest Gas on Pelletizing Performance of Natural Gas Hydrate (NGH) Pellete“, Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Gas Hydrates (ICGH), Edinburgh, United Kingdom, 2011.

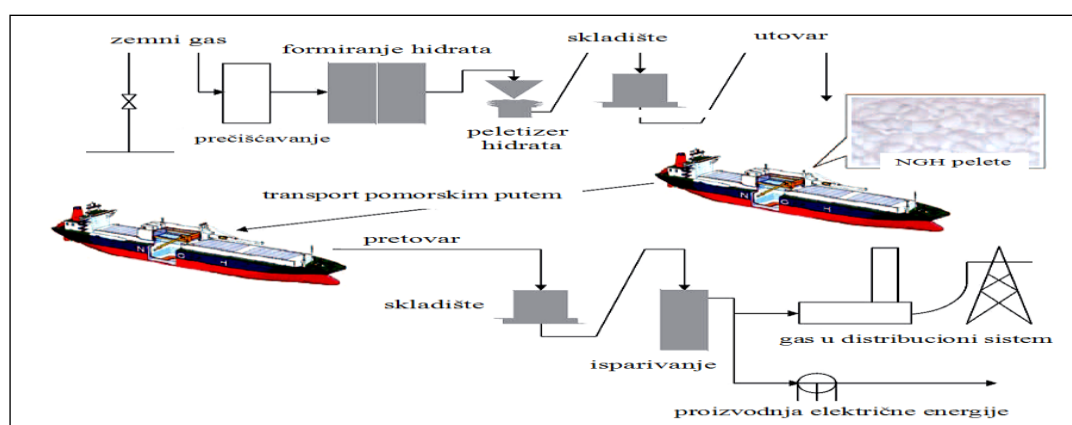
<sup>355</sup> Izvor: Rehder G., „Metahane Hydrate Pellet Transport Using the Self-Preservation effect: A Techno-Economic Analysis,“, *Energies*, journal, 2012. Idejni dijagram toka za proizvodnju metanski hidrata i proizvodnju peleta.

<sup>356</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti.

loptastom, valjkastom ili elipstastom obliku.<sup>357</sup> Kao tehnološki i ekonomski najpogodnije za proizvodnju, skladištenje i destabilizaciju, pokazale su se pelete dimenzija od nekoliko centimetara. Proizveden čvrst hidrat može da se skladišti i prevozi (brodovima: slika 4.62, vozovima i kamionima) na nižim radnim temperaturama i pritiscima, nego kada je reč o dopremi gasa u tečnom ili komprimovanom stanju. Gas u formi hidrata, moguće je održati bez značajnije degradacije, ako je ohlađen (-20°C do -15°C) na atmosferskom pritisku u posebno konstruisanim i izgrađenim kontejnerima. Na samom mestu prihvata, obezbeđuje se prostor za skladištenje i ponovno prevođenje u gasovito stanje (razgradnja [destabilizacija] na gas i vodu).

Metanski hidrati mogu se transportovati i u stanju suspenzije<sup>358</sup> čvrstih čestica u tečnosti (kaša hidrata i tečnosti). Kod transporta hidrata u stanju suspenzije, reč je o polutečnom stanju materije. Smatra se da je primena tehnologije suvih hidrata pogodnija za duže relacije transporta gasa sa obilnijih nalazišta, dok stanje hidrata u polutečnom stanju (suspenziji, kaši) za nalazišta u morima, koja primenjuju FPSO tehnologiju eksploatacije gasa.<sup>359</sup>

Kao najoptimalnije tehničko-tehnološko rešenje za transport gasa u formi metanskih hidrata, trenutno se smatra njegov prevoz u čvrstom stanju, u izolovanim sudovima na atmosferskom pritisku na temperaturi od -40 do -5 °C ili kao suspenzija pri pritisku od 10 bara i temperaturi od 2°C.<sup>360</sup> Razvijaju se savremena tehnička rešenja proizvodnje hidrata u formi peleta brodom (slika 4.63).



Slika 4.63. Transportni lanac gasa u čvrstom agregatnom stanju u formi hidrata (NGH)<sup>361</sup>

Održavanje hidrata na atmosferskom pritisku temelji se na činjenici da dolazi do efekta same fizičke stabilizacije hidrata, koji usporava njegovo razlaganje. Hidrat se nalazi na temperaturi (-15°C) ispod tačke mržnjenja vode. Do ove pojave i efekta dolazi iz razloga što se prilikom procesa samog razgradnje hidrata, koji počinje na samim njegovim rubnim delovima, oslobođena voda smrzava i stvara ledenu opnu (koru, omotač) koji spolja oblaže hidrat i dodatno usporava njegovu razgradnju. Ovaj efekat omogućuje stabilizaciju gasa unutar hidrata. Iz ovoga razloga, gasni hidrati su stabilni na atmosferskom pritisku na temperaturi od -5 °C do -15°C, što omogućuju relativno povoljne uslove za njegov transport i skladištenje.

Kao tehničko rešenje sredstva za prevoz hidrata pomoću brodova, razmatraju se različita konceptijska mogućnost izvedbe plovila. U zavisnosti od forme hidrata (suspenzije hidrata: slika

<sup>357</sup> Kanda H., „Economic study on Natural Gas Transportation with Natural Gas Hydrate (NGH) pellets“, Japan, prezentovano na 23<sup>rd</sup> World Gas Conference, Amsterdam, 2003.

<sup>358</sup> Suspenzija je stanje u kome se hidrati nalaze. To je kaša metanskih hidrata i tečnosti. Načesto je reč o vodi kao tečnosti. Ako prilikom proizvodnje metanski hidrata postoji više vode, nastaju u reaktoru hidrati u stanju suspenzije. U ovoj formi je moguće transportovati hidrate, ali nije pogodno što oni ne mogu da budu stabilni na atmosferskom pritisku. Odnos težine kreće se 5% –15% hidrata u ukupnoj težini suspenzije. Danas se sagledava i mogućnost da se umesto vode kao medijum koriste i druge tečnosti za transport hidrata u formi suspenzije.

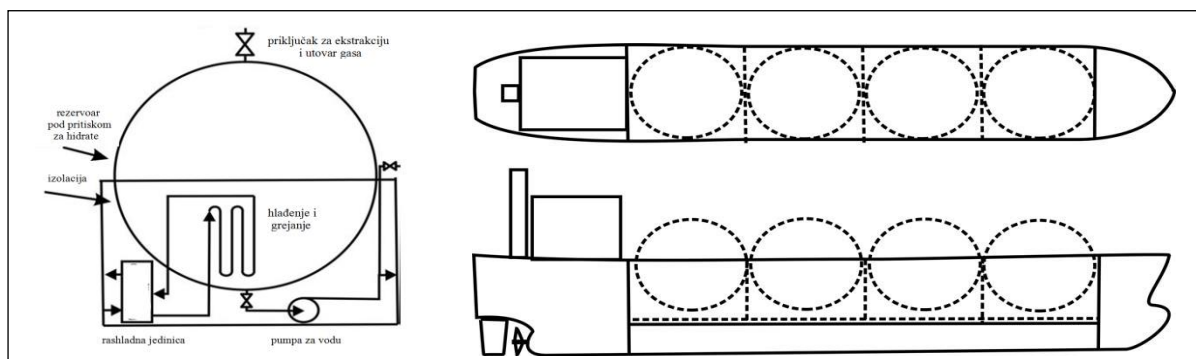
<sup>359</sup> Jedna od prvih analiza mogućnosti korišćenja hidrata odnosila se na *offshore* polje u Berencovom moru (Norveška).

<sup>360</sup> Taylor M., „Fire and Ice: Gas hydrate transportation – A possibility for the Caribbean region“, SPE's eLibrary, 2003.

<sup>361</sup> Izvor: Murayama T. i dr., „Effects of guest Gas on Pelletizing performance of Natural Gas Hydrate (NGH) Pellets“, Japan, prezentovano na Proceedings of the 7<sup>th</sup> international Conference on Gas Hydrates, Edinburgh, UK, 2011.



4.64, praha), sagledava se i potencijalna mogućnost tehničkih izvedba brodova. Brodovi najčešće mogu da budu izrađeni u formi izolovanih sanduka kontejnerskog tipa ili sferičnih sudova (postavljenih dužno u jednoj ili dve linije na prevoznom sredstvu).



Slika 4.64. Grafička ilustracija preseka broda za prevoz hidrata u formi suspenzije<sup>362</sup>

Nakon prevoza zemnog gasa u formi suspenzije metanskih hidrata i vode ili metanskih hidrata u formi praha, gas se istovara na prijemnom terminalu. Nakon istovara hidrata sa broda ili barža, hidrati se u zavisnosti od tehnološkog procesa, mogu skladištiti ili otpremati dalje. Nezavisno od toga da li se dopremljeni hidrati skladište ili dalje otpremaju, nakon toga se zemni gas prevodi iz čvrstog agregatnog stanja u gasovito. Oslobođanje gasa (isparavanje) vrši se u izmenjivačima toplote u kojima dolazi do razgradnje kristalne strukture hidrata. Na ovaj način se vrši regasifikacija, razdvaja se zemni gas i voda iz hidrata. Gas se dalje odvodi putem cevovoda prema potrošačima.<sup>363</sup>

Primena ove tehnologije, prema sprovedenim istraživanjima pokazala se kao pogodna za transport malih i srednjih količina na većim rastojanjima.<sup>364</sup> Smatra se da će vremenom troškovi vezani za ovu tehnologiju biti niži i još povoljniji u odnosu na LNG tehnologiju transporta gasa.<sup>365</sup>

Tabela 4.18. Osnovne karakteristike gasa u tri agregatna stanja prilikom transporta i skladištenja<sup>366</sup>

	Tečni zemni gas TZG (LNG)	Komprimovani zemni gas KZG (CNG)	Smrznut zemni gas SZG (NGH)
• Agregatno stanje	Tečnost	Gasovito	Čvrsto
• Temperatura skladištenja	-162 °C	-40°C do +45 °C	-5 °C do -20 °C
• Količina gasa i sastav u 1 m <sup>3</sup> prostora	600 normalni m <sup>3</sup> zemnog gasa	200 do 250 normalni m <sup>3</sup> zemnog gasa	150–180 norm. m <sup>3</sup> gasa vode 0.8 m <sup>3</sup>

Autor.

Okvirno grubo posmatrano prema segmentima, udeo u ukupnim troškovima transportnog lanca snabdevanja zemnim gasom u čvrstom agregatnom stanju je oko 60%, vezano za sam proces proizvodnje samog hidrata, 30% pripada realizaciji samoga prevoza, a 10% se odnosi na sam segment oslobađanja zemnog gasa iz metanskih hidrata.<sup>367</sup> Sama tehnologija transporta zemnog gasa (tabela 4.18) na ovaj način u formi hidrata je relativno jednostavna i ne zahteva složene tehnološke

<sup>362</sup> Izvor: Unsalan D., „Conceptual Study for a Gas Hydrate Carrier Ship“, Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Maritime and Naval Science and Engineering, ISSN: 1790-2769, str. 65–70.

<sup>363</sup> U onim potencijalnim situacijama u kojima bi se gas koristio u termoelektranama u neposrednoj blizini, toplota koja nastaje prilikom proizvodnje električne energije može da se koristi za zagrevanje hidrata u izmenjivačima toplote.

<sup>364</sup> Gudmundsson J., „Hydrate Non-Pipeline Technology for Transport of natural Gas“, 22<sup>nd</sup> World Gas Conference, Tokyo, 2003.

<sup>365</sup> Rajnauth J. i dr., „Monetizing Gas: Focusing on Developments in Gas Hydrate as a Mode of Transportation“, Energy Science and Technology, CS Canada, Vol 4, No 2, 2012, str. 61–68.

<sup>366</sup> Komparativna analiza osnovnih fizičkih karakteristika zemnog gasa prilikom njegovog transporta i skladištenja u velikim količina u tri agregatna stanja brodovima. Autor.

<sup>367</sup> Gudmundsson J., „Hydrate Non-Pipeline Technology for Transport of Natural Gas“, 22 World Gas Co., Tokyo, 2003.

procesu (visok pritisak, nisku temperaturu). Prema jednom istraživanju, gde su se uporedili kapitalni troškovi tehnologije NGH i LNG, utvrđeno je da je su troškovi transporta u formi hidrata 25% niži od transporta gasa u tečnom agregatnom stanju.<sup>368</sup>

## 1.5. Troškovi transporta zemnog gasa u zavisnosti od načina prevoza

### 1.5.1. Okvirno sagledavanje troška transporta kod izbora načina prevoza

Donošenje odluke o načinu transporta zemnog gasa je kompleksna odluka, koja zavisi od više različitih činilaca, faktora i parametara: količine gasa koji se transportuje; rastojanja na kome se transportuje; dinamike isporuke; troškova transporta; agregatnog stanja fluida; razvijenosti infrastrukture; dinamike potrošnje; raspoloživost transportni sredstava; raspoloživosti izvora.

Trošak transporta zemnog gasa je značajan faktor prilikom izbora vida transporta.<sup>369</sup> Sagledavanje i analiza troškova može da se postavi jednačinom (4.14):

$$E_u = E_t + N \cdot J \quad (4.14)$$

$E_u$  – ukupni godišnji troškovi koji se odnose na vrstu transporta;  $E_t$  – proizvodni troškovi, odnosno troškovi iskorišćavanja (određavanja) transportnog sistema;  $N$  – nominativni koeficijent efikasnosti kapitalni ulaganja (za tranzitni i magistralni cevovod on se uzima  $N=1/t$ ;  $t$  – normativni vreme iskorišćavanja cevovoda  $t=20-40$ . god.);  $J$  – kapitalno (investiciono) ulaganje;

Izračunavanje vrednosti parametara u jednačini (1) dobije se primenom odgovarajućih formula. Parametar vrednosti za troškove iskorišćavanja transportnog sredstva ( $E_t$ ) izračunava se identično za svaki vid transportnog sredstva, dok se parametar  $J$  izračunava različito u zavisnosti od transportnog sredstva. Vrednost  $E_t$  – troškovi iskorišćavanja transportnog sistema gasa mogu da se iskažu kroz jednačinu (4.15):

$E_t$  - troškovi iskorišćavanja transportnog sistema

$$E_t = c \cdot m \cdot L \quad (4.15)$$

$c$  – cena prevoznog sredstva;  $m$  – masa fluida koji se transportuje;  $L$  – udaljenost od odredišta.

$J$  – kapitalna (investiciona) ulaganja su različita za određene vidove transporta. Izračunava se različito, u zavisnosti da li je u pitanju transport cevovodom, vodom ili železnicom.

$J$  – kapitalno ulaganje u cevovod

$$J = J_c + J_{cp} \quad (4.16)$$

- a)  $J_c$  – kapitalno ulaganje u cevovod; b)  $J_{cp}$  – kapitalno ulaganje kompresorke podstanice;  
 a)  $J_c = J_c' \cdot L_c$  ( $J_c'$  – specifično ulaganje u cevovod svedeno na 1 km dužine;  $L_c$  – 1 dužina cevovoda)  
 b)  $J_{cp} = J_{cp}' \cdot n_{cp}$  ( $J_{cp}'$  – specifi. kapitalno ulaganje u jednu kompresorku stanicu;  $n_{cp}$  – broj stanica)

$J_v$  – ukupno kapitalno ulaganje u vodeni transportni sistem

$$J_v = J_t + J_r + J_s \quad (4.17)$$

- a)  $J_t$  – kapita. ulaga. u tanker; b)  $J_r$  – kapi. ula. u vučni brod tegljač (remorker (ako se koristi));  
 c)  $J_s$  – kapitalna ulagnja u skladišta (instalacija) na obali;  
 a)  $J_t = c_t \cdot n_t$  ( $c_t$  – cena tankera;  $n_t$  – broj tankera)  
 b)  $J_r = c_b \cdot n_b$  ( $c_b$  – cena jednog tegljača;  $n_b$  – broj tegljača;  
 c)  $J_s = c_s \cdot V_s$  ( $c_s$  – cena jedničnog obima rezervoara;  $V_s$  – ukupni obim skladišnog prostora.)

<sup>368</sup> Posmatrano prema segmentima, troškovi procesa proizvodnje hidrata niža su za 36% u odnosu na tehnologiju utečnjavanja; regasifikacija (isparavanje) je niža za 9%.

<sup>369</sup> Zelić M., *Tehnologija transporta nafte i plina magistralnim cevovodom*, INA Naftaplin, Zagreb, 2002, str. 7–9.

$J\check{z}$  – kapitalno ulaganje za transport železnicom

$$J\check{z} = c_v \cdot n_v + c\check{z}_v \quad (4.18)$$

$J\check{z}$  – kapitalno ulaganje u železnički transportni sistem;  $c_v$  – cena kompozicije;  $n_v$  – broj vozova;  
 $C\check{z}_v$  – broj železničkih vagona.

### 1.5.2. Sagledavanje uticaja agregatnog stanja gasa na funkciju transporta u cilju veće efikasnosti logistike u svetu i ukazivanje na nove potencijalne mogućnosti prevoza radi boljeg snabdevanja tržišta

Danas je precizno i tačno utvrđivanje visine troškova prevoza zemnog gasa otežano zbog niza različitih uzroka, razloga, činioca i faktora. Konkretno, sama realizacija ove aktivnosti, u prvom redu je otežana zbog toga što najčešće (i gotovo po pravilu) ne postoji precizno iskazana struktura svih izdataka, koji formiraju cenu transporta gasa u konkretnom posmatranom slučaju; često nisu javnosti dostupni precizni i pouzdani podaci vezani za same troškove realizacije određene aktivnosti u sklopu procesa transporta gasa; u stručnim krugovima, postoji često rezerva i opravdano osporavanje koliko su zapravo realni i oni objavljeni i prezentovani, pojedinačni izdaci vezani za određene aktivnosti u strukturi cene prevoza gasa u određenim slučajevima; kolika su realna investiciona ulaganja u transportnu infrastrukturu; najčešće ne postoji pojedinačna visina troškova za određenu aktivnost u strukturi transporta gasa na konkretnim posmatranim distancama; često su iskazani i zvanični podaci vezani za određene segmente netačni; nedostatak dostupnih validnih podataka koliko je realno učešće troškova prevoza u prodajnoj ceni gasa; koliki su objektivni troškovi dopreme gasa na određenoj distanci,<sup>370</sup> koliki su stvarni a ne iskazani troškovi prevoza gasa tranzitnim i magistralnim cevovodom u prodajnoj ceni gasa; koliko je realno učešće troškova dopreme gasa u strukturi same prodajne cene gasa krajnjem kupcu (individualnom i industrijskom).

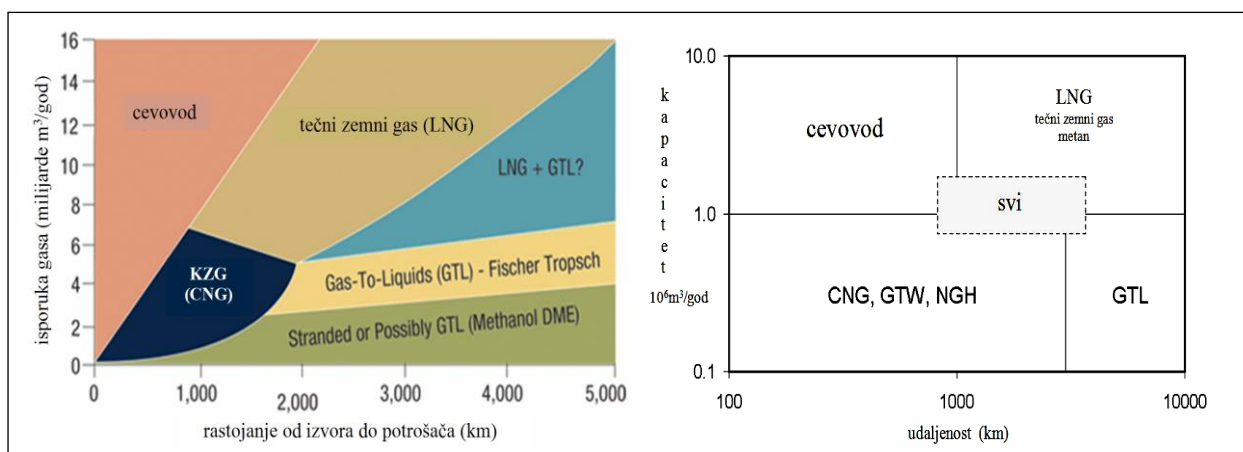
Ova aktivnost postaje još kompleksnija i iz sledećih razloga: što je cena transporta gasa različita u zavisnosti o kojem je vidu reč (cevovod, brod [LNG, CNG]); troškovi prevoza gasa mogu se sagledavati prema mogućem načinu njegove transformacije; investiciona ulaganja nisu ista u okviru istog vida dopreme; postoje razlike u okviru samog vida prevoza; kapaciteti transportnih sredstava nisu ni približno isti; u kom je periodu izvršena izgradnja transportnih sredstava; eksploatacioni vek prevoznog sredstva; obračun amortizacije osnovnih sredstava; region gde se vrši transport gasa; gubici koji nastaju tokom procesa dopreme;<sup>371</sup> da li je reč o kopnenom ili podvodnom gasovodu; prečnici cevovoda; različiti radni pritisci u cevovodu; konfiguracija kojom se pruža sam gasovod; potrebna energija za prenos gasa cevovodom. Veoma često, objektivno i realno, pravi razlog neiskazivanja tačne i precizne cena troška transporta, već samo okvirnog i veoma često (gotovo po pravilu) znatno većeg troškova prevoza gasa od realnog, jeste iz razloga što se ne želi iskazati koliko je njihovo učešće u stvarnoj ceni. Njihovim većim iskazivanjem često se opravdavaju nerearno postignute visoke prodajne cene gasa krajnjim potrošačima. Cena transporta gasa, u prvom redu ako je reč o tranzitnim i magistralnim gasovodima, često služi kao paravan za kamuflažu ostvarene visoke krajnje prodajne cene ovog energenta na tržištu.<sup>372</sup>

<sup>370</sup> Na primer, kolika je cena transporta 1000 m<sup>3</sup> tranzitnim cevovodom na rastojanju od 1, 100 ili 1000 kilometara?

<sup>371</sup> Neki od gubitaka vezani za transport gasa su: prelazak tečnog gasa u gasovito stanje; gubitak i rasipanje gasa u procesu prenosa fluida cevovodom (u nekim slučajevima on se obračunava u iznosu od 1%).

<sup>372</sup> Kao objašnjenje ovoga može da posluži primer iz bliže prošlosti. Kupcima se zemni gas iz Rusije isporučivao u Evropi cevovodom, poslednjih 10–20 godina, najčešće u rasponu od 270 do 450 dolara za 1000 m<sup>3</sup> ovog energenta. Objektivno, za ovako visoku prodajnu, a posebno razliku u visini cena isporučenog gasa za određene države, nije bilo potrebe: opravdanje u stvarnim troškovima proizvodnje (jer je sama cena koštanja eksploatacije i proizvodnje po jedinici proizvoda ista za bilo koga kupca); količina gasa koja se prodaje (za istu ugovorenu količinu gasa, različiti kupci su imali različite cene gasa); troškovima transporta zbog udaljenosti; dinamika isporuke gasa; da li je reč o tranzitnoj zemlji. Radilo se zapravo o političkim stavovima i stepenu zavisnosti konkretne države od ruskog gasa ili bolje rečeno gasa iz Rusije. Cena gasa se zemljama uvoznicima kretala u nerearnom rasponu (70 dolara za neke zemlje

Prilikom analize cene prevoza gasa, potrebno je u obzir uzeti distancu na kojoj se gas transportuje, količinu gasa koji se prevozi, izvore gasa, mogućnost primene određenog vida dostave, političko-ekonomske odnose, bezbednost i sigurnost snabdevanja, pouzdanost vida transporta, vreme kada je izgrađeno prevozno sredstvo. U osnovi, cilj je da se izvrši optimizacija snabdevanja gasa u zavisnosti od vida transporta, količine, cene i dinamike snabdevanja. Treba dati odgovor koji vid prevoznog sredstva i agregatnog stanja gasa treba koristiti i na kojim rastojanjima pri transportu određenih količina ovog energenta (slika 4. 65).



Slika 4.65. Okvirna ilustracija uslovne zavisnosti transporta zemnog gasa od načina transformacije, agregatnog stanja, količine i distance na kojoj se gas prevozi<sup>373</sup>

Tako da će se prvo, u okviru ovog dela rada, kroz više različitih primera, prikazati veći broj različitih karakterističnih analiza i studija, koje su vezane za različite vidove transporta, agregatno stanje gasa, dužine na koje se prevozi, količine koja se doprema, regione, u različitom vremenskom periodu u svetu. Ovo se radi iz razloga što je bitno uočiti činjenicu kako su se cena transporta gasa, primena odgovarajućeg vida sredstava i optimizacija (odnosa količine, distance i prevoznog sredstva) menjali tokom vremena.<sup>374</sup> Želja je da se potpunije i sveobuhvatnije sagleda problematika, a sa ciljem da se uoči razlika i promene vezane za vidove transportnih sredstava, količine i cenu koštanja prevoza. Izvršiće se komparativna analiza vidova transporta u različitom vremenskom periodu, obimu, agregatnom stanju i u poređenju sa njima pružiće se okvirni odgovor vezan za transport gasa danas. Sagledaće se okvirna mogućnost izbora vida i načina transporta u svetu i regionu Balkana, uzimajući u obzir troškove prevoza, sigurnost i bezbednost snabdevanja; diversifikaciju izvora snabdevanja, pokazujući koliki je značaj i uticaj transporta na snabdevenost

bivšeg SSSR, do 450 \$ za neke zemlje na teritoriji Evrope). Realno, zemlje koje su imale veći stepen nezavisnosti (sopstvenu proizvodnju, mogućnost uvoza gasa cevovodom od drugi dobavljača, dopremu LNG) imale su znatno nižu cenu. Nakon zbivanja vezanih za krizu oko isporuke gasa, prvo preko Ukrajine, a zatim vezano za sankcije koje su uvedene od strane EU Rusiji, prodajna cena gasa koju je Rusija ponudila kupcima značajno je pala, ali i dalje zadržavajući međusobnu razliku, ali ne više u tako velikom odnosu. Cena gasa se više približila realnim troškovima proizvodnje.

Konkretno, Srbiji je gas prodavan gotovo najčešće po najvišoj ceni. Cena je iznosila 300–400 i više dolara, u zavisnosti o kojoj je godini reč. Nakon svih zbivanja, gas se od strane Rusije, našem tržištu danas nudi za cenu od 225 \$, a za neke velike potrošače (MSK Kikinda, Azotara Pančevo) za 175 \$. Do tada se cena gasa i njeno stalno povezivanje, pravdalo troškovima same proizvodnje, ali u prvom redu visokim troškovima transporta. Neosporna je činjenica da realni troškovi eksploatacije i transporta gasa nisu mogli da opadnu u posmatranom periodu (ne postoji ni jedan validan ekonomski razlog – cevovod je već izgrađen, troškovi energenta [struje] nisu opali; troškovi maziva su ostali isti, što dovodi do zaključka da do tada iskazivani visoki troškovi transporta nisu objektivni i realni.





<sup>373</sup> Autor, na osnovu više izvora. Dve okvirne ilustracije zavisnosti transporta zemnog gasa u različitom agregatnog stanja. Predstavlja okvirnu ilustraciju u kom agregatnom stanju, kolike količine gasa, na kojim distancama je najisplativije transportovati. Reč je o zavisnosti mogućeg načina transformacije gasa i isplativosti njegovog prevoza uzimajući u obzir količinu i distance. Ilustracije preuzete iz različitih stručnih izvora i korigovane od strane autora.

<sup>374</sup> Reč je o periodu, od početka 80-ih godina XX veka do danas, u kome se prikazuju različite cene transporta gasa u različitim situacijama.

tržišta Balkana. Nakon toga, sagledaće se mogućnost dopreme velikih količina zemnog gasa, sa ciljem efikasnog snabdevanja tržišta u gasovitom agregatnom stanju cevovodima (kopnom i ispod mora), tečnom stanju brodovima i u komprimovanom stanju brodovima.

**1. Transport tečnog zemnog gasa.** U procesu prevoza gasa u tečnom stanju, najveći investicioni izdaci odnose se na izgradnju samog postrojenja za njegovo utečnjavanje. Sama visina izdataka za izgradnju postrojenja za utečnjavanje zavisi od kapaciteta postrojenja, tehnološkog rešenja, lokacije izgradnje, izvođača radova, perioda kada je realizovana izgradnja. Postrojenje koje dnevno može da utečni od 0,5 do 1 milijarde cubni feet ( $14,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ – $28,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) gasa košta od 750 miliona do 1,25 milijarde \$. Ovaj iznos predstavlja polovinu ukupnih investicionih ulaganja. Ulaganje u prihvatne terminale, u prvom redu zavisi od tipa postrojenja za isparavanje LNG i njegovog kapaciteta. Cena se kreće okvirno oko 500 miliona \$. Cena prevoza za udaljenosti od 500 do 5000 milja (804,67 km–8046,7 km) su u rangu od 0,41 do 1,50 milijardi dolara, ali mogu dostići i visinu od 2,5 milijarde dolara, zavisno od tržišnih zahteva i broja potrebnih brodova.<sup>375</sup> Posmatrano procentualno prema ovim investicionim ulaganjima, u ukupnim troškovima transporta, učešće određenih segmenata iznosi: 50% utečnjavanje, 39% transport brodom i 11% istovar (slika 7.71).

**Primer.** Orientaciono: da bi ekonomski LNG tehnologija bila prihvaćena u praksi potrebno je da gasno polje ima kapacitet od 0,5 do 1 bcf/dan<sup>376</sup> ( $1,41 \times 10^7 \text{ m}^3$ – $2,83 \times 10^7 \text{ m}^3$ ). Projekat se bazira na proizvodnji i eksploataciji u periodu od minimalno 20 godina. To iziskuje da ležišta raspolažu relativno velikim rezervama gasa.<sup>377</sup> Cena tečnog metana na tržištu kreće se okvirno, najčešće u rasponu od 2.0 do 3.7\$ MMBtu<sup>378</sup> (u posebnim ekstremnim situacijama MMBtu = 2.60–4.80\$). Posmatrano prema segmentima, okvirni % učešća određenih činilaca LNG lanca, u ceni ovoga energenta iznosi: proizvodnja 25%, utečnjavanje 40%, transport 20% i isparavanje 15% (slika 4.66).

			
proizvodnja 25%	utečnjavanje 40%	transport 20%	isparavanje 15%
\$0.5-\$1.0/MMBtu	\$0.8-\$1.20/MMBtu	\$0.4-\$1.0/MMBtu	\$0.3-\$0.5/MMBtu

Slika 4.66. Okvirna cena određenih segmenata u snabdevanja gasom LNG lancem<sup>379</sup>

**2. Odnos prevoza zemnog gasa cevovodom i brodovima u tečnom stanju.** Ključni činioci koji se analiziraju prilikom izbora načina transporta gasa su udaljenost na koju se gas prevozi i sama količina gasa koja se transportuje.<sup>380</sup> U osnovi, transport gasa cevovodom je konkurentniji na kraćim

<sup>375</sup> Podaci koji su se koristili u ovoj analizi odnose se na početak XXI veka. ECONOMIDES, M.J. Subero G., Kai S., „Compressed Natural Gas (CNG): An Alternative to Liquid Natural gas (LNG)“, SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and exhibition, Jakarta, Indonesia, SPE's eLibrary, 2005, str. 1–7.

<sup>376</sup> 1 bcf (billion cubic feet) =  $2,83 \times 10^{10} \text{ m}^3$

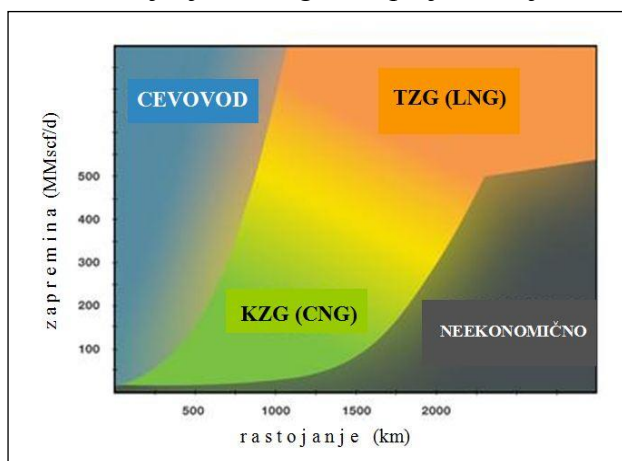
<sup>377</sup> Kod primene tehnologije transporta komprimovanog zemnog gasa (KZG – CNG) brodovima nisu potrebne tako velike rezerve gasa, tako da je ova tehnologija prikladna za manja polja i kod transporta na manjim rastojanjima. Ovaj način transporta pogodan je za snabdevanje manjih tržišta.

<sup>378</sup> 1 MMBtu = 1 milion Btu. (1 MMBtu =  $28,263682 \text{ m}^3$ ). Za energetske konverziju 1 standardna kubna stopa oko 1030 Btu (između 1010 Btu i 1070 Btu) od zavisnosti od kvaliteta gasa. Tako da se susreću različite preračunate vrednosti za MMBtu. Kod konverzije cene gasa  $1000 \text{ m}^3$  približno je 36,906 MMBtu i 1 MMBTU =  $27,096 \text{ m}^3$ .

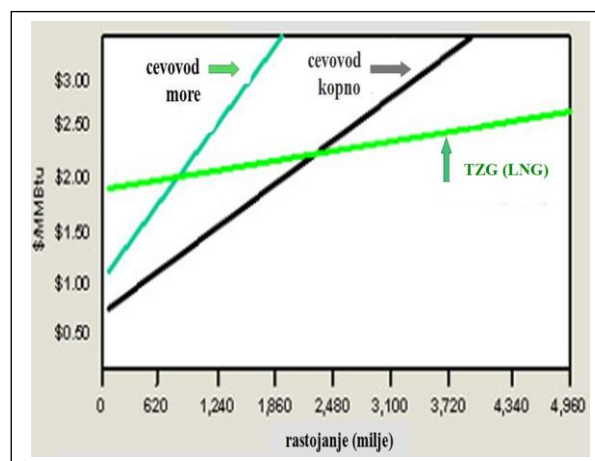
<sup>379</sup> Izvor: CEE – Center for Energy Economics „Introduction to LNG2, Houston, 2012, str. 21.

<sup>380</sup> Opširnije o optimizaciji transporta zemnog gasa cevovodom može se videti u velikom broju stručnih radova: 1. Conardo Borraz-Sanchez, *Optimization Methods for Pipeline Transportation of Natural Gas*, Universitet of Bergen, Norway, doktorska disertacija, 2010.

rastojanjima, a LNG na većim rastojanjima.<sup>381</sup> Ovo proizilazi iz činjenice da transportna udaljenost, nema veliki uticaj na troškove prevoza kod LNG tehnologije, jer kod nje, značajan uticaj imaju troškovi vezani za utečnjavanje i isparavanje gasa. Okvirno posmatrano, gasovodi visokog pritiska su prikladni za prevoz velikih količina gasa (oko i iznad 1 tcf [trillion cubic feet])<sup>382</sup> na godišnjem nivou, a LNG sistem kod transporta na većim rastojanja kapaciteta manjeg od 1 tcf na godišnjem nivou. Kod transporta cevovodom, troškovi prevoza gasa u velikoj meri zavise od kapaciteta gasovoda.<sup>383</sup> Tehnologija LNG, u velikom broju slučajeva, pogodna je za prevoz zemnog gasa na velikim rastojanjima, sa gasnih polja srednje veličine.



Slika 4.67. Okvirni odnos vidova transporta u zavisnosti od količine i distance<sup>384</sup>



Slika 4.68. Odnos troškova transporta cevovoda i LNG brodovima pri kraju XX veka<sup>385</sup>

**Primer.** Jedna je komparativna analiza,<sup>386</sup> na početku ovoga veka, između transporta gasa cevovodom i tečnog gasa brodovima, prema tadašnjim uslovima, cenama i posmatranoj istoj količini na godišnjem nivou, pokazala da je prevoz iste količine gasa (1tcf =  $2,83 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ) kopnenim cevovodom ekonomičniji na rastojanju do 2500 milja u odnosu na LNG tehnologiju.

Transport tečnog gasa brodovima, na većim rastojanjima, tog trenutka, bio je isplativiji. Istovremeno, primena tehnologije transporta LNG preko 1000 milja bila je isplativija u odnosu na prevoz gasa podvodnim cevovodom (slike: 4.67. i 4.68). Sistem LNG prevoza je prikladniji na manjim rastojanjima u odnosu na prenos zemnog gasa podvodnim cevovodom, zato što je cena izgradnje podvodnog cevovoda i trošak kompresije gasa njima znatno skuplji u odnosu na kopnene gasovode (slike: 4.69. i 4.70). Pri ovakvom odnosu troškova transporta kopnenim cevovodom i brodovima, snabdevanje Evrope gasom sa Srednjeg istoka bilo je jeftinije oko 30%.<sup>387</sup>

<sup>381</sup> Liuhto K., *A liquefied natural gas terminal boom in the Baltic Sea region?*, Turun Yliopisto Univ. of Turku, 2012.

<sup>382</sup> 1 tcf (trillion cubic feet =  $2,83 \times 10^{10} \text{ m}^3$ )

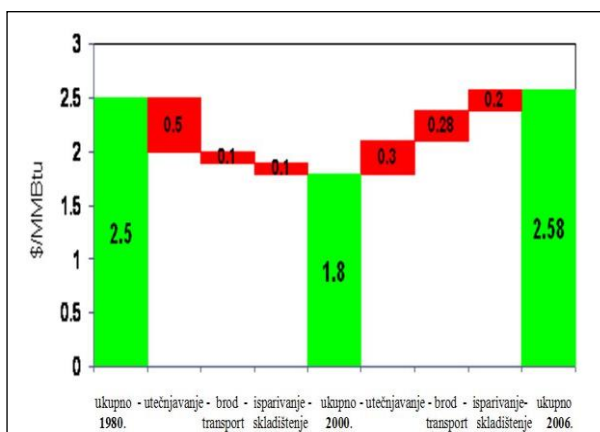
<sup>383</sup> Danas je procena da cena transporta gasa cevovodom velikog prečnika, kontinuiranog protoka tokom cele godine (pri iskorišćenosti kapaciteta 90%),  $1000 \text{ m}^3$  na rastojanju od 100 kilometara, u Evropi iznosi 3–4 evra.

<sup>384</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti.

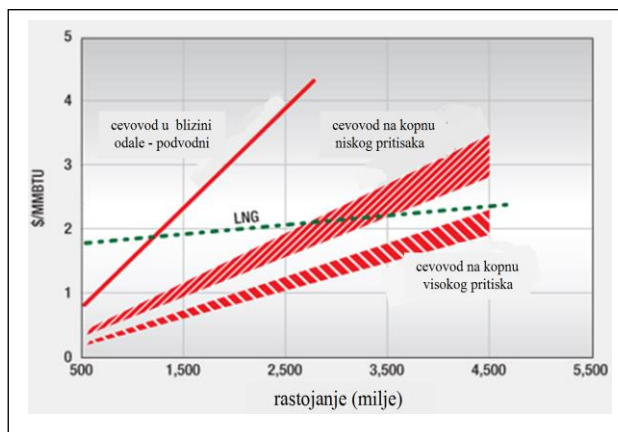
<sup>385</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti.

<sup>386</sup> U svetu postoji veliki broj različitih analiza transporta gasa u zavisnosti od vida transportnog sredstva i agregatnog stanja energenta. Njihovi rezultati su različiti zbog perioda na koji se odnosi, količine, distance, agregatnog stanja, ali u osnovi imaju sličan međusobni odnos. U izradi ovoga rada sagledani i uzeti u obzir rezultati istraživanja: 1. Dagobert L. Brito, „Pipelines and the Exploitation of Gas Reserves in the Middle East“; 2. Chi-Kong Chyong, „The Economics of the South Stream pipeline in the context of Russo-Ukrainian gas bargaining“; Jamest T. Jensen, „LNG and Pipeline Economics“, Stanford University 2002; 3. Sylvie Cornot-Gandolphe i dr., „The challenges of Further Cost Reductions for new Supply Options (Pipeline, LNG, GTL)“, World Gas Conference, Tokyo, 2003; 4. Hiroki Okimi, „Comparativne Economy of LNG and Pipelines in Gas Transmission“, Japan.

<sup>387</sup> Udaljenost između Evrope i Srednjeg istoka je između 7 i 9,5 hiljada kilometara. Udaljenost od Balkanskog regiona znatno je manja, posebno ako bi se koristio put kroz Suecki kanal.

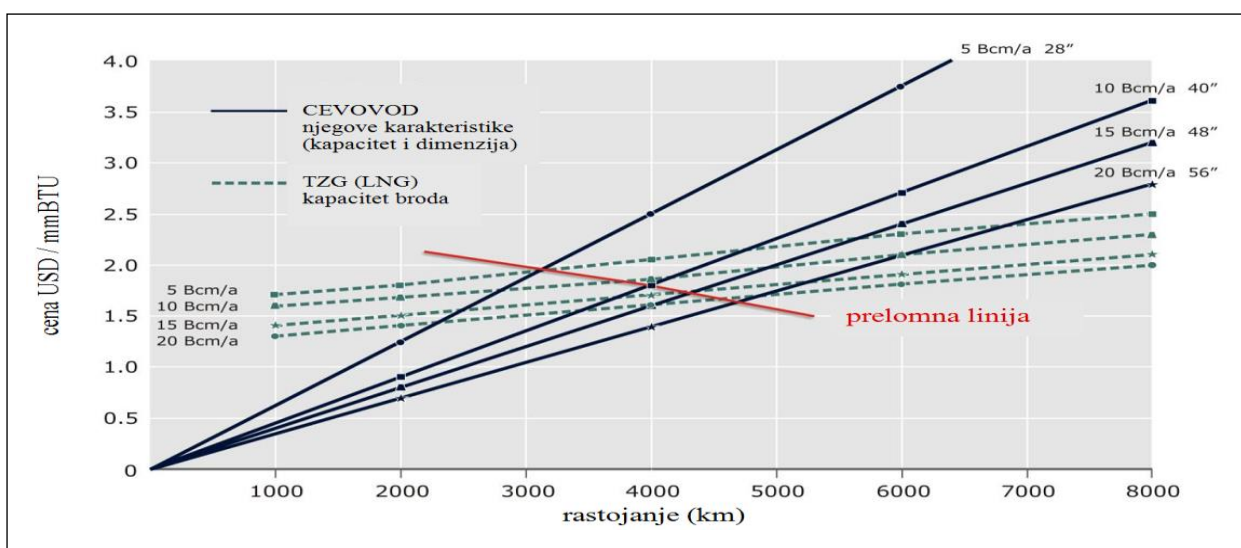


Slika 4.69. Visina troškova transporta LNG lancem i promena u samoj strukturi u odnosu na 2000. godinu<sup>388</sup>



Slika 4.70. Okvirni međusobni odnos troškova transporta gasa cevovodom i LNG brodovima 2005. godine<sup>389</sup>

**Primer.** Jedna od sprovedenih analiza odnosa transporta gasa u zavisnosti od prečnika cevovoda i gasa u tečnom stanju brodovima<sup>390</sup> pokazuje da troškovi dopremanja gasa cevovodom zavise u značajnoj meri od njegovog kapaciteta. Kao ilustrativni primer ovog, može da posluži činjenica, da se troškovi prevoza gasa smanjuju za oko 50% povećanjem kapaciteta gasovoda na godišnjem nivou sa 5 na 20 milijardi m<sup>3</sup>. Istovremeno, činjenica je da je transport gasa podvodnim cevovodom skuplji za 50% u odnosu na gasovod na kopnu. Analiza<sup>391</sup> koja je urađena 2008. godine (slika 4.71) pokazala je da prevoz tečnog zemnog gasa tog trenutka ekonomski povoljniji u odnosu na dopremu gasovodom na rastojanjima većim od 3000 km.



Slika 4.71. Troškovi prevoza gasa gasovodom i LNG brodovima u zavisnosti od kapaciteta<sup>392</sup>

### 3. Doprema zemnog gasa u komprimovanom stanju i njegov odnos prema LNG-u.

Primena prevoza brodovima CNG tehnologijom se koristi u onim situacijama kada nije ekonomičan

<sup>388</sup> Izvor: više stručnih radova. Kretanje visine troškova i učešće određenih segmenata u 1980, 2000 i 2008. godini.

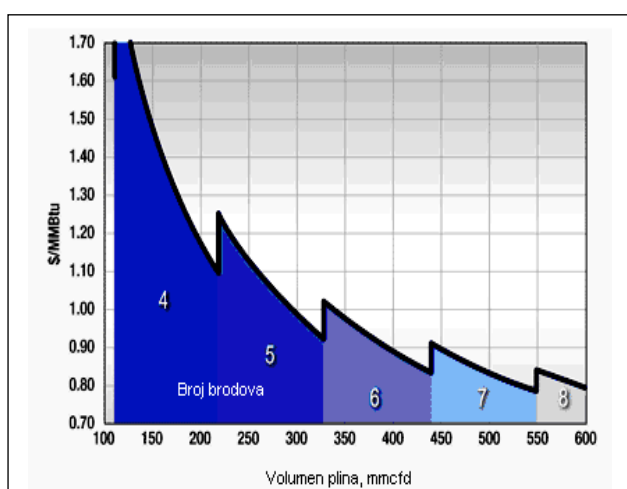
<sup>389</sup> Izvor: *Energytribune*. Analiza je obuhvatila upoređivanje troškova transporta zemnog gasa cevovodom i u tečnom agregatnom stanju (LNG) na početku 21 veka. Komparativna analiza odnosila se na pretpostavku da se transportuje 1 tcf ([trillion cubic feet] = 2,83 x10<sup>10</sup> m<sup>3</sup>) gasa na godišnjem nivou.

<sup>390</sup> Jurgen Messner and Georg Babies, *Transport of Natural Gas*, Polinares EU Policy on Natural Resources, European Commission, 2012.

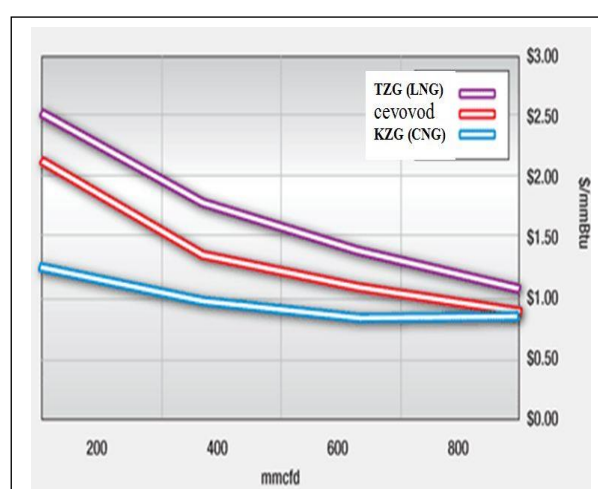
<sup>391</sup> Schwimmbeck R.G., *LNG Pipeline*, Vortrag auf der 3<sup>rd</sup> Pipeline Technology Conference, Hanover, 2008.

<sup>392</sup> Izvor: Jurgen Messner and Georg Babies, *Transport of Natural Gas*, Polinares, 2012. Ova analiza troškova transporta gasa odnosi se na 1999. godinu.

transport cevovodom ili u tečnom agregatnom stanju brodovima.<sup>393</sup> Ova tehnologija mnogo je pogodnija i fleksibilnija da se prilagodi zahtevima tržišta i njegovom snabdevanju u odnosu na LNG. Razvoju i primeni ove tehnologije doprinelo je povećanje tražnje i viša cena gasa na tržištu. Za razliku od infrastrukture za prevoz LNG tehnologijom koja može da košta i nekoliko milijardi evra, doprema gasa primenom CNG tehnologije je znatno niža. Postrojenje za utovar CNG brodova (cevovod, kompresor i plutajući prihvat) košta najčešće u rasponu između 30 i 40 miliona \$. Cena jednog broda sa kompletnim postrojenjem za hlađenje košta od 200 do 250 miliona \$.<sup>394</sup> Cena izgradnje prihvatilišta za CNG brodove iznosi od 15 do 20 miliona dolara. Najveća procentualna investiciona ulaganja kod transporta CNG tehnologijom vezana su za nabavku samih brodova, nasuprot LNG tehnologije kod koje je procentualno ulaganje najveće za izgradnju samih postrojenja na kopnu. Ukupna cena realizacije kompletnog projekta snabdevanja jednog tržišta, u prvom redu zavisi od potrebnog broja brodova za sprovođenje konkretne aktivnosti.<sup>395</sup> Okvirno posmatrano, prema samim segmentima u realizaciji aktivnosti prevoza gasa, procentualno učešće određenih troškova kod CNG tehnologije iznosi: 5% utovar i komprimovanje, 89% transport i 6% istovar.



Slika 4.72. Ekonomska analiza transporta CNG u zavisnosti od broja brodova<sup>396</sup>



4.73. Komparativna ekonomska analiza vidova prevoza u zavisnosti od kapaciteta protoka<sup>397</sup>

Potreban broj tankera za pouzdano snabdevanje određenog tržišta zavisi od učestalosti prevoza, rastojanja i potrebnog vremena da brod napravi transportni krug (utovar, transport, istovar i povraćaj broda nazad). Broj potrebnih brodova raste proporcionalno sa porastom rastojanja između mesta utovara i istovara gasa. Porastom broja brodova pada cena transporta gasa. Uticaj porasta broja brodova na cenu prevoza može se videti na grafikonu (slika 4.73). Kod manjih rastojanja (do 2000 km) i upotrebe brodova malog kapaciteta (650 mmcf –  $1,84 \times 10^7 \text{ m}^3$ ), broj brodova značajno utiče na cenu dopreme. Primena ove tehnologije pogoduje prevozu gasa iz malih i ograničenih ležišta, kapaciteta od  $0,283 \times 10^7 \text{ m}^3$  (100 mmcf). Odlika ovog načina je velika fleksibilnost sistema. Brodovi se raspoređuju na nove lokacije ili uključuju novi.

<sup>393</sup> Za primene ove tehnologije transporta brodovima (CNG) nisu potrebne velike rezerve gasa (kao kod LNG), tako da je ova tehnologija prikladna za manja polja i kod transporta na manjim rastojanjima.

<sup>394</sup> Sama cena CNG brodova je znatno niža u poređenju na LNG brodove. Cena LNG brodova kreće se između 200 i 300 miliona dolara u zavisnosti u prvom redu od samog kapaciteta i tipa broda. Takođe posmatrano, u nekim situacijama, kada je reč o manjim distancama i količinama gasa, cena za sve CNG brodove koji su potrebni da se prevoze ukupne potrebne količine za snabdevanje jedne lokacije, može da bude niža od ulaganja za potrebne LNG brodove.

<sup>395</sup> U LNG i CNG brodove istog skladišnog prostora smešta se različita količina gasa. U LNG brodu staje  $59 \times 10^6 \text{ m}^3$  gasa, a u CNG brodu istog skladišnog prostora  $33,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

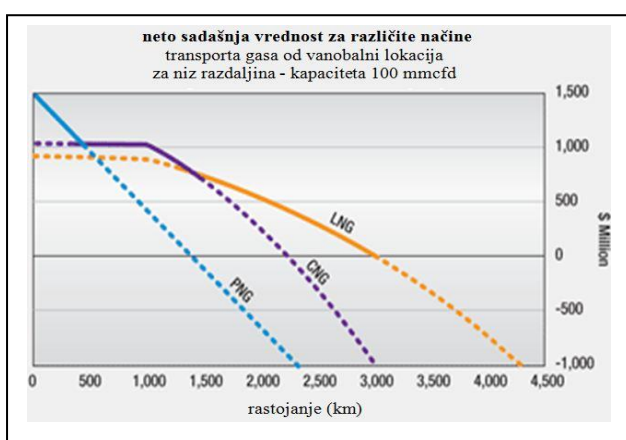
<sup>396</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti. Analiza urađena za transport CNG na rastojanju od 1952 km za projekat na relaciji Qatar – Jamnagar. *Energytribine*.

<sup>397</sup> Izvor: *Energytribine*.

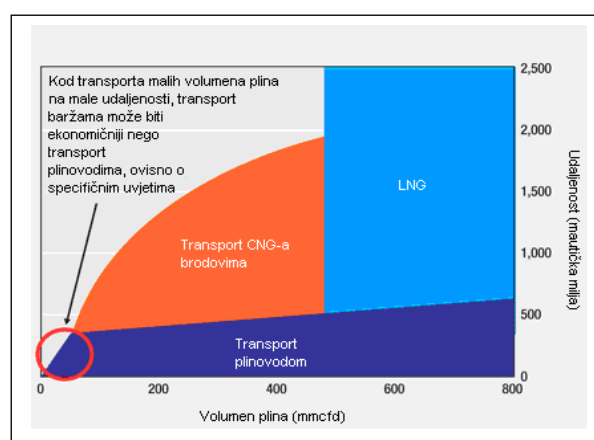


**Primer.** Kod donošenje krajnje odluke o izboru vida transporta, vrši se komparativna analiza među načinima prenosa gasa. Odabir najpovoljnijeg načina vrši se na osnovu sagledavanja ekonomskih parametara vezanih za protok i transport velikih količina zemnog gasa u različitom obimu. Pri obimu prenosa gasa od 750 mmcf/d ( $2.1 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{dan}$ ) cena transporta zemnog gasa cevovodom i CNG tehnologijom je jednaka (slika 4.74). Kod većih količina povoljnija je dostava cevovodom. Primena tehnologije LNG se koristi kod prenosa većih količina zemnog gasa na većim rastojanjima od 2414 do 3218 km (1500 do 2000 milja).

Prilikom nekih sprovedenih ekonomskih analiza, prevoza zemnog gasa morskim putem, primenom različitih tehnologija (podvodni cevovod, CNG i LNG), a na osnovu raspoloživih podataka vezanih za područja, cene transporta, tehnička rešenja, rastojanja i količine koje se gas transportuje, postignuti su približno slični rezultati (slika 4.75). Podvodni gasovod je pogodniji za transport ovog fluida na rastojanju do 500 km, pod uslovom da je tehnički moguće njega izgraditi (slika 4.74). Transport gasa u komprimovanom stanju (CNG) brodovima je povoljniji na rastojanju između 1000 i 2500 km. Transport gasa LNG brodovima ekonomski isplativiji na rastojanjima većim od 2500 km.



Slika 4.74. Analiza tehnologija transporta gasa primenom različiti metoda



Slika 4.75. Transport gasa u zavisnosti od udaljenosti i količine<sup>398</sup>

**Primer.** Prema jednom istraživanju, u kome se vršilo sagledavanje zavisnosti cene transporta gasa od udaljenosti na kojoj se on prenosi brodovima u komprimovanom ili tečnom stanju, pruženi su konkretni pokazatelji. U toj studiji, cena po jedinici isporučenog gasa iznosi: za istraživanje i proizvodnju  $\$ 0.5-1/1.0055 \times 10^9 \text{ J}$ ; za preradu i transport na rastojanjima od 500 do 5600 km  $\$ 0.8-3.88/1.0055 \times 10^9 \text{ J}$ ; ako je cena gasa  $\$ 0.75/1.0055 \times 10^9 \text{ J}$  dobija se vrednost za određena rastojanja, prikazana u tabeli 4.19.

Tabela. 4.19. Zavisnost cene transporta gasa tehnologija CNG I LNG u odnosu na rastojanje

Rastojanje km	Tečni zemni gas \$/ $1.0055 \times 10^9 \text{ J}$	Komprimovani zemni gas \$/ $1.0055 \times 10^9 \text{ J}$
800	2.55	1.63 - 1.66
1600	2.65	1.83 - 1.92
2400	2.75	2.14 - 2.19
3200	2.85	2.39 - 2.45
4000	2.95	2.52 - 2.98
4800	3.25	3.16 - 3.51
5600	3.65	3.92 - 4.57

Izvor: Desphande A., EKONMIDES, M.J., „CNG: An Alternative Transport for Natural Gas Instead of LNG“

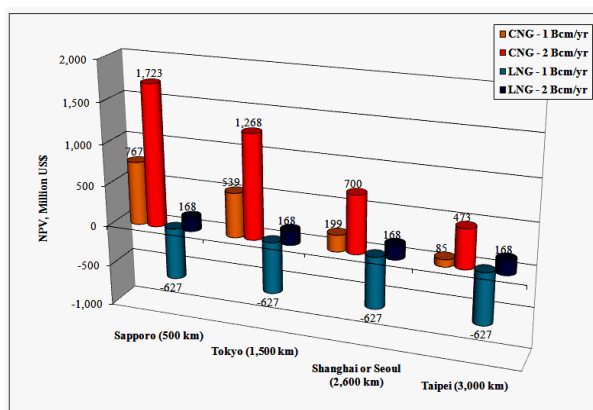
Prema jednoj drugoj analizi, na početku 21. veka, transport CNG na rastojanju do 2500 milja mogao je da se transportuje tog trenutka po ceni od 0.93\$ do 2.23\$ po MMBTU zavisno od

<sup>398</sup> Izvor: Berger A., *Analiza tržišta i dobavnih pravaca stlačenog prirodno gasa (CNG)*, RGNF, Zagreb, 2008. s.45.

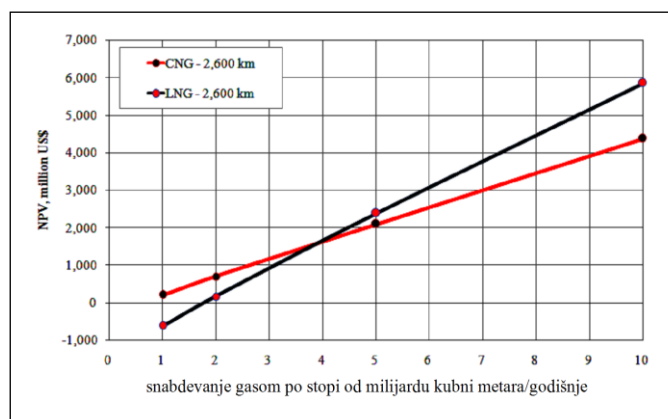
rastojanja. Istovremeno, transport na istom rastojanju tečnog zemnog gasa brodovima košta između 1.5\$ do 2.5\$ po MMBTU, u zavisnosti od dužine puta.

**Primer.** Jedna od sprovedenih studija komparativnih analiza transporta gasa 2008. Godine odnosila se na prevoz gasa u komprimovanom i tečnom stanju brodovima, na rastojanju od 500 km do 3000 km. Analiza je pokazala da je u ovom slučaju,<sup>399</sup> transport zemnog gasa u komprimovanom stanju, perspektivan i povoljniji od transporta u tečnom stanju na određenom rastojanju i u određenoj količini. Studija je pokazala da je transport zemnog gasa u komprimovanom stanju na rastojanjima do 500 km (300 milja) mnogo povoljniji od transporta u tečnom, bilo da je reč o manjim ili većim količinama gasa. Transport gasa u tečnom stanju (LNG) ne može ni da se takmiči sa CNG ni na većim rastojanjima (2000 km [oko 1250 milja]), ako je reč o manjim količinama gasa na godišnjem nivou. Transport komprimovanog gasa brodovima je atraktivno rešenje i u onim slučajevima kada nije moguće izgraditi podvodne cevovode (ali i za nalazištima gasa u moru), kada je reč o transportu od 1 do 2 milijarde kubni metara gasa na godišnjem nivou.<sup>400</sup>

Sprovedena analiza je sagledala isporuke gasa od *Sakhalin* do određenih mesta: *Saporo* 500 km; *Tokijo* 1500 km; *Shanghai* i *Seoul* 2600 km; *Taipei* 3000 km. Pretpostavljalo se sledeće: konstantna potrošnja; minimalan broj brodova tri; cena gasa na izvoru \$8/MMBtu; prodajna cena gasa \$16/MMBtu; NPV (*Net Present Value* [neto sadašnja vrednost]). Sagledavana je potražnja na godišnjem nivou od 1 Bcm/yr (1 milijarda kubni metara/godina) i 2 Bcm/yr. Rezultat analize (slika 4.76) pokazao je da pri malim količinama tražnje i na malim rastojanjima, transport CNG je dominantan u odnosu na LNG, čak i do rastojanja od 3000 km, ako potražnja ne prelazi 2 Bcm/yr, pri datim cenama. Neminovno, samo od sebe nameće se pitanje, pri kojoj količini gasa na godišnjem nivou i rastojanju postaje prihvatljiviji transport gasa u tečnom stanju? U ovom slučaju, tačka preseka između linija CNG i LNG nalazi se na obimu od 4 Bcm/yr i rastojanju od 2600 km (slika 4.77). To znači da je pri transportu ove količine gasa do distance od 2600 km prihvatljiviji transport komprimovanog gasa, a preko tog rastojanja u tečnom stanju (LNG). Istom analizom, pokazano je da pri transportu gasa od 2 Bcm/yr, tačka preseka nalazi se na distanci od 3600 km (2200 milja).



Slika 4.76. Kalkulacija odnos neto sadašnje vrednosti između CNG i LNG<sup>401</sup>



Slika 4.77. Odnos transporta između CNG i LNG kod obima od 4 Bcm/godina<sup>402</sup>

**4. Transport zemnog gasa u čvrstom agregatnom stanju i njegov odnos prema drugim tehnologijama.** Sama ekonomija transporta zemnog gasa u značajnoj meri zavisi od godišnjeg obima prenosa gasa i transportnoj razdaljini. Kada je reč o velikim količinama gasa namenjenog za

<sup>399</sup> Analizi koja je sprovedena 2008. godine odnosi se na relaciju od Ruske oblasti *Sakhalin Inland* (reč je o poluostrvu na Ruskoj istočnoj obali, udaljenom 1000 km od Vladivostoka, koja ima rezerve gasa oko 2200 milijardi kubnih metara, ova količina predstavlja ukupni petogodišnji izvoz gasa u Evropu) do različitih lokacija na Bliskom istoku (Japan, Severna Koreja i Tajvan). Mateto Marongiu-Porcu i dr., „The Economics of Copressed Natural Gas sea Transport“, *SPE Russian Oil & Gas Tehnical Conference and Exhibition held in Moscow*, Russia, 2009, str. 1–12,

<sup>400</sup> Oko 350 do 70 billiona cubic feet per of yar.

<sup>401</sup> Izvor: Mateto Marongiu-Porcu i dr., *The Economics of Copressed Natural Gas sea ...*, na na različitim rastojanjima,

<sup>402</sup> Izvor: Mateto Marongiu-Porcu i dr., *The Economics of Copressed Natural Gas sea Transport*,

snabdevanje velikih tržišta i regiona, u osnovi se može govoriti o okvirnim konceptualnim pristupima transporta gasa. U suštini, kada je reč o cevovodnom transportu, on se koristi prilikom kontinuiranog prenosa velikih količina na srednjim rastojanjima (kopneni do 2000 km i povodni do 1000 km), dok se za transport gasa na velikim rastojanjima koristi LNG tehnologija transporta gasa brodovima kada je god moguće. Za manje količine i rastojanja koristi se CNG tehnologija dopreme gasova specijalno namenjenim brodovima. Pored ovog konceptualnog pristupa transportu, sve značajnije mesto u istraživanju zauzima NGH tehnologija. Smatra se da će razvojem ove tehnologije proizvodnje, transporta i skladištenja metanskih hidrata, troškovi biti u budućnosti niži 20–30% u odnosu na tečni zemni gas (LNG), u situacijama kod umereno velikih gasnih polja i blizine tržišta.

Neka od sprovedenih istraživanja zemnog gasa vezanih za potencijal rezervi ovog energenta, ukazuju da će blizu osamdeset procenata novootkrivenih ležišta biti manje od minimuma potrebnih količina, za ekonomičnu primenu LNG tehnologije transporta. Iz toga razloga postoji sve veća zainteresovanost za transport zemnog gasa u formi hidrata. Primena LNG tehnologije se smatra ekonomski neprihvatljivom za manji transport od 4 BCM (milijarde kubnih metara) na godišnjem nivo. Ovaj podatak isključuje mogućnost primene LNG kod manjeg i srednjeg obima snabdevanja i daje potencijalnu mogućnost primene CNG i NGH tehnologije.<sup>403</sup> Primena ove tehnologije smatra se da će biti prihvatljiva kod eksploatacije u područjima duboki mora Meksičkog zaliva ili Aljaske, istočne Kanade, Trinidada i Tobaga, Indonezije, Venecuele, Egipta, kao i iz nekih ležišta određenih država u oblasti Mediterana.

**Primer.** Među prvim komparativnim analizama koje su sprovedene za troškove transporta gasa, u tečnom i čvrstom stanju brodovima, bila je ona iz 1995. godine.<sup>404</sup> Odnosila se na transport od 4000 MMscf/d gasa na rastojanju od 6475 km (3500 nautički milja).<sup>405</sup> Ona je pokazala da ukupni troškovi transporta LNG tehnologijom iznose 2370 miliona USA \$, a transport gasa u formi suvih hidrata 1813 miliona \$. Tako da bi transport gasa u čvrstom stanju bio niži za 24% (557 mil).<sup>406</sup> Ova analiza je ukazala na opravdanost primene ove tehnologije za ovu količinu gasa.

**Primer.** Slična prethodnoj analizi, jedna druga je sprovedena je 2002. godine za kapitalne troškove transporta gasa u dva agregatna stanja na rastojanju od oko 6000 km (3243 nautičke milje) iz gasnog polja jugoistočne Azije obima od 3 miliona tona godišnje. U tabeli (4.20) su prezentovani ukupni troškovi transporta LNG i NGH tehnologijama brodovima, ali i pojedinačno učešće njihovih segmenata u ukupnom iznosu. U ovoj situaciju, ukupni troškovi NGH tehnologije u transportnom lancu bili su za 12% niži od LGN transporta. Na slici je prikazan odnos i zavisnosti kapitalnih troškova transporta gasa od količine i dinstance različitih vidova prevoza morem.<sup>407</sup> Podvodni cevovodi su pri ovom kapacitetu jeftiniji na rastojanjima do 1000 km, a transport gasa u formi hidrata na svim dinstancama u odnosu na prevoz gasa u tečnom agrgatnom stanju (slika 4.78).

Posmatrano u dužem vremenskom periodu, procentualno učešće LNG u snabdevanju evropskog i azijskog tržišta će rasti. U osnovi, može se pretpostaviti da će i dalje dominantno snabdevanje Evrope biti gasovodima iz Rusije, Norveške i Severne Afrike, a možda i iz Irana. Istovremeno, tečni zemni gas će imati značajniji udeo u diversifikaciji snabdevanja sa realnom mogućnošću i uključivanja komprimovanog gasa (CNG) i metanski hidrata (NGH) u budućnosti.

<sup>403</sup> CNG i NGH tehnologije transporta zemnog gasa, danas se smatraju za tehnologije u razvoju. One nisu dostigle svoj maksimum. Postoji realna potencijalna mogućnost da će i cena primene ovog načina transporta imati niže troškove u budućnosti. To će se ostvariti daljim njihovim tehničko tehnološkim razvojem sredstava i širom primenom u praksi. One danas predstavljaju realni potencijal transporta u budućnosti vezan za određene količine gasa i rastojanja.

<sup>404</sup> Analizu je sproveo Gudmundsson J.S. i prezentovao u radu „Frozen Hydrat for transport of Natural Gas“, 2<sup>nd</sup> *Internacional conference on Natural Gas Hydrat*, Toulouse, France, 1996.

<sup>405</sup> Jedna od prvi analiza korišćenja suvih hidrata vezana je za *offshore* polje gasa u Berencovom moru (Norveška).

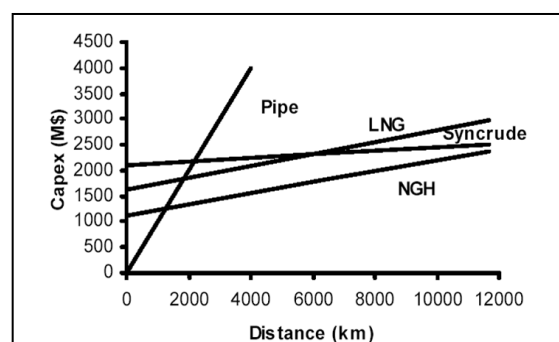
<sup>406</sup> Gudmundsson J., „Hydrate Non-Pipeline Technology for Transport of Natural Gas“, 22 World Gas Co., Tokyo, 2003.

<sup>407</sup> Gudmundsson J., „Hydrate Non-Pipeline Technology for Transport of Natural Gas“, 22 World Gas Co., Tokyo, 2003.

Tabela 4.20. Troškovi u transportnom lancu<sup>408</sup>

Transportni lanac	LNG (%) mln \$ (%)	NGH (%) mln \$ (%)	Razlika mln \$ (%)
Proizvodnja	1144 (55%)	992 (54%)	152 (13%)
Doprema brodova	660 (32%)	628 (34%)	32 (5%)
Regasifikacija	285 (13%)	218 (12%)	57 (24%)
Ukupno	2089 (100%)	1838 (100%)	251 (12%)

Izvor: Gudmundsson J.S., „Natural gas hydrate problem solver“

Slika 4.78. Ukupni troškovi NGH i LNG<sup>409</sup>

### 1.5.3. Agregatno stanje zemnog gasa u funkciji pouzdanog i efikasnog transporta, bolje snabdevenosti tržišta regiona Balkana i okvirni koncept njegovog prevoza u budućnosti

Danas, najveće količine gasa koje se uvoze u region Balkana, transportuju se cevovodima u gasovitom agregatnom stanju, a znatno manja količina u tečnom stanju LNG brodovima. Doprema komprimovanog gasa na ovo tržište specijalno konstruisanim CNG brodovima još nije u primeni.

Kao što je prezentovano u dosadašnjem delu rada, dominantno snabdevanje Balkana uvoznim gasom, do ovoga trenutka, jeste putem gasovoda. U prvom redu, reč je o cevovodima koji su povezani sa Rusijom. Samo snabdevanje trazitnim gasovodima ispoljava sve svoje nedostatke i ograničenosti vezane za efikasno, pouzdano i ekonomično snabdevanje tržišta uvoznim gasom ovog regiona. Dosadašnje snabdevanje tečnim gasom nije dovoljno zastupljeno, primenjeno i iskorišćeno kao realni potencijal koji pruža ovaj vid prevoza. Primena CNG tehnologije, za transport uvoznog gasa do tržišta Balkana brodovima, tek je u početnoj fazi teoretskog razmatranja malog broja autora.

U daljem delu ovog segmenta rada, sagledaće se neke od već sprovedenih različitih analiza snabdevanja zemnim gasom vezane za region Balkana, a zatim prezentovati okvirni koncept mogućeg načina dopreme u budućnosti ovog energenta. Uzeće se u obzir količine, rastojanje i sagledati kakav uticaj ima agregatno stanje gasa na izbor vida transporta. Sagledaće se koje bi i u kojim situacijam trebalo danas i u budućnosti primeniti i koristiti: transportno sredstvo; agregatno stanje; pri kojim količinama na kojim rastojanjima; posmatrano sa ekonomskog aspekta, ali uzimajući u obzir i duge parametre (sigurnost i pouzdanost snabdevanja, politički uticaj).

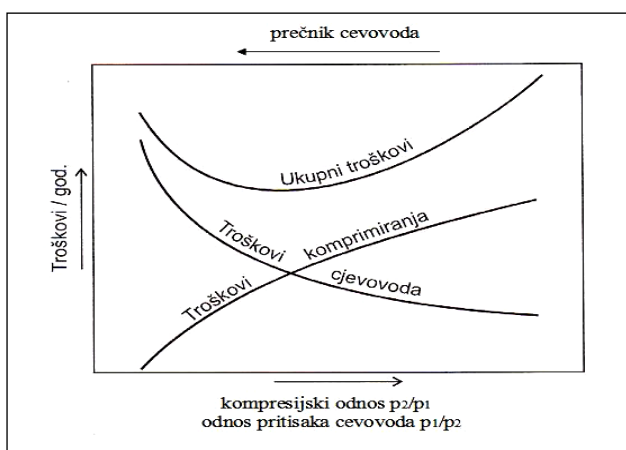
**Primer. Transport gasa cevovodom.** Polaznu osnovu za analizu aktivnosti transporta gasa cevovodom i izgradnju adekvatnog gasovoda, predstavlja sagledavanje planiranih ukupnih količina ovog energenta za prenos u određenom vremenskom periodu koje će se transportovati, dinamika dopreme i rastojanje. Na osnovu ovih parametara vrši se proračun hidrauličkog optora, utvrđuju kompresorske stanice duž trase i projektuje optimalan prečnik gasovoda. Prilikom utvrđivanja optimalnog prečnika uzimaju se u obzir troškovi kompresorskih stanica i troškovi gasovoda. Ukupni troškovi transporta fluida gasovodom predstavljaju zbir troškova komprimovanja i troškova cevovoda. Idealna situacija je ona u kojoj su ukupni troškovi transporta gasa cevovodom minimalni (slika 4.79).<sup>410</sup>

<sup>408</sup> Komparativna analiza troškova u transportnom lancu primenom NGH i LNG tehnologije. Gudmundsson J.S., „Natural gas hydrate problem solver and resource for production and transport“, *Gas Hydrates*, Tekna, Bergen, 2008.

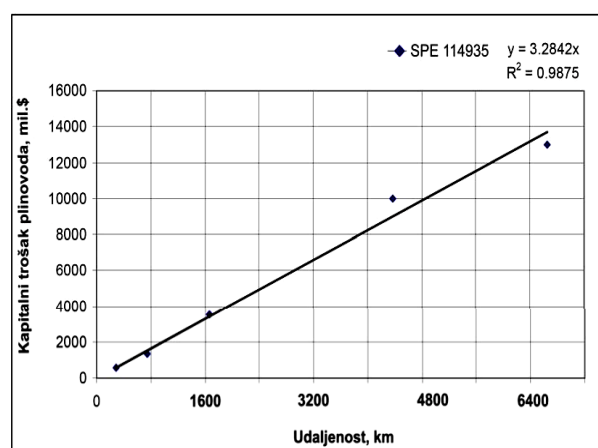
<sup>409</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova iz ove oblasti. Ukupni troškovi prevoza (cevovod, LNG, NGH) u zavisnosti od distance na kojoj se energent transportuje.

<sup>410</sup> Izvor: studija, „Primjena stlaćenog prirodnog plina u Republici Hrvatskoj, Diverstifikacija dobavnih pravaca SSP-a brodovima, Uporedna analiza cijene transporta SPP-a brodovima u odnosu na transport plinovodima“, RGNF, Zagreb.

Ukupni troškovi transporta gasovodom mogu se grupisati na sledeći način: a) troškove izgradnje cevovodom i b) troškovi rada cevovoda. a) Troškovi izgradnje obuhvataju izdatke vezane za: imovinsko pravne odnose; dobijanje dozvola; izgradnju prilaznih puteva; gradnju građevinskih objekata; opremu; osnivačka ulaganja (istraživanja, projekti, prenamena zemljišta, troškovi režije u fazi izgradnje); potrebna obrtna sredstva; b) Troškove rada gasovoda formiraju izdaci vezani za sâm rad cevovoda, i najčešće se sagledavaju na godišnjem nivou. Ove troškove čine: materijalni troškovi (materijala, goriva, energije, održavanja, režije), nematerijalni troškovi (osiguranje, kamate za kredit, koncesija) i amortizacija (slika 4.80). Sâm transport gasa gasovodom karakteriše da je, u osnovi, izgradnja cevovoda kapitalno investiciono ulaganje.

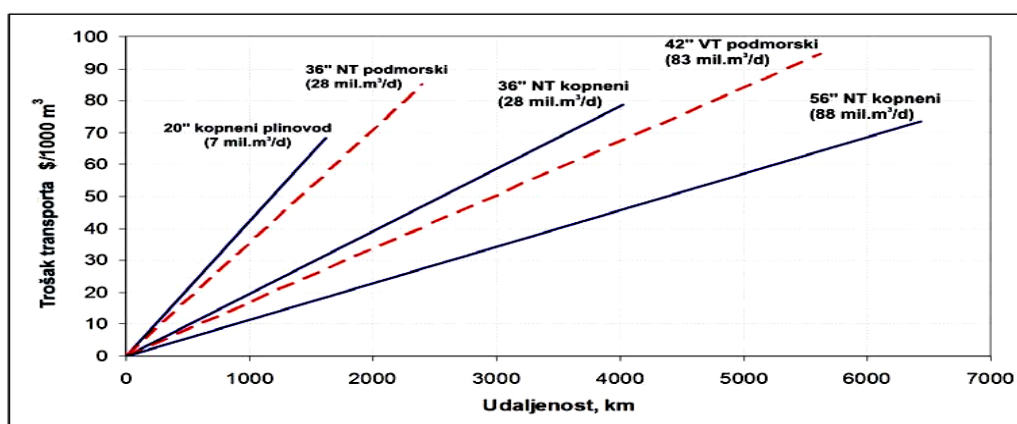


Slika 4.79. Ukupni troškovi transporta gasa cevovoda<sup>411</sup>



Slika 4.80. Odnos kapitalni troškova cevovoda i udaljenosti transporta gasa<sup>412</sup>

Troškovi transporta gasa cevovodom zavise od: dužine gasovoda, ukupnih investicionih ulaganja i količine transportovanog gasa. „Troškovi transporta su funkcija troškova cevovoda, odnosno realizacija cevovodom i troškova pogonske energije, odnosno rada cevovoda. Količina protoka, pritisak i prečnika su u funkcionalnoj vezi, dok je za utvrđenu količinu protoka pritisak u cevovodu zavistan od promera.“<sup>413</sup> U osnovi, troškovi komprimovanja padaju kako troškovi cevovoda rastu (misli se u prvom redu na prečnik) i obrnuto (slika 4.81).



Slika 4.81. Troškovi transporta gasa kopnenim i podvodnim cevovodom<sup>414</sup>

<sup>411</sup> Izvor: više stručnih radova. Zbir troškova komprimovanja gasa i troškovi cevovoda daje zbirnu krivulju ukupnih troškova. Minimalna tačka ukupni troškova određuje optimalni prečnik cevovoda i optimalni kompresijski odnos.

<sup>412</sup> Izvor: studija „Primjena stlačenog prirodnog plina u Republici Hrvatskoj, Diversifikacija dobavnih pravaca SSP-a brodovima, Uporedna analiza cijene transporta SPP-a brodovima u odnosu na transport plinovodima“, RGNF, Zagreb

<sup>413</sup> „Primjena stlačenog prirodnog plina u Republici Hrvatskoj, Diversifikacija dobavnih pravaca SSP-a brodovima, Uporedna analiza cijene transporta SPP-a brodovima u odnosu na transport plinovodima“, RGNF u Zagrebu, 2008.

<sup>414</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti. Reč je ekonomskom odnosu troškova transporta cevovodom u zavisnosti o količini, prečniku i udaljenosti transporta.

Cena transporta zemnog gasa postojećim gasovodima je različita između država regiona Balkana. Sprovedena komparativna analiza troškova transporta između nekih zemalja Balkana (Srbije, Mađarske, Hrvatske, Rumunije) i države iz neposrednog okruženju (Italije [dva različita gasovoda]). Reč je o prevozu jednog i 10 miliona m<sup>3</sup> cevovodima koji imaju kapacitet transporta od 400 hiljada m<sup>3</sup> dnevno. Ova analiza je pokazala da u zavisnosti od količine gasa koja se prenosi i cena po m<sup>3</sup> transportovanog fluida je različita u svakoj zemlji, ali istovremeno različita je i cena između država za istu količinu gasa. Kod transporta 1 miliona m<sup>3</sup> gasa na godišnjem nivou, cena transporta jednog m<sup>3</sup> u Srbiji iznosi 12,40 dinara. Istovremeno, kod prenosa 10 milona m<sup>3</sup> gasa, cena iznosi 1,97 dinara za 1 m<sup>3</sup> transportovanog fluida. Najveći troškovi prevoza gasa bili su u Hrvatskoj, i oni su iznosili 21,08 i 2,79 dinara za transport jednog m<sup>3</sup>.<sup>415</sup> Okvirno, cena transporta gasa cevovodom velikog prečnika u Evropi, kontinuiranog protoka tokom cele godine (pri iskorišćenosti kapaciteta 90%), za 1000 m<sup>3</sup> na rastojanju od 100 kilometara iznosi 3–4 evra (tabela 4.21).

Tabela 4.21. Komparativna analiza cene transporta gasovodom između zemalja Balkana<sup>416</sup>

1 Drž.	2 Kapacitet m <sup>3</sup> /dan	3 Količina m <sup>3</sup>	4 Cena d/m <sup>3</sup> /d	5 Cena d/m <sup>3</sup> /dan	6 Energ. d/m <sup>3</sup>	7 Trošak din	8 Trošak din	9 Trošak Din	10 Ukup. din
SRB	400.000	10.000.000	242,68	105	0,81	11.589.333	8.100.000	19.689.333	1,97
	400.000	1.000.000	242,68	105	0,81	11.589.333	810.000	12.399.333	12,40
HUN	400.000	10.000.000	261,75	142,09	0,45	13.461.333	4.500.000	17.961.333	1,80
	400.000	1.000.000	261,75	142,09	0,45	13.461.333	450.000	13.911.333	13,91
CRO	400.000	10.000.000	493,19	130,49	0,29	20.789.333	2.900.000	23.689.333	2,37
	400.000	1.000.000	493,19	130,49	0,29	20.789.333	290.000	21.079.333	21,08
RUM	400.000	10.000.000	239	178	1,4	13.915.778	14.000.00	27.915.778	2,79
	400.000	1.000.000	239	178	1,4	13.915.778	1.400.000	15.315.778	15,32
ITA -1	400.000	10.000.000	141	174	0,62	10.497.333	6.200.000	16.697.333	1,67
	400.000	1.000.000	141	174	0,62	10.497.333	620.000	11.117.333	11,12
Ita. -2	400.000	10.000.000	141	271	0,62	13.714.667	6.200.000	19.914.667	1,99
	400.000	1.000.000	141	271	0,62	13.712.667	620.000	14.332.667	14,33

Izvor: Popadić A., Agencija za Energetiku Srbije.

**Primer. Odnos transporta gasa cevovodom, CNG i LNG brodom.** Početkom ovog veka, sprovedena je komparativna analiza o mogućem snabdevanju gasom tržišta regiona Balkana, između potencijalne mogućnosti dopreme ovog energenta izgradnjom novog cevovoda i transportom gasa brodovima u kompimovanom stanju.<sup>417</sup> Studijom je obuhvaćeno sagledavanje mogućnosti transporta gasa potencijalnim trazitnim Trans-jadranskim (TJ) gasovodom. Za izgradnju ovog cevovoda od 520 km, investiciona ulaganja procenjena su tog trenutka na 20 milijardi \$. Prema kapacitetu transporta gasa od 10 milijardi m<sup>3</sup> na godišnjem nivou, udeo fiksnih troškova u ukupnoj ceni transporta iznosio bi u ovom konkretnom slučaju 0,22 \$/m<sup>3</sup>.

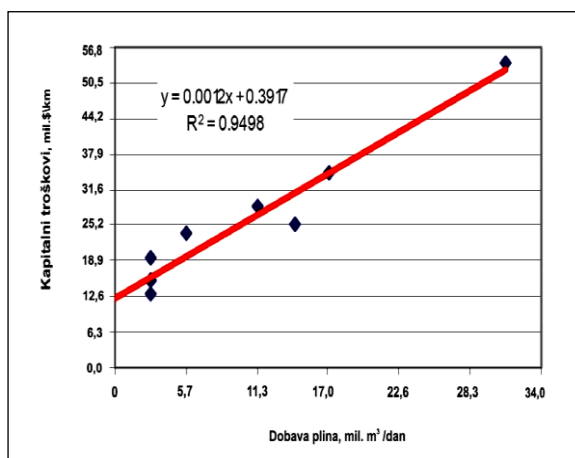
Analizom je sagledan odnos kapitalnih troškova gasovoda u funkciji udaljenosti transporta i količine gasa koji se prenosi. Statistički pokazatelj je u obliku koeficijenta determinacije i ima dobar odnos slaganja u predviđenoj linearnoj funkciji ovog odnosa (slike 4.82. i 4.83). Odnos operativnih troškova i količine gasa, koji bi se transportovao cevovodom, pokazuje dobro slaganje preko koeficijenta determinacije, tako da se operativni trošak gasovoda smanjuje povećanjem količine koji

<sup>415</sup> Cena transporta zemnog gasa iskazana je u dinarima. Konverzija je izrečena sa domaće valute konkretne države u evro, a zatim iskazan u dinarskoj protivrednosti. Paritet je bio 1 evro = 120 dinar.

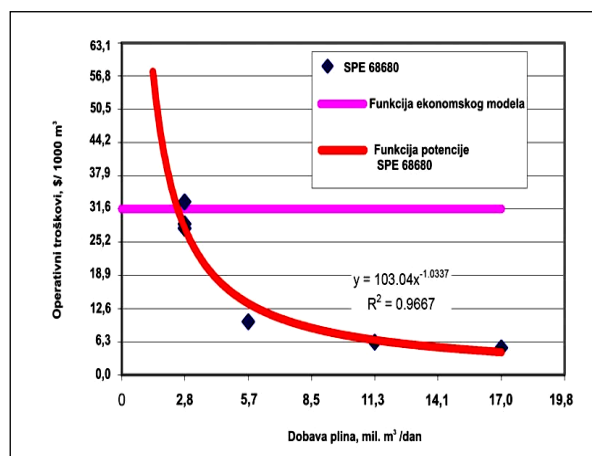
<sup>416</sup> Izvor: Popadić A., Agencija za Energetiku SR Srbije. Komparativna analiza troškova transporta gasa cevovodom između Srbije, Mađarske, Rumunije i Italije. Podaci u tabeli su: 1. države; 2. dnevni kapacitet gasovoda u m<sup>3</sup>; 3. količina u m<sup>3</sup>; 4. cena ul kap (dinar/m<sup>3</sup>/dan); 5. cena iz kap (dinar/m<sup>3</sup>/dan); 6. cena energenta (dinar/m<sup>3</sup>); 7. troškovi kap (dinari); 8. trošak koli (dinar); 9. ukupno (dinari).

<sup>417</sup> Reč je o studiji, „Primjena stlačenog prirodnog plina u Republici Hrvatskoj, Diverstifikacija dobavnih pravaca SSP-a brodovima, Uporedna analiza cijene transporta SPP-a brodovima u odnosu na transport plinovodima“, Rudarsko-geološki naftni fakultet u Zagrebu, Zagreb, 2008.

se doprema zbog povećanja prečnika cevovoda i manjeg pritiska.<sup>418</sup> Pokazatelj reprezentativnosti regresije, iskazan pomoću koeficijenta determinacije ( $R^2$ ) pokazuje da on kod ovog primera ima visok stepen (slika 4.83).<sup>419</sup>

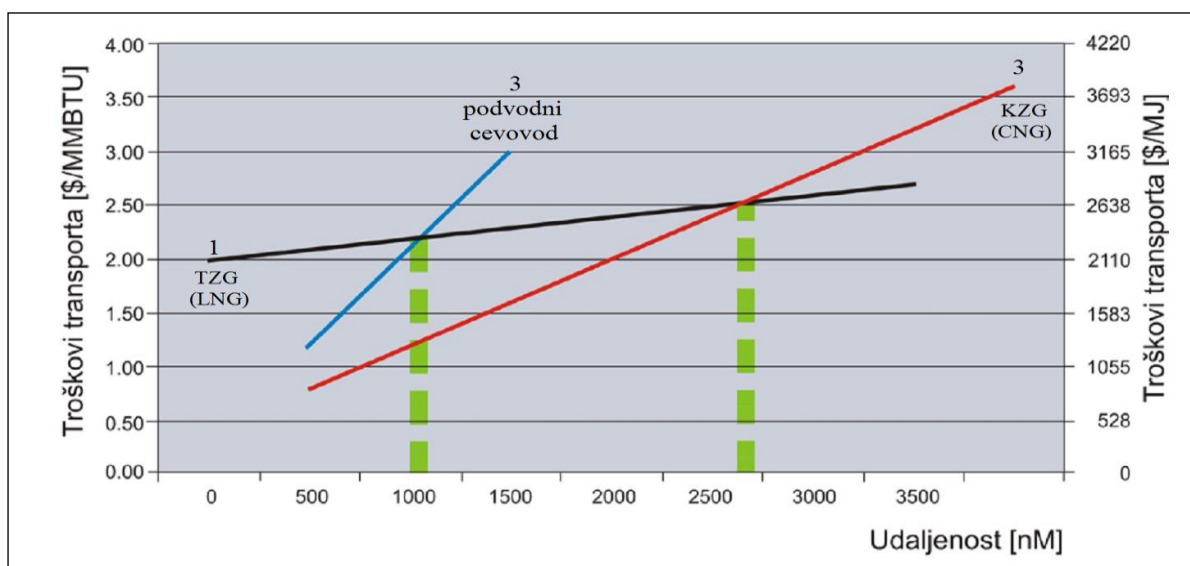


Slika 4.82. Odnos kapitalnih troškova gasovoda (TJ) i nabavke zemnog gasa<sup>420</sup>



Slika 4.83. Odnos operativni troškova gasovoda (TJ) i količine nabavke zemnog gasa<sup>421</sup>

Ova studija je sagledala odnos ekonomičnosti i prednosti kod primene tehnologije transporta gasa podmorskim cevovodom i brodovima (komprimovan i tečan). Analiza je pokazala da transport komprimovanog gasa u gasovitom stanju brodovima ima prednost u odnosu na LNG kod rastojanja između 500 i 1500 km (slika 4.84). Na rastojanju većem od 1500 kilometara, transport gasa u tečnom stanju ima izrazitu prednost u odnosu na komprimovani gas. Kod prevoza gasa kada je reč o pomorskom rastojanju, na udaljenostima do 500 km, podvodni gasovod i transport pomoću njega ima prednost nad CNG i LNG tehnologijama.



Slika 4.84. Ekonomičnost transporta tečnog zemnog gasa (TZG (LNG)) prema cevovodu i KZG<sup>422</sup>

<sup>418</sup> Povećanjem prečnika transportuje se ista količina gasa, ali na manjem pritiska u gasovodu. Manji pritisak smanjuje troškove komprimovanja.

<sup>419</sup> Koeficijent determinacije upoređuje procenjene i stvarne vrednosti  $y$ . On se kreće u intervalu od 0 do 1. U slučaju kad on iznosi 1, reč je o potpunoj povezanosti (korelaciji) između procenjene i stvarne vrednosti. U slučaju da ovaj koeficijent determinacije iznosi 0, ta regresijska nije prikladna za predviđanje  $y$  parametra.

<sup>420</sup> Isto.

<sup>421</sup> Isto.

<sup>422</sup> Autor korigovao prema studiji, „Primjena stlaćenog prirodnog plina u RH, Diverstifikacija dobavnih pravaca SSP-a brodovima, Uporedna analiza cijene transporta SPP-a brodovima u odnosu na transport plinovodima“, RGNF Zagreb.

**Primer. Analiza troškova transporta tečnog zemnog gasa brodovima.** U cilju detaljnog sagledavanja transporta gasa, neophodno je sprovesti analizu troškova prevoza tečnog zemnog gasa pomorskim putevima. Okvirno, svi troškovi transporta zemnog gasa u tečnom stanju mogu da se podele na troškove: 1. nastale pre prevoza; 2. nastale za vreme transporta i 3. ostale troškove.

1. Troškovi nastali pre prevoza čine izdaci vezani za: a) izgradnju (kupovinu) brodova i b) operativni izdaci. a) Troškovi izgradnje brodova su različiti u zavisnosti od: vrste broda, kapaciteta, materijalni troškova, troškovi vezani za opremu i troškova rada.<sup>423</sup> b) Operativni troškovi vezani su za svakodnevni rad na brodovima koje formiraju izdaci vezani za: ukrcaj posade i opreme, plate članova posade broda, troškovi rashoda za održavanje i servisiranje broda i njegovih uređaja.<sup>424</sup>

2. Troškovi nastali za vreme prevoza gasa brodom obuhvataju: troškove prolaska pomorskim pravcima i lučke troškovi nastali u luci prilikom utovara i istovara LNG-a.<sup>425</sup> Troškovi prolaska pomorskim pravcima su različiti u zavisnosti od rute plovidbe i količine gasa koji se transportuje. Oni su vezani za konkretnu plovidbu broda na određenoj ruti transporta broda.<sup>426</sup> Grupu izdataka vezanu za lučke troškove čine izdaci vezani za operacije uplovljavanja i utovara i istovara tereta.

3. Ostali troškovi vezani za prevoz gasa brodom obuhvataju: troškove tegljača; osiguranja; izgradnje terminala; troškove vezane za porez.

Pored same analize troškova transporta gasa u tečnom stanju brodovima, koje se sprovode često, značajno je i sagledavanje troškova transporta broda između dve destinacije, ali u zavisnosti od korišćenja različitih pomorskih puteva ako je to moguće ostvariti u konkretnom slučaju. Kao ilustracija može da posluži analiza troškova transporta LNG iz luke Murmansk<sup>427</sup> iz Rusije do Roterdama u Holandiji. Transport može da se realizuje putem dva plovna puta, Sueckim kanalom ili Severnim plovidbenim pravcem.<sup>428</sup> Sâm pojedinačni kapacitet broda koji se angažuje značajan je zbog ukupnog broja brodova koje treba angažovati da bi se realizovao ukupan prevoz celokupne količine.<sup>429</sup> Onaj prevoznik koji koristi za aktivnost transporta LNG brodove tipa *Moss*, ima niže izdatke u odnosu na korišćenje SPB brodove.<sup>430</sup> Troškovi transporta tečnog gasa imaju značajno učešće u krajnjoj ceni ovog proizvoda na tržištu. Realni troškovi transporta brodom najčešće su u praksi veći od teoretskih procena.

Sve ove činjenice su značajne i potrebno ih je uzeti u obzir prilikom razmatranja snabdevanja regiona Balkana tečnim zemnim gasom brodovima sa aspekta transporta. Potrebno je sagledati: kolika je realna potrebna za uvoznim količina u tečnom stanju za ovim energentom; potencijane izvore; potreban broj brodova za realizaciju aktivnosti prevoza; tip i kapacitet broda; troškove transporta; maršutu prevoza (Suecki ili Gibraltarski moreuz).<sup>431</sup>

Gasovod je ekonomičan kod transporta gasa kopnom, dok za pomorski transport putem cevovda najveći izazov predstavlja dubina, dužina cevovda i tlo samoga mora. LNG projekti zahtevaju velika ulaganja, velike rezerve zemnog gasa, ekonomski su opravdani za transport na

<sup>423</sup> Kao ilustracija, orijentaciono 2012. godine prezentovani troškovi u nekim stručnim radovima za izgradnju brodova vrste: 1) *Moss* veličine 205 hiljada m<sup>3</sup> iznosi oko 408 miliona \$; *SPB* veličine 205 hiljada m<sup>3</sup> iznosi oko 438 miliona \$; 2) *SPB* veličine 183 hiljada m<sup>3</sup> iznosi oko 400 miliona \$; 3) *MK3* veličine 183 hiljada m<sup>3</sup> iznosi oko 325 miliona \$. Ovi iznosi troškova izgradnje LNG brodova, objektivno posmatrano, visoki su u odnosu na stvarno realne.

<sup>424</sup> Okvirno ovi troškovi iznose dnevno od 14 do 16 hiljada \$ američkih dolara. Posada broda broji do 36 članova.

<sup>425</sup> Pored ovih troškova.

<sup>426</sup> Kao ilustracija može da posluži trošak koji ima brod za prolazak Sueckim kanalom. Ovaj izdatak je različit u zavisnosti od kapaciteta broda, od toga da li je brod pod teretom ili nije, od tipa broda. Tako da naknada za jedan prolazak Sueckim kanalom LNG brod iznosi za: 1) tip *Moss LNG* (kapaciteta 205 hiljada m<sup>3</sup>), kada je pod teretom 215 401 USD; prazan (pod balastom) 178 154 USD; srednja vrednost 196 777 USD; 2) tip *SPB LNG* (kapaciteta 205 hiljada m<sup>3</sup>), kada je pod teretom 165 017 USD; prazan (pod balastom) 135 290 USD; srednja vrednost 150 153 USD; 3) tip *SPB LNG* (kapaciteta 183 hiljada m<sup>3</sup>), kada je pod teretom 152 421 USD; prazan (pod balastom) 124 574 USD; srednja vrednost 138 497 USD.

<sup>427</sup> Luka Murmansk je potencijalno velika luka za izvoz LNG-a iz Rusije.

<sup>428</sup> Prema sprovedenoj analizi Stanivuk T. i dr., „Troškovi prevoza LNG-a morskim pravcima“, Split, 2012.

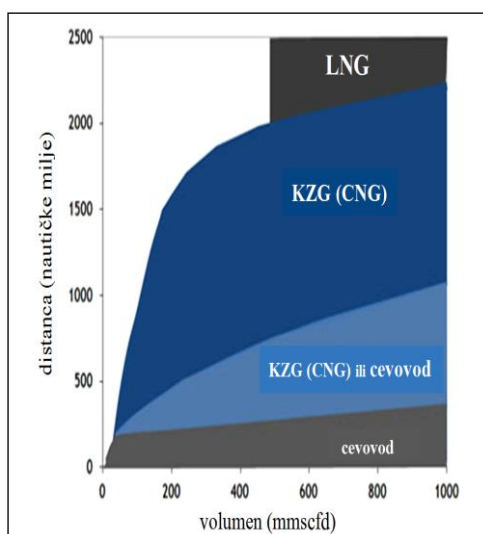
<sup>429</sup> Upotreba brodova kapaciteta 183 u odnosu na brodove kapaciteta od 205 hiljada m<sup>3</sup> cena se povećava za oko 10%.

<sup>430</sup> Prema ovoj studiji, trošak prevoza Moss brodovima iznosi oko 56–58 USD/tona.

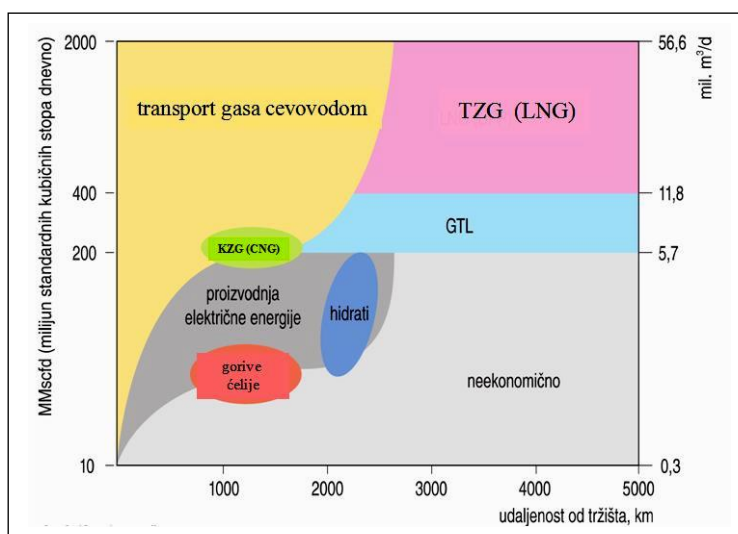
<sup>431</sup> Recimo da li će se koristiti pomorski put kroz Suecki kanal ili Gibraltarski moreuz.



određenim dužinama. „Kada su se cene zemnog gasa bile na nivou od 2 USD/mil BTU, što je ispod 50 USD/1000m<sup>3</sup> na izvoru, LNG nije konkurentan. Rast cene nafte na razinu od 25 USD/bbl i više povukao je cenu gasa na oko 4 USD/mil BTU ili 100 USD/1000 m<sup>3</sup>. On postaje konkurentan onome gasu koji se transportuje cevovodom (slike 4.85. i 4.86).“<sup>432</sup>



Slika 4.85. Okvir za primenu različitih tehnologija kod prevoza<sup>433</sup>



Slika 4.86. Transformacije zemnog gasa i njegov transport u zavisnosti od udaljenosti i količine<sup>434</sup>

Tehnologija komprimovanog gasa (CNG) za razliku od LNG isplativija je za transport na manjim rastojanjima. CNG tehnologija omogućuje iskorišćavanje onih ležišta na moru koji nemaju priključni gasovod, a LNG tehnologija je preskupa. Tehnička rešenja su jednostavnija sa manjom potrebnom infrastrukturom i postrojenjima.

Prilikom transporta gasa cevovodom, ovaj vid transporta ima prednost do rastojanja od 2000 km. „Nakon toga troškovi značajno brže rastu od onih kod prevoza gasa u tečnom stanju. Potrebno je reći da se ti odnosi menjaju s napretkom tehnologije. Tako su autori u knjizi 'Prirodni plin' sredinom osamdesetih godina objavili dijagram koji je pokazivao prednost transporta ukapljenog plina nakon 4000 km, a desetak godina kasnije noviji podaci su secište translatalirali prema 3000 km. Danas se ta udaljenost kreće 2000–2500 km.“<sup>435</sup> Trenutno sada, sredinom duge decenije XXI veka, u zavisnosti od niza različitih faktora i parametra, globalno se može smatrati da je transport zemnog gasa u tečnom stanju brodovima konkurentan transportu gasovodu koji se obavlja kopnenim gasovodima na rastojanju od 2500 km (slika 4.87), dok je pogodniji u odnosu na podvodne cevovode na rastojanjima većim od 1000 do 1500 kilometara.

Prilikom nastojanja ostvarivanja optimalnog transporta i pouzdanog snabdevanja tržišta regiona Balkana, velikim količinama zemnog gasa iz uvoza treba međusobno kombinovati različite metode dopreme ovog energenta po nižim cenama. U prvom redu, danas je reč o prevozu gasa: u gasovitom agregatnom stanju cevovodima (kopnenim i podmorskim), u gasovitom stanju u komprimovanom stanju (CNG bodovima) i transportu gasa u tečnom stanju (LNG brodovima). Ali takođe, neophodno je imati u obzir i razmatrati mogućnost snabdevanja i u čvrstom agregatnom stanju, jer u zavisnosti od razvoja tehnike i tehnologije transformacije i prevoza gasa u ovom stanju, kao trenutno potencijalno veoma zanimljivim načinom snabdevanja regiona Balkana u budućnosti.

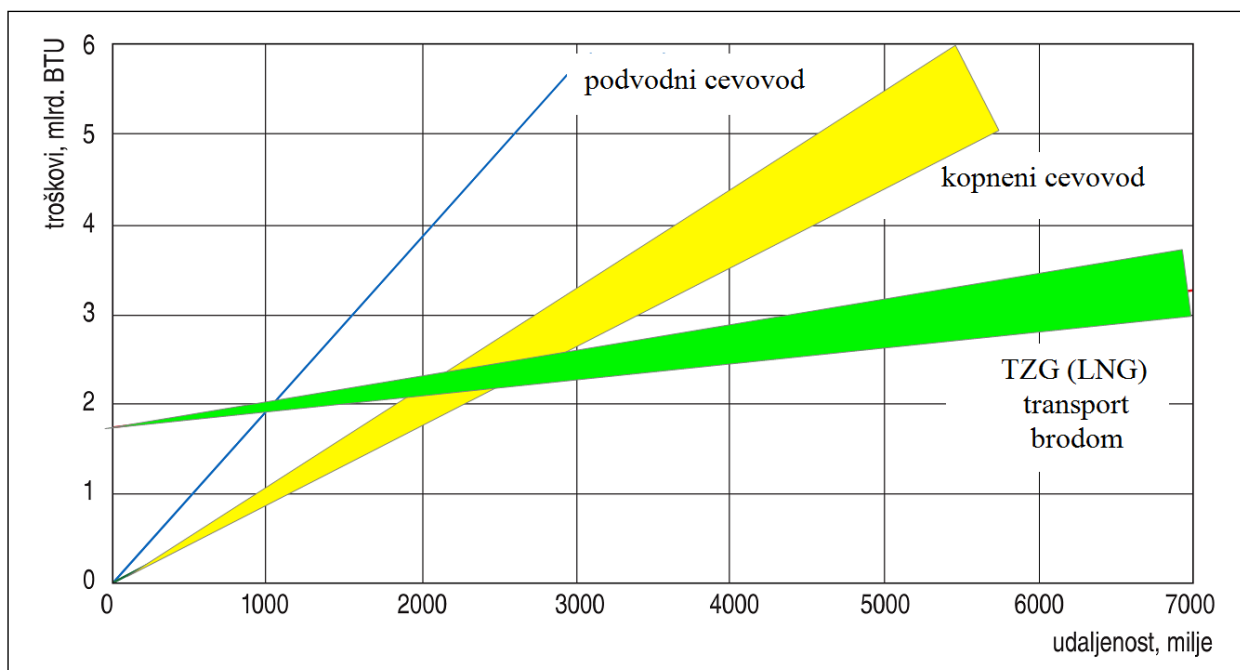
<sup>432</sup> Kolundžić S., „Interes za ukapljeni prirodni plin ponovo raste (1.deo)“, *EGE*, 4/2005, str. 96–99.

<sup>433</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti. Proizvodni i transportni kapaciteti u odnosu na udaljenost gasa od tržišta kao okvir za primenu različiti tehnologija.

<sup>434</sup> Autor, prema John Bradbury, *SeaGas Group Seeks GTL Test*, Hart's E&P, March, str. 84. U zavisnosti od mogućeg načina transformacije gasa, u cilju boljeg i pouzdanijeg snabdevanja tržišta, prezentovan je odnos isplativosti transporta gasa u odnosu na kapacitet i udaljenosti. Autor, prema John Bradbury, *SeaGas Group Seeks GTL Test*, Hart's E&P, March, str. 84.

<sup>435</sup> Kolundžić S., „Interes za ukapljeni prirodni plin ponovo raste (1.deo)“, *EGE*, 4/2005, str. 99.

Neophodno je da se primenom različitih vidova snabdevanja ovim energentom omogući diverzifikacija pravaca, dobavljači, novi izvori, veća količina, niža cena gasa, kao i veća sigurnost u snabdevanju, bolja snabdevenost i pouzdanost u regionu. U cilju optimizacije snabdevanja zemnim gasom tržišta regiona Balkana potrebno je sagledati: potrebne količine za uvoznim gasom; sezonski karakter tražnje za ovim energentom; potencijalne izvore snabdevanja iz inostranstva; njihov kapacitet; cenu gasa na njemu; moguće vidove dopreme gasa od izvora do tržišta Balkana; agregatno stanje gasa u kome će se on prevoziti i mogućnosti skladištenja u cilju ostvarivanja kontinuiranog snabdevanja tokom godine.



Slika 4.87. Ekonomičnost transporta gasa na određenim rastojanjima, odnos LNG i cevovoda<sup>436</sup>

## 2. Unapređenje skladištenja gasa u funkciji boljeg snabdevanja tržišta i potrošača

Kao efikasno rešenje regulisanja neravnomernosti između proizvodnje i potrošnje zemnog gasa koristi se jedna od metoda njegovog skladištenja. Sama efikasnost metoda skladištenja gasa bazira se u nastojanju da se što veća količina fluida uskladišti u istu jedinicu prostora sa što nižim finansijskim troškovima. Povećanja mase gasa u volumenskoj jedinici skladišta mogu da se ostvare različitim aktivnostima. Reč je o sledećim procesima: komprimovanje gasa; utečnjavanje (likvefakcija) gasa; rastvaranje u tečnom naftnom gasu (apsorpcijom) i prevođenje u čvrsto agregatno stanje (hidrate).<sup>437</sup> Realizacija skladištenja zemnog gasa može da se analizira i sagledava iz više različitih uglova i aspekata poput tehnologije skladištenja agregatnog stanja gasa ili metode skladištenja, zatim prema vrsti skladišta, lokaciji skladišta, geološkoj formaciji; prema načinu

<sup>436</sup> Autor, prilagodio na osnovu Bradbury J., „Going beyond LNG“, *Hart's E&P*, March, str. 35.

<sup>437</sup> Na osnovu procesa, sa aspekta modela mogućnosti povećanja mase gasa u jedinici zapremine, sve vrste skladišta gasa mogu se svrstati na one koji se baziraju na: komprimovanju, rastvaranju u medijumu, utečnjavanju i smrzavanju. Metod skladištenja zemnog gasa u čvrstom stanju za sada u praksi nema značajniju primenu i uticaj na rešavanje pitanja skladištenja gasa u velikim količinama, sa aspekta sezonskih varijacija i vršnih opterećenja u funkciji snabdevanja tržišta. Još se u praksi ova metoda skladištenja velikih količina gasa ne primenjuje, u aspektu rešenja problema velikih strateških debalansa između proizvodnje i potrošnje gasa. Iz ovog razloga, ona u ovom delu rada nije detaljnije prezentovana, ali sigurno je da će u bliskoj budućnosti imati značajnije mesto u transportu i skladištenju ovog energenta u svetu.

skladištenja, prema tipu skladišta;<sup>438</sup> kao i prema agregatnom stanju u kome se gas skladišti. Posmatrano prema tipu skladišta zemnog gasa, sa aspekta svoga mesta i uloge, ona mogu biti: sezonska; dnevna; vršna; strateška i proizvodna.<sup>439</sup>

U cilju sagledavanja efikasnog skladištenja zemnog gasa, neophodno je sveukupno istovremeno sagledati tehničko-tehnološke i ekonomske parametre, kao jedinstveno pitanje, a u okviru celovitog logističkog sistema. Celovitost logističkog sistema gasa obuhvata jedinstven pristup sagledavanju i pružanju rešenja vezanih za aktivnosti eksploatacije, manipulacije, transporta, skladištenja i distribucije u cilju efikasnog snabdevanja tržišta i potrošača ovim energentom. Potrebno je izvršiti skladištenje gasa što je god moguće bliže samom mestu njegove potrošnje. Svaka država treba da nastoji da u cilju što većeg stepena svoje sigurnosti i bezbednosti snabdevanja sopstvenog tržišta da izgradi adekvatna skladišta za odlaganje gasa. U slučajevima kada nema mogućnosti za izgradnju sopstvenih skladišnih kapaciteta zemnog gasa, država treba da sklopi ugovor o iznajmljivanju skladišnih kapaciteta u inostranstvu, na trasi tranzitnih gasovoda kojima se doprema gas iz uvoza za njeno tržište. Smatra se da bi trebalo da skladišni kapaciteti svake zemlje minimalno iznose 20–30% njihove godišnje potrošnje. Što zemlja raspolaže sa većim sopstvenim skladišnim kapacitetom, ona ima veći stepen sigurnosti i pouzdanosti snabdevanja svoga tržišta.

Koja će se od metoda skladištenja izabrati u cilju regulisanja odstupanja i nesklada, zavisi od „veličine, dužine i učestalosti neravnomernosti potrošnje gasa, kao i od karakteristika sistema snabdevanja gasom.“<sup>440</sup> Pod karakteristikama sistema snabdevanja podrazumevaju se tip transportnog sistema, raspored velikih potrošačkih centara i proizvodnih kapaciteta, kao i njihove mogućnosti, pravci izvora snabdevanja iz uvoza i način uvoza (gasovod-brod), kao i kapacitet uvoza.<sup>441</sup>

Kao što je već rečeno, u predhodnom delu ovoga rada (glava III), okvirna klasifikacija skladišta za velike količine zemnog gasa, može da se izvrši na osnovu: 1. agregatnog stanja zemnog gasa u kome se fluid skladišti<sup>442</sup> i 2. prema lokaciji skladišta u odnosu na nivo tla.<sup>443</sup> Danas je, u stručnoj literaturi, najčešća primenjivana podela i klasifikacija skladišta zemnog gasa prema mestu lokacije, ali i temperature, uslovno na: 1. podzemna skladišta i 2. kriogena skladišta.<sup>444</sup>

## 2.1. Osnovne karakteristike podzemnih skladišta zemnog gasa i njihova izgradnja u cilju boljeg i pouzdanijeg snabdevanja tržišta Balkana

Problematika i posledice neravnomerne potrošnje zemnog gasa tokom godine uslovili su stratejski značaj podzemnih skladišta, optimalne eksploatacije gasnih ležišta, sigurnosti snabdevanja gasom tržišta i potrošača. Globalno posmatrano, na svetskom nivo proizvodnja zemnog gasa je u letnjem periodu veća od potrošnje. Tada se „višak“ gasa odlaže (injektuje, ubrizgava, utiskuje, upumpava) u skladište da bi se gas u zimskom vremenskom intervalu povlačio (ispumpavao) iz njega, sa ciljem pokrivanja povećane potrošnje. Skladišta zemnog gasa (zasnovanih na postupku komprimovanja) mogu se podeliti na: nadzemna skladišta (visokog i niskog pritiska),

<sup>438</sup> Sa mesta i pozicije u logističkom lancu, skladišta gasa mogu biti: sezonska, dnevna, vršna, strateška i proizvodna.

<sup>439</sup> Detaljnije o tipu skladišta zemnog gasa (sezonska; dnevna; vršna; strateška i proizvodna), videti u II delu ovoga rada.

<sup>440</sup> Posmatrano sa aspekta tehnologije skladištenja zemnog gasa, sama realizacija aktivnosti skladištenja može da se ostvari: 1. tehnologijom skladištenja gasa u gasovitom agregatnom stanju komprimovanjem (u nadzemnim, podzemno-površinskim, podzemnim) skladištima; 2. tehnologijom skladištenja tečnog zemnog gasa; 3. tehnologijom skladištenja zemnog gasa rastvaranjem u tečnom naftnom gasu i 4. tehnologijom skladištenja gasa u čvrstom agregatnom stanju.

<sup>441</sup> Prstojević B., *Cevovodni transport nafte i gasa*, RGF u Beogradu, Beograd, 2012, str. 271.

<sup>442</sup> Prema agregatnom stanju zemnog gasa u kome se fluid skladišti, skladišta ona mogu biti: a) skladišta gasovitog gasa, b) skladišta tečnog gasa i c) skladišta gasa u čvrstom stanju.

<sup>443</sup> Posmatrano prema lokaciji skladišta u odnosu na nivo tla, ona mogu biti: a) nadzemna skladišta, b) podzemna skladišta i c) delimično ukopana skladišta.

<sup>444</sup> Detaljnija, preciznija i sveobuhvatnija klasifikacija skladišta za zemni gas zahteva potpunije izlaganje i preciznije određivanje kriterijuma za grupisanje. Ova uslovna podela je opšteprihvaćena u stručnim krugovima i u svetskoj stručnoj literaturi, iako su svi svesni njene nedovoljne tačnosti i preciznosti.

podzemno-površinska skladišta (gasna mreža i skladišta sa visokim pritiskom) i podzemna skladišta (u pornim i nepornim sredinama).<sup>445</sup>

Kada je reč o tehničkim rešenjima skladištenja zemnog gasa, danas se u svetu najviše koriste podzemna skladišta, sa ciljem uspešnog regulisanja višednevnih i sezonskih neravnomernosti između proizvodnje i potrošnje ovog energenta.<sup>446</sup> Podzemna skladišta zemnog gasa predstavljaju prostor u geološkoj formaciji u kojoj se može formirati odgovarajući volumen za odlaganje energenta. Podzemno skladište može da se formira u prirodnom pornom prostoru ili stvaranjem veštačke akumulacije za odlaganje energenta u nepornim sredinama. Osnovni preduslov stvaranja prirodne akumulacije za skladište gasa je povoljan geološki strukturni oblik.<sup>447</sup>

Sa aspekta geološke formacije, sva podzemna skladišta gasa, dele se na: 1. skladišta u pornim sredinama<sup>448</sup> i 2. skladišta u nepornim sredinama.<sup>449</sup> Najznačajnije lokacije koje se primenjuju za izgradnju podzemnih skladišta u funkciji odlaganja gasa, metodom komprimovanja u geološkim formacijama su: 1. iscrpljena ležišta gasa i nafte; 2. vodonosni slojevi (akviferi); 3. solne kaverne i 4. ostali geološki oblici podzemlja.<sup>450</sup>

### 2.1.1. Karakteristike i kriterijumi za korišćenje iscrpljenih ležišta u funkciji efikasnog i pouzdanog sezonskog skladištenja zemnog gasa i snabdevanja tržišta

Ukupno, najveći raspoloživi skladišni kapacitet za skladištenje zemnog gasa u svetu, nalaze se u iscrpljenim ležištima ugljovodonika. U funkciji sezonskog skladištenja zemnog gasa, skladišni prostor za ovaj energent, formira se najčešće u pornom prostoru geoloških formacija. Sezonska skladišta zemnog gasa u iscrpljenim ležištima ugljovodonika (gasa i nafte) pripadaju grupi skladišta u pornim sredinama. Ova skladišta formiraju se u poroznim slojevima koji imaju određeni strukturalni oblik.<sup>451</sup> Antiklinalna forma poroznog sloja, kao i zatvaranje poroznog sloja putem raseda – nepropusne barijere, čini da porozni sloj ima oblik zamke, zatvorenog suda, u kome se može obavljati uskladištenje gasa. Porozni sloj može da bude peščar, konglomerat ili raspucali krečnjak. Formiranje skladišta zahteva ispunjenje tri uslova: postojanje zamke određene geometrije, porozni sloj koji zadovoljava određene petrofizičke karakteristike i pokrovna stena koja je nepropusna (i omogućuje održavanje određenog pritiska u sloju).<sup>452</sup>

Ako se posmatraju ukupno, sva podzemna skladišta za smeštaj zemnog gasa (prema broju, ali i kapacitetu), koji se danas koriste u svetu i Evropi, u najvećem broju su izgrađena u iscrpljenim

<sup>445</sup> Sa aspekta skladištenja velikih količina komprimovanog zemnog gasa u cilju rešavanja sezonske potrošnje, prve dve vrste skladišta (nadzemna skladišta [visokog i niskog pritiska] i podzemno-površinska skladišta [gasna mreža i skladišta sa visokim pritiskom]) ne primenju se. U tu svrhu se primenjuju podzemna skladišta gasa.

<sup>446</sup> U svetu prvo eksperimentalno injektiranje (upumpavanje) gasa u funkciji skladištenja gasno u podzemno ležište urađeno je 1915. u *Welland Country, Ontario, Canada*. Sledeći projekat je urađen 1916. na polju *Zoar*, južno od *Buffala*, država *New York, USA*.

<sup>448</sup> Skladište mora da obezbedi bezbedno uskladištenje odloženog gasa i onemogući njegovu migraciju, nekontrolisano isticanje posle uskladištenja. Skladište mora da ima nepropusni sloj. Skladišta zemnog gasa u pornim stenama obuhvataju odlaganje gasa u: a) iscrpljenim ležištima energenata (gasa, nafte), b) vodonosnim slojevima (sa prirodnom zamkom, sa veštačkom zamkom) i c) ležištima negorivog gasa (N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>S).

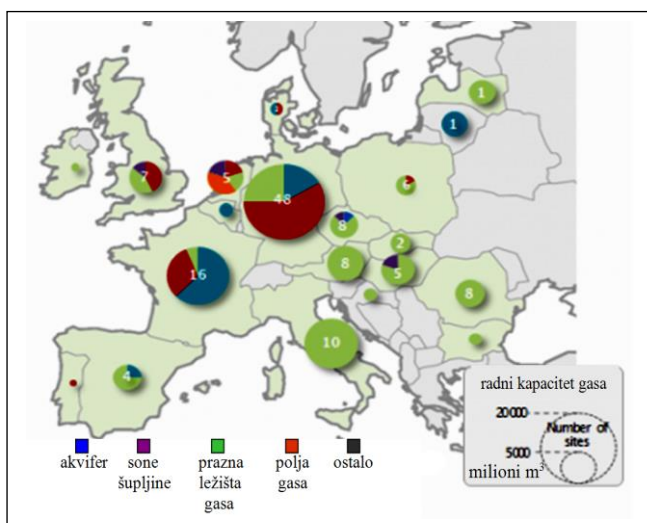
<sup>449</sup> 2. Skladištenje gasa u nepornim stenama, realizuje se u: a) postojećim rudničkim prostorijama (okna, hodnici, tuneli), b) specijalnim rudničkim prostorijama (u kamenoj soli, stabilnim stenama, nestabilnim stenama) i c) u prirodnim prostorijama (kaverne, pećine). Detaljnije o nekim od rešenja biće reči u nastavku ovoga rada.

<sup>450</sup> Svaki od ovih tipova skladišta ima svoje prednosti i nedostatke. Detaljnije o skladištenju zemnog gasa u akviferima, solnim kavernama i ostalim geološkim oblicima podzemnog skladištenja neće biti reči u ovom radu. Ovi oblici geoloških formacija, trenutno nemaju realno veći potencijal primene u regionu Balkana u cilju izgradnje sezonskih skladišta. Tako da je u fokusu ovog dela rada primena ležišta zemnog gasa u funkciji podzemnog skladišta gasa.

<sup>451</sup> Prstojević B. i dr., *Distribucija prirodnog gasa*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2005, str. 404–405.

<sup>452</sup> Nepropusne krovne stene omogućile su formiranje i očuvanje naftnih i gasnih ležišta.

ležištima gasa i nafte (slike 4.88. i 4.89). Najpogodnija za pretvaranje u podzemna skladišta gasa su: prvo gasna ležišta, zatim gasno-kondezatna ležišta (koja su nešto nepogodnija) i naftna ležišta.<sup>453</sup>

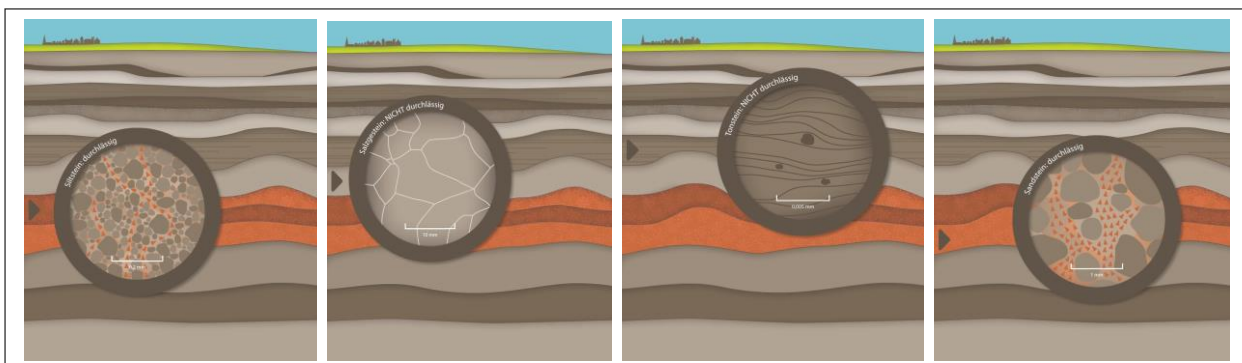


Slika 4.88. Najznačajniji tipovi podzemni skladišta gasa i njihov kapacitet u Evropi<sup>454</sup>



Slika 4.89. Ilustracija mogućih struktura stena ležišta podzemnih skladišta gasa i nafte<sup>455</sup>

Dominantno mesto među skladištima u iscrpljenim ležištima ugljovodonika, u funkciji skladištenja velikih količina zemnog gasa, zauzimaju ležišta gasa. Bivša ležišta iz kojih je iscrpljen zemni gas (delimično ili potpuno) najčešće se koriste u funkciji skladištenja ovog energenta. Globalno posmatrano, ona su tehničko-tehnološko-ekonomski najpogodnija za izgradnju skladišnih kapaciteta. Ova ležišta, ukupno posmatrano prema svim tehničko-tehnološko-ekonomskim parametrima, pružaju najpogodnije uslove za izgradnju skladišnih kapaciteta. Iz toga razloga, u daljem fokusu ovog delu rada, nalaze se iscrpljena ležišta zemnog gasa u funkciji skladišnog prostora ovog energenta (slika 4.90).



Slika 4.90. Presek geoloških ležišta koja služe za podzemno skladištenje zemnog gasa<sup>456</sup>

Ležišta zemnog gasa koja se koriste u funkciji skladišta gasa mogu biti: delimično iscrpljena ležišta i potpuno iscrpljena ležišta gasa. Delimično iscrpljeno gasno ležište je ono ležište u kome je tokom perioda eksploatacije pritisak pao u njemu na nivo ispod one visine koja je potrebna za neposredno, bez komprimovanja, dovođenja gasa u transportnu mrežu. Iscrpljeno gasno ležište je ležište u kome je slojni pritisak tokom dugoročne eksploatacije toliko snižen da dalja eksploatacija nije moguća. Ovo ležište je potpuno iscrpljeno, a u njemu se nalazi zanemarljivo mala količina gasa.

<sup>453</sup> Opširnije o izboru ležišta, projektovanju i izgradnju skladišta gasa u gasnom ležištu videti u radu Bauk A., *Podzemno skladištenje plina*, INA Naftaplin, Zagreb, 2003, str. 35–98.

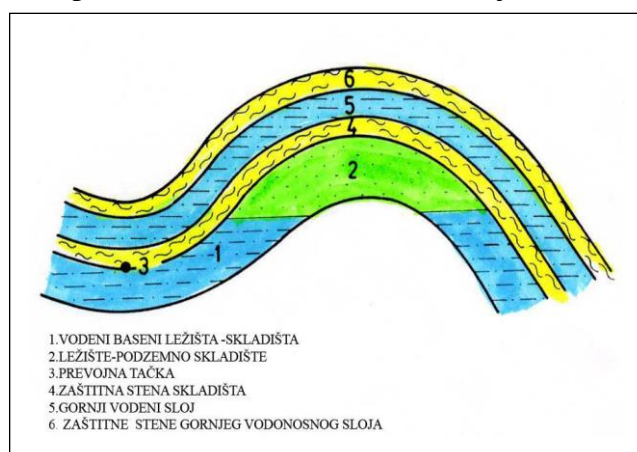
<sup>454</sup> Izvor PB KBB i GSE (2013). U 16 zemalja Evrope trenutno ima ukupno 110 podzemnih skladišta zemnog gasa, što predstavlja 86% tehničkih kapaciteta za skladištenje u Evropi.

<sup>455</sup> Izvor GSE, preuzeto iz različitih stručnih radova. Ilustracija se odnosi na 2015. godinu.

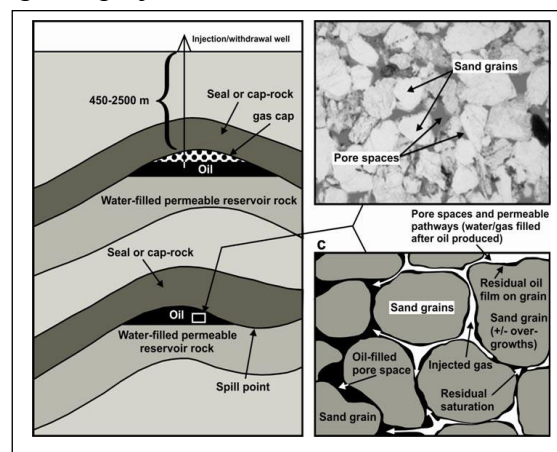
<sup>456</sup> Izvor: ilustracija preuzeta iz velikog broja različitih stručnih radova. Pore su veličine mikrona.

Najčešće aktivnost prevođenja gasnog ležišta u funkciju skladišta gasa sprovodi se kod delimično iscrpljenih ležišta. Samom procesu njegove realizacije pre namene pristupa se posle jednog perioda eksploatacije (proizvodnje) gasa iz konkretnog ležišta. Takođe, moguće je i formiranje skladišta u potpuno iscrpljenim ležištima zemnog gasa. Sa tehnološko-ekonomskog aspekta pogodnije je izgradnja skladišta u delimično iscrpljenim ležištima zemnog gasa.

Izgrađena skladišta zemnog gasa imaju svoj radni skladišni kapacitet u odnosu na konkretno ležište u kojem se formiraju. Radni kapacitet konkretnog formiranog skladišta gasa najčešće se kreće u rasponu između 50% i 55%, u odnosu na ukupni kapacitet tog ležišta. Tehnološki uslovi zahtevaju da se u toku eksploatacionog rada podzemnog skladišta fluid se iz njega povlači (crpi) u većem obimu i kapacitetu u jedinici vremena, u odnosu nego što je to bilo za vreme njegove proizvodne eksploatacije. U toku procesa proizvodnje iz ležišta gasa se godišnje crpi 3–5% rezervi sa kojim raspolaže ležište. Kad to ležište služi kao skladište, iz njega se, najčešće, ako je reč o sezonskom skladištu u toku jedne sezone (nekoliko meseci), iscrpi 40–60% ukupnog uskladištenog gasa. To znači da se celokupna količina radnog gasa (što predstavlja 60–40% ukupnog kapaciteta ležišta) crpi u veoma kratkom periodu.<sup>457</sup> Realizacija ovog uslova da se iz skladišta gasa crpi veća količina u jedinici vremena uslovljava da konkretna bušotina i ležište ima instaliran veći broj radni instalacija za utiskavanje (injektovanje) i povlačenje gasa. Svaka instalacija treba da ima, ako je to moguće, veće kapacitete u odnosu na vreme kada je ležište bilo gasno polje.<sup>458</sup>



Slika 4.91. Osnovni elementi profila podzemnog skladišta<sup>459</sup>



Slika 4.92. Presek neki tipova ležišta ugljovodonika i struktura stena<sup>460</sup>

Korišćenje iscrpljenih ležišta gasa za skladište, manifestuje se kroz činjenicu da je u njima već bio zemni gas; da je već poznat veliki broj tehničkih karakteristika prostora u kome će se skladišti energent, ona po pravilu uvek imaju niže troškove izgradnje; na samom ležištu uglavnom se nalazi instaliran veliki broj potrebne infrastrukture za izgradnju i funkcionisanje skladišta (preostale iz prethodnog perioda eksploatacije ležišta).<sup>461</sup> U osnovi, svako iscrpljeno gasno ležište, nije apriori uvek pogodno da se ono prevede u skladište zemnog gasa. Zato je neophodno pre pokretanja aktivnosti izgradnje skladišta detaljno sagledati mogućnosti i potencijal da se konkretna ležišta stave u funkciju skladišta, sprovesti njegovu analiza. Analiza se odnosi na niz različitih činilaca vezanih za skladište. Značajni i važni parametri vezani za konkretnu izgradnju i funkcionisanje podzemnog skladišta gasa su: udaljenost ležišta od tržišta; svojstva ležišta; svojstva fluida; nepropusnost ležišta;

<sup>457</sup> Gas se iscrpi iz ležišta kada je u funkciji skladišta gasa za nekoliko meseci. Iz tog istog ležišta, kada se gas eksploatiše (proizvodi) iz njega, period crpljenja traje više godina, a često i decenija.

<sup>458</sup> Da bi se obezbedio dovoljan kapacitet isporuke gasa iz skladišta, ali i za utiskavanje gasa u njega. Opširnije o radu skladišta može da se vidi u radu, Голжанов А.И., *Газовые сети и газоохранилища*, Уфа, Монографија, 2008.

<sup>459</sup> Jovičić D., *Gasno ležište Itebej 'g' u funkciji podzemnog skladišta gasa*, Magistrski rad, RGF, Beograd, 2009, str. 5.

<sup>460</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti.

<sup>461</sup> Opširnije o podzemnim skladištima videti u radu, Казарян В. А., *Подземное хранение газов и жидкостей*, Москва, Ижевск, 2006.

veličina ležišta; dubina zalaganja i nivo ležišnih pritisaka; tip i veličina poroznosti i propusnosti skladišnog sloja; snage akvifera, prisutnost kondenzata u ležištima gasa.<sup>462</sup>

**Osnovni geološki elementi** koji čine i formiraju podzemno skladište gasa su: ukupne geološke karakteristike ležišta – podzemnog skladišta gasa;<sup>463</sup> vodonosni basen ležišta – skladišta (akvifer);<sup>464</sup> prevojna tačka; zaštitne stene skladišta;<sup>465</sup> gornji vodonosni sloj (gornji akvifer) i zaštitna stena gornjeg vodonosnog sloja. Karakteristike ležišnog sistema uslovljavaju: maksimalni kapacitet skladišta; jastučni gas; maksimalni pritisak u ležištu, broj i raspored bušotina; raspon ležišnih pritisaka u ciklusima injektiranja i proizvodnje (slike 4.91. i 4.92).

**Osnovni tehnički parametri** kojima se definišu podzemna skladišta gasa su: maksimalan kapacitet skladišta; broj, raspored kapaciteta i namena bušotina; raspored ležišta pritiska u ciklusima utiskivanja i proizvodnje; kapacitet i snaga kompresora na bazi prethodnih parametara; nadzemne instalacije i udaljenost magistralnih gasovoda ili većih potrošača.

Karakteristika sezonskih skladišta gasa da ona omogućuju skladištenje velikih količina fluida u neposrednoj blizini potrošača i relativno pravilan odnos promene ciklusa injektovanja (ubrizgavanja) i ispumpavanja fluida (leto/zima) u toku jedne kalendarske godine.<sup>466</sup> Značaj i uloga podzemnih skladišta zemnog gasa se manifestuje kroz: mogućnost uravnoteženja proizvodnje; uravnoteženje dopreme i potrošnje (sezonske i dnevne oscilacije) i povoljnije cene nabavke (kupovine)<sup>467</sup> ovog energenta.

Neosporna je činjenica da se do danas u svetu pokazalo kao najracionalnije rešenje u cilju regulisanja sezonske neravnomernosti između proizvodnje i potrošnje zemnog gasa, izgradnja adekvatnih podzemnih skladišta u svim onim situacijama kada je to moguće. Do ovog stava, došlo se na osnovu velikog broja različitih tehničko-ekonomskih analiza i proračuna, kao i sveukupnog dosadašnjeg postojećeg svetskog iskustva vezanog za skladištenje zemnog gasa u praksi.

Značaj skladišta gasa ogleda se i u tome da ona obezbeđuju bolju sigurnost u funkcionisanju gasovodnog sistema države, da se izbegavaju „troškovi penala“ u situaciji kada se gas uvozi iz inostranstva.<sup>468</sup>

Najveća pojedinačna podzemna skladišta zemnog gasa u svetu, posmatrano prema svome kapacitetu, danas se nalaze se u Rusiji, Ukrajini, Nemačkoj i Francuskoj.<sup>469</sup> Prema ukupnom instalisanom radnom volumenu i broju podzemnih skladišta na prvom mestu nalaze se SAD sa kapacitetom od 127166 miliona m<sup>3</sup> i 442 skladišta. Posle Amerike, slede: na drugom mestu Rusija 97553x10<sup>6</sup> (28); 3. Ukrajina 32139x10<sup>6</sup> (13); 4. Nemačka 20404 x10<sup>6</sup> (51); 5. Kanada 14820 x10<sup>6</sup> (43); 6. Italija 14937 x10<sup>6</sup>(10); 7. Francuska 12645 x10<sup>6</sup> (16) itd.

Sama **ekonomika podzemnog skladišta** zemnog gasa zavisi od: tipa skladišta, same geološke i proizvodne karakteristike sloja ležišta;<sup>470</sup> kapaciteta skladišta;<sup>471</sup> tehničko-tehnoloških

<sup>462</sup> Detaljnije o ovim parametrima videti u VI delu ovoga rada.

<sup>463</sup> Uključujući i dubinu zalaganja.

<sup>464</sup> Određuje režim u ležištu i ima direktan uticaj na raspon pritiska u skladištu, utok i smer vode.

<sup>465</sup> Obezbeđuju hermetičnost skladišta.

<sup>466</sup> Za razliku od njih, dnevna skladišta zemnog gasa imaju manji kapacitet. Namenjena su za pokrivanje potrošnje u kratkom intervalu. U odnosu na svoj volumen imaju veliki kapacitet crpljenja (povlačenja) i upumpavanja. Ona se mogu brzo puniti i ispumpavati u cilju regulisanja „pikova“ povećane potrošnje. Mogu se isprazniti i ponovo napuniti u toku nekoliko dana ili nedelja. Ova skladišta se u toku jedne sezone više puta pune i prazne.

<sup>467</sup> Ako je kupovina i isporuka gasa kontinuirana u istom iznosu tokom cele godine, cena zemnog gasa je znatno povoljnija nego ako se gas kupuje samo u zimskom periodu.

<sup>468</sup> Zbog neravnomernosti u preuzimanju gasa tokom gasa od prodavca. Kupac koji kontinuirano tokom godine kupuje istu količinu gasa u inostranstvu, obezbeđuje sebi nižu kupovnu cenu.

<sup>469</sup> Posmatrano kroz vremenski period, skladišni kapaciteti zemnog gasa u Evropi iz godine u godinu su se povećavali. U Zapadnoj Evropi 1970. godine bili su 3 680 000 000 m<sup>3</sup>; 1980. god. 10 760 000 000 m<sup>3</sup>; 1993. god. 40 776 000 000m<sup>3</sup>. u Istočnoj Evropi, 1970. skladišni kapaciteti bili su 5 900 miliona m<sup>3</sup>, 1980, -27 184 m<sup>3</sup>, a 1993, -27 184 m<sup>3</sup>.

<sup>470</sup> Sigurnosti zamke, poroznost kolektora, pritiska u sloju.

<sup>471</sup> Ekonomska efikasnost podzemnog skladišta je veća što je veća njegova korisna zapremina veća. Minimalna zapremina podzemnog skladišta zemnog gasa treba da iznosi najmanje nekoliko stotina miliona m<sup>3</sup>. Kod svakog

rešenja; ugrađene i instalisane opreme; samoga stepena neravnomernosti potrošnje gasa; dužine i propusne moći transportnog gasovoda; udaljenosti između skladišta i potrošača. Svi ovi parametri imaju uticaj na izgradnju, investiciju, eksploataciju i rad podzemnih skladišta. Ali takođe, istovremeno je neosporna činjenica da su ovi parametri međusobno različiti u većoj ili manjoj meri između svih podzemnih skladišta. Ovo ima za rezultat da je i cena skladištenja gasa različita između određenih skladišta.<sup>472</sup>

**Posmatrano sa tehničko-konomskog aspekta**, kod izgradnje podzemnog skladišta gasa, najznačajniji parametri su: gasni jastuk (potisni gas), radni (volumen) skladišta, obim crpljenja i vreme potrebno za utiskivanje/povlačenje gasa iz skladišta.<sup>473</sup> Jastučni gas<sup>474</sup> je ona količina zemnog gasa koja se nalazi u podzemnom skladištu pod određenim pritiskom. Taj pritisak, ne bi trebalo da bude manji od one vrednosti koja je potrebna da se gas izuzima (crpi) iz skladišta, omogućujući ekonomično poslovanje. Kad se prazna ležištima (gasa i nafte) prevode u funkciju skladišta, prvo se u njih upumpava (utiskuje) neophodna količina gasa da se uspostavi potreban pritisak u njemu.<sup>475</sup> U onim situacijama, kada se unapred planira da će se ležište zemnog gasa, nakon eksploatacije, prevesti u funkciju skladišta, crpljenje gasa se obustavlja na onoj vrednosti koja približno odgovara iznosu jastučnog gasa.<sup>476</sup> Taj iznos gasa koji se zadržava u ležištu, u ovom slučaju predstavlja gasni jastuk. Radni gas je ona količina gasa koja je utisnuta u skladište gasa i iz njega se crpi u toku eksploatacije iz skladišta. Tehnički posmatrano, maksimalna količina radnog gasa u jednom skladištu predstavlja razliku između maksimalno kapaciteta skladišta i gasnog jastuka.<sup>477</sup>

U osnovi, svi faktori i činioci koji učestvuju u razmatranju, sagledavanju i analizi vezanoj za izbor određenog podzemnog skladišta, obuhvaćeni su sa dva najznačajnija kriterijuma za izbor podzemnog skladišta. Reč je o ekonomskim i geološko-tehnološkim kriterijumima.

**Geološko-tehnički kriterijumi izbora podzemnog skladišta.** Ovi kriterijumi obuhvataju: oblike i veličinu ležišta;<sup>478</sup> tektoniku ležišta; energetske režim ležišta; dubina zalaganja ležišta; rezervoar (kolektor) stene; ležišni fluid; lokacija podzemnog skladišta gasa; metodiku istraživanja strukture za podzemno skladištenje gasa.

**Redosled ekonomičnosti metoda** za rešavanje problema neravnomernosti potrošnje je:<sup>479</sup> 1. skladištenje u delimičnom iscrpljenim gasnim ležištima sa ekspazionim režimom ili sa

konkretnog skladišta postoji granična minimalna zapremina, ispod koje se to skladište ne gradi. U tom slučaju, ono nije ekonomski opravdano da se gradi.

<sup>472</sup> Cena jedinice (1 m<sup>3</sup>, 1000 m<sup>3</sup>) skladištenja gasa je različita, između određenih tipova, ali i u okviru istog tipa skladišta, zbog različitih parametara svakog skladišta. U suštini, na osnovu svih parametara, ne postoje u potpunosti indentčna podzemna skladišta, na osnovu svih parametara, tako da se i cena skladištenja međusobno razlikuje, u većoj ili manjoj meri.

<sup>473</sup> Detaljnije o svakom od ovih parametara može da se vidi u III delu ovoga rada.

<sup>474</sup> Šoć D., *Prirodnog plin – Transport prirodno plina*, INA-Naftaplin, 1989, str. 325 i 326.

<sup>475</sup> Ponekad se u ležišta može injektovati ugljen-dioksid, azot.

<sup>476</sup> Kod izgradnje podzemnog skladišta od izuzetnog značajan je jastučni gas. On predstavlja jedan od najvažnijih tehničko-ekonomskih parametara. Sama količina zemnog gasa, koja se nalazi kao gasni jastuk u podzemnom skladištu, zavisi od: energetskog režima u ležištu; geometrijske forme ležišta; dubine zalaganja ležišta i produktivnih karakteristika bušotina i ležišta. To je količina gasa, koja je sa ekonomskog aspekta „zarobljena“. On se uvek nalazi u skladištu i ako je moguće i njega iskoristiti (na kraju rada skladišta, prestanka funkcionisanja). Svako skladište gasa mora da ima određenu količinu jastučnog gasa. On iznosi oko 50% od ukupne zapremine skladišta. Gas, koji je u funkciji gasnog jastuka, na kraju prestanka rada gasnog skladišta u iscrpljenim ležištima, može da se gotovo sav iskoristi, da se „povuče“ iz njega. Takođe i u skladištima gasa u akviferima postoji gasni jastuk. Ta količina gasa, kod ovih skladišta, u startu predstavlja veliku i nepovratnu investiciju kod izgradnje i funkcionisanja skladišta, jer se ne mogu iskoristiti nakon prestanka rada skladišta.

<sup>477</sup> Maksimalan kapacitet podzemnog skladišta zemnog gasa zavisi od volumena skladišta i maksimalnog dozvoljenog pritiska u njemu.

<sup>478</sup> Pored samog kapaciteta podzemnog skladišta gasa, za njegovo efikasno funkcionisanje značajan je niza parametara i karakteristika vezani za: nepropusni sloj; prisutnost vode; propustljivost i poroznost samog skladišta; brzinu i kapacitet upumpavanja i crpljenje gasa; opasnost od njegovog obrušavanja i urušavanja.

<sup>479</sup> Ovaj redosled ekonomičnosti metoda za rešavanje neravnomernosti između proizvodnje i skladištenja gasa sastavila je *IGU* (Međunarodna unija za gas) na osnovu velikog broja istraživanja i praktičnog eksploatacionog rada postojećih.



vodonapornim režimom;<sup>480</sup> 2. skladištenje u akviferima;<sup>481</sup> 3. izgradnje kaverne u sonim kavernama; 4. utečnjavanje prirodnog gasa LNG; 5. skladištenje iz terminala za uvoz gasa; 6. postrojenja za tečni naftni gas (propan-bitan) LPG; 7. proizvodnja sintetičkog gasa; 8. povećanje kapaciteta cevovodne gasne mreže. Cena skladištenja gasa u iscrpljenim gasnim ležištima je znatno niža nego u akviferima. Posebno, cena koštanja skladištenja gasa u gasnim ležištima, prihvatljivija je u odnosu na metod povećanje kapaciteta gasne mreže cevovoda u cilju skladištenja gasa.<sup>482</sup>

### 2.1.2. Izgradnja i funkcionisanje sezonskih skladišta u ležištima zemnog gasa u funkciji efikasnog snabdevanja tržišta

Određena ležišta zemnog gasa i nafte se u zavisnosti od mogućnosti, potreba i zahteva u nekoj svojoj fazi ili stadijumu eksploatacije, prevode u funkciju podzemnog skladišta. Na pogodnim i adekvatnim iscrpljenim ležištima ugljovodonika, izgrađuju se podzemna skladišta zemnog gasa. Prenamena i primena određenog ležišta u funkciji skladišta gasa sprovodi se na osnovu: geoloških, mehaničkih, tehničkih, tehnoloških, ekonomski, bezbednosnih parametara i kriterijuma. U njima se zemni gas u gasovitom stanju skladišti komprimovanjem u cilju uspešnog i ekonomski najprihvatljivijeg načina regulisanja višednevnih i sezonskih neravnomernosti u njegovoj proizvodnji i potrošnji. Sva iscrpljena ležišta ne mogu uvek da se koriste u funkciji skladišta zemnog gasa iz više različitih razloga: geoloških, tehnoloških, tehničkih, ekonomskih. Kada je reč o mestu lokacije i tehničkim rešenjima sezonskih skladišta zemnog gasa, danas se u svetu, kao najčešći oblik skladištenja koriste njegovo odlaganje u iscrpljenim ležištima gasa u kojima se ovaj energent komprimovanjem odlaže u gasovitom agregatnom stanju.<sup>483</sup>

Podzemna skladišta zemnog gasa mogu da se izgrade u gasnim ležištima (iscrpljenim ili delimično iscrpljenim) i iscrpljenim ležištima nafte. Iscrpljeno ležište zemnog gasa je ono ležište gasa u kome je tokom perioda eksploatacije njegov slojni pritisak opao toliko da iz njega više nije moguće eksploatirati gas. Delimično iscrpljeno ležište gasa je ono ležište u kome je slojni pritisak zemnog gasa tokom procesa eksploatacije pao ispod potrebnog nivoa za njegovo neposredno, dovođenje u transportnu mrežu za vreme eksploatacije. Iz iscrpljenog naftnog ležišta nafta je iscrpljena do maksimalnog nivoa, koji omogućuje tehnologija eksploatacije.<sup>484</sup>

Podzemno skladište zemnog gasa u iscrpljenim ležištima gasa i nafte, najčešće se po pravilu formira od više bušotina, u okviru jednog iscrpljenog ležišta, ali i više ležišta različitog kapaciteta,

<sup>480</sup> Podzemno skladište gasa mora uvek da ima oko 50 % gasa u svome volumenu, od svog ukupnog kapaciteta u cilju ekonomičnog rada. Taj gas se u eksploatacionom veku (najčešće) ne crpi iz njega u cilju njegovog efikasnog i ekonomičnog rada. Prilikom samog formiranja skladišta, on se upumpava u njega (pod uslovom da je gasno ležište bilo u potpunosti iscrpljeno). Faktički, ova količina gasa je „zarobljena, blokirana“ i uvek se nalazi u skladištu za vreme njegovog eksploatacionog veka. Ovaj gas se može u izuzetnim trenucima iskoristiti ili prilikom zatvaranja skladišta. Režim rada podzemnog skladišta, u delimično iscrpljenim ležištima, zasniva se na naizmeničnom upumpavanju (injektovanju) i povlačenju oko 50% gasa od ukupnog kapaciteta skladišta. Taj iznos gasa koji se naizmenično utiskuje i povlači iz skladišta, predstavlja radni gas skladišta.

<sup>481</sup> Kod skladišta gasa u akvaferu, jedna količina gasa ostaje večno blokirana i predstavlja nepovratnu investiciju. Generalno posmatrano, skladištenje zemnog gasa u akviferima zbog svoje cene skladištenja najčešće je zastupljeno u: razvijenim zemljama koje imaju stroge kriterijume o snabdevanju kupaca; zemljama koje uvoze gas, a nemaju dovoljne kapacitete da izgrade skladišta u iscrpljenim ležištima gasa i nafte; u onim državama u kojima su iscrpljena ležišta ugljovodonika veoma daleko od mesta njegove potrošnje; ...

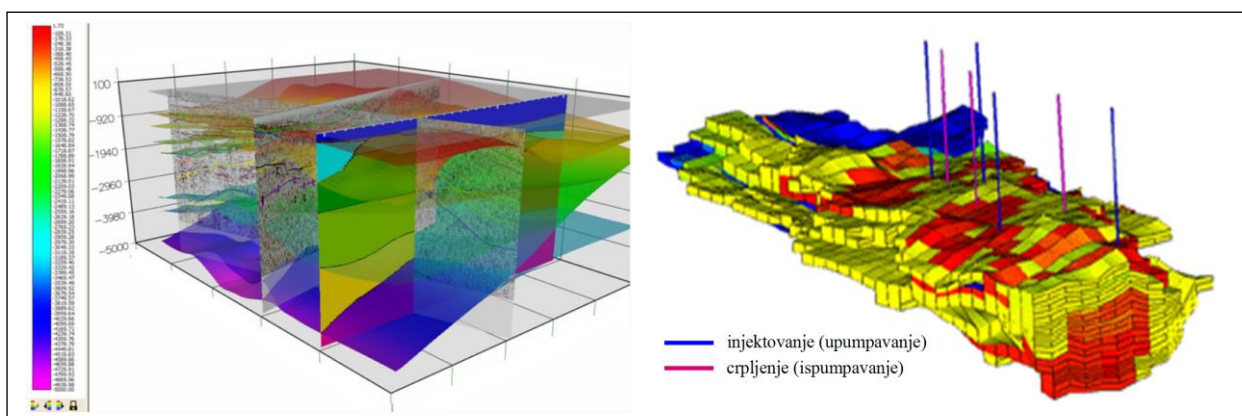
<sup>482</sup> Cena skladištenje gasa u akvaferima je finansijski veća dva do tri puta od njegovog skladištenja u iscrpljenim ležištima, u zavisnosti od konkretnog ležišta. Cena u akvaferima je veća zbog visine istraživačkih radova vezanih za njih. Ali istovremeno, skladištenje u akvaferima je oko 3 puta niže nego povećanje kapaciteta gasovoda.

<sup>483</sup> Danas podzemna skladišta zemnog gasa u svetu učestvuju sa oko 90% u ukupnom broju skladišta. Od ukupnog broja podzemnih skladišta (628), oko 75% (478) skladišta se nalazi u iscrpljenim ležištima gasa i nafte. U svetu je 2009. godine bilo je od ukupnog broja od 628 skladišta, 478 u podzemnim skladištima, akviferima 81, kavernama 65 itd.

<sup>484</sup> U takvo iscrpljeno ležište nafte utiskuje se gas ili slojna voda.

koja se nalaze u neposrednoj blizini.<sup>485</sup> Svako pojedinačno ležište najčešće raspolaže sa više radnih bušotina. Prilikom izgradnje skladišta gasa na bivšim bušotinama, svaka pojedinačna radna bušotina, u okviru jednog ležišta, međusobno se povezuje cevnom sistemom u jednu celinu (slika 4.93). Istovremeno, i sva ležišta (ako ih ima više) međusobno se povezuju. Tako povezane bušotine i ležišta čine i formiraju jedinstven kompleksan skladišni sistem jednog podzemnog skladišta gasa.

Po pravilu, sistem radne bušotine (cevni sistem), koji je služio za eksploataciju gasa i nafte kod izgradnje podzemnog skladišta, privodi se u funkciju za utuskivanje i povlačenje zemnog gasa iz skladišnog volumena. Samo u nekim slučajevima, u manjem obimu, iz različitih razloga, pristupa se izradi manjeg broja novih bušotina. Na ovaj način se značajno pojeftinjuje cena izgradnje ovog tipa skladišta u odnosu na druge tipove podzemni skladišta zemnog gasa. Nastoji se da se maksimalno iskoristi najveći deo postojećih istraživačkih, građevinskih, tehničkih i mašinskih radova, kao i sva instalisana oprema i uređaji koji su bili ugrađeni u funkciji dotadašnje eksploatacije.



Slika 4.93. Grafička ilustracija preseka podzemnog skladišta zemnog gasa<sup>486</sup>

Sezonsko skladište zemnog gasa može da se realizuje u ležištima nafte i gasa. Realizacija skladištenja gasa u ležištima nafte može da se sprovede u ležištima koja: imaju ili nemaju gasnu kapu. Kada se skladišti zemni gas u naftnim ležištima, koja imaju gasnu kapu, gas se smešta u nju. Kod skladištenja zemnog gasa u naftnim ležištima bez gasne kape, potrebno je prvo iscrpiti svu naftu iz ležišta, a zatim ležište napuniti gasom. Ovaj proces može da traje više godina.

U osnovi, najčešće su ležišta gasa više pogodna za prenamenu u funkciji podzemnog skladišta zemnog gasa u odnosu na iscrpljena ležišta nafte. Većina podzemni skladišta zemnog gasa u svetu izgrađeni su u ležištima gasa.<sup>487</sup> Prilikom izbora ležišta zemnog gasa u funkciji skladišta, značajni su sledeći elementi: „nepropustivost ležišta; veličina ležišta; svojstva ležišta; snaga akvifera; prisustvo kondenzata u ležišnom plinu; udaljenost skladišta od tržišta.“<sup>488</sup>

**Osnovni faktori i parametri**, koji se sagledavaju i utiču prilikom analize i izbora gasnog ležišta u funkciju podzemnog skladišta zemnog gasa su:<sup>489</sup> geološke karakteristike ležišta; kapacitet skladištenja gasa; energetski režim ležišta skladišta gasa; dubina zaleganja skladišta; geografska pozicija skladišta u odnosu na potrošača; broj i raspored postojećih bušotina; maksimalni pritisak u skladištu; istorijat proizvodnje fluida; kapacitet i dinamika utiskivanja i proizvodnja gasa; međufazni odnosi u skladištu; kapaciteti i snaga kompresora; karakteristike nadzemne opreme i instalacija;

<sup>485</sup> Posmatrano površinski-prostorno, jedno skladište gasa u iscrpljenim ležištima može da zauzima više desetina km<sup>3</sup>. Ambijentalni prostor na površini zemlje nije u znatnoj meri narušen niti izmenjen. Tlo zemlje na svojoj površini i dalje je u svojoj prvobitnoj funkciji (poljoprivreda, šumarstvo; neka skladišta se nalaze i ispod naseljenih mesta). Skladišta se nalaze na velikim dubinama zemljine kore, od nekoliko stotina metara do više kilometara.

<sup>486</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti.

<sup>487</sup> U prvom redu, reč je o samoj činjenici da se gas skladišti u bivšem ležištu ovog fluida, što ima za posledicu da je ono prikladnije nameni skladišta iz više razloga. Gas se lakše prečišćava nakon crpljenja (ispumpavanja); ležište je bilo na određenom pritisku gasa u njemu; ima već deo potrebne instalacije i opreme; najčešće deo gasa nije iscrpljen.

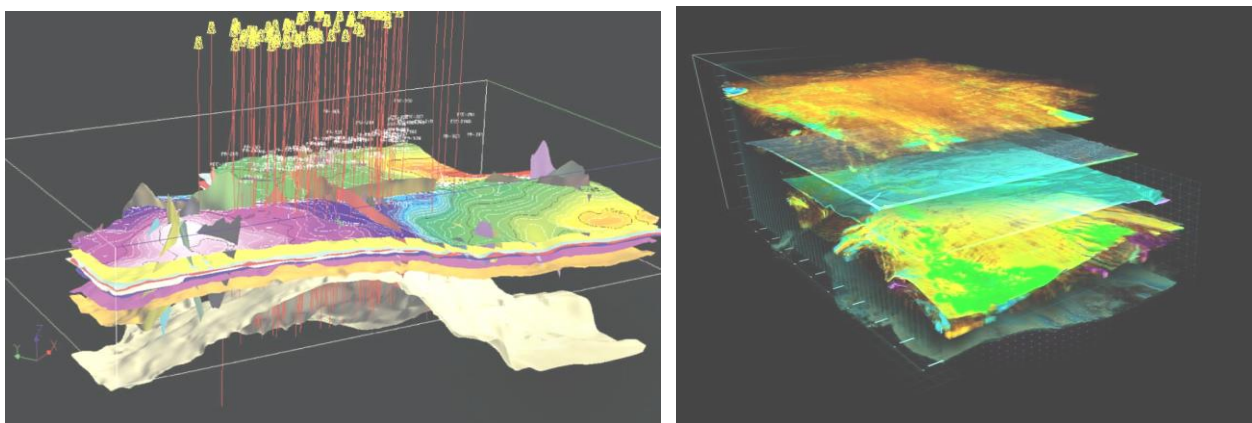
<sup>488</sup> Opširnije videti u radu Simon K., *Skladištenje i potrošnja energenata*, Skripta RGNF, Zagreb, 2010, str.18 i 19.

<sup>489</sup> Jovičić D., *Gasno ležište Itebej 'g3' u funkciji podzemnog skladišta gasa*, RGF, Beograd, 2009, str. 39.

ekonomika izgradnje i funkcionisanje podzemnog skladišta; tehničko i tehnička pouzdanost-sigurnost funkcionisanja podzemnog skladišta; ostali činioci.<sup>490</sup> Većina ovih parametara je međusobno povezana. Oni veoma često zavisi jedan od drugog u manjoj ili većoj meri.

Sâm sadržaj zemnog gasa u jednom podzemnom skladištu čini: aktivni gas i gasni jastuk. U osnovi, aktivni gas predstavlja radni kapacitet skladišta, a gasni jastuk omogućuje optimalne uslove njegovog skladištenja (funkcionisanja, rada). „Ukupna količina gasa koja se može smestiti u jednom skladištu zavisi od: veličine pornog volumena<sup>491</sup> koji se može ispuniti gasom, pritiska, temperature i sastava gasa. Sama veličina sadržaja gasa u skladištu se određuje volumetrijskom metodom ili pomoću materijal-balansa, ako su poznati parametri proizvodnje u određenom vremenu.“<sup>492</sup>

Veličina gasnog jastuka i ponašanje podzemnog skladišta u procesu njegove eksploatacije uslovljeno je režimom gasnog sloja (slika 4.94). Sama ležišta zemnog gasa mogu biti sa ekspanzionim,<sup>493</sup> vodonapornim<sup>494</sup> ili kombinacijom ova dva režima rada.



Slika 4.94. Grafička 3D ilustracija podzemnog skladišta u iscrpljenim ležištima zemnog gasa<sup>495</sup>

**Ekonomka skladišta gasa.** Među najznačajnijim faktorima i parametrima, koji su vezani za ekonomičnost podzemnog skladišta gasa su: ekonomika izgradnje skladišta i funkcionisanje skladišta. Najveći deo troškova izgradnje skladišta gasa odnose se na: bušenje i opremanje bušotina (injektivno-proizvodnih i kontrolnih); troškove nabavke kompresora (koji zavise od procenjene maksimalne snage; nadzemne instalacije; pripreme gasa (dehidracije i desumporizacije). U osnovi, na samu ekonomičnost izgradnje skladišta, u prvom redu, najveći uticaj ima njegov kapacitet. Kod funkcionisanja (rada, eksploatacije) podzemnog skladišta najveći troškovi su vezani su za: energiju i održavanje kompresora; utiskivanje ili dopunjavanje jastučnog gasa u ležište skladišta.

Na samu ekonomičnost prenamene jednog ležišta u skladište zemnog gasa, direktno utiče broj potrebni bušotina da bi se ostvario potreban obim pridobivanja gasa. Kapacitet jedne bušotine, može se utvrditi pomoću jednačine za proizvodnju (istiskivanje, povlačenje) gasa iz skladišta.

$$Q = C (P_1^2 - P_d^2)^n \quad (4.19)$$

$Q$  – proizvodnja gasa, m<sup>3</sup>/dan;  $C$  – koeficijent koji uglavnom zavisi od karakteristika sloja;  $P_1$  – pritisak ležišta (bar);  $P_d$  – dinamički pritisak u delu bušotine koji se nalazi u sloju (na dnu bušotine) (bar);  $n$  – eksponent protoka sa vrednostima između 1 i 0.5 označava vrstu protoka gasa

<sup>490</sup> Detaljnije o svakom od ovih faktora koji utiču na izbor gasnog ležišta za podzemno skladištenje može da se vidi u nizu različitih domaćih i inostranih radova koji tretiraju ovu problematiku.

<sup>491</sup> Veličina pornog volumena skladišta zavisi od: karakteristika kolektora stene, poroziteta i zasićenosti vodom.

<sup>492</sup> Prsojević B., *Cevovodni transport nafte i gasa*, Rudarsko-geološki fakultet u Beogradu, Beograd, 2012, str. 274.

<sup>493</sup> Ležište sa ekspanzionim režimom ponaša se kao sud pod pritiskom. Donja granica njegovog rada je oko 7 bara. Kod ovog skladišta ekonomičnost u prvom redu zavisi od veličine gasnog jastuka.

<sup>494</sup> Kod ovih skladišta gasni jastuk je tehnički preduslov za prevođenje u funkciju skladišta.

<sup>495</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti. Grafičke 3D ilustracija podzemnog skladišta.

Na kapacitet jedne bušotine direktan uticaj ima propustljivost kolektora stene (C). Što je on veći, ostvaruje se veći učinak utiskivanja i crpljenja (proizvodnje), a time i niže investicije. Veličina pritiska u ležištu ( $P_l$ ) određuje kapacitet konkretnog skladišta. Veći pritisak omogućuje veći obim skladištenja gasa u istom volumenu. Povećanje pritiska, preko dozvoljene vrednosti, može da prouzrokuje proširenje postojećih ili otvaranje novih pukotina u krovini skladišta, što dovodi do neželjene migracije gasa iz skladišta. Vrednost maksimalnog pritiska u skladištu zavisi od: dubine zalaganja sloja, otpornosti, specifične težine pokrovnih stena, gustine i plastičnosti krovnog sloja skladišta. Po pravilu, bezbednim za skladištenje gasa smatra se pritisak u skladištu koji je jednak onom početnom pritisku koji je bio pre prve njegove eksploatacije ili koji je jednak hidrostatičkom pritisku.<sup>496</sup> Zbir hidrostatičkog pritiska i pritiska istiskivanja (vode iz šupljikave stene<sup>497</sup> koja se nalazi u pokrovnoj steni) daje maksimalnu granicu skladištenja gasa u skladištu.

Značajno mesto u analizi izgradnje skladišta u postojećem ležištu zauzima i: veličina rezervi gasa koji se već nalazi u skladištu; vek eksploatacije ležišta; sastav gasa koji se nalazi u ležištu; veličina gasnog jastuka. Takođe, i sam položaj podzemnog skladišta, u odnosu na potrošače, ima veoma značajno mesto u analizi njegove izgradnje i funkcionisanja.

Analiza se u prvom redu odnosi na sagledavanje dva aspekta. Reč je o pitanjima vezanim za samu ekonomiku efikasnog transporta, ali i njegove uloge kao elementa za povećanje uticaja na snabdevanje tržišta. Prilikom izgradnje podzemnog skladišta ukupni troškovi se dele u dve grupe: a) kapitalna ulaganja (investiciona ulaganja) i b) operativni troškovi i troškovi održavanja.

**Tehnološki delovi skladišta su:**<sup>498</sup> ležište (nastalo prirodnim putem u poroznim<sup>499</sup> ili propusnim stenama u čijim se porama, odnosno mikroskopski velikim šupljinama, skladišti gas); bušotine (pomoću kojih se ostvaruje veza između ležišta smešteni na velikim dubinama [često dubina je preko 1 km] i nadzemne prostorije; kompresorska postrojenja (koji služe za injektovanje gasa iz transportnog sistema u skladište); gasovod (povezuje nadzemna postrojenja međusobno i sa bušotinama); postrojenja za pripremu gasa (za transport i merenje).

Za uspešno **funkcionisanje podzemnog skladišta zemnog gasa**, značajna je: dinamika gasa u uslovima podzemnih skladišta; injektiranje (ubrizgavanje) i povlačenje (proizvodnja); migracija (proboj gasa); energetski režim gasnih skladišta; mogućnost razrade podzemnog skladišta gasa horizontalnim bušotinama.

**Tehnološki proces podzemnog skladištenja zemnog gasa** obuhvata u osnovi tri aktivnosti:

1. ubrizgavanje (upumpavanje, utiskivanje), 2. povlačenje (ispumpavanje) iz podzemnog skladišnog rezervoara i 3. prečišćavanje gasa pre distribucije (slika 4.95).

Iz transportnog (magistralnog) cevovoda gas koji je namenjen skladištenju na svom putu prema samom skladištu prolazi kroz uređaje i sisteme za njegovo merenje (merno-regulaciona stanica). Sâm proces merenja gasa, realizuje se u cilju preciznog utvrđivanja tačne količine, koja se preuzima iz gasovoda. Nakon aktivnosti merenja,<sup>500</sup> zemni gas dolazi do sistema i uređaja za komprimovanje gasa. Kompresori podižu pritisak fluida na optimalni potrebni nivo za njegovo

<sup>496</sup> U praksi postoje skladišta čiji radni pritisak često prelazi i 10% svog osnovnog pritiska koji je nekad vladao u tom ležištu. U izuzetnim slučajevima, on je u pojedinim skladištima bio veći i do 50%. Povećanje pritiska se može ostvariti samo u posebnim uslovima.

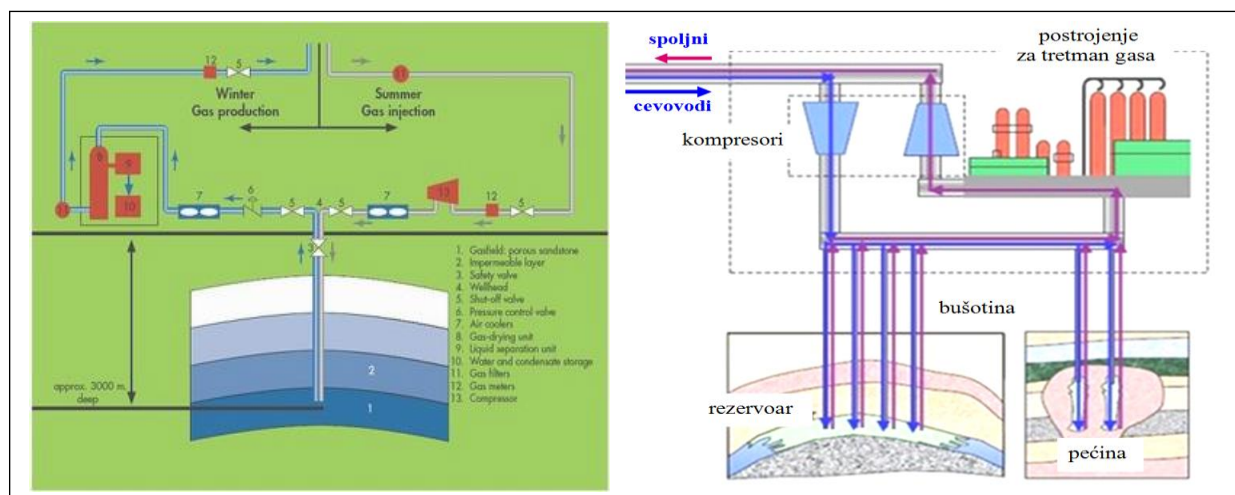
<sup>497</sup> Detaljnije o ovom odnosu i zavisnosti može se videti u geološkim radovima vezanim za ovu problematiku. Prvo pitanje je da li u pokrovnim naslagama postoji voda. U većini slučajeva, da. Tad je reč o ležištima sa vodonapornim režimom. U tom slučaju, uticaj ima i: molekularna, odnosno kapilarna sila vode; geometrija šupljikave stene; dubina na kojoj se ona nalazi; zaleganje slojeva; nagib strukture.

<sup>498</sup> Iz zvanične prezentacija podzemnog skladišta zemnog gasa *Okoli – „PSP Okoli“*.

<sup>499</sup> U okviru samog podzemnog skladišta gasa njegov volumen mora da ima visoku propustljivost i poroznost. Visoka propustljivost i poroznost strukture skladišta omogućuje bržu realizaciju aktivnosti upumpavanja/povlačenja gasa iz njega. Ovaj parametar je od izuzetno velikog značaja za tehnologiju i režim funkcionisanja podzemnog skladišta. Detaljnije videti u radu Hamada G.M., Elshafei M.A., „Predviđanje poroziteta i propusnosti heterogenih ležišta plinonosnih pješčanika temeljem neuronskih mreža i korištenjem NMR i konvencionalne karotaže“, *Nafta* 61, 2010.

<sup>500</sup> Ako nije potrebno njegovo dodatno čišćenje. Najčešće, dodatno čišćenje gasa koji se doprema gasovodnim sistemom nije potrebno posebno čistiti. U situacijama gde je tehnološkim procesom predviđeno, gas, nakon merenja, prolazi kroz separator ili filtere čvrstih čestica.

upumpavanje (ubrizgavanje) u konkretno podzemno skladištenje. Pritisak gasa koji se upumpava uslovljen je radnim pritiskom samog skladišta.<sup>501</sup> Pritisak u skladištu kreće se od više desetina do nekoliko stotina (100, 200) bara. Gas visokog pritiska iz kompresora se putem cevovoda odvodi do platforme bušotine.<sup>502</sup> Jedno skladište gasa ima više utisno-ispusnih bušotina, sa odgovarajućom pratećom opremom. Svaka bušotina služi za upumpavanje i crpljenje (povlačenje) gasa iz skladišta. U fazi povlačenja (ispumpavanja, proizvodnje) gasa iz skladišta, fluid se kreće u suprotnom smeru. Zemni gas prilikom izlaska iz skladišta prolazi kroz postrojenje za tretman. Tretman gasa u prvom redu podrazumeva odstranjivanje neželjenih sastojaka koje on ima prilikom izlaska iz skladišta.<sup>503</sup> Nakon tretmana, dalje se otprema cevovodom prema distributivnom sistemu i krajnjim potrošačima.



Slika 4.95. Grafičke ilustracija tehnološkog rada podzemni skladišta zemnog gasa<sup>504</sup>

### 2.1.3. Iscrpljena ležišta zemnog gasa u funkciji efikasnog skladištenja i pouzdanog snabdevanja tržišta Balkana ovim energentom

Region Balkana ima veliku zavisnost od uvoznog gasa. Postoji veoma mala diversifikacija izvora snabdevanja. Trenutno najveći uticaj i potencijal u budućnosti, za snabdevanje tržišta regiona Balkana zemnim gasom sa aspekta skladištenja, imaju podzemna skladišta u delimično iscrpljenim ležištima. Iz ovoga razloga, u ovom delu rada u fokusu prezentacije i analize nalaze se skladištenje gasa u gasovitom agregatnom stanju metodom komprimovanjem u delimično iscrpljenim ležištima gasa i nafte u funkciji efikasnog snabdevanja tržišta.<sup>505</sup>

Pojedinačno, ukupni trenutni kapaciteti podzemni skladišta zemnog gasa u regionu Balkana su u: Austriji 7079 miliona  $m^3$ ; Mađarskoj  $6300 \times 10^6 m^3$ ; Rumuniji  $3100 \times 10^6 m^3$ ; Bugarskoj  $550 \times 10^6 m^3$ ; Hrvatskoj  $550 \times 10^6 m^3$  i Srbiji  $450 \times 10^6 m^3$  (tabela 4.22.). Pojedinačno (tabela 4.22.) najveća podzemna skladišta gasa su: *Haldacek*  $2640 \times 10^6 m^3$  (Austrija); *Flelds*  $2640 \times 10^6 m^3$  (Austrija); *Zsana-Nord*  $2170 \times 10^6 m^3$  (Mađarska); *Najduszoboszlo*  $1640 \times 10^6 m^3$  (Mađarska); *Bilciuresi*  $1300 \times 10^6 m^3$  (Rumunija); ...

<sup>501</sup> Karakteristični parametar svakog skladišta je njegov maksimalni i minimalni pritisak. Opseg između ova dva pritiska je radni pritisak skladišta. Ispod minimalnog pritiska u skladištu se nalazi i dalje zemni gas. Ona količina gasa koja ostaje u skladištu ispod minimalnog pritiska predstavlja jastučni gas konkretnog skladišta.

<sup>502</sup> Platforma bušotine može u svom okviru da ima više različitih uređaja i sredstava. Centralno mesto zauzima ventil za utiskivanje/povlačenje gasa.

<sup>503</sup> Često se u gasu iz skladišta nalazi: voda, teški ugljovodonici, fizičke čestice. To su neželjeni elementi koji se nalaze u dubini samog skladišta. Prilikom ispumpavanja gasa iz podzemnog skladišta „povlači“ sa sobom, neželjene sastojke.

<sup>504</sup> Izvor: ilustracije preuzete iz većeg broja inostranih stručnih radova iz ove oblasti.

<sup>505</sup> Skladištenje u drugim podzemnim skladištima (akviferima, solnim kavernama i ostalim geološkim oblicima) imaju realno manju mogućnost i potencijal za izgradnju na Balkanu.

Ukupan kapacitet podzemnih skladišta gasa u regionu Balkana iznosi  $18025 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Ovaj postojeći obim skladištenja zemnog gasa u podzemnim skladištima na godišnjem nivo nije dovoljan za sigurno i pouzdano snabdevanje potrošača. Pošto su se u praksi podzemna skladišta gasa (slika 4.96) u iscrpljenim ležištima ugljovodonika (gasa i nafte) pokazala u svetu kao efikasno i ekonomično rešenje u cilju skladištenja veliki količina zemnog gasa, i države regiona Balkana treba da u cilju rešavanja sigurnog snabdevanja potrošača nastoje da obezbede adekvatna sezonska skladišta zemnog gasa, dovoljnog kapaciteta za ovaj energent.

Tabela 4.22. Skladišta zemnog gasa u regionu Balkana<sup>506</sup>

	Naziv skladišnog obje.	1. <sup>507</sup> RZG	2. <sup>508</sup> UKP	3. <sup>509</sup> UKU		Naziv skladišnog objekta	1. RZG	2. UKP	3. UKU
1	Austrija	7079	80.25	65.70	4	Rumunija	3100	24.27	30.27
	Schonk. R. <sup>510</sup>	1544	19.80	13.50		Tiru-Mures	300	2.00	2.00
	Tallesbrunn	347	3.30	2.60		Nades-ProdSeleus	50	0.27	0.27
	Than	217	0.40	0.30		Nades-ProdSeleus	250	2.00	2.00
	Puchkirchen	1050	11,80	11.80		Sar Masel	800		
	Algelsbizunn	100	120,00	120,00		Cetateade Balta	200		
	Haldach 5	16	0.48	0.48		Bilciuresi	1300	22.00	28.00
	Haldach	2640	26.40	24.00		Urziceni	250		
	Flelds	16	0.48	0.48		Ghrcesti	150		
	Flelds	2640	26.40	24.00		Balaceancn	20		
2	Mađarska	6300	80.10	46.45	5	Srbija	450	5.00	3.00
	Szoreg 1	1900	25.00	12.70		Banatski Dvor	450	5.00	3.00
	Posztaederi.	340	3.10	2.90	6	Hrvatska	550	4.20	3.50
	Zsana-Nord	2170	28.00	17.00		Okoli	550	4.20	3.50
	Kardoskut	280	3.20	2.35	7	Turska			
	Najduszobo.	1640	20.80	11.50		Aksaray			
3	Bugarska	550	4.20	4.20		Marmara Eglisi	LNG		
	Chiren	550	4.20	4.20					

Autor. Na osnovu GSE, *Gas storage Europa*, 2013.

U cilju rešavanja ovoga pitanja potrebno je u iznalaženju optimalnog rešenja nastojati da se analizira, sagleda i realizuje sledećim redosledom: proširenjem već postojećih podzemnih skladišta ako je to tehničko-tehnološki to moguće; izgradnjom novih skladišta u delimično iscrpljenim (ili u iscrpljenim) ležištima gasa ili nafte; izgradnjom u akviferima; izgradnjom kaverne u sonim kavernama. Trenutno, okvirno posmatrano, najveću mogućnost izgradnje novih skladišnih kapaciteta su u: Mađarskoj, Rumuniji, Hrvatska.<sup>511</sup> Pozicija države Hrvatske sa aspekta potrebe i mesta sezonskog skladištenja zemnog gasa, izgradnjom planiranog gasnog prstena Balkana, a posebno i potencijalnog terminala LNG na Krku, dobija na sve većem znanju za region Balkana. Pored postojećeg skladišta *Okoli* (kapaciteta 550 miliona  $\text{m}^3$ ) i mogućnosti njegovog dodatnog proširenja,<sup>512</sup> potencijalno novo skladište gasa je Grubišeno polje.<sup>513</sup> Ukupan njegov radni volumen procenjuje se na 25 miliona  $\text{m}^3$  sa kapacitetom povlačenja od oko 100 000  $\text{m}^3/\text{h}$ .

<sup>506</sup> Sva značajna skladišta gasa u regionu Balkana nalaze se u iscrpljenim ležištima ugljovodonika. Izuzetak je skladište LNG koji se nalazi u Turskoj. Autor, prema GSE (*Gas storage Europa*, 2013)

<sup>507</sup> Radna zapremina skladišta gasa (izraženo u miliona  $\text{m}^3$ ) – radni kapacitet skladišta.

<sup>508</sup> Ukupan kapacitet povlačenja gasa iz skladišta (izraženo u miliona  $\text{m}^3/\text{dnevno}$ ).

<sup>509</sup> Ukupan kapacitet ubrizgavanja gasa u skladište (izraženo u miliona  $\text{m}^3/\text{dnevno}$ ).

<sup>510</sup> *Schonkirshen Reyersdoh* – podzemno skladište u Austriji.

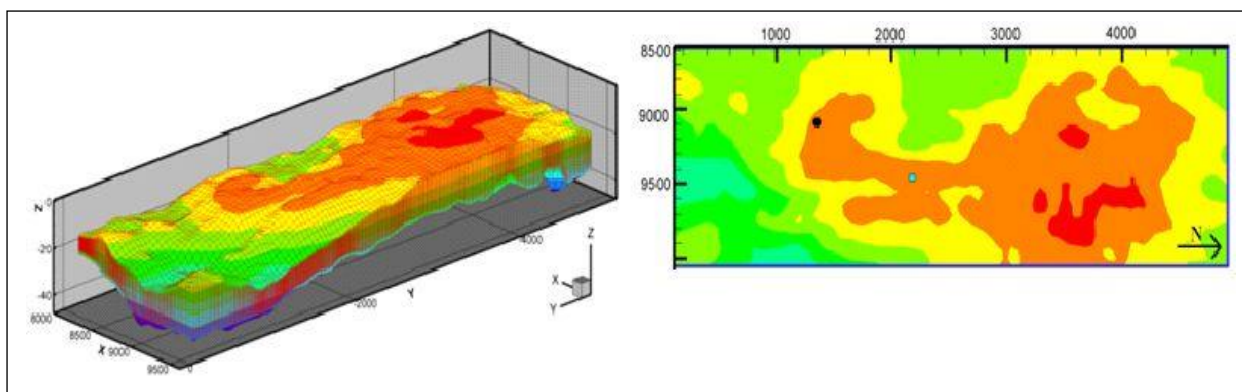
<sup>511</sup> Mađarska i Rumunija imaju veliki broj ležišta ugljovodonika, koje su uslovno potencijalno pogodni za podzemna skladišta zemnog gasa.

<sup>512</sup> Detaljnije o mogućnosti i potencijalu proširenja ovog podzemnog skladišta gasa može se videti u radu autora Zelenika I., „Dogradnja i optimizacija rada podzemnog skladišta plina u Okolima“, XXV *Međunarodni znanstveno stručni susret stručnjaka za plin*, Opatija, 2010.

<sup>513</sup> Ukupan radni volumen ovog skladišta procenjuje se na 25 miliona  $\text{m}^3$  gasa, uz mogućnost povlačenja do 100 00  $\text{m}^3/\text{h}$ .

U Srbiji je veoma izražena nepovoljna struktura i neravnomernost same potrošnje zemnog gasa. Pored toga, dominantna je velika zavisnost države od uvoznog gasa, jer se trenutno gotovo 90% ukupni potreba za ovim energentom, podmiruje iz uvoza. Celokupna količina gasa koja se uvozi u zemlju je poreklom iz Rusije. On se doprema samo jednim postojećim gasovodom preko Horgoša. Očekuje se u narednom periodu povećanje potrošnje ovog ugljovodnika u zemlji. Istovremeno postoji više nepovoljnih činjenica: izražen karakter sezone potražnje za ovim proizvodom, nepovoljna struktura potrošnje i velika uvozna zavisnost od inostranog gasa, jedan pravac dopreme gasa. U cilju rešavanja ovih otežavajućih problema nastoji se da se iznađu adekvatna i prihvatljiva rešenja. To u prvom redu, u ovoj situaciji, iziskuje realizaciju aktivnosti adekvatnog skladištenja gasa u podzemnim skladištima iscrpljenih ugljovodnika. Na ovaj način se ostvaruje sigurnije snabdevanje tržišta, niža cena gasa i mogućnost dalje gasifikacije zemlje. Izgradnjom skladišta, država eliminiše potencijalne troškove zakupa skladišta gasa u inostranstvu.

Srbija trenutno ne raspolaže dovoljnim skladišnim kapacitetima za skladištenje gasa. Posедуje jedno podzemno skladište (Banatski Dvor), koji je u funkciji i nekoliko novih potencijalnih podzemnih skladišta (Itebej, Ostrovo) ugljovodnika. Izgradnja i proširenje skladišta spada među najznačajnije infrastrukturne projekte države. Novi skladišni kapaciteti omogućuju veću energetska sigurnost zemlje i celog regiona Balkana. Skladišta omogućuju uskladištenje viška uvoznog gasa u letnjem periodu i neprekidnu i ravnomernu proizvodnju iz sopstvenih ležišta.<sup>514</sup> Korišćenjem skladišta: eliminiše sezonski nesklad između proizvodnje i potrošnje; optimalno korišćenje tranzitnog i transportnog sistema gasovoda; pokrivanje vršne potrošnje u zimskom periodu. Trenutno u fokusu mogućnosti rešavanja skladištenja veće količine gasa u Srbiji je: 1. proširenje skladišta Banatski Dvor; 2. izgradnja skladišta u Itebeju; 3. izgradnja skladišta Ostrovo.<sup>515</sup>



Slika 4.96. Grafička trodimenzionalna ilustracija jednog podzemnog skladišta gasa<sup>516</sup>

**1. Proširenje podzemnog skladišta gasa Banatski Dvor.** Ovo podzemno sezonsko skladište zemnog gasa pušteno je u rad 2011. godine.<sup>517</sup> Nalazi se 22 km od Zrenjanina i 44 km od glavnog razvodnog čvora u Gospođincima. Izgrađeno je u okviru iscrpljenog gasnog polja, čiji je kapacitet bio 3,3 milijarde m<sup>3</sup> prirodnog gasa. Ono trenutno ima radnu zapreminu skladištenja gasa od 450 miliona m<sup>3</sup>. Tehnički posmatrano, skladište gasa raspolaže sa 30 bušotina. Od toga broja, osamnaest bušotina su u funkciji utiskavanja i povlačenja gasa iz njega.<sup>518</sup> Skladište gasa prostire se na prostoru od 54 km<sup>2</sup> porozne peščarske stene, na dubini od 1000 do 1200 metara ispod površine tla. Objekat je u vlasništvu kompanije „Gasprom Germania GmbH“ (51%), i srpskog preduzeća „Srbijagas“ (49%).

<sup>514</sup> Ilić S., Kostović S., „Skladištenje gasa u funkciji sigurnog snabdevanja gasom gasnih kompanija u JIE sa posebnim osvrtom na mogućnost podzemnog skladištenja Banatski Dvor“, Sarajevo, 2007.

<sup>515</sup> Pored ovi ležišta razmatraju se ležišta zemnog gasa u: Srbrobranu, Tilvi.

<sup>516</sup> Izvor: ilustracija preuzeta iz većeg broja stručni radova iz ove oblasti.

<sup>517</sup> PSG Banatski Dvor je povezano i sa gasovodnim razvodom u Elemiru, prečnika 200 mm. U izgradnju samog skladišta uloženo je 30 miliona evra.

<sup>518</sup> Jedna bušotina služi za utiskivanje slojne vode, a 11 bušotina u cilju kontrole stanja ležišta.

Radna kompresorska stanica ima u svom sastavu, instalirana dva kompresora agregata.<sup>519</sup> Njihov radni pritisak iznosi na: usisu 30–35 bara, a na potisku do 150 bara. Funkcionisanje skladišta gasa bazira se na dve linije: utiskivanje i proizvodnje gasa. Linija za utiskivanje zemnog gasa čini: oprema za prečišćavanje gasa (separatori, filteri), merna i sigurnosna oprema. Kapacitet punjenja (ubrizgavanja) ovog fluida, dimenzionisan je na iznosi do 5.5 miliona m<sup>3</sup>/na dan (230 000 m<sup>3</sup>/h). Linija za izuzimanje (proizvodnju) gasa ima opremu za prečišćavanje gasa (separatori, filteri), merna i sigurnosna oprema, oprema za sušenje gasa i opremom regeneraciju glikola.<sup>520</sup> Ukupan kapacitet povlačenja (pražnjenja) gasa iz skladišta je obima do 10 miliona m<sup>3</sup>/dnevno (415 000 m<sup>3</sup>/h).

Sam dvosmerni gasovod Gospođinci–Banatski Dvor,<sup>521</sup> koji je tom prilikom izgrađen, omogućio je povezivanje ovog podzemnog skladišta sa transportnim gasovodnim sistemom države. Dužina gasovoda iznosi 42,5 km. Njegov prečnik je 508 mm, a maksimalni radni pritisak je od 75 bara. Ukupna vrednost celokupne investicije, skladišta sa gasovodom, iznosi oko 100 miliona evra.

U narednom periodu višegodišnjim planom predviđeno je proširenje podzemnog skladišta Banatski Dvor.<sup>522</sup> Nakon njegovog proširenja očekuje se da će tada ukupan kapacitet skladišta biti udvostručen. Tačnije, predviđa se da će kapacitet podzemnog skladišta iznosi 1 milijardu m<sup>3</sup> gasa.<sup>523</sup> U tom slučaju, ukupan kapacitet povlačenja zemnog gasa iz ovog skladišta biće 10 miliona m<sup>3</sup>/dnevno, a istovremeno kapacitet ubrizgavanja ovog fluida oko 7 miliona m<sup>3</sup> na dan. Procenjuje se da će ukupna investicija u proširenje ovog skladišta iznositi između 65 i 70 miliona evra. Ovim finansijskim iznosom nije obuhvaćena izgradnja neophodnog pratećeg cevovoda za povezivanje na magistralni gasovodni sistem. Procena je da bi se ova izgradnja mogla realizovati za 1 ili 2 godine.

**2. Izgradnja skladišta Ostrovo.** Ovo je potencijalno podzemno skladište zemnog gasa u okviru gasnog polja u selu Ostrovo na Dunavskoj Adi. Tačna lokacija je 5 km od mesta Kostolac. To je ležište gasa koje je otkriveno 2001. godine. Gas u ležištu naftno gasnog polja Ostrovo pripada grupi suvih gasova sa povećanom sadržinom azota. Nakon eksploatacije gasa iz njega, ležište se može da prevede u funkciju skladišta. Reč je o mogućnosti skladištenja oko 160 milijuna m<sup>3</sup> gasa.<sup>524</sup> Predviđa se da bi ovaj objekat u prvom redu bilo u funkciji skladištenja gasa za domaće potrebe.

Ležište pripada tipu slojnih, zasvođenih ležišta, delom tektonskih ekranizovanim sa malom dubinom zaleganja na 681–691m i ekspozicionim energetskim režimom. „Kolektor stene ovoga ležišta čine sitronzni, dobro sondirani, slabo vezani kvarcni pešćar, dobrih petrofizički karakteristika. Prema vrednosti poroznosti svrstavaju se vrlo dobre kolektore, a prema vrednosti propusnosti pripadaju srednje propusnim stenama.“<sup>525</sup> Sva sprovedena ispitivanja, posebno hidrodinamička merenja su pokazala da se reč o veoma kvalitetnom potencijalnom skladištu gasa.<sup>526</sup> Nakon eksploatacije od 4 do 5 godina ležište može da se prevede u funkciju skladišta gasa.

Izgradnja skladišta bi se realizovala u dve faze, u cilju što ekonomičnije eksploatacije. U prvoj fazi, skladište bi bilo kapaciteta od 57 miliona m<sup>3</sup> sa dnevnim kapacitetom utiskivanja/proizvodnje od 360000 Sm<sup>3</sup>/dan. Kapacitet po svakoj od tri bušotine bi iznosio 120000 Sm<sup>3</sup>/dan. U drugoj fazi, predviđeno je da se u drugoj fazi izgradi još šest bušotina. Tada bi skladište imalo svoj maksimalni kapacitet, približno do 160 miliona m<sup>3</sup>. Dnevni kapacitet, utiskivanja/proizvodnje iznosi bi 945000 Sm<sup>3</sup>/dan. U prvoj fazi bila bi instalirana jedan kompresorska jedinica snage od 550 KW, a

<sup>519</sup> Reč je o dva dvostepena kompresorska agregata koji imaju instaliranu snagu od 2,5 MW i 3,5MW.

<sup>520</sup> Zemni gas se suši trietilen glikolom.

<sup>521</sup> Dvosmerni gasovod je sastavni deo PSG. Gasovod ima maksimalan protok fluida prilikom pražnjenja  $Q = 415\,000 \text{ Sm}^3/\text{x}$  (10 000 000 Sm<sup>3</sup>/dan) i punjenja  $Q = 230\,000 \text{ Sm}^3/\text{x}$  (5 500 000 Sm<sup>3</sup>/dan).

<sup>522</sup> Reč je o ležištima u neposrednoj blizini Banatskog Dvora: Žitište (kapaciteta 400 miliona m<sup>3</sup>) polju Begejci 1, 2 i 3 (kapaciteta od 180 do 350 miliona m<sup>3</sup> gasa).

<sup>523</sup> Ova količina gasa predstavlja trenutno gotovo jednu polovinu ukupne godišnje potrošnje Srbije.

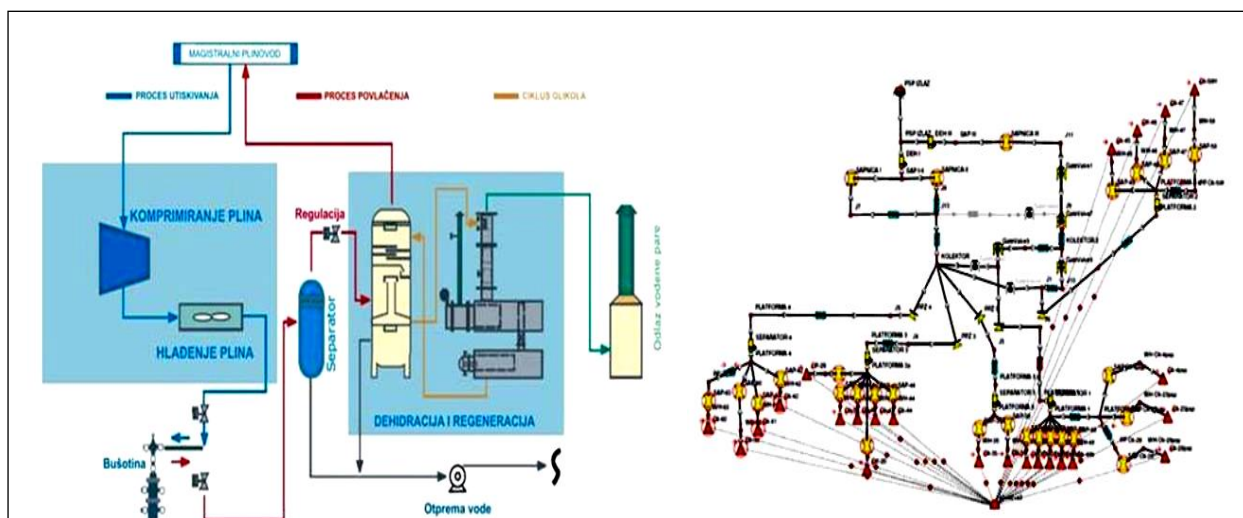
<sup>524</sup> Geolozi će dati konačnu procenu o kapacitetu ovog skladišta nakon detaljnog istraživanja i testiranja lokacije. Na osnovu analize izračunate su najverovatnije geološke i pridobive rezerve gasa gasnoga ležišta polja 233,08 miliona m<sup>3</sup>, odnosno 201,8 miliona m<sup>3</sup>.

<sup>525</sup> Danilović D. i dr., „Mogućnost korišćenja gasnog ležišta naftno-gasnog polja Ostrovo kao podzemnog skladišta“, II Međunarodna konferencija o razvoju gasne industrije u tranzitnim zemljama Jugoistočne Evrope, Beograd, 2007.

<sup>526</sup> Pri merenju proizvodnih karakteristika bušotine registrovana je zanemarljiv pad ležišnog pritiska gasa.



u drugoj fazi još dve jedinice. Predviđene su dve proizvodne linije. Šematski prikaz rada jednog klasičnog podzemnog skladišta zemnog gasa u komprimovanom stanju ilustrovan je na slici 4.97.



Slika 4.97. Šema procesa rada i hidrodinamički model podzemnog skladišta gasa<sup>527</sup>

**3. Izgradnja skladišta Itebej.** Potencijalno skladište predstavlja naftno-gasno polje Itebej koje se nalazi u srednjem Banatu, 30 km severoistočno od Zrenjanina.<sup>528</sup> U okviru naftnogasnog polja Itebej, ležište zemnog gasa  $g_3$  predstavlja njegov glavni eksploatacioni objekat. Eksploatacija iz ovog ležišta počela je 1983. godine. Početni pritisak gasa u bušotini iznosio je pre početka eksploatacije 154,2 bara, a tokom vremena eksploatacije on je opadao.<sup>529</sup> Krajem 2003. godine nizak ležišni pritisak, uslovio je da mesečna proizvodnja gasa iz ležišta iznosi samo  $650\ 000\ m_s^3$ . Nedovoljna ležišna energija, nizak pritisak gasa u bušotini, uslovio je u cilju eksploatacije da se na ležištu pristupi kompresorskoj eksploataciji od početka 2008. godine. Uvođenjem kompresora u proces eksploatacije, mesečna proizvodnja zemnog gasa povećala se na  $1,5\ m_s^3$  miliona. Trenutno, ovo delimično iscrpljeno gasno ležište, predstavlja najveći ekonomsko-tehnički potencijal za izgradnju novog podzemnog skladišta zemnog gasa u Srbiji.

### 2.1.4. Primer: Okvirni koncept izgradnje novog podzemnog skladišta u delimično iscrpljenom ležištu zemnog gasa na primeru gasnog polja Itebej u cilju bolje snabdevenosti Srbije

Prednost prevođenja ležišta Itebej ' $g_3$ ' u funkciji skladišta zemnog gasnog ogleda se u tome da je: „energetski režim u ležištu ekspanzioni; nema potrebe za dodatnim jastučnim gasom; relativno mala količina utakanja ležišne vode; čvrsta kolektor stena; relativno povoljna dubina ležišta. Negativni karakteristike ovog skladišta bile bi: lokacija ležišta i potrebe gradnje novih cevovoda do magistralnog gasovoda; postoji izražena heterogenost ležišta; relativno mala debljina izolator stena; slabljenje produktivnost bušotina.“<sup>530</sup>

<sup>527</sup> Izvor: dokumentacija PSP Okoli (Hrvatska). Kao primer aktivnosti procesa rada u podzemnom skladištu zemnog gasa *Okoli*: ubrizgavanje, povlačenje (ispumpavanje) i prečišćavanja zemnog gasa.

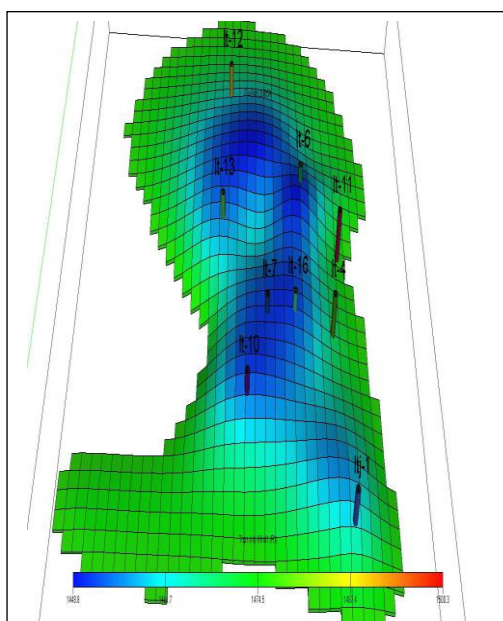
<sup>528</sup> Lokacija naftno-gasnog polja se nalazi u blizu srpsko-rumunske granice u blizini mesta Srpski Itebej, opština Žitište. Ovo ležište je otkriveno 1949. godine. Prve istražne bušotine su realizovane 1963. i 1971. godine. Prve rezultate i potvrdu naftno-gasnog polja dala su istraživanja 1978. godine. Naftno-gasno polje ima u svom sastavu jednu naftnu i osam gasnih bušotina.

<sup>529</sup> U periodu eksploatacije 1983–1988. iz ležišta je eksploatisano  $700941221\ m_s^3$  gasa. Pritisak gasa je u ležištu pao na 77,32 bara 1998. godine.

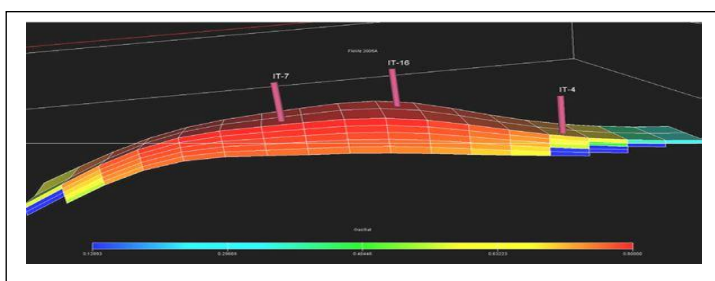
<sup>530</sup> Jovičić D., *Gasno ležište Itebej 'g3' u funkciji podzemnog skladišta gasa*, magistarski, RGF, Beograd, 2009, str. 80.

U cilju što potpunijeg sagledavanja jednog ležišta u funkciji skladišta, predstavlja i primena adekvatne metode simulacije ponašanja tog ležišta. Simulacija obuhvata sagledavanje procesa injektiranja (utiskivanja) i povlačenja (proizvodnje) gasa iz ležišta.<sup>531</sup> Ceo proces funkcionisanja jednog ležišta gasa prikazuje pomoću odgovarajućeg modela. Kao uspešan metod simulacije ponašanja ležišta koristi se matematički model. Na taj način, prezentuju se i svi mogući nedostaci i problemi u funkcionisanju skladišta. Tako da je na osnovu tih saznanja moguće izvršiti i korekciju budućeg rada ležišta i skladištenja gasa u njemu. Za simulaciono matematički model koristi se niz parametara koji su prikupljeni pre i za vreme i posle eksploatacije ležišta za formiranje modela skladišta. Parametri koji se koriste u analizi jednog ležišta svrstavaju se u kategorije: geološki model ležišta,<sup>532</sup> geometrijski parametri; geološko-tehnički parametri i karakteristike ležišta.

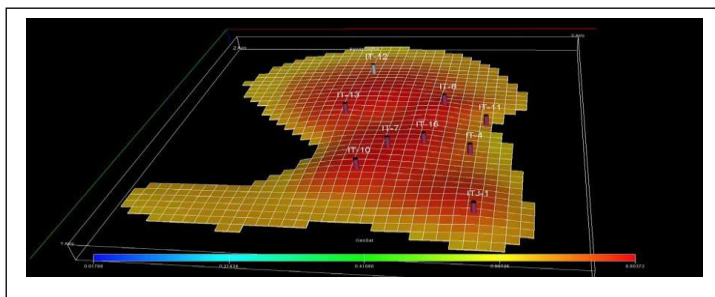
Na osnovu ulaznih parametara pomoću adekvatnog simulacionog matematičkog modela dat je geološki model povlate ležišta Itebej (slike: 4.98; 4.99; 4.100). Na osnovu svih raspoloživih pristupnih podataka pristupilo se prognozi ponašanja ležišta Itebej 'g3' u fazi skladištenja gasa u njemu.<sup>533</sup> Procenjeni mogući maksimalni kapacitet ovog skladišta iznosi oko 840 miliona m<sup>3</sup> gasa na pritisku od 154 bara u ležištu.<sup>534</sup> U ovom skladištu nije potreban jastučni gas, jer u ležištu vlada ekspanzioni režim.<sup>535</sup> Za funkcionisanje ovog ležišta kao skladišta potrebno je i izbušiti dvadesete novi bušotina. Procena je da bi se dnevno crpilo gasa iz skladišta između 800000 i 1 milion m<sup>3</sup>/dan.



Slika 4.98. Povlata ležišta Itebej 'g3' sa položajem bušotina<sup>537</sup>



Slika 4.99. Profil zasićenja gasom ležišta Itebej 'g3'<sup>536</sup>



Slika 4.100. Krajnje zasićenje ležišta Itebej 'g3' nakon ciklusa injektiranja<sup>538</sup>

Ocena uspešnosti funkcionisanja svakog skladišta zemnog gasa u značajnoj meri zavisi od ekonomskih pokazatelja. Jedan od najznačajniji ekonomskih parametara je sama cena njegove

<sup>531</sup> Simulacija se sprovodi na osnovu svih geološko tehnoloških parametara jednog ležišta. Simulaciono matematičkim modelom vrši se simulacija procesa u samom potencijalnom ležištu u funkciji skladišta gasa.

<sup>532</sup> Geološki model ležišta Itebej urađen je 2002. u Sektoru razrade ležišta nafte i gasa u okviru preduzeća NIS-Naftagas.

<sup>533</sup> Za prognozu ponašanja ležišta korišćen je PROGNOSIS fajl, u radu Jovičić D., *Gasno ležište Itebej 'g3' u funkciji podzemnog skladišta gasa*, Magistarski rad, RGF, Beograd, 2009.

<sup>534</sup> Ovaj pritisak gasa je iznos koji je bio u skladištu pre početka njegove eksploatacije. U nekim razmatranjima, koje nisu dokazana, procenjuje se da skladište može da ima kapacitet i od 1 do 1,2 milijarde m<sup>3</sup>.

<sup>535</sup> Za razliku od ovoga ležišta, u ležištu Banatski Dvor vlada vodo naporni režim. Iz ovog razloga u skladištu Banatski Dvor je neophodan jastučni gas.

<sup>536</sup> Izvor: *Tehnička dokumentacija istraživanja za podzemno skladište gasa, Gasno ležište Itebej 'g3' NIS-Naftagas.*

<sup>537</sup> Izvor: *Tehnička dokumentacija istraživanja za podzemno skladište gasa „Gasno ležište Itebej 'g3'“ NIS-Naftagas.*

<sup>538</sup> Izvor: Jovičić D., *Gasno ležište Itebej 'g3' u funkciji podzemnog skladišta gasa*, RGF, Beograd, 2009, str. 117. Simulacioni model krajnjeg maksimalnog zasićenja skladišta gasa. Maksimalni kapacitet skladištenja gasa

izgradnje. Tako da se prilikom donošenja odluke o novom skladištu, posebna pažnja u analizi i razmatranju, posvećuje troškovima njegove izgradnje. Prvo se na osnovu projekta sagledavaju neophodni tehničko tehnoloških radova koji treba da se sprovedu, a zatim se radi specifikacija opreme koju treba ugraditi, prilikom izgradnje skladišta. Nakon toga, tačno se utvrđuju i specificiraju jedinični radovi i oprema, koji se množi sa njihovom jediničnom cenom. Dobijeni pojedinačni iznosi svih pozicija se sabiraju, i na taj način se dobija konačna cena izgradnje skladišta (tabela 4.23).

Tabela br. 4.23. Orijentaciono potrebna ekonomska sredstva za izgradnju skladišta Itebej<sup>539</sup>

	Opis aktivnosti	Jednačina vrednosti USD	Ukupna vrednost u USD
1	Izrada bušotina (20 bušot.)	1.600.000.	32.000.000.
2	Opremanje bušotina	500.000.	10.000.000.
3	Nadzemna oprema bušotina	150.000.	3.000.000.
4	Separatorske sekcije	100.000.	200.000.
5	Merne stanice	50.000.	1.000.000.
6	Dehidracija	100.000	200.000
7	Kompresorske jedinice	1.750.000.	3.500.000.
8	Elektro-energetski objekti	200.000.	200.000.
9	Automatika i instrumentacija	30.000.	600.000.
10	Zgrade i temelji	200.000.	200.000.
11	Putevi	100.000.	2.000.000.
12	Ostali objekti		1.100.000.
13	Carine i porezi		3.000.000.
14	Transport opreme i osiguranje		2.000.000.
15	Projektovanje i nadzor		3.000.000.
16	Otkup zemljišta i odštete		500.000.
	Ukupno \$		62.500.000.

Autor na osnovu rada Jovičić D., „Gasno ležište Itebej 'g3' u funkciji podzemnog skladišta gasa“

Na osnovu jedne sprovedene analize, prema tadašnjim cenama, ukupan trošak izgradnje podzemnog skladišta Itebej, iznosio je 60 miliona \$.<sup>540</sup> Danas, zbog promene cene i izmene neki od aktivnosti, orijentaciona okvirna cena izgradnje ovog objekta iznosi oko 62,5 mil. \$. U nekim studijama, procenjuje se da izgradnja ovog skladišta može da dostigne iznos od 65 miliona evra.

## 2.2. Primena savremenog načina skladištenja velikih količina tečnog zemnog gasa u funkciji pouzdanog snabdevanja tržišta Balkana

Kriogeno skladištenje zemnog gasa, realizuje se primenom tehnologije skladištenja ovog energenta u tečnom agregatnom stanju u specijalnom izgrađenom skladišnom prostoru. Ovaj način skladištenja je uslovno relativno novi pristup u rešavanju ove aktivnosti u logističkom lancu transporta, skladištenja i distribucije gasa. Metoda kriogenog skladištenja zemnog gasa bazira se na tehnološkom procesu prečišćavanja i prevođenja gasovitog zemnog gasa u tečno agregatno stanje. Nakon procesa prečišćavanja zemnog gasa, (tada se u njemu nalazi oko 99% metana) on se prevodi u tečno stanje. Njegova gustoća u tečnom stanju je 430 kg/m<sup>3</sup>, što znači da u 1m<sup>3</sup> volumenskog prostora staje 430 kg tečnog gasa ili 600 m<sup>3</sup> u gasovitom stanju pri standardnim uslovima.<sup>541</sup> Utečnjen zemni gas (metan), kao takav skladišti se u specijalno konstruisanim i izgrađenim

<sup>539</sup> Okvirna analiza potrebnih ekonomskih sredstava. Na osnovu studije Jovičić D., *Gasno ležište Itebej 'g3' u funkciji podzemnog skladišta gasa*, magistarski RGF, Beograd, 2009, str. 118, usaglašeno sa trenutnim cenama.

<sup>540</sup> Ova analiza cene izgradnje podzemnog skladišta je urađena sredinom prve decenije XXI veka. Dobijanje tačne sadašnje cene izgradnje skladišta, podrazumeva uzimanje u obzir trenutni cena za svaku od pozicija. Okvirno posmatrano, današnja cena izgradnje skladišta, izražena u dolarima, ne bi bila značajno različita.

<sup>541</sup> Preciznije, u jedan m<sup>3</sup> volumenskog prostora skladišta staje 599,72 m<sup>3</sup> zemnog gasa u gasovitom agregatnom stanju. Težina 1 m<sup>3</sup> tečnog zemnog gasa je 430 kg. Ogrevna moć LNG iznosi 49,1 MJ/kg.

skladišnim prostorima, različitog tehničkog i tehnološkog rešenja i kapaciteta na temperaturi od -162°C. Ovako uskladišten gas može bezbedno i pouzdano da se čuva u njima duži vremenski period.

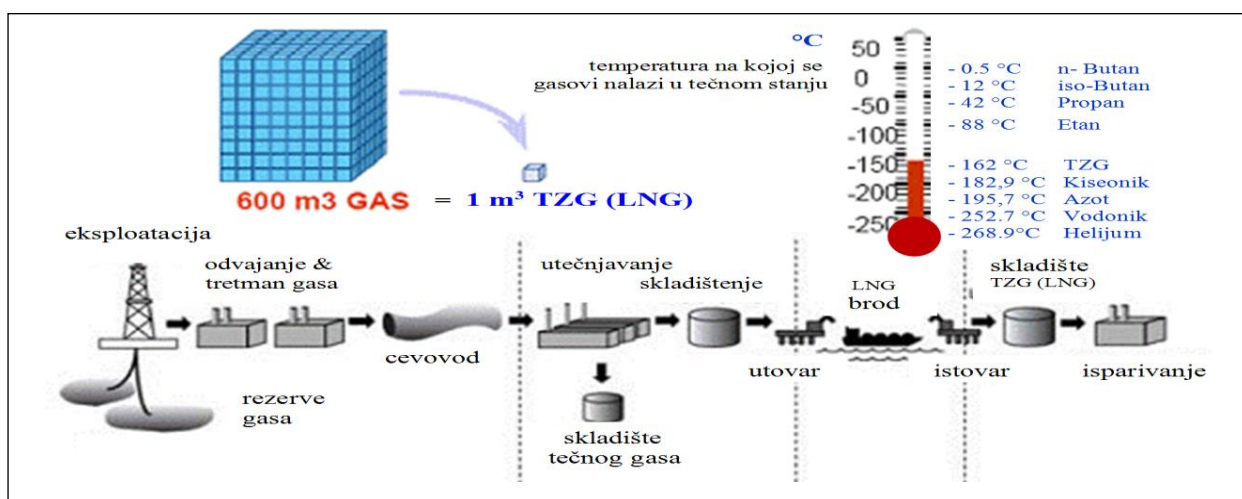
Sama podela i klasifikacija, skladišta za LNG, može da se uradi na osnovu više različitih obeležja i karakteristika. Istovremeno, grupisanje i raspored skladišta u određene skupine ne predstavlja njihovo konačno određivanje, jer jedan isti tip skladišnog prostor može da pripada i drugoj definisanoj grupi ili da se sama tehnika njegove izgradnje delimično primeni kod dugi skladišta.

a) Posmatrano prema mestu i poziciji u lancu snabdevanja, razlikujemo mogućnost: 1) skladištenja gasa u rezervoarima koja se nalaze izgrađena u okviru LNG terminala (otpremni i prijemni) i 2) skladištima (tankovima) instaliranim na LNG brodovima.<sup>542</sup>

b) Posmatrano prema tipu konstrukcijske zaštite, razlikuju se rezervoari sa: jednostrukom, dvostrukom i potpunom zaštitom. Poseban tip skladišnog prostora, sa aspekta njegove konstrukcije je rezervoara sa membranom.

c) U odnosu na nivo tla, rezervoari za tečni zemni gas mogu da budu: nadzemni, polu ukopani i podzemni. U područjima sa izraženim seizmičkim potresima i problemima vezanima za nedostatak površine, kriogena skladišta se grade ispod površine tla.<sup>543</sup>

d) Posmatrano prema lokaciji, mestu i načinu izgradnje, skladišta za tečni zemni gas, mogu da budu: 1) nadzemna (konvencionalna) i 2) podzemna skladišta. 1) Nadzemna skladišta LNG mogu biti rezervoari sa: jednostrukom, dvostrukom i potpunom zaštitom. Ova skladišta su najčešće u primeni.<sup>544</sup> Njihova održavanje je lakša od podzemni skladišta, a cena izgradnje je niža. 2) Podzemna skladišta LNG mogu biti: rezervoari i kaverne.<sup>545</sup> Podzemni rezervoari su cilindrični uspravni sudovi (koji imaju membranu, krutu izolacija, betonski zid) i mogu biti tri različita tipa: sa krovom iznad zemlje, podzemni rezervoari i smešteni u betonskom otvoru. Njihova izgradnja je skuplji su od gradnje nadzemni rezervoara. Ovaj tip gradnje skladišta, omogućuje izgradnju rezervoar na manjem međusobnom rastojanju. b) Podzemna skladišta LNG u kavernama, su rezervoari koji se nalaze u stenama na većim dubinama ispod površine. Na tim dubinama, hidrostatski pritisak kontrolisanog sistema podzemne vode je nešto veći od neophodnog potrebnog pritiska, koji je potreban za održavanje uskladištenog gasa u tečnom stanju pri pritisku okoline.



Slika 4.101. Karakteristični elementi procesa transporta i skladištenja gasa u tečnom stanju<sup>546</sup>

Uopšteno posmatrano, podela svih kriogeni skladišta za tečni zemni gas (TZG-LNG), koja se upotrebljavaju, gledano iz ugla same njihove mobilnosti, a imajući u vidu njihovu poziciju i mesto u

<sup>542</sup> Detaljno o skladištenju gasa u tankovima instaliranim na LNG brodovima, bilo je reči u predhodnom delu ove glave.

<sup>543</sup> Podzemni kriogeni rezervoari najčešće se grade u Japanu, Koreji, ... a nadzemni u Evropi. Prvi počeci izgradnje podzemni rezervoara za LNG bilo je vezano za njihovu izgradnju u zaleđenom tlu. Problemi koji su se javili u njihovom eksploatacionom radu (naprsnuća, veliki isparenja, pomeranja tereta, ...) doveli su do odustajanja od njih.

<sup>544</sup> U svetu ima preko 200 ovakvi skladišta. Najviše u Japanu.

<sup>545</sup> Gregorić V., *Skladištenje i uplinjavanje prirodnog plina*, RGNF u Zagrebu, Zagreb 2013. str. 12-34.

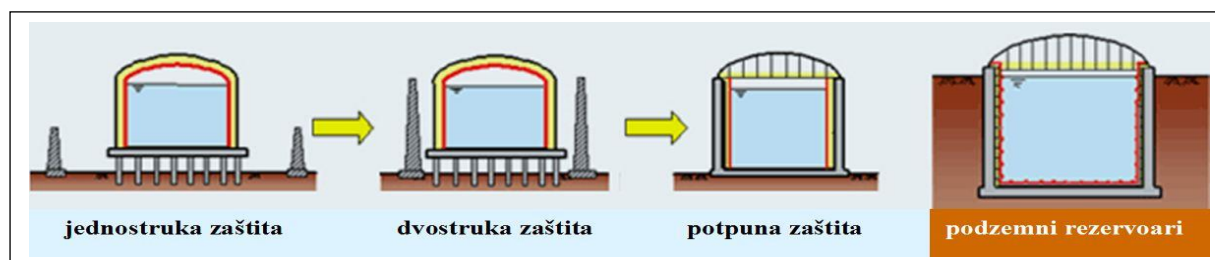
<sup>546</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti.

samom logističkom lancu, moguće je izvrši grupisanje u dve osnovne celine. Ovakvim pristupom ovom pitanju, sva kriogena skladišta LNG, koja se koriste u logistikom lancu, uslovno su svrstana u: a) stabilna kriogena skladišta i b) transportna (mobilna) kriogena skladišta (posude).<sup>547</sup> Samu grupu stabilni kriogeni skladišta za tečni zemni gas čine dve pod grupe: 1. kriogeni (nadzemnim i podzemnim) rezervoari i 2. kaverne (veštačke i prirodne) kao skladišta tečnog zemnog gasa.

### 2.2.1. Stabilni kriogeni rezervoari za skladištenje tečnog zemnog gasa u funkciji pouzdanog snabdevanja tržišta ovim energetom

Osnovna uslovna podela, kriogeni rezervoari za skladištenje LNG, posmatrano prema tipu konstrukcijske zaštite, može da se izvrši na: 1. klasične kriogene rezervoare i 2. mebranske kriogene rezervoare. Klasični kriogeni rezervoari, posmatrano prema tipu njihove konstrukcijske zaštite, mogu da budu sa: a) jednostrukom, b) dvostrukom i c) potpunom zaštitom (slika 4.101).<sup>548</sup> Posebno mesto i značaj u razmatranju skladištenja LNG-a, zauzimaju kriogeni rezervoari mebranskog tipa, koji u svojoj osnovi imaju nešto drugačije konstruktivno-tehničko rešenje.

**1. Kriogeni rezervoari**, kostrukciono posmatrano, pored svog osnovnog zida skladišnog prostora, mogu da imaju i drugi konstruktivni zid u funkciji njegove zaštite.<sup>549</sup> Osnovni zid, kod svih ovi kriogeni rezervoara, sastoji se od tri elementa (segmenta): unutrašnjeg zida, izolacije i spoljnog zida. Unutrašnji zid je od čelika, tj. legure dva materijala (91% čelika i 9% nikla (ili aluminijuma)). Ova struktura unutrašnjeg čeličnog zida, u cilju je pojačavanja njegove otpornosti na niske temperature LNG u njemu. Između unutrašnjeg i spoljnog zida<sup>550</sup> nalazi se adekvatna izolacija. Ova tri elemeta, zajedno čine osnovni zid kriogenog rezervoara. Na vrhu osnovnog zida postavljen je krov (kupola) rezervoara. Drugi zaštitni zid rezervoara može biti od betona, čelika ili aliminijuma.



Slika 4.101. Tipovi kriogeni rezervoara za tečni gas prema konstrukcijskoj zaštiti i lokaciji<sup>551</sup>

**a). Rezervoar sa jednostrukom zaštitom.** Ovaj tip kriogenog rezervoara ima samo osnovni zid. Osnovni zid rezervoara tako je tehnički konstruisan da njegov unutrašnji segment zida može da izdrži niske temperature skladištenja LNG ( $-192^{\circ}\text{C}$ ). Unutrašnji zid rezervoara, izrađen je najčešće od 9% nikl čelika (ili aluminijuma), da bi mogao da izdrži niske temperature gasa. Spoljni zid ima funkciju zadržavanja i izolacije gasa (slika 4.102). Projektom, ovaj tip skladišnog rezervoara, nema predviđenu konstruktivnu barijeru za zadržavanje uskladištene materije u slučaju havarije rezervoara

<sup>547</sup> Kao što je već bila reč u ovom radu, samu grupu transportni kriogeni skladišta, čine posude koje služe za skladištenje LNG u realizaciji same faze njegovog prevoza. Sve se one mogu uslovno svrstati u dve pod grupe: 1. sudovi koji su instalisani i nalaze se u sklopu samog prevoznog sredstvom (a. broda, b. kamiona, c. železničkog vagona) i 2. mobilne kriogene skladišne posude (tankovi, rendžeri, mobilne posude, boce) koje služe za skladištenje, prevoz i često za krajnju upotrebu LNG od strane potrošača. O sudovima instalisanim na brodovima, kao najznačajnijem skladišnom prostoru u funkciji snabdevanja tržišta iz ove grupe, detaljnije je bilo reći u prethodnom delu ovoga rada.

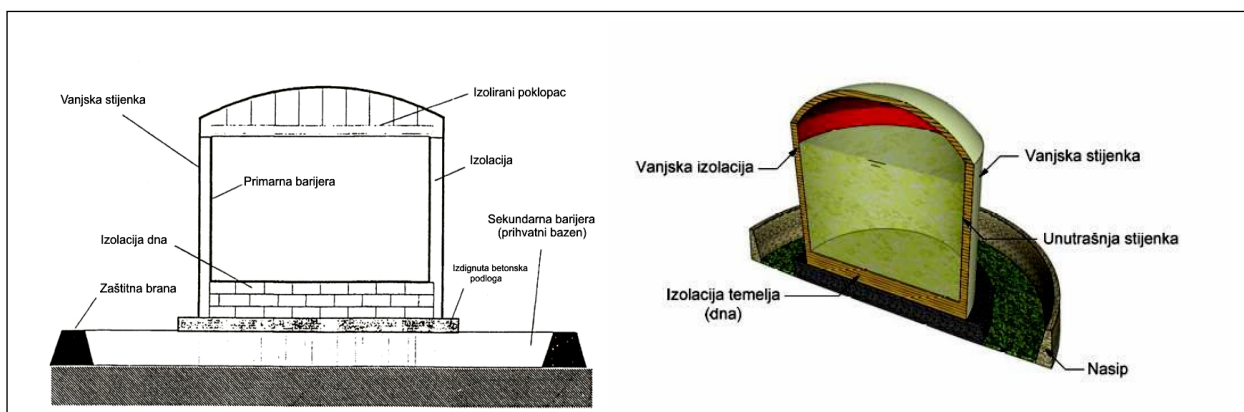
<sup>548</sup> Detaljnije sagledavanje kriogenog skladištenja metana sa aspekta mesta gde se oni nalaze, može da se vidi u III delu.

<sup>549</sup> Drugi zid poseduju rezervoari sa dvostrukom i potpunom zaštitom, različitog tehničkog rešenja.

<sup>550</sup> Spoljašnji (primarni) zida, može biti izgrađen od: betona, ugljeničkog čelika.

<sup>551</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti.

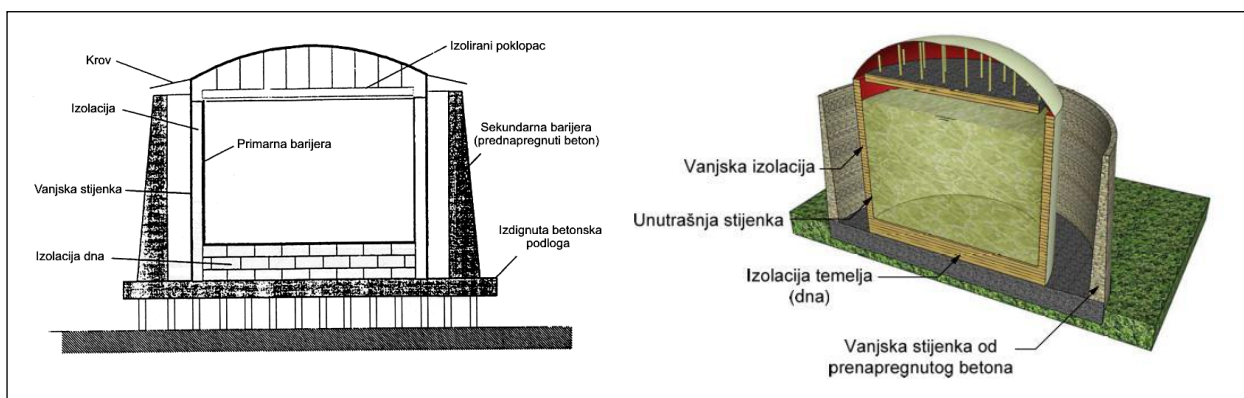
i nekontrolisanog isticanja LNG.<sup>552</sup> Iz bezbednosni razloga, propisima je određeno, da mora da postoji veće prostorno rastojanje između samih rezervoara i objekata u neposrednom okruženju.



Slika 4.102. Rezervoari sa jednostrukom zaštitom<sup>553</sup>

Skladišni rezervoar ovoga tipa, ima prednost u tome što se on: gradi brže u odnosu na druge rezervoare;<sup>554</sup> sama njegova izgradnja je finansijski najprijhvatljivija;<sup>555</sup> ima najniže kapitalne troškove po jedinici uskladištenog gasa; ... Nedostatak ovog tipa rezervoar, ispoljava se u činjenici da on: ne pruža dovoljnu zaštitu u slučaju ekcesa i isticanja gasa; veliki prostorni zaštitni pojas oko samoga rezervoara; veći troškovi održavanja i remonta; niži stepen otpornosti na spoljne sile u odnosu na druge rezervoare; problem oko odstranjivanja atmosferskih padavina iz okruženja; ...

**b) Rezervoar sa dvostrukom zaštitom.** Skladišni rezervoara ovog tipa je konstrukcijski projektovan tako da ima dva samonosiva zida. Tehnički posmatrano, pored unutrašnjeg zida rezervoara, koji je istog tehničkog rešenja kao rezervoar sa jednostrukom zaštitom, postoji celim obimom oko njega, na određenom rastojanju, izveden još jedan spoljni zaštitni zid.<sup>556</sup> Funkcija ovog zaštitnog zida je da u slučaju havarije i isticanja LNG-a iz skladišnog prostora, on zadrži celokupnu količinu uskladištenog gasa u međuprostoru između dva zida. U toj situaciji, on onemogućuje dalje nekontrolisano širenje LNG-a u prostoru. Sprečava dalje slobodno isticanje LNG kao tečnosti, ali ne i širenje putem njegovog isparavanja. Međuprostor između dva zida obezbeđen je adekvatnim pumpama za crpljenje atmosferskih padavina iz njega, u slučaju kad ovaj prostor nije natkriven.



Slika 4.103. Rezervoari sa dvostrukom zaštitom<sup>557</sup>

<sup>552</sup> Projektovanje i instalisanje rezervoara vrši se u skladu sa propisanim normama i regulacijama. U Evropi je u primeni Euronorma (EN) 14620, Installation and equipment for LNG – General characteristics of liquefied natural gas. Kod ovih rezervoara je predviđena samo zemljana barijera (nasip) kao kontrola u slučaju ekcesa i nekontrolisanog isticanja.

<sup>553</sup> Izvor, Simon K., *Skladištenje i potrošnja energenata – skladištenje prirodnog plina i nafte*, RGNF, Zagreb 2010.

<sup>554</sup> Standar. vreme gradnje rezervoara je 3 god. Ovaj tip se gradi brže nekoliko meseci, nego isti sa potpunom zaštitom.

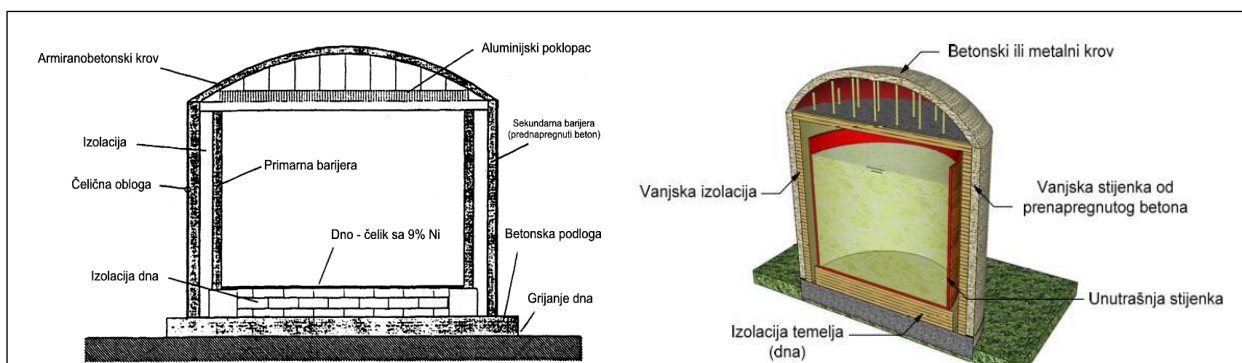
<sup>555</sup> Cena izgradnje ovog tipa rezervoara je za oko 30% niže od cene izgradnje rezervoara sa potpunom zaštitom.

<sup>556</sup> Zaštitni zid se gradi od pre napregnutog betona ili čelika. Rastojanje između dva zida čine slobodam međuprostor.

<sup>557</sup> Izvor: Gregorić V., *Skladištenje i uplinjavanje prirodnog plina*, RGNF u Zagrebu, Zagreb 2013, str. 12–34.

Prednost korišćenja ovog tipa rezervoara je u tome što on: u slučaju havarije, omogućuje veću sigurnost i bezbednost u odnosu na rezervoar sa jednostrukom zaštitom; ima niže troškove izgradnje od rezervoara sa potpunom zaštitom istog kapaciteta; omogućuje bolju fizičku zaštita skladišta od spoljni fizički uticaja; kraći rok njegove izgradnje u odnosu na rezervoare sa potpunom zaštitom. (slika 4.103) Nedostaci ovi rezervoara se manifestuju, kroz činjenice da: u slučaju ekcesa ne omogućuju širenje isparenja gasa; imaju veću fizičku težinu i opterećenje temelja; tehnički su predviđeni da rade na nižim pritiscima u odnosu na rezervoare sa potpunom zaštitom; veće troškove održavanja; moraju da imaju opremu za pretakanje vode iz međuprostora.

**c) Rezervoari sa potpunom zaštitom.** Reč je o skladišnom kriogenom prostoru koji je tehnički tako konstruisan, da ima dva međusobno nezavisna zida. Oko osnovnog rezervoara, nalazi se drugi zaštitni zid na rastojanju od 1 do 2 m od unutrašnjeg zida. Iznad osnovnog rezervoara nalazi se kompaktna krovna konstrukcija (slika 4.104). Ta spoljna krovna konstrukcija rezervoara, čvrstom vezom je spojena sa spoljnim zaštitnim zidom. Na taj način, zaštitni zid formira i ima funkciju „omotača, oklopa“ unutrašnjeg skladišta gasa. Nezavisni zid može u potpunosti da zadrži tečni zemni gas u slučaju ekcesnih situacija i spreči njegovo nekontrolisano isticanje. On je u mogućnosti da u potpunosti spreči isticanje tečne i gasne faze LNG-a u slučaju havarije rezervoara. U slučaju nekontrolisanog isticanja tečnog gasa iz osnovnog suda, volumenski prostor zaštitnog omotača, prihvata celokupnu sadržinu. Kompletan zaštitni omotač izrađen je od pre napregnutog betona. Celokupna unutrašnja strana zaštitnog omotača, kod ovog tipa rezervoara, termički je izolovana odgovarajućim materijalom.<sup>558</sup> U odnosu na druga dva tipa rezervoara, on ima instalisanu potpunu dvostruku zaštitu.



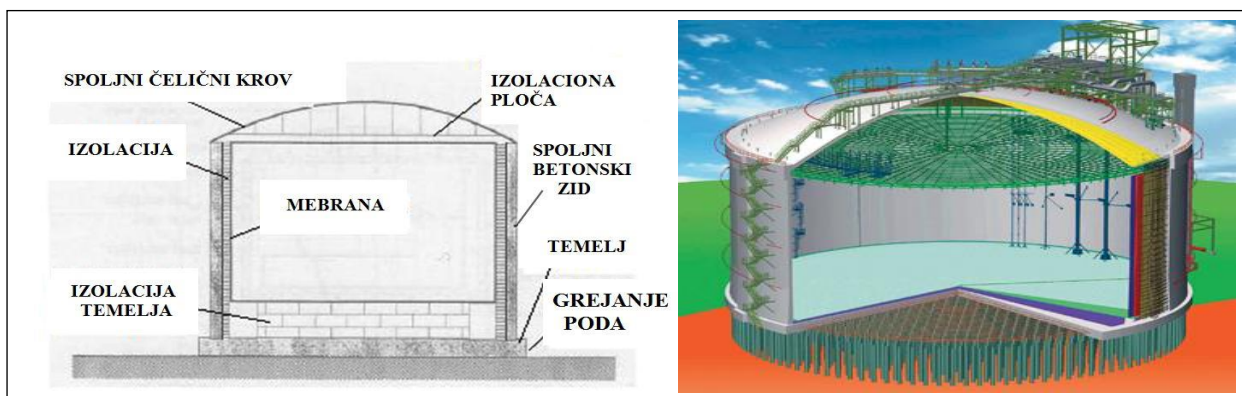
Slika 4.104. Rezervoari sa potpunom zaštitom<sup>559</sup>

Ovaj tip rezervoara se odlikuje: visokim stepenom sigurnosti i bezbednosti; mogućnosti da u slučaju havarije zadrži celokupan tečni gas i isparenja izvan svog prostora; mogućnošću funkcionisanja na višim pritiscima u odnosu na druga dva tipa rezervoara; visok stepen zaštite od spoljnog uticaja. Negativno obeležje ovog tipa skladišta gasa da oni imaju: visoke troškove izgradnje; veliko statičko opterećenje, duži period gradnje.

**2. Kriogeni membranski rezervoari.** Osnova tehničkog rešenja i mogućnosti skladištenja LNG-a u membranskom tanku, prilikom aktivnosti njegovog transporta brodovima primenjena je i kod izgradnje jednog tipa stabilni skladišta. Taj tip skladišnog prostora za tečni gas, koji se bazira na ovom rešenju, naziva se kriogeni membranski rezervoar (slika 4.105). Ova tehnologija izgradnje rezervoara može da se primenjuje kod nadzemni i podzemni skladišta. Osnovu ovog konstrukcionog rešenja rezervoara predstavlja metalna membrana. Membrana čini primarnu zaštitu rezervoara. Ona ima funkciju da onemogući isticanje gasa u tečnom i gasovitom agregatnom stanju iz rezervoara. Membrana je postavljena sa unutrašnje strane rezervoara i u direktnom je kontaktu sa LNG. Naslanja se na sekundarnu zaštitu rezervoara. Sekundarnu zaštitu skladišta čine dva segmenta, izolacija i zid.

<sup>558</sup> Reč o izolaciji perlita.

<sup>559</sup> Ilustracije preuzete iz različitih izvora. Simon K., *Skladištenje i potrošnja energenata – skladištenje prirodnog plina i nafte*, RGNF u Zagrebu, Zagreb 2010.

Slika 4.105. Membranski rezervoar za utečnjeni zemni gas prema EN 1473<sup>560</sup>

Za izgradnju valovite membrane najčešće se koristi nerđajući čelik debljine 1,2 mm.<sup>561</sup> Izrada nabora na membrani može da bude u dve veličine. Membrana se izvodi tehnikom hladnog oblikovanja i utiskivanja. Kao izolacioni materijal za zidove i temelje, najčešće se koristi PVC (polivinil hlorid pena) ili PUF (poliuretanska pena).<sup>562</sup> Sama izolacija nalazi se u „sendviču“ između dve šperploče.<sup>563</sup> Konstrukciono, kod ovih rezervoara, krovna izolacija izvedena je od staklenih vlakana i spušenog plafona. Plafon može biti izrađen od ravni ploča ili valovitog lima.<sup>564</sup> Sekundarni zaštitni zid izrađen je od betona ili čelika. Vremenom, tehnička rešenja ovog tipa rezervoara su usavršavana, vezano za njegove segmente (membranu, izolaciju, betonski zid, krovnu konstrukciju). Posebno mesto i pitanje u funkcionisanju kriogeni rezervoara, predstavlja formiranje (stvaranje) slojeva tečnog gasa različite gustoće (stratifikacija) u njima.<sup>565</sup> Posebno mesto predstavlja komparativna analiza prednosti i nedostataka određenih rezervoara (tabele 4.24. i 4.25).

Tabela 4.24. Komparativna analiza različiti tipova rezervoara za tečni zemni gas<sup>566</sup>

Tip izolacione zaštite rezervoara	Veći potreban prostor tla <sup>567</sup>	Faktor troškova izgradnje	Vreme izgradnje (meseci)	Njihov % udeo na tržištu
Jednostruka	2,5 puta	1,0	22 do 25	64
Dvostruka	1,6 puta	1,5	25 do 30	9
Potpuna	1,5 puta	1,7	31 do 37	9
PC/PC rezervoari	1,5 puta	1,6	33 do 36	1
Nadzemni membranski	1,5 puta	1,5-1,7	30 do 36	6
Podzemni membranski	1,5 puta	3,0	42 do 48	11

Izvor: Simon K., „Skladištenje i potrošnja energenata – skladištenje prirodnog plina i nafte“

**Pomoćna oprema kriogeni rezervoara.** Oprema koja se upotrebljava za nesmetan rad i funkcionisanje rezervoara za skladištenje tečnog zemnog gasa je raznovrsna i mnogobrojna. Ona se može uslovno podeliti u dve grupe: a) oprema koja je u sklopu rezervoara (pumpe unutar rezervoara; sistem za grejanje temelja; sistem kontrole i nadzora; sigurnosni ventili<sup>568</sup>) i b) dodatna oprema i uređaji (instrumenti za merenje (nivoa, pritiska, protoka, temperature); protiv požarna oprema; ventilaciona oprema).

<sup>560</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti.

<sup>561</sup> Najčešće je reč o čeliku ASTM 240 tip 304.

<sup>562</sup> Pri izrade izolacije od PVC, njena gustoća se kreće od 65 do 90 kg/m<sup>3</sup>. Kod PUF izolacije od 65 do 120 kg/m<sup>3</sup>.

<sup>563</sup> Table šperploče sa izolacionim slojem su dimenzije 193x54 cm. Debljine se kreće od 21 do 35 cm u zavisnosti od izolacije koja se koristi.

<sup>564</sup> Gubitak toplote kod ovog tipa rezervoara kapaciteta 100000 m<sup>3</sup> je između 0.08 i 0.1% na dnevnom nivou.

<sup>565</sup> Do ovoga efekta najčešće dolazi u situaciji kada se u rezervoaru nalazi gas različite gustoće. Posledica ovog efekta da u nekim situacijama može da dođe do *prevrtanja* gasa. Teži tečni gas, koji se nalazi iznad lakšeg, tone na dno.

<sup>566</sup> Simon K., *Skladištenje i potrošnja energenata – skladištenje prirodnog plina i nafte*, RGNF u Zagrebu, Zagreb 2010.

<sup>567</sup> Koliko je puta potrebna veća slobodna površina tla za izgradnju rezervoara u odnosu na površinu rezervoara.

<sup>568</sup> Svaki od ovih rezervoara ima instalisane sigurnosne ventile. Oni se aktiviraju prilikom porasta pritiska u njenu za 230 mbara i podpritiska – 2,5 mbara.



Pumpe instalisane u rezervoarima. U unutrašnjosti svakog kriogenog rezervoara, u posebnim kolonama, instalirano je nekoliko centrifugalnih kriogeni pumpa.<sup>569</sup> Najčešće, u svakom rezervoaru ima dve do tri uronjene pumpe u tečnom gasu. Pored ovi primarni pumpi, rezervoari za LNG imaju instalirane i primarne pumpe visokog pritiska. One povećavaju pritisak tečnog gasa do 100 bara i upućuju prema isparivačima.

Tabela 4.25. Potrebna površina tla za izgradnju nadzemni rezervoara ( $\times 10^3 \text{m}^2$ )<sup>570</sup>

Rezervoar prema tipu izolacije	1 rezervoar	2 rezervoara	3 rezervoara
Potpuna	110–140	160–200	200–260
Dvostruka	200–260	360–400	465–505
Jednostruka	300–360	465–500	600–670

Izvor. Sonne T.R., Bomba J.G., „Critical Parametars for LNG Marine Terminal Site Selection“

Sistem za grejanje temelja. Kod nekih rezervoara za LNG-a neophodno je grejanje temelja (a u nekim slučajevima i zidova) zbog mogućnosti stvaranja leda.<sup>571</sup> Zbog niske temperature i formiranja leda, koji se vremenom uvećava, može da dođe do havarije na rezervoaru (oštećenje, pukotine) i isticanja gasa. U prvom redu, reč je o posledicama koje nastaju kao efekt podizanja temelja rezervoara. Ovaj efekt je još izraženiji u područjima sa podzemnim vodama. Rezervoara sa izdignutim temeljima iznad nivoa tla ne greju se uvek. Sistem za grejanje, najčešće je realizuje u električnoj izvedbi.<sup>572</sup> U nekim slučajevima, primenjuje se sistem grejanja pomoću tople vode, koja struji instaliranim cevima unutar temelja. Standardima,<sup>573</sup> normama i propisima regulisani su segmenti vezani za grejanje temelja: temperatura tla (minimum 4°C), konstrukciona rešenja grejača, poziciju grejača, faktore sigurnosti.

Sistem ventilacije rezervoara. Instalirani sistem za ventaliciju u sklopu rezervoara je u funkciji zaštite rezervoara od pozitivnog i negativnog pritiska unutar skladišta.

**Primena propisa i normi.** U oblasti proizvodnje, transporta, skladištenja i distribucije zemnog gasa, primenjuje se niz različitih: zakona, propisa, normi, direktiva, pravilnika, upustava, preporuka na međunarodnom i nacionalnom nivou. Oni se sprovode u cilju bezbedne, pouzdane, sigurne i efikasne realizacije različiti aktivnosti u sklopu njegovi segmenata, delova ili celina. U oblasti zemnog gasa u opticaju primene nalazi se niz različiti normi i propisa vezanih za: tehnologiju, tehniku, materijale, projekte, gradnju, upotrebu, korišćenje, realizaciju njegovih određenih aktivnosti. Utvrđivanje, donošenje i primena propisa i normi; zavisi od institucija, organa, tela, subjekata, udruženja koji ih donose, kontrolišu i sprovode. Najčešće, podela može da se izvršiti na osnovu: segmenata i oblasti koje tretiraju, njihovog donosioca, stepena obaveznosti, nivoa primene, subjekta na kog se odnosi, realizatora, nadležnosti, kontrole, nivoa popisanih mera, kaznenih odredbi.

U oblasti tečnog zemnog gasa u primeni je niz različitih zakona, propisa, normi, mera, preporuka. Kada je reč o aktivnosti skladištenju gasa u kriogenim rezervoarima, najveći broj donetih akata iz ove oblasti, odnosi se na teritorije na kojima se najčešće i u najvećoj meri, ona realizuje. U prvom redu, reč je o oblastima: Evrope, Sjedinjenih Američkih Država i Azije. Postoji niz značajni doneti dokumenata. Iz oblasti sigurnosti prihvatni terminala za LNG, među najznačajnijim normama su akta NFPA 59A ili EN1473. Između ostalog, ovim dokumentima se propisuju strogi zahtevi vezano za segmente njihovih konstrukcija u cilju obezbeđivanja od mogućih seizmičkih poremećaja

<sup>569</sup> Primarne centrifugalne pumpe imaju protok od 200 do preko 400 m<sup>3</sup>/h i pritisak na izlazu oko 8 bara.

<sup>570</sup> Predviđena površina tla za određeni tip rezervoara. Prema Sonne T.R., Bomba J.G., „Critical Parametars for LNG Marine Terminal Site Selection“, paper OTC 19658, U: Offshore Tehnology conference, Houston, Texas, 2008.

<sup>571</sup> Reč je o fenomenu koji se naziva „frost heave“.

<sup>572</sup> Grejanje se ostvaruje pomoću električni grejača, koji su instalirani unutar izolacionih cevi. Ovaj način grejanja je pogodan za temelja nadzemni rezervoara. Kod grejanja zidova rezervoara, tehnička rešenja su nešto zahtevnija.

<sup>573</sup> Standard BS 7777 – British standard: Flat-bottomed, vertical, cylindrcal storage tanks for low temperature service.

u budućnosti. Reč je o uticaju zemljotresa na bezbednost i sigurnost objekata, uređaja, sistema i njihovog tehnološkog rada.<sup>574</sup>

Donošenje normi u Evropi, u prvom redu vezano je za instituciju CEN.<sup>575</sup> Među značajnim donetim normama i aktima je:<sup>576</sup> EN 1473; EN 14620; EN 1160; 1474; EN 1532; EN 13645; EEMUA 147. Na teritoriji SAD-a, norme i propisi su u nadležnosti organizacija API i NFPA.<sup>577</sup> Najčešće reč je o dokumentima: API 620; NFPA 59A. Na teritoriji Azije u primeni su različiti akti i dokumenti, koji se sprovede u određenoj državi. U Japanu se u upotrebi dokumentima udruženja JGA (Japan Gas Association). Država Koreja primenjuje međunarodne i nacionalne norme, propise i zakone. Primena evropskih i američki normi sprovodi se u Kini, Indiji i Tajvanu.

**Kapaciteti kriogeni rezervoara.** Različite su zapreminske dimenzije kriogeni rezervoara koji se koriste za skladištenje LNG. Volumenska zapremina skladišnih rezervoara, najčešće se kreću u rasponu od 50 do 200 hiljada m<sup>3</sup>. Danas u svetu, najveći kriogeni rezervoari za tečni zemni gas, dostižu volumensku zapreminu dvesta i više hiljada m<sup>3</sup>. Jedan od takvih rezervoara, nalazi se u sklopu KOGAS Tongyeong prihvatnog terminala za LNG.<sup>578</sup> Reč je o nadzemnom rezervoaru sa potpunom zaštitom, čiji je temelj opremljen sistemom za grejanje (etilen glikol).<sup>579</sup> Njegov krov ima spuštenu plafon i čelikom obloženu betonsku kupolu, ukupnog kapaciteta od 200 000 kubni metara.<sup>580</sup> Ovaj terminal ima instalirano ukupno 16 rezervoara, čiji je zbirni kapaciteta od 2 480 000 m<sup>3</sup>.

### 2.2.2. Neki od savremenih pristupa mogućnosti skladištenju tečnog zemnog gasa u podzemnim prirodnim i modifikovanim prostorima (pećinama)

Pred kraj XX i početkom XXI veka, u cilju iznalaženja novih tehničkih mogućnosti i načina uspešnog skladištenja tečnog zemnog gasa, u svetu se nastoji da se iznađu tehnološka uspešna i ekonomski prihvatljiva praktična primenjiva rešenja. Jedan, od veoma važnih faktora i razloga za iznalaženje novih optimalni načina skladištenja TZG, je nedostatak dovoljnog adekvatnog i pogodnog građevinskog zemljišta i prostora na kopnu, za izgradnju stabilnih kriogenih rezervoara.<sup>581</sup> Pored samog pitanja vezanog za građevinski prostor, novim konceptualnim pristupom izgradnji LNG skladišta u kavernama, nastoji se postizanju: sigurnijeg, bezbednijeg, boljeg, ekonomičnijeg, i pouzdanijeg skladištenja u većim količinama ovog energenta u prihvatljivijim ekoliškim skladištima. Osnovu samoga pristupa i razvoja savremenog koncepta skladištenja TZG u kavernama, predstavljao je već do tada velika postojeća dugogodišnja svetska praktična i teroretska iskustva u

<sup>574</sup> Sprovode se istraživanja za svaku lokaciju i utvrđuje maksimalan nivo potresa. Kod kriogenih rezervoara i zatvorenih sistema, projektuju se dva nivoa potresa. Prvi nivo, predstavlja veličinu seizmičkog poremećaja na kome se isključuje zbog bezbednosti rada pogona. Na drugom nivou, postrojenja nastavljaju sa radom i za vreme zemljotresa.

<sup>575</sup> CEN – European Committee for Standardization (Evropsko veće za normalizaciju).

<sup>576</sup> Evropska norma EN 1473 (Euronorma (EN) 1473) – odnosi se na projektovanje instalacije i opreme za skladišta LNG preko 200 tona na kopnu; EN 14620 – projektovanje i izradu verikalni čelični rezervoara sa ravnim dnom do tempera. do -165°C; ... opširnije o ovim i dugim normama i aktiva, videti u radovima koji bliže tretiraju ovu oblast.

<sup>577</sup> API (American Petroleum Institute) – Američki naftni institut i NFPA (National Fire and Protection Association) – Nacionalna organizacija za zaštitu od požara.

<sup>578</sup> Prema radu Ji-hom Kim i dr., „Development of the World's largest above-ground full containment LNG storage tank“, 23<sup>rd</sup> World Gas Conference, Amsterdam, 2006.

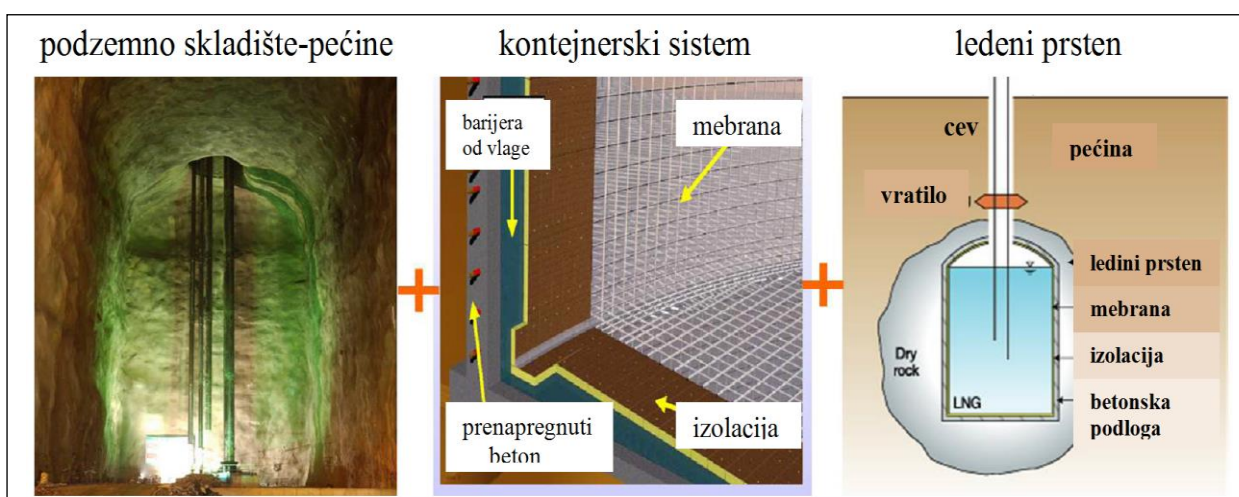
<sup>579</sup> Pušten je u rad 2002. godine. Na godišnjem nivou ima kapacitet 23,4 milijarde m<sup>3</sup>.

<sup>580</sup> Tehničke karakteristike: spoljni prečnik -86,4 m; spoljna visina -52,4 m; unutrašnji prečnik -84m; debljina izolacije - 1,2 m; unutrašnja visina -37,61 m; unutrašnja visina -35,92 m; projektovani nivo tečnosti -36,22 m; maksimalna radna visina -35,92 m. Kod njega je projektovani: pritisak 29 kP, temperatura do -170 °C, dnevni stepen isparenja 0,5%, maksimalni protok 11 hiljada m<sup>3</sup>/h, vakum -0,5%.

<sup>581</sup> Jer najčešće, reč je o priobalnim lokacijama, na samoj ili u neposrednoj blizini obale, potrebnim za instaliranje nadzemni i podzemni rezervoara. Veoma je prisutna i izražena činjenica, nedostatka adekvatnog prostora pogodnih za izgradnju pristaništa za dopremu tečnog zemnog gasa brodovima i njegovog skladišta u tečnom stanju u neposrednoj blizini obale a da su pogodni za implementiranje u distributivni sistem snabdevanja potrošača. Ovo pitanje je izuzetno značajno i izraženo kada je reč o teritorijama država Japana, Južne Koreje, ali je istovremeno, prisutno u većoj ili manjoj meri, vezanoj i za sve druge zemlje koje sa snabdevaju ili planiraju dopremu ovog energenta LNG brodovima.

skladištenju nafte, naftni derivata i razni vrsta drugi ugljovodonika u prirodnim podzemnim formacijama (pećinama, kavernama). U prvom mahu, na osnovu predhodni iskustva, predpostavljalo se da će ovaj način biti efikasan i ekonomičan, ali je on u praksi u prvim pokušajima pokazao i neke od otežavajućih okolnosti i problema. Reč je o masivnim, kompaktnim čvrstim stenama u dubini zemljine kore u kojima se eksperimentisalo sa gradnjom skladišnog prostora. Najčešće su korišćeni napušteni rudnici u različitim stenovitim formacijama. Tom prilikom, javili su se i problemi koji su vezani za: termička naprezanja stena, skupljanje i pucanje zidova skladišta pod dejstvom niski temperatura odloženog tečnog gasa, nekontrolisanog curenja gasa iz skladišta, dubine na kojoj je potrebno graditi ova skladišta,<sup>582</sup> dejstvo podzemnih voda i kondezata, održavanja.

Osnovu za razvoja novog koncepta za skladištenje tečnog zemnog gasa, u cilju njegovog efikasnog odlaganja, predstavljalo je kombinovanje više do sada primenjivani tehničko-tehnoloških rešenja skladištenja LNG-a. Sam dalji razvoj ove tehnologije, doprineo je primeni novih tehničkih rešenja kod ovog načina skladištenja, upotrebom membrana u stenovitim pećinama. U osnovi, reč je o modifikanom membranskom sistemu, koji se već koristi kod izgradnje brodski membranski tankova i kriogenih rezervoara. Na ovaj način, formiraju se skladišta u stenovitim kamenim formacijama, koja su sa unutrašnje strane obložena membranom. Ovo predstavlja „kontejnerski sistem“ skladišta. Dalji razvoj i unapređenje ovog koncepta i metodama načina skladištenja, doprineo stvaranju novog modela i sistema izgradnje LNG skladišta. Reč je podzemnom skladištu u stabilnim stenama, koji se obloži čeličnim membranom (kontejnerski sistem) i formira „ledeni prsten“ oko njega (slika 4.106).



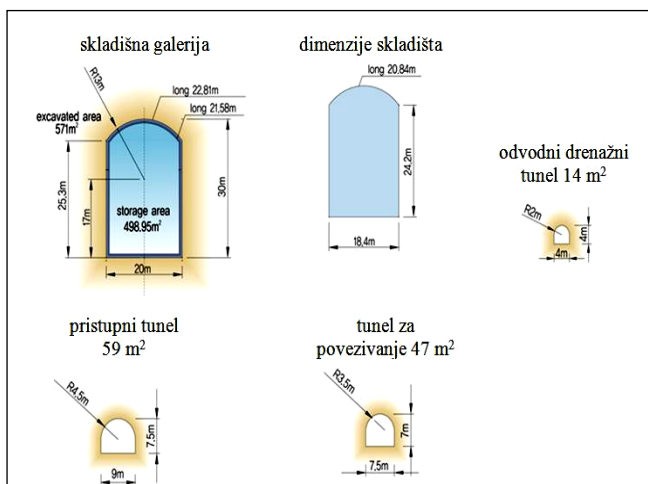
Slika 4.106. Tri osnovna koncepta razvoja skladištenja gasa u kavernama<sup>583</sup>

**Podzemne pećine u funkciji skladišta.** Primena same tehnologije odlaganja u čvrstim stenovitim masivnim podzemni pećina, kao konceptualnog rešenja skladištenje različitih ugljovodonika, ima do sada široku i raznovrsnu primnu. Najčešće se koriste, pogodni već postojeći rudnici, koji se nakon prestanka osnovne eksploatacije materije iz njih, prevode novoj praktičnoj nameni. U ovom slučaju, neophodno je da se izvrši izvođenje određeni građevinskih i tehničkih radova na samom objektu, ugradnja potrebne opreme i uređaja, povezivanjem sa transportnim sistemom. U nekim slučajevima i situacijama, dolazi i do namenske izgradnje ovakvih skladišta. Tad se aktivnosti vezane za: planiraje, istraživanje, izbor, određivanje lokacije, projektovanje i izgradnju konkretnog skladišta radi od samoga starta za određenu materiju koja će da se u njemu odlagati, polazeći od uslove koje ona zahteva. Kapacitet ovakvog tipa skladišta je veoma različit. On se može da kreće, do nekoliko hiljada metara kubnog prostora, namenjenog skladištenju materije.

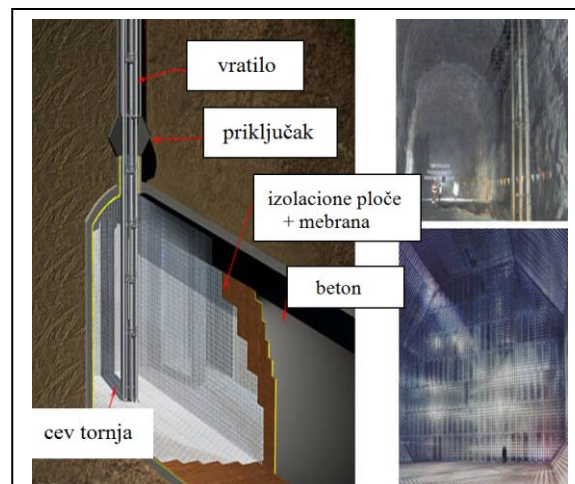
<sup>582</sup> U zavisnosti od samoga tipa i strukture stene, u kojoj se izgrađuje podzemno skladište, najčešće je reč o dubinama između 500 i 1000 metara u odnosu na nivo tla.

<sup>583</sup> Izvor: Eui-Seob Park i dr., „Innovative Meethod of LNG Storage in Underground Lined Rock Caverns“, 2012. Ovaj segment rada bazira se na ovom naučnom radu.

**Podzemne pećine sa instaliranim kontejnerskim membranskim sistemom.** U osnovi, reč je o skladišnom prostoru u podzemnim pećinama, kod kojih se sa unutrašnje stabilne (čvrste, postojane, granitne) strane, postavlja (ugrađuje, instalira) odgovarajuća membrana. Na taj način, formira se kontejnerski skladišni sistem (s. 4.107. i 4.108). Uloga mebrane je da obezbedi adekvatnu toplotnu izolaciju stena, spreči prekomerna naprezanja stena pod dejstvom niski temperatura, „pucanje“ stena i nastanak pukotina, isticanje i gubitak LNG-a; prodor podzemni voda, ... Primena mebrane, omogućuje izgradnju ovog modela skladišta i u situacijama kada nije reč o izrazito čvrstim stenama.



Slika 4.107. Tipičan presek podzemni galerija<sup>584</sup>



Slika 4.108. Oprema i izgled skladišta<sup>585</sup>

**Podzemna skladišta tečnog zemnog sa formiranim ledenim prstenom.** Ovaj model skladišta tečnog zemnog gasa u podzemlju, bazira se na novom konceptualnom pristupu, da pored mebranske izolacije koja se postavlja sa unutrašnje strane skladišnog prostora, pod dejstvom niski temperaturama formira „ledeni prsten“ oko skladišta spolja. Uloga ovog ledenog prstena, oko same kaverne, koji se formira kao drugi zaštitni sistem, ima funkciju barijere protiv gubitka i curenja sadržine iz skladišta. Realizaciju izgradnja ovog tipa skladišta se sprovodi kroz niz etapa. Nakon uklanjanja podzemne vode, vrši se iskopavanje u steni, ugrađuje se zaštitni sistem, formira skladište u kaverni, počinje sa hlađenjem i širenjem niske temperature u prostoru oko skladišta, dolazi do zamrzavanje vode koja prodire oko skladišnog prostora i formiranja leda oko pećine. Ovaj ledeni, prsten kao dodatna zaštita, može da se održi duži period (nekoliko meseci ili više godina). Debljina ledenog prstena, može da se formira u prečniku do 2 metra.

**Primer.** Krajem XX veka početo je sa eksperimentalnim istraživanjima. Jedno od prvih pilot postojenja izvedeno je u blizini Seula (Južna Koreja).<sup>586</sup> Pećina se nalazi u stenama granita, čiji su zidovi ojačani betonom (oblogom, debljine 40 mm), u cilju da se osiguraju zidovi od odronjavanja, stabilizacije zidova, pojave pukotina, ... Pećina je izvedena na dubini od 20 metara ispod površine tla, do koje ima kosi pristupni put. Skladište ima dimenziju: preseka 3,5 x 3,5 m, dužine 10 metara i radnom zapreminom od 110 m<sup>3</sup>. Sa unutrašnje strane skladišta, kao termička izolacija prvo su postavljeni paneli. Paneli su izrađeni u formi sendviča, kod koga se između dve impregnirane šperpoče nalazi izolaciona pena. Debljina panela iznosi 30 cm i imaju funkciju da onemogući pad temperature ispod -50°C. Na unutrašnju stranu panela, pričvršćena (instalirana) je valovita membrana od nerđajućeg čelika, debljine od 1,2 mm. Celokupno skladište je obezbeđeno geotehničkim monitoring sistemom.<sup>587</sup>

Skladište ima postavljen drenažni sistem, koji ima funkciju da smanji dotok vode u izliveni beton i prodor u stene koje se nalaze u neposrednom okruženju. Reč je o većem broju bušotina (21)

<sup>584</sup> Izvor: stručni inostrani radovi iz ove oblasti.

<sup>585</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti.

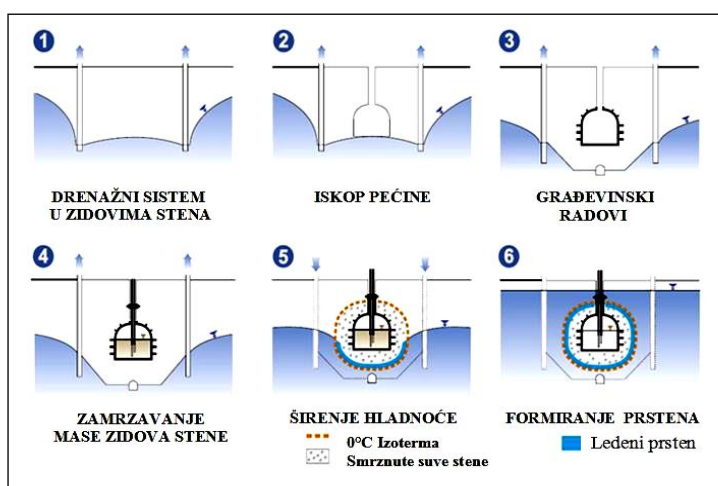
<sup>586</sup> Jedno pilot postrojenje izgrađeno je 2004. u Dejeonu (200 km od Seula) u okviru KIGAM istraživački ustanova.

<sup>587</sup> Ovaj geotehnički monitoring sistem imao je funkciju da vrši neophodna merenja (temperature, termomehanike, nivoa otpadni voda, dejstvo i posledicu na stene i beton) u toku testiranja.

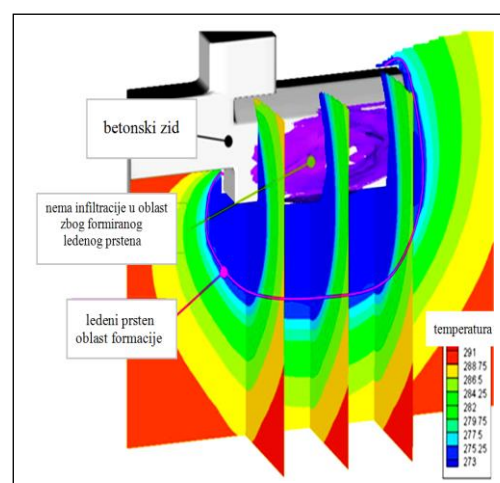
koje su instalirane i u njima se skuplja podzemna voda. Prikupljena voda se iz drenažnog sistema kontinuirano crpila prilikom izgradnje i rada skaldišta. Testiranje, istraživanje i proba skladišta je izvršena pomoću tečnog azota. Istraživanje je pokazalo da su: bušotine u sklopu drenažnog sistema efikasne; indukovana pomeranja stenske mase zbog termičkog stresa u amplitudama od 3 do 5 mm, što predstavlja zadovoljavajući rezultat; potvrđena stabilnost izlivenog betona; stabilnost stena.

**Primer.** Sistem podzemnog skladištenja sa formom ledenog prstena ima instalisan poseban sistem za kontrolu podzemnih voda u funkciji stvaranja ledenog prstena oko pećine. Uloga formiranog ledenog prestena je da suzbije i spreči prodor u skladište. Istovremeno ledeni prsten ima važnu ulogu u sprečavanju curenja uskladištenog tečnog gasa iz skladišta. On se u ovoj situaciji ponaša kao sekundarna barijera, dodatno obezbeđenje skladišta.

Sama lokacija i debljina ledenog prstena su veoma značajni parametri vezani za izgradnju ovoga tipa skladišta. Kombinacijom hidrotermalni numerički modela i njihovim prilagođavanjem, nastoji se, da se u procesu istraživanja sagleda relevantni mehanizmi.<sup>588</sup> Najveća debljina leda se formira ispod pećine, veća nego u odnosu na druge delove skladišta. Zona leda se formira u iznosu do 2 metra, koji u potpunosti okružuje pećinu (slike 4.109. i 4.110.). Istraživanja su pokazala, da kod ovog eksperimentalnog skladišta: da je konvencionalni prenos toplote 3 W/m<sup>3</sup> kada je debljina izolacije panela 10 cm; kod izolacije gde je panel debljine od 30 do 40 cm koeficijent prenosa toplote je 0,1 ili 0,01 W/m<sup>3</sup>; temperatura zavisi od početni parametara same stene i uslova; kontrolom podzemni voda lako se formira ledeni prsten; ...



Slika 4.109. Šematski prikaz izgradnje skladišta u formi modela "ledenog prstena"<sup>589</sup>



Slika 4.110. Ilustracija formiranja "ledenog prstena"<sup>590</sup>

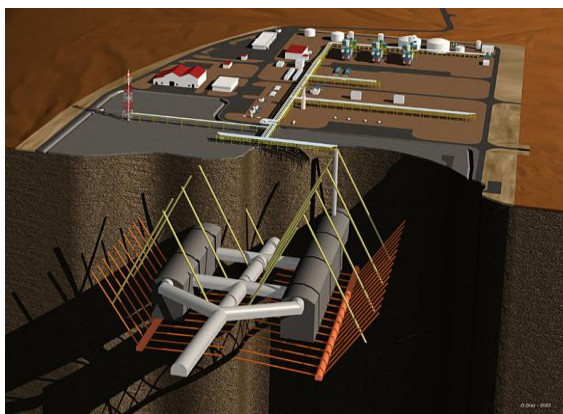
Drenažni sistem kod ovih skladišta se gradi u formi iskopanog tunela, celom dužinom ispod pećine. Pored drenažnog tunela kopa se celom dužinom odvodni tuneli koji preuzimaju višak vode iz drenažnog tunela. Tu su postavljene ispusne rupe, usmerene na više, sa ciljem da vodu odvede pomoću gravitacionih sila. Geometriju skladišne pećine treba prilagoditi lokalnim geološkim i hidrološkim uslovima i potrebama za određenim kapacitetom LNG skladišta. Karakteristična dimenzija jedne galerije skladišta je da ono ima dimenzije 30m veisine i 20m širine; dužina pećine može da se kreće u rasponu od 150 do 270m. Jedno skladište može da u svom sklopu ima izgrađeno više galarija. Oprema koja se upotrebljava kod ovo tipa skladišta je slična onoj opremi koja se koristi kod konvencionalni skladišni rezervoara za LNG. Sve potrebne instalacione cevi se postavljaju u betonsku konstrukciju ali sa mogućnošću da se obezbedi njihova kontrakcija (slike: 4.111. i 4.112).

<sup>588</sup> Poput prostiranja hladnog fronta, migracije vode, ledene formacije u steni.

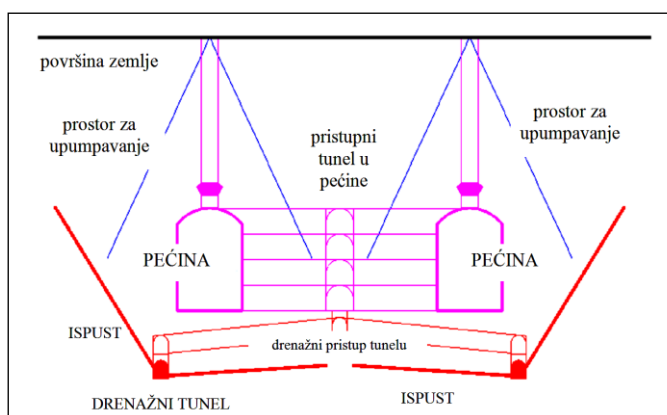
<sup>589</sup> Izvor: više stručnih inostranih radova i publikacija iz ove oblasti.

<sup>590</sup> Izvor, Eui-Seob Park i dr., „Innovative Meethod of LNG Storage in Underground Lined Rock Caverns“, 2012. Prikaz procesa formiranja ledenog prstena putem trodimenzionalne simulacije. Kod delao betonskog zida, koji nije imao sa druge strane stenu, nije se formiro ledeni prsten. Tako da na takvim mestima voda može da prodre u skladište.

Prednost ovakvog vida skladišta se ogleda u većoj sigurnosti, bezbednosti i ekološki prihvatljivijim karakteristikama u odnosu na nadzemne i podzemne rezervoare. Što se tiče bezbednosti, ova skladišta su sigurnija u slučaju požara, havarija i udesa, jer imaju: bolju višekomponentnu zaštitu (višekomponentnu barijeru sa oblogom, ledeni prsten, nalaze se na većoj dubini u zemlji, ...), veću otpornost na zemljotres i vremenske nepogode. Veća bezbednost se ogleda i u tome što se kod njih lakše može sprečiti sabotaza ili diverzija. Imaju manji uticaj na životnu sredinu jer se nalaze smešteni na većoj dubini u zemlji. Ekološki su prihvatljivija. Zauzimaju minimalnu nadzemnu površinu tla (slika 4.113). Ovaj tip skladišta se može graditi u funkciji otpremni ili prijemni terminala, kao sezonska ili višegodišnja (strateška) skladišta.

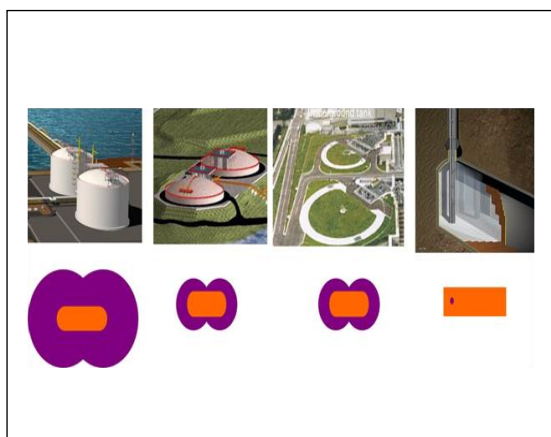


Slika 4.111. Maketa skladišta od 140 000m<sup>3</sup><sup>591</sup>

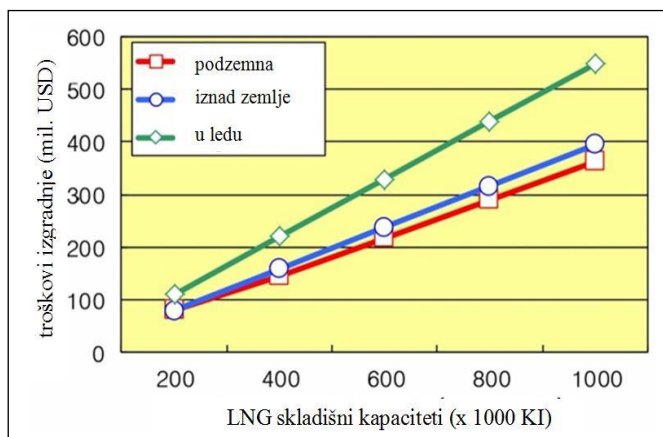


Slika 4.112. Poprečni presek podzemnog skladišta<sup>592</sup>

Primenom savremeni rudarski tehnologija i mebrana zatvorenog sistema, ovakav način gradnje skladišta za LNG, sa više paralelni galerija, ima gotovo neograničenu fleksibilnost kada je reč o kapacitetu skladišta.<sup>593</sup> Posmatrano sa ekonomskog aspekta, u svim slučajevima je ekonomičnija izgradnja podzemni skladišta za LNG kada je reč o obimu od 300 do 400 hiljada kl. Tada je sistem izgradnje jeftiniji u rasponu od 8% do 34% u odnosu na nadzemne rezervoare.<sup>594</sup> Osim toga i troškovi rada i održavanja su niži.



Slika 4.113. Potreba nadzemna površina zemljišta za izgradnju skladišta<sup>595</sup>



Slika 4.114. Kapitalni troškovi izgradnje skladišta: podzemna, iznad zemlje i u ledu<sup>596</sup>

Na osnovu svih iskustava (vezano za skladištenje ugljovodonika, mazuta) podzemni sistem skladištenja LNG je ekonomičniji (slika 4.114).<sup>597</sup> Razvoj metode skladištenja u podzemnim

<sup>591</sup> Izvor: više stručni inostranih radova i publikacija iz ove oblasti.

<sup>592</sup> Izvor: *LNG Underground storage in Lined Rock Caverna*, Geostock, France, 2015.

<sup>593</sup> Izgrađena pećina za skladištenje sirove nafte ima kapacitet od četiri ipo miliona metara kubni (4 500 000 m<sup>3</sup>).

<sup>594</sup> Ovi rezultati su istaknuti na nacionalnom forumu, prilikom poređenja skladišta u Koreji 2008.

<sup>595</sup> Izvor: više različiti stručni inostranih radova iz ove oblasti.

<sup>596</sup> Izvor: više stručni inostranih radova i publikacija iz ove oblasti.

stenama u narednom periodu će obezbediti sigurno i isplativo rešenje. Prvo izgrađeno pilot postrojenje 2004. godine za LNG pokazalo je dobre rezultate. Ovaj tip skладиšta može da ima niže kapitalne troškove izgradnje i operativne troškove od klasični skladišni rezervoara. Ako se primena ovog tipa skladišnog sistema pokaže kao pozitivna i na drugim lokacijama, potrebno je u cilju pouzdanog snabdevanja tržišta Balkana LNG raditi na sagledavanju, analizi i izgradnji i na teritoriji regiona Balkana.

## 2.3. Kriterijumi, ekonomski parametri i izbor sezonskog skladišta zemnog gasa u funkciji pouzdanog snabdevanja tržišta Balkana

### 2.3.1 Izbor sezonskog skladišta zemnog gasa

U cilju ostvarivanja pouzdanog snabdevanja potrošača zemnim gasom, sprovodi se aktivnost njegovog skladištenja. Sama aktivnosti skladištenja gasa može da se realizuje u cilju rešavanja: vršne, dnevne i sezone neravnomernosti između raspoložive količine i potrošnje ovog energenta (tabela 4.26). Prilikom analize i izbora odgovarajućeg i adekvatnog načina sezonskog skladišta gasa, jedan od najvažniji kriterijuma koji utiču na njegov izbor su ukupni troškovi tog načina skladištenja.

Moguće sagledavanje troškova skladištenja gasa može se sprovesti u zavisnosti o tipu skladišta, vrsti skladišta, agregatnom stanju gasa u kome se gas skladišti. U konkretnom sagledavanju i upoređivanju svakog od mogućih vidova skladištenja gasa, analizom se obuhvata veliki broj različiti i specifični parametara vezani za taj određeni način i vid skladištenja.<sup>598</sup> U okviru određenog načina skladištenja, sprovodi se konkretnije i preciznije sagledavanje iznosa svih činilaca koji utiču na ukupne troškove tog određenog načina odlaganja. Moguće je sprovesti i pojedinačnu detaljnu analizu troškova svakog konkretnog uskladištenja, ali i međusobno sagledavanje troškova između skladišta u okviru određenog naučna odlaganja gasa.

Tabela 4.26. Kriterijumi za izbor skladišta i načina pokrivanja vršne potrošnje gasa<sup>599</sup>

Trajanje vršne potrošnje i načini njenog pokrivanja	u toku dana			sezonsko izravnanje								
				do	10	dana	do	40	dana	pre	ko	40
	M	S	V	M	S	V	M	S	V	M	S	V
Veličina gasnog sistema												
Niskog pritiska rezervoari	+	+	o									
Visokog pritiska rezervoari	+	+	+	+	o	o						
Visokog pritiska u cevovo.	+	+	+									
LNG skla. bez uređa za ispar.				+	+		+	+				
LNG skl. sa uređa. za ispari.					+	+	+	+			+	+
Skladišta u kavernama						o		+	+			+
Skladišta u porama								+				+
Mere isključenja					+	+		+				

Izvor: Šunić M. M – mali sistem; S – srednji sistem; V – veliki sistem; + – prikladno; o – uslovno prikladno;

Samim korišćenjem određenih statistički podataka, moguće je utvrditi minimalan trošak za svaki određeni način skladištenja zemnog gasa<sup>600</sup> u funkciji njegovog sezonskog skladištenja. Tako se u svetu, korišćenjem i analizom relevantnih statistički parametara, došlo se do okvirnog i

<sup>597</sup> Opširnije se i o drugim prednostima se može videti u radu, „Commercial Potential of Natural Gas storage in Lined Rock Caverns (LPC)“, *Topical Report*, Houston, Texas, United States, 1999.

<sup>598</sup> Kao primer, prilikom izbora i analiza podzemnog skladišta u iscrpljenim ležištima gasa obuhvata: dubina skladišta, broj bušotina koji se koriste, nivo radnog pritiska, broj kompresora, obim skladišta, radni kapacitet skladišta, ...

<sup>599</sup> Izvor, Šunić M., *Znanost mijenja svet a plin komoditet živiljena*, Bauer grupa, Samobor, 2003, str. 516. Kriterijumi za izbor načina pokrivanja vršne potrošnje gasa je u zavisnosti od dužine trajanja isporuke gasa.

<sup>600</sup> Iscrpljena ležišta gasa i nafte, akviferi, kriogeno skladišta LNG, povećanje kapaciteta cevovodnog sistema.

uslovnog međusobnog odnosa između troškova skladištenja u određenim skladištima. Okvirno i uslovno, tako je trošak.<sup>601</sup> skladištenja u iscrpljenim ležištima gasa oko 35% troškova potrebnih za povećanje kapaciteta cevovodnog sistema; trošak skladištenja gasa u akvifere je oko 39%; upotreba LNG tehnologije dostiže 70%.

$$Q = C (P_1^2 - P_d^2)^n \quad (4.20.)$$

Q - proizvodnja gasa, m<sup>3</sup>/dan; C – koefici. protoka kroz porozne stene, koji uglavnom zavisi od karakteristika sloja;  
P<sub>1</sub> – pritisak u ležištu (bar); P<sub>d</sub> – dinamički pritisak u delu bušotine koji se nalazi u sloju (na dnu bušotine) (bar);  
n- eksponent protoka (turbulencije) sa vrednostima između 1 i 0.5 označava vrstu protoka gasa

Kada je reč o eksploatacionom radu podzemnog skladišta zemnog gasa u iscrpljenim ležištima ugljovodonika, značajan faktor i činilac u sagledavanju troškova odlaganja gasa u skladištu, je ukupan broj raspoloživi bušotina (za utiskavanje-povlačenje) koji se nalaze na njemu. Kapacitet preuzimanja zemnog gasa iz skladišta, može se izračunati pomoću izraza (4.20).

$$V = \frac{Q_b}{Q_a}; \quad (4.21) \quad K_m = f(V, n_m); \quad (4.22) \quad n_m = \frac{N_m}{N}; \quad (4.23)$$

Pritisak gasa skladišta (V), zavisi od količine jastučnog gasa (koji uvek ostaje) u ležištu Q<sub>b</sub> i količine preuzetog gasa Q<sub>a</sub> iz skladišta. On se može izračunati pomoću formule (4.21).<sup>602</sup> Iznos troškova skladištenja (K<sub>m</sub>) jednog m<sup>3</sup> gasa u iscrpljenim skladištima zemnog gasa, može se izračunati pomoću jednačine (4.22.). Ova jednačina je funkcija pritiska gasa u skladištu (V) i iznosa n<sub>m</sub>. Iznos n<sub>m</sub>, se određuje pomoću izraza (4.23.) i elemenata u njemu: N<sub>m</sub> (najveća količina gasa proizvedenog iz skladišta (m<sup>3</sup>/dan)) i N (najveća količina gasa preuzeta iz skladišta tokom dana (m<sup>3</sup>/dan)).

Tabela 4.26. Sniženje troškova skladištenja za različite metode rada u odnosu na vreme korišćenja<sup>603</sup>

Vrsta uskladištenja gasa	B = 166 redukcija troškova	dani/godina parametar n <sub>m</sub>	B = 131 redukcija troškova	dani/godina parametar n <sub>m</sub>
LNG	3,9 %	0,27	5,9 %	0,31
Solna kaverna	7,4 %	0,37	10,3 %	0,45
Plitki akviter	6,1 %	0,50	9,0 %	0,58
Duboki akviter	7,3 %	0,52	10,7 %	0,60
Plitko skladište u iscr. ležištu	7,0 %	0,47	10,0 %	0,58
Duboko skla. u iscrplj. ležištu	7,8 %	0,50	11,3 %	0,59

Do sada je u svetu, sproveden veliki broj različiti detaljni analiza, u kojima se sagledava zavisnosti troškova preuzetih količina zemnog gasa iz skladišta u odnosu na: pritiske u skladištu, vremena korišćenja skladišta i iznosa faktora n<sub>m</sub>, za različite metode skladištenja gasa. Na osnovu, svih istraživanja i realizovanih analiza, mogu da se prihvate opšte zajedničke karakteristika međusobnih odnosa troškova za sezonsko skladištenje. Tako da se, troškovi skladištenja zemnog gasa: smanjuju povećanjem vremena korišćenja skladišta;<sup>604</sup> trošak skladištenja u gasnim ležištima i akviferima je manji nego kada se gas skladišti primenom kriogene tehnologije;<sup>605</sup> troškovi skladištenja u iskorišćenim gasnim ležištima progresivno se smanjuju sa porastom korišćenja injekciono-crpni bušotina i razlike pritiska; podzemna skladišta kapaciteta do 300 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> na dubini od 1200 do 1600 metara imaju manje vrednosti n<sub>m</sub> za vreme korišćenja u kratkim vremenskim

<sup>601</sup> Šunić M., *Znanost mijenja svet a plin komoditet življenja*, Bauer grupa, Samobor, 2003, str. 521.

<sup>602</sup> Na osnovu iskustva, pritisak skladišta (V) u toku radne eksploatacije najčešće kreće se u rasponu između 1,02 - 1,20.

<sup>603</sup> Prema Bauk A., *Znanost mijenja svet a plin komoditet življenja*, Bauer grupa, Samobor, 2003, str. 524.

<sup>604</sup> Ova zakonitost važi za sve tipove sezonskih skladišta.

<sup>605</sup> Tako da je kod kaverni u solima n<sub>m</sub> > 0,5 a kod iscrpljeni ležištima gasa n<sub>m</sub> > 0,525.



intervalima (20 do 40 dana) a time i niže troškove od drugi vrsta skladišta; LNG tehnologija u funkciji sezonskog skladištenja pogodna je samo u slučaju kratki intervala (2-3 nedelje).

Troškovi skladištenja u najvećoj meri zavisi od koeficijenta (C) protoka gasa kroz porozne stene. Što je koeficijent protoka gasa veći, troškovi skladištenja su niži. Smanjivanje troškova skladištenja gasa, zavisi o dužini intervala korišćenje skladišta i iznosa faktora nm. Povećanjem iznosa ovog faktora, sledi istovremeno rast radnog obima skladišta. Uočljivo je da je većina troškova skladištenja povezana sa konstrukcijom skladišta (table: 4.26 i 4.27).

Tabela 4.27. Dani punjenja, pražnjenja i sezonski broj ciklusa korišćenja skladišta gasa<sup>606</sup>

Vrsta skladišta	Kaverne u rudnicima soli ili veštačke u kamenu	Gasna ležišta, naftna ležišta i akviferi
Potrebni dani punjenja	do 20	do 180
Mogući danja pražnjenja	do 10	120
Godišnji (razmak) broja ciklusa	4 do 8	1

Izvor: Šunić M., „Plinski sustavi – distribucija plina“, 2003.

### 2.3.2. Iscrpljena ležišta zemnog gasa kao najefikasnijeg rešenja u funkciji sezonskog skladištenja zemnog gasa na teritoriji Balkana

Na osnovu velikog broja podataka, analiza, studija i iskustva vezani za korišćenje velikog broja skladišta u svetu, vezano za sezonsko skladištenje zemnog gasa, utvrđen je redosled korišćenja podzemni skladišta, kao najpovoljnijeg rešenja sezonske neravnomernosti u potrošnji. Redosled korišćenja skladišta: podzemna iscrpljena ležišta gasa; iscrpljena ležišta nafte; akviferi; LNG tehnologija; kaverne (u rudnicima soli i veštačkim kavernama u stenama).

Kod velikih sistema skladištenja gasa, u funkciji sezonskog rešava neravnomernosti, a u cilju većeg stepena sigurnosti i bezbednosti, često se pored veliki podzemni skladišta zemnog gasa u iscrpljenim ležištima, grade i skladišta drugog tipa (kaverne (izgrađene u: solnim dolmama, veštačkim stenama), LNG skladišta). Gradnja drugi tipova skladišni objekata za skladištenje gasa je u slučaju otežane isporuke i havarija na podzemnim skladištima u iscrpljenim ležištima gasa. Prilikom donošenja konačne odluke, o svakom od načina skladištenja zemnog gasa, vrši se detaljna i sveobuhvatna analiza, konkretnog sezonskog skladišnog objekta.

Tabela 4.28. Odnos godišnjih troškova za različite načine pokrivanja vršne potrošnje gasa<sup>607</sup>

Broj dana upotrebe	Skladišta u iscrpljenim ležištima	Skladišta u akviferu	Povećani obim cevovoda	Povećani ob. cevovoda uz redukciju	Tečni zemni gas LNG	Tečni naftni gas TNG
1	1216,0	1466,7	7551,7	5458	4229	1635
5	293,7	347,9	1552,0	1133	904	510
10	177,0	208,3	802,1	593	489	370
15	139,6	162,5	552,0	412	350	322
20	120,8	139,6	427,1	322	279	300
25	108,3	125,0	352,0	268	239	285
30	100,0	114,5	302,1	233	212	277

Izvor: General Report of the Committee

Povećanjem broja dana korišćenja skladišta, smanjuje se troškovi skladištenja na godišnjem nivou. Iz tabele 4.28. se vidi, kako se povećanjem dana korišćenja skladišta, opadaju i troškovi

<sup>606</sup> Šunić M., „Plinski sustavi – distribucija plina“, Bauer grupa, Samobor, 2003.

<sup>607</sup> Prezentovani podaci u prvom redu služe da se sagleda odnos godišnji troškova između različiti načina skladištenja gasa prema broju dana u kojima se ona koriste za prekrivanje vršne potrošnje, ali i sam odnos kretanja visine troškova određenog vida skladištenja u zavisnosti od dana korišćenja. Polaznu osnovu čini, korišćenje skladištenje zemnog gasa u podzemnom skladištu 30 dana. Ovi podaci prisutni su u velikom broju inostrani naučni radova, osnovni izvor je, *General Report of the Committee*, a 12<sup>th</sup> World Conference of Intenational Gas Union, Nice.

skladištenja u određenom tipu skladišta. Takođe, moguće je sagledati međusobni odnos troškova i perioda korišćenja, između više načina skladištenja gasa za isti vremenski interval. Troškovi skladištenja zemnog gasa u iscrpljenim ležištima, su najniži u odnosu na bilo koje od skladišta, za isti period. Nezavisno o kome tipu skladišta je reč, činjenica je da kod svakog skladišta cena skladišta opada porastom dana korišćenja skladišta.

Ulaganje u izgradnju jednog skladišta, tj. investicioni troškovi, jedni su od najznačajniji troškova vezano za aktivnost skladištenja gasa. Troškovi izgradnje skladišta, u prvom redu, zavise od vrste i kapaciteta konkretnog skladišta. Sagledavanje troškova izgradnje, u cilju međusobne komparativne analize između skladišta, često se sprovodi upoređivanjem investicioni troškova po kapacitetu jednog  $m^3$  skladišta. Prosečno, najniži investicioni troškovi skladišta, po jedinici količine gasa koji se može u njega uskladištiti, imaju iscrpljena gasna ležišta. Visina investicioni troškova, kod izgradnje skladišta u iscrpljenim ležištima, iznosi oko 0,01 evro, za jedan metar gasa koji se u može u njemu uskladištiti (table: 4.29.). Posmatrano prema ovom parametru, cena izgradnje skladišta za uskladištenje  $1 m^3$  gasa, je kod: akviferi 0,02-0,05 ( $e/m^3$ ); kaverne 0,02-0,05 ( $e/m^3$ ); ...

Tabela 4.29. Investicioni troškovi izgradnje različitih vrsta skladišta gasa<sup>608</sup>

Vrsta skladišta	kapacitet ( $m^3$ )	investicioni troškovi ( $e/m^3$ )
Gasna ležišta	do 200 000 000	0,01 - 0,02
Akviferi	40 000 000 - 50 000 000	0,02 - 0,05
Kaverne	1 000 000 - 50 000 000	1,2 - 0,3
LNG (sa utečnjavanjem)	1 000 000 - 50 000 000	1,5 - 0,5
LNG (bez utečnjavanja)	1 000 000 - 50 000 000	1,0 - 0,25
VP akumulacijski gasovod	10 000 - 300 000	12,5 - 7,5
VP rezervoar (nadzemni)	10 000 - 100 000	15,0 - 10
NP rezervoar	10 000 - 100 000	25,0 - 12,5

Autor.

Izgradnja i proširenje podzemni skladišta zemnog gasa na Balkanu, kao i svetu, spada među najznačajnije infrastrukturne projekte u oblasti energije i gasnog sektora. Kao prvo rešenje, u cilju skladištenja veliki količina gasa, u funkciji pouzdanog snabdevanja tržišta regiona Balkana, treba da se sva ona iscrpljena ležišta zemnog gasa, koja se nalaze na njegovoj teritoriji, a koja je tehnički moguće i ekonomski opravdano, prevesti nameni za skladište ovog energenta. Na drugom mestu, prema ekonomskoj opravdanosti i realnim mogućnostima izgradnje skladišnog prostora na Balkanu, nalaze se iscrpljena ležišta nafte. Posle ove dve mogućnosti, slede akviferi, a za njima i druge potencijalne mogućnosti za izgradnju skladišta za velike količine zemnog gasa (slik: 4.115. i 4.116).

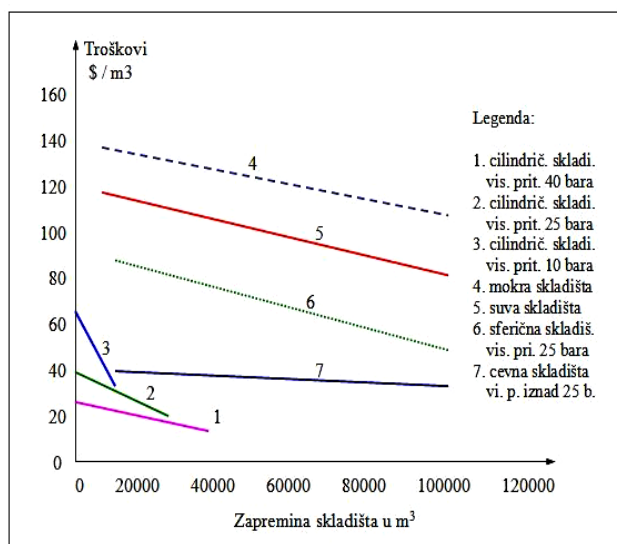
Istovremeno, uvek treba razmotriti i kada je potrebno koristiti i slobodni skladišni prostor u drugim zemljama, koja se nalaze na transportnom pravcu gasovoda, kojim se uvozi gas iz inostranstva. Ova skladišta se iznajmljuju na određeni vremenski period za uskladištenje utvrđene količine gasa. Posebno mesto u rešavanju skladišta zemnog gasa, na teritoriji Balkana, predstavljaju kriogena skladišta. Izgradnja skladišni kapaciteta, za tečni zemni gas, treba da ide paralelno sa izgradnjom prihvatnih terminala za LNG, u funkciji strateški odluka o snabdevanju gasom.

Potražnja za energentima u narednom periodu biće sve izraženija u regionu Balkana. Deo potreba za njima biće zadovoljen uvozom zemnog gasa. Procena je da će uvoz zemnog gasa iz inostranstva imati stalni rast. U snabdevanju tržišta zemnim gasom, značajno mesto imaju aktivnosti transporta i skladištenja.

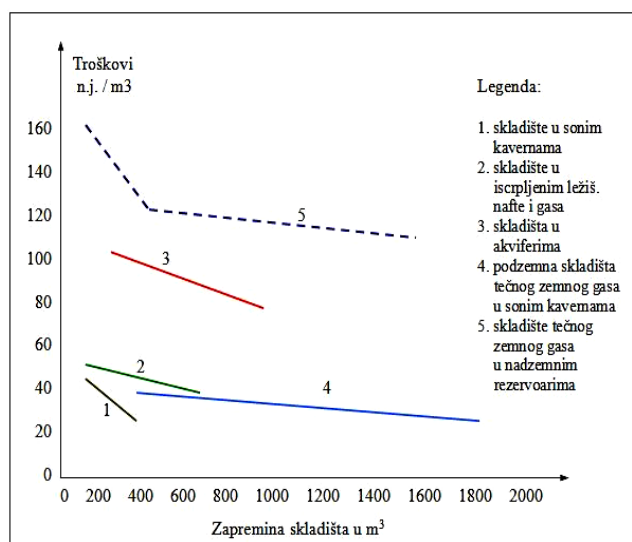
Skladištenje gasa predstavlja važan segment u snabdevanja tržišta zemnim gasom. Njegova važnost i uloga je još više izražena u regionu Balkana, koji uvozi velike količine gasa iz inostranstva. Njegov uticaj danas na snabdevenost tržišta Balkana je veliki. Sve one zemlje koje imaju sopstvene skladišne kapacitete gasa imaju veći stepen sigurnosti i pouzdanosti snabdevanja. Prilikom uvoza gasa iz inostranstva, one ostvaruju nižu nabavnu cenu, jer su u mogućnosti da sklope ugovor o kontinuiranoj isporuci isti količina tokom cele godine. Ako imaju dovoljne skladišne kapacitete, koje

<sup>608</sup> Autor. Usklađeno na osnovu velikog broja različiti izvora.

popunjavaju samo u toku letnjeg perioda, kada je manja tražnja za gasom, tada je cena uvoznog gasa po pravilu još niža.<sup>609</sup> Sve one probleme vezane za: nedovoljnu proizvodnju zemnog gasa iz sopstvenih kapaciteta; sezonski karakter potrošnje zemnog gasa; nagle nestašice i havarije vezane za uvozni gas; iznenadna povećanja potrošnje; ... lakše uspevaju da prevaziđu i reše one zemlje koje raspolažu sa dovoljnim skladišnim kapacitetom. Što raspolažu sa većim kapacitetima za odlaganje gasa, imaju bolju poziciju i veću sigurnost.



Slika 4.115. Troškovi skladištenja  $m^3$  za rešavanje dnevnih neravnomernosti potrošnje<sup>610</sup>



Slika 4.116. Troškovi izgradnje različiti tipova skladišta<sup>611</sup>

Uticaj skladišta zemnog gasa, kao energenta, u snabdevanju tržišta regiona Balkana biće sve značajniji i izraženiji u narednom periodu. Povećanjem skladišnih kapaciteta gasa u regionu Balkana, obezbediće se sigurnije, pouzdanije i bezbednije snabdevanje potrošača, uz istovremeno i najčešće nižu krajnju cenu ovog energenta. Zajedno sa drugim merama: udruživanja i povezivanja država regiona; interkonekcije; izgradnje gasnog prstena, diversifikacije izvora i pravaca snabdevanja, izgradnje novih tranzitni gasovoda; veće zastupljenosti drugi oblika dopreme gasa (LNG, CNG); ... skladište zemnog gasa imaće značajan uticaj na snabdevenost tržišta. Zajedno, aktivnosti transporta i skladištenja gasa, predstavljaće u narednom periodu dva najvažnija segmenta u snabdevanju tržišta Balkana. Zbog neosporne važnosti, uloge, izraženog značaja i uticaja, u snabdevanju regiona zemnim gasom, danas a posebno u budućnosti, ovim dvema aktivnostima, treba da se posveti dominantna pažnja. One treba da se nalaze u fokusu interesovanja, strategijskih odluka i same realizacije. Pravim i adekvatnim rešenjima, vezanim za ova dva segmenta, obezbediće se efikasnije, sigurnije, bolje i pouzdanije snabdevanje tržišta regiona Balkana po nižim cenama.

U okviru ove četvrte glave rada (ali i predhodni), u samom centru pažnje i fokusu istraživanja, je bilo da se sagleda, analizira, prezentuje i pruži odgovor na dva pitanja. Reč je o postavci dva hipotetička pitanja, koja su izuzetno važna, značajna i kompleksna sa aspekta transporta i skladištenja gasova. Prvo, od ukupno tri, postavljena hipotetička pitanja je, **da li agregatno stanje gasa kao proizvoda, ima uticaj na funkcije transporta i skladištenja gasa a time doprinosi i**

<sup>609</sup> Izvoznik gasa radi ostvarivanja svoje kontinuirane eksploatacije i proizvodnje, veoma često dodatno daje nižu cenu.

On u tom slučaju, gas koji proizvodi u zimskom periodu, kada je povećana tražnja, po znatno višim cenama plasira gas onim zemljama koje nemaju skladišne kapacitete. U tom periodu, potražnja je veća od ponude.

<sup>610</sup> Autor. Visina prezentovani troškova izgradnje skladišta u  $\$/m^3$ , treba posmatrati kao relevantan pokazatelj, jer iskazana vrednost dolara je preračunat na osnovu nekih drugi valuta u kojima su izvorno bili iskazani troškovi. Prema Prstojević B., *Cevovodni transport nafte i gasa*, RGF u Beogradu, Beograd, 2012. str. 273. Visina prezentovani troškova izgradnje skladišta u  $\text{din}/m^3$ , treba posmatrati kao relevantne pokazatelje, jer vrednost dinara ne odgovara današnjoj vrednosti dinara.

<sup>611</sup> Autor. Visina dati troškova izgradnje skladišta u novčanoj jedinici/ $m^3$ . Prema Prstojević B., *Cevovodni transport nafte i gasa*, RGF u Beogradu, Beograd, 2012. str. 272.

**većoj efikasnosti logistike?** Posmatrano sa aspekta snabdevanja zemnim gasom regiona Balkana, neminovno je bilo postavljanje dugog pitanja, **da li se može formirati više strategija snabdevanja metanom (zemnim gasom) država Balkanskog poluostrva i Srednje Evrope u cilju boljeg i pouzdanijeg snabdevanja potrošača ovim energentom?** Odgovor na ova dva postavljena pitanja je potvrđan.

Kao što je već rečeno, i odgovor na postavljeno treće hipotetičko pitanje u okviru ovoga rada, **da li se primenom adekvatne strategije u proizvodnji, upotrebi i skladištenju ugljen dioksida u svetu može značajno doprineti ekologiji,** je potvrđan. Samo adekvatnom, istovremenom i sinhronizovanom strategijom u proizvodnji, upotrebi i skladištenju ugljen dioksida, u svim državama sveta, može se značajno doprineti ekologiji sa aspekta zaštite životne sredine na nivou planete.

Pružanje preciznog odgovora, na sva tri postavljena pitanja, zahtevao je širok i sveobuhvatan pristup. Bilo je neophodno da kao osnovu za sagledavanje i davanje odgovora na postavljena pitanja, ima se zajednički globalni opšti pristup pitanjima u cilju pružanja adekvatnih odgovora. Neophodno je bilo da sve ukupno, celovito, široko i zajednički sagledava celokupna problematika, a onda da se fokusira prema konkretnim pitanjima. A na osnovu toga, pojedinačno se pružao odgovori na postavljene hipoteze, kroz celokupnu sadržinu rada.

Bilo je potrebno sagledavanje problema sa: fizičkog i tehnološkog aspekta vezanog za karakteristike gasa (njegove eksploatacije, upotrebe); tehničko tehnoloških rešenja vezanih za proizvodnju, transport i skladištenje gasa; aspekte funkcije transporta i skladištenja gasa; zahteve tržišta i potrošača; energetske stanje; ponude i tražnje; trgovine gasovima; ekološkog aspekta; uticaj i značaj za snabdevenost tržišta, u cilju sve ukupnog sagledavanja problema u okviru date teme, sa akcentom fokusiranja na postavljena pitanja.

Pružene činjenice, parametri, zapažanja, obrazloženja, istraživanja, saznanja, ... dali su pozitivne i potvrđane odgovore na sve tri postavljene hipoteze. Tako da je, neosporno: da agregatno stanje gasa kao proizvoda, ima uticaj na funkcije transporta i skladištenja gasa a samim time doprinosi i većoj efikasnosti logistike; da se može formirati više strategija snabdevanja metanom (zemnim gasom) država Balkanskog poluostrva i Srednje Evrope u cilju boljeg i pouzdanijeg snabdevanja potrošača ovim energentom; i da se primenom adekvatne strategije u proizvodnji, upotrebi i skladištenju ugljen dioksida u svetu može značajno doprineti ekologiji.

## ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

---

Veliki deo stručne javnosti, iz različitih oblasti, smatra da će u XXI veku, u nizu značajnih i dominantnih pitanja, sa kojima će se neminovno susretati čovečanstvo, vezanih za njegovo funkcionisanje i dalji održivi razvoj, četiri biti od izuzetne važnosti. Ona će biti, direktno ili indirektno, u centru njegovog interesovanja. Reč je o: energiji, hrani, pijaćoj vodi i sve više prisutnom stavu vezanom za problem zaštite životne sredine. Svakim danom, ova pitanja će biti, manje ili više, sve aktuelnija kako vreme bude prolazilo. U ovom radu, u fokusu analize, bila su neka određena konkretna pitanja vezana za energiju i zaštitu životne sredine. Reč je o komercijalnim gasovima kao energentima i o skladištenju ugljen-dioksida u funkciji zaštite životne sredine.

Na osnovu značaja istraživanja i potreba za samim istraživanjem, postavljenog cilja i adekvatnih metoda, sprovedeno je detaljno sagledavanje koje je determinisano osnovnim polaznim radnim hipotezama. Osnovne tri hipoteze ovoga rada pošle su od pretpostavke: 1) da se može formirati više strategija snabdevanja metanom (zemnim gasom) država Balkanskog poluostrva i Srednje Evrope čiji je cilj bolje i pouzdanije snabdevanje potrošača energentima; 2) da agregatno stanje gasa, kao proizvoda, ima uticaj na funkcije transporta i skladištenja gasa i time doprinosi većoj efikasnosti logistike i 3) da se primenom adekvatne strategije u proizvodnji, upotrebi i skladištenju ugljen-dioksida može u svetu značajno doprineti ekologiji. Na osnovu ovih polaznih osnova, da bi se realizovala predmetna doktorska disertacija, rad je koncipiran i strukturisan na četiri dela.

U **prvoj glavi** rada, prezentovana je energija kao osnova privrednog razvoja čovečanstva. Detaljno je izvršena klasifikacija oblika energije na: toplotnu, hemijsku, zračnu, nuklearnu, potencijalnu i kinetičku. Sagledana je ukupna potrošnja energije od 1820. godine do danas. U periodu od 1870. do 1970. godine potrošnja energije je povećana 32 puta. U periodu od 1973. do 2013. godine potrošnja se više nego udvostručila. Na početku sedamdesetih godina XX veka, potrošnja je iznosila 6036 Mten, a 2013. godine 13.541 Mten. Zemni gas je zabeležio svoj porast u ukupnoj strukturi sa 16% na 21,4%. Izvršeno je sagledavanje proizvodnje, potrošnje i rezerve primarnih izvora energije u svetu i na domaćem tržištu: uglja, nafte, nuklearnog goriva, uljnih škriljaca, bituminoznih peskova, hidroenergije, Sunčeve energije, geotermalne energije, energije vetra, biomase i energije talasa.

Neophodno je bilo sagledavanje agregatnog stanja materije i mogućnosti njegove promene, kao osnova za veću efikasnost logistike i pouzdanije snabdevanje tržišta gasovima. To je neminovno iziskivalo da se sagledaju svi najznačajniji zakoni, efekti, stanja i fizičke osobine gasova, što predstavlja samu osnovu za mogućnost prevođenja gasa u tri agregatna stanja. Ovo predstavlja temelj za primenu savremenih načina transporta i skladištenja gasa. U daljoj analizi rada, izvršeno je klasifikovanje svih gasova u četiri grupe: zemni (prirodni) gas; tehnički (industrijski) gasovi; naftni gasovi i tehničko-proizvodni gasovi. U cilju potpunog, sveobuhvatnog neophodnog sagledavanja, izvršena je detaljna analiza svih karakteristika ovih gasova pojedinačno kako bi se kompetentno i argumentovano mogla dalje celokupno sagledati ova tema. Neophodno je bilo da se, u osnovnim crtama, izvrši tehničko-tehnološka prezentacija načina proizvodnje, plasmana i značaja za privredu svakoga gasa pojedinačno, a u cilju pružanja celovitog uvida u ovu tematiku, kao preduslov pružanja odgovora na postavljena pitanja.

Izvršen je i prezentovan preračun: kakav je uticaj promene agregatnog stanja gasa na njegovu zapreminu, u zavisnosti od toga da li je on u gasovitom, tečnom ili čvrstom agregatnom stanju. Promenom agregatnog stanja, gas zauzima manju zapreminu, a to direktno predstavlja osnovu za efikasniju realizaciju segmenata transporta i skladištenja u logističkom lancu. Smanjenjem zapremine gasa, u isti volumen transportnog ili skladišnog prostora smešta se znatno veća količina gasa.

Odgovor je potvrđan jer se iz svega prezentovanog neosporno videlo da svaki gas, komprimovanjem (sabijanjem), utečnjavanjem i prelaskom u čvrsto agregatno stanje, zauzima manju zapreminu od one koju je imao u gasovitom stanju za istu količinu. Volumen koji će zauzeti gas kada je u gasovitom stanju, zavisi u prvom redu od pritiska na kome se nalazi i od fizičkih osobina konkretnog gasa. Kada je gas u tečnom ili čvrstom agregatnom stanju, prostor koji on zauzima zavisi od fizičkih osobina i karakteristika svakog gasa pojedinačno za određeno agregatno stanje. Analiza je sprovedena za sve najznačajnije tržišne gasove s ciljem da se pokaže da li se i kako promena agregatnog stanja odražava u krajnjoj dinstanci na efikasnije, pouzdanije i bolje snabdevanje tržišta.

Tako da, kad je reč o transportu, jedno prevozno sredstvo može da preveze do 880 puta veću količinu gasa u tečnom stanju nego u gasovitom (amonijak); 797 puta više kiseonika, helijuma 700 puta, zemnog gasa 600 puta... Teoretski posmatrano, kada bi se gas preveo u čvrsto stanje, u istu zapreminu bi stalo, u odnosu na gasovito stanje: 964 puta više vodonika, 909 puta više kiseonika, 756 puta više azota, 680 puta više zemnog gasa... U onim slučajevima kada ne dolazi do promene agregatnog stanja, već se fluid komprimuje (sabija), količina koja će biti smeštena zavisi u prvom redu od pritiska. U praksi, kada je reč o većini gasova, taj odnos se kreće između 150 i 300. To praktično znači da u isti volumen posude staje od 150 do 300 puta veća količina komprimovanog gasa. Ovo predstavlja bazu sagledavanja snabdevanja i izbor adekvatnog načina transporta i skladištenja fluida.

Sagledan je dugoročni razvoj energetike s ciljem zadovoljavanja zahteva i potreba svetskog, balkanskog i domaćeg tržišta za energentima. Ukazano je na značaj i poziciju zemnog gasa u odnosu na druge izvore energije. Njegove konvencionalne rezerve procenjuju se na  $202,8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ . Ukupna godišnja potrošnja ovoga gasa u svetu iznosi 3425 miliona metara kubnih. Najveći proizvođači gasa u svetu jesu SAD, Rusija, Katar..., a najveći izvoznici su Rusija, Katar, Norveška, Kanada... Istovremeno, najveći uvoznici su: Japan, Nemačka, SAD i Italija. U regionu Balkana, najveći proizvođač je Rumunija, a potrošač Turska. Istovremeno, sve zemlje regiona, koje imaju značajniju potrošnju zemnog gasa, prinuđene su da uvoze gas jer nemaju dovoljnu proizvodnju ovog energenta iz sopstvenih izvora. Najveći uvoznici metana u regionu Balkana jesu: Turska (44,4 milona  $\text{m}^3$ ), Austrija (10,1), Mađarska (8), Grčka (3,8), Bugarska (2,6)... Takođe, prezentovane su karakteristike tržišta tehničkih (industrijskih) gasova u svetu, u regionu Balkana i Srbije. Detaljna analiza sprovedena je i u vezi sa propanom i butanom. Data je prognoza potrošnje zemnog gasa u budućnosti za svet i zemlje regiona Balkana.

U **drugom delu** rada prezentovan je savremeni pristup transportu zemnog gasa u sva tri agregatna stanja. Prikazana su savremena dostignuća u tehnologiji prevoza prirodnog gasa u funkciji efikasnog transporta. Detaljno je prikazana tehnologija njegovog prenosa u gasovitom stanju cevovodima, sa posebnim osvrtom na transport u fazi proizvodnje i prerade. U sklopu ovoga segmenta, izložena je i sama tehnologija transporta od mesta proizvodnje do krajnjeg potrošača. Prikazana je tehnologija prenosa zemnog gasa u tečnom i čvrstom agregatnom stanju, i formiranje adekvatnih lanaca snabdevanja ovim energentom. Poseban osvrt je na samu tehnologiju komprimovanja gasa u funkciji snabdevanja potrošača i na formiranje njegovog lanca snabdevanja.

Segment u okviru ovoga dela rada posvećen je mogućnostima transporta tehničkih gasova u tri agregatna stanja, u funkciji efikasne logistike. Izvršena je analiza uticaja promene agregatnog stanja na snabdevanje potrošača. Sprovedena je analiza stava potrošača vezanog za transport i snabdevanja gasom, u zavisnosti od načina dopreme i agregatnog stanja proizvoda. Urađena je optimizacija snabdevanja potrošača tehničkim gasovima, u cilju efikasne i ekonomične dopreme, uzimajući u obzir količinu i agregatno stanje gasa kao proizvoda. Takođe, prezentovane su specifičnosti i načini transporta tečnog naftnog gasa u procesu snabdevanja tržišta ovim energentom.

Detaljno je sagledan transport zemnog gasa u funkciji svetske trgovine i uloga gasnih hubova u realizaciji njegovog prometa. Dat je poseban osvrt na tečni zemni gas (TZG [LNG]). Izložene su osnovne karakteristike evropskog tržišta zemnog gasa i ukazano na značaj Rusije za njega. Izvršena je analiza plasmana gasa u regionu Balkana. Ukazano je na nove moguće izvore i pravce snabdevanja zemnim gasom tržišta Balkana i država Srednje Evrope. Na osnovu svega do tada iznetog, prezentovane su nove potencijalne strategije snabdevanja zemnim gasom: cevovodima, u tečnom stanju; komprimovanjem gasa, u čvrstom agregatnom stanju; i kombinovanjem različitih fizičkih stanja i izvora u cilju pouzdanog snabdevanja.

**Treća glava** disertacije posvećena je savremenom pristupu skladištenju zemnog gasa u gasovitom i tečnom stanju u funkciji realizacije pouzdanijeg i efikasnijeg snabdevanja tržišta. Sagledane su sve potencijalne mogućnosti skladištenja koje mogu da se primene u rešavanju nesklada između proizvodnje i potrošnje gasova kao proizvoda. Obrazložene su metode skladištenja zemnog gasa: komprimovanjem, utečnjavanjem, rastvaranjem u tečnom naftnom gasu i prevođenjem u čvrsto agregatno stanje. Detaljno su prezentovana osnovna obeležja i karakteristike skladištenja zemnog gasa u podzemnim i kriogenim skladištima. Reč je o podzemnim skladištima u: delimično ili potpuno iscrpljenim ležištima gasa i nafte; akviferima; sonim kavernama i drugim oblicima podzemnih rešenja. Predočena je mogućnost skladištenja tečnog zemnog gasa u stabilnim kriogenim rezervoarima (nadzemnim i podzemnim) i na brodovima u specijalnim posudama za vreme njegovog transporta.

U ovom delu rada, prezentovane su specifičnosti i karakteristike skladištenja tehničkih gasova u zavisnosti od njihovog agregatnog stanja. Ukazano je na kompleksnost samog procesa i tehničkog rešenja vezanog za izolaciju posuda za skladištenje kriogenih tehničkih gasova. Izvršena je komparativna analiza skladištenja tehničkih gasova u zavisnosti od: vrste gasa, agregatnog stanja gasa i kapaciteta posude. Takođe, obrazložene su specifičnosti vezane za skladištenje naftnih gasova i savremena rešenja u funkciji boljeg snabdevanja potrošača.

Izloženi su novi pristupi u proizvodnji, skladištenju i potrošnji ugljen-dioksida u funkciji ekologije i mogućnosti doprinosa u rešavanju zaštite životne sredine. Analizirana je emisija i uticaj otpadnog ugljen-dioksida na ekologiju. Danas se na godišnjem nivou, sagorevanjem određenih energenta (uglja, nafte i zemnog gasa), emituje preko 30.000 Mt otpadnog ugljen-dioksida. Procentualno učešće u ukupnoj emisiji, posmatrano prema zemljama, imaju: SAD 21,9%, Kina 17,4% i Rusija 5,7%. U regionu Balkana, najveći emiteri su: Turska, Rumunija, Grčka i Austrija. Prezentovani su savremeni pristupi i strategije dugoročnog skladištenja otpadnog ugljen-dioksida u: dubokim formacijama propusnih stena, okeanima u karbonatnim mineralima na površini zemlje. Dokazano je da se primenom adekvatne strategije u proizvodnji, upotrebi i skladištenju ugljen-dioksida u svetu, može značajno doprineti ekologiji.

**Četvrti deo** rada je fokusiran na unapređenje logistike u cilju bolje snabdevenosti potrošača zemnim gasom na teritoriji Balkana. Ovaj deo rada je koncipiran u okviru dve tačke. Prva tačaka je posvećena pravcima unapređenja transporta gasa u cilju bolje snabdevenosti tržišta Balkana, a duga, samom unapređenju skladištenja gasa u funkciji boljeg snabdevanja tržišta i potrošača ovim energentom. Obe tačke se baziraju na svim do tada prezentovanim stavovima, analizama i zapažanjima.

U sklopu unapređenja vidova transporta, a u sklopu prve hipoteze, date su osnovne karakteristike i tehnička rešenja transporta ovog energenta cevovodom. Izneti su i detaljno analizirani novi potencijalni cevovodi u cilju boljeg snabdevanja tržišta Balkana, koji obuhvataju nove izvore i pravce. Dati su tehničko-ekonomski parametri potencijalnih gasovoda o kojima se raspravlja u stručnim krugovima, kao i predlog za jedan novi cevovod (AMB – Afrika–Mediteran–Balkan) od strane autora ovoga rada. Takođe je prezentovana formula koja može da posluži za okvirno izračunavanje troškova izgradnje gasovoda na kopnu, kao rezultat rada i istraživanja autora na ovoj tezi.

Prezentovan je savremeni način transporta tečnog zemnog gasa u svetu, kao jedno od efikasnih rešenja za snabdevanje Balkana uvoznim gasom. Primenom ovog vida transporta vrši se diverzifikacija izvora, pravaca i dobavljača. Pruža se mogućnost za bolju, pouzdaniju i sigurniju snabdevenost regiona. Neophodno je bilo, u cilju potpunog sagledavanja, detaljnije prezentovati: načine i procese utečnjavanja gasa, karakteristike brodova za transport tečnog gasa i prihvatne terminale. Data je analiza isplatljivosti izgradnje novog terminala na Jadranskom moru u cilju snabdevanja tržišta regiona Balkana.

Takođe je izvršena detaljna analiza transporta komprimovanoga zemnog gasa u gasovitom stanju i u formi hidrata. Izneta su nova rešenja u svetu u ovom segmentu i predočena mogućnost primene u strategiji snabdevanja balkanskog tržišta. Komparativnom analizom, pokazano je da prilikom transporta gasa u komprimovanom stanju, gas zauzima od 250 do 350 puta manju zapreminu nego gas na normalnom pritisku. Dok gas koji se transportuje u tečnom stanju zauzima 600 puta manju zapreminu u odnosu na njegovo ambijentalno stanje, što značajno doprinosi efikasnosti logistike. U tom pravcu izvršeno je detaljno sagledavanje uticaja agregatnog stanja gasa na funkciju transporta u cilju veće efikasnosti ovog segmenta distribucije. Ukazano je na pad troškova transporta tečnog zemnog gasa, u prvom redu, razvojem i povećanjem kapaciteta brodova za transport i postrojenja za utečnjavanje i isparavanje gasa. Izrađena je prezentacija trenutne ekonomičnosti transporta tečnog zemnog gasa u odnosu na kopneni i podvodni cevovod. Transport tečnog gasa je jeftiniji kada je reč o rastojanjima iznad 2500 kilometara u odnosu na kopnene gasovode, a iznad 1000–1500 kilometra ako je reč o podvodnim cevovodima za transport zemnog gasa.

U drugom delu četvrte glave, obrazloženo je unapređenje skladištenja gasa u funkciji boljeg snabdevanja kupaca. Iznete su osnovne karakteristike podzemnih i kriogenih skladišta zemnog gasa. Detaljno su obrazložene karakteristike i kriterijum za korišćenje iscrpljenih ležišta u funkciji skladištenja ovog ugljovodonika. Posle sagledavanja dostignuća na svetskom nivou, vezanih za podzemna skladišta gasovitog zemnog gasa, prezentovana je mogućnost primene kod skladištenja u regionu Balkana. Prikazana je ekonomska izvodljivost izgradnje novog skladišta. Kada je reč o savremenom načinu skladištenja velikih količina tečnog gasa, izložena su detaljno dva osnovna koncepta u: kriogenim rezervoarima i kavernama.

U okviru rada, potvrđene su sve tri postavljene hipoteze: 1) da se može formirati više strategija snabdevanja metanom (zemnim gasom) država Balkanskog poluostrva i Srednje Evrope u cilju boljeg i pouzdanijeg snabdevanja potrošača energentima; 2) da agregatno stanje gasa, kao proizvoda, ima uticaj na funkcije transporta i skladištenja gasa i time doprinosi većoj efikasnosti logistike i 3) da se primenom adekvatne strategije u proizvodnji, upotrebi i skladištenju ugljen-dioksida može u svetu značajno doprineti ekologiji.

Disertacija je pružila očekivani rezultat, tako da je: dodatno proširila i sistematizovala znanja i iskustva iz navedene oblasti; ukazala na potrebu prihvatanja novih pogleda i mogućnosti koje proizlaze iz prezentovanih i predloženih dostignuća u oblasti logistike gasova; ukazala na sve veći značaj gasa kao energenta u svetu i u zemlji; izvršila detaljnu i sveobuhvatnu prezentaciju i upoznavanje s najnovijim teorijskim, tehnološkim, tehničkim i praktičnim pojavama i pristupima u rešavanju problema transporta i skladištenja gasa,



kao segmenata logistike; prezentovala predloge novih strategija snabdevanja prirodnim gasom zemalja Balkana; pružila predloge za unapređenje transporta i skladištenja gasova; ukazala na nove moguće načine proizvodnje i skladištenja ugljen-dioksida u cilju smanjenja zagađivanja atmosfere...

Naučni doprinos se ogleda i u nastojanju da se prodube saznanja i dodatno afirmiše koncept logistike gasa kao proizvoda i time doprinese uspešnijem njenom implementiranju u praksi. Doprinos rada se manifestuje i u prezentovanju podele, klasifikovanju i adekvatnom grupisanju najčešće komercijalno korišćenih gasova na tržištu, jer je u stručnoj literaturi prisutno veoma raznovrsno, neprecizno i nepotpuno razgraničenje i grupisanje gasova.

Doprinos rada se u prvom redu ogleda u tome što sveukupno detaljno sagledava datu aktuelnu problematiku vezanu za transport i skladištenje zemnog gasa, koja dosad nije sveobuhvatno na ovakav način, na jednom mestu, prezentovana ni u domaćoj niti u inostranoj literaturi. U centru svih dosadašnjih analiza nalaze se pojedinačno ili u segmentima određeni gasovi, ali nikad svi objedinjeni u širokom sagledavanju zajedno. Postavljena pitanja su detaljno sagledana sa: tehničkog, tehnološkog i ekonomskog aspekta, iz više uglova, nivoa i pozicija, u cilju pružanja što potpunijeg odgovora i adekvatnog rešenja. Rad pruža sveobuhvatan širok pregled i uvid u datu problematiku i postavljena pitanja.

U radu je prikazan sve veći značaj energenata za ekonomiju celokupnog čovečanstva. Ukazano je na sve veći značaj i izraženiju poziciju zemnog gasa u odnosu na druge energente u svetskim razmerama. Doprinos se ogleda i u sagledavanju uticaja agregatnog stanja gasa kao proizvoda na logistiku preduzeća, i ukazuje se na adekvatno mesto i značaj logistike kod proizvođača i distributera gasa. Sam doprinos rada ogleda se i u prezentovanju mogućnosti i pravca unapređenja transporta i skladištenja gasa, kao segmenata logistike proizvođača na tržištu naše zemlje i inostranstva u praksi. Pokazan je uticaj transporta i skladištenja gasa na snabdevenost tržišta Balkana kao i efekti koje pruža savremeni pristup u realizaciji ovih logističkih aktivnosti. Date su okvirne smernice, predlozi i mogući pravci razvoja logistike gasa u ovim posmatranim segmentima. Pružene su adekvatne strategije i rešenja za skladištenje i transport gasa u funkciji efikasnije logistike. Doprinos rada se ogleda i u sprovođenju komparativne analize uticaja agregatnog stanja gasa na transport i skladištenje gasa.

Naučni doprinos se ogleda i u prezentovanju pregleda potencijalnih strategija i konkretnih rešenja za sigurnije snabdevanje metanom (zemnim gasom) celokupnog Balkanskog regiona i Srednje Evrope, primenom adekvatnih rešenja u oblasti transporta i skladištenja, što doprinosi boljem snabdevanju, većoj energetske nezavisnosti i pozitivnom ekonomskom i političkom položaju država u regionu. Prikazan je novi potencijalni gasovod AMB (Afrika–Mediteran–Balkan) kao originalno rešenje, koje do sada nije prezentovano. On je rezultat analize i rada autora u okviru ovoga rada. Njegovom realizacijom bi se u značajnoj meri omogućilo bolje, pouzdanije i sigurnije snabdevanje tržišta Balkana. Prezentovani su novi potencijalni pravci i izvori snabdevanja gasom Srednje Evrope cevovodom i država Balkana, u gasovitom stanju, koji do sada nisu zajedno svi na jednom mestu sagledavani. Ukazano je na karakteristike, specifičnosti i značaj podzemnih skladišta gasa u snabdevanju potrošača, ali i snabdevanje istog tržišta gasa u tečnom agregatnom stanju. Detaljno je sagledano tečno agregatno stanje prirodnog gasa kao proizvoda u funkciji logistike. Ono predstavlja vid transporta i snabdevanja potrošača zemnim gasom koji dosad nije značajno u praksi primenjivan u Srednjoj Evropi, a u našoj zemlji nije ni adekvatno teoretski obrađivan niti dovoljno detaljno razmatran u stručnoj literaturi. Pružena rešenja na polju logistike metana posmatrana su sa aspekta potrošača, proizvođača i distributera na nivou pojedinca, grada, države, regiona i sveta. Prezentovana su neka potencijalna adekvatna rešenja za njihovu implementaciju u okviru domaćeg tržišta i regiona u budućnosti. Ovaj rad može da posluži kao osnova za neka nova istraživanja ili prilikom razmatranja određenih strateških pitanja vezanih za zemni gas,

od strane nadležnih institucija i merodavnih organa. Sva izneta i prezentovana materija može da posluži u razmatranju i formiranju određenih strategija snabdevanja zemlje i regiona Balkana, a sva izneta zapažanja i sugestije mogu se iskoristiti u cilju boljeg snabdevanja tržišta gasom kao energentom.

Svoj doprinos rad je pružio i prezentovanjem načina optimizacije snabdevanja potrošača tehničkim gasovima, sagledavajući funkcije transporta i skladištenja u sklopu logistike. Izložena rešenja i rezultati koji su pruženi u oblasti transporta, skladištenja i snabdevanja tehničkim gasovima, sa aspekta optimizacije snabdevanja potrošača, u zavisnosti od potrebne količine i rastojanja, mogu se odmah primeniti konkretno u praksi.

Doprinos rada se ogleda i kroz prezentovanje mogućih rešenja vezanih za pravilnu proizvodnju, upotrebu, skladištenje i korišćenje ugljen-dioksida u cilju zaštite životne sredine, a time bi se značajno doprinelo ekologiji. Što bi neminovno doprinelo smanjenju formiranja „efekta staklene bašte“ i globalnog zagrevanja planete.



## SPISAK KORIŠĆENE LITERATURE

---

1. Adams E. & Caldeira K. "Ocean Storage of CO<sub>2</sub>" Elements 5/4, 2008.
2. Andrejašević A. "Ekološki porezi" Internati. Symposium on Natural Resources Management, 2015.
3. Andrijević I. i drugi "Transportno i špeditersko poslovanje" Mikrorod, Zagreb 2001.
4. Anđelković A. "Upravljanje rizicima lanca snabdevanja u cilju povećanja njegove otpornosti" doktorska disertacija, Ekonomski fakultet u Nišu, Niš, 2015.
5. API (American Petroleum Institute) - i NFPA (National Fire and Protection Association)
6. Barac N., Anđelković A. "Otpornost globalnih lanaca snabdevanja – razvoj konceptualnog okvira" Tematski zbornik, Nauka i ekonomska kriza, Ekonomski fakultet, Niš, 2012.
7. Barac N., Anđelković A., Milovanović G. "Upravljanje faktorima rizika: mehanizam za povećanje otpornosti lanca snabdevanja" Ekonomske teme 52, Niš, 2014.
8. Barac N., Janković – Milić V., Anđelković A. "Managing by Conflicts Between Partners in Supply Chain" Tehnics Technologies Education Management – TTEM, Vol. 7, No. 4, p. 1809-1815., 2012.
9. Barac N., Milovanović G. "Menadžment kanala distribuije" Ekonomski fakultet, Niš, 2001.
10. Barac N., Milovanović G. "Strategijski menadžment poslovne logistike" Ekonomski fakultet, Niš, 2006.
11. Barac N., Milovanović G. "Strategijski menadžment logistike" SKC Niš, Niš 2006.
12. Barcaly M. Shukri T. "Enhanced single mixed refrigerant process for stranded gas liquefaction" 15<sup>th</sup> International Conference & Exhibition on Liquefied Natural Gas, Barcelona, Spain, 2007.
13. Barić N. "Dobavni pravci prirodnog plina za opskrbu Europe" RGNF Zagreb, 2010.
14. Barić N. "Nekonvencionalna ležišta plina u Europi" diplomski rad, RGNF, Zagreb, 2012.
15. Bartsch E., Kleebery M., Wendschuh R. "Rationalisierung des innerbetrieblichen Transportwesens" VEB Verlag technik, Berlin, 1961.
16. Bary A. i dr. "Storing Natural Gas Underground" Oilfield reviews, Summer, 2002.
17. Bauk A. "Podzemno skladištenje plina" INA Naftaplin, Zagreb, 2003.
18. Bauk A. "Znanost mijenja svijet a plin komoditet življena" Bauer grupa, Samobor, 2003.
19. Bauk A. i dr. "Prirodni plin" INA-NAFTAPLIN, Zagreb, 1989.
20. BBC News, Global Climate Change.
21. Belamarić G. "Prevoz ukapljenog LNG plina" Split, 2012.
22. Belamarić G. "Teretni sustav LNG tankera" Split, 2012.
23. Berest P. Brouard B. "Safety of Caverns used for Underground Storage" F.
24. Berest Pierre, Brouard Benoit "Safety of salt caverns used for underground storage" France 2004.;
25. Berger A. "Analiza tržišta i dobavnih pravaca stlačenog prirodnog plina (CNG)" RGNF, Zagreb, 2008.
26. Bogner M. "Propan i butan, propisi i primeri iz prakse" ETA, Beograd, 2004.
27. Bogner M. "Pokretna oprema pod pritiskom" ETA, Beograd, 2015.
28. Bogner M., Ćirić S. "Tehnički gasovi" Građevinska knjiga, 1984.
29. Bogner M., Isailović M. "Tehnički i medicinski gasovi" ETA, Beograd, 2005.
30. Bosma P., Nageloort R.K. "Liquefaction Technology, Developments through History" Proceedings of the 1<sup>st</sup> Annual Gas Processing Symposium, 2009.
31. Božić V. "Tražnja u transportu" Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd, 1984.
32. Božić V., Aćimović S. "Marketing logistika" Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd, 2015.
33. Božić V., Rakić S. "Poslovna logistika" Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd, 1997.
34. Bradbury J. "Going beyond LNG" Hart's E&P, March,
35. Bradshaw J., Bahu S. i dr. "CO<sub>2</sub> storage capacity estimation: Issues and development of standards" International Journal of Greenhouse Gas Control, I, 2007.

36. Bronfenbrenner J.C., Pillarella M., "Seleting a Suitable Process LNG Industry" Summer 2009.
37. Bronzan B. "LNG" Energetika Marketing, Zagreb, 1999.
38. Bručić I. "Hvatanje i skladištenje ugljičnog dioksida" RGNF, Zagreb, 2010.
39. Bukowski J. i dr. "Innovationis in Natural Gas Liquefaction Technology for future LNG plants and floating LNG facilitis" Air Products and Chemicals, Inc. 2011.
40. Carbon Sequestration Leadership Forum (2007) Phase II Final Report from the Task Fore for Review and Identifiation of Standards for Standards for CO<sub>2</sub> Storage Capaity Estimation
41. Cavalcante C.L. "Industrial adsorption separation processes: fundamentals, modeling and applications" Universidade Federal do Ceara, Brasil, 2000.
42. CCS "Šta znači geološko skladištenje CO<sub>2</sub>" GeoNet Evropska mreža izvrsnosti, 2012.
43. CEE - Center for Energy Economics "Introduction to LNG" Houston, 2012.
44. CEN - European Committee for Standardization (Evropsko veće za normalizaciju), 2013.
45. Chi-Kong Chyong "The Economics of the South Stream pipeline in the context of Russo-Ukrainian gas bargaining"; Jamest T. Jensen "LNG and Pipeline Economics" Stanford University 2002.
46. Conardo Borraz-Sanchez "Optimization Methods for Pipeline Transportation of Natural Gas" Universitet of Bergen, Norway, doktorska disertacija, 2010.
47. Cota L. i dru. "Nekonvencionalni izvori plina u svjetu, Europi, ..." naučni skup, Opatija 2013.
48. Čvorović D. "Razvitak tržišta prirodnog plina" RGNF, Zagreb, 2013.
49. Ćuzović S. "Frašizing-inovacioni model preduzetništva" III Međunarodna konferencija "Krizi i inovacije kroz prizmu preduzetništva" Podgorica, 2013.
50. Ćuzović S. "Inovacija u trgovinskom menadžmentu" Ekonomski fakultet, Niš, 2010.
51. Ćuzović S. "Menadžment inovacija u trgovini" Čigoja, Beograd, 2000.
52. Ćuzović S. "Menadžment kvalitetom u trgovini" Ekonomski fakultet, Niš, 2010.
53. Ćuzović S. "Menadžment nabavke" Ekonomski fakultet, Niš, 2011.
54. Ćuzović S. "Strategija izvozno orjentisane privrede – preduslov za izlazak Srbije iz krize" Moguće strategije razvoja Srbije, Ekonomski zbornik XIII, SANU, 2014.
55. Ćuzović S. "Strategije prilagođavanja trgovinskog sektora na ekonomsku krizu" TEME br 1, 2013.
56. Ćuzović S. "Trgovina-principi, struktura, razvoj" Ekonomski fakultet, Niš, 2011.
57. Ćuzović S. "Važnost partnerstva trgovine i proizvođača u oskrbnom lanu za osiguranje kvaliteta asortimana proizvoda" Međunarodna konferencija "Perspektive trgovine ..." Zagreb, 2011.
58. Ćuzović Đ. "Globalizacija i njen uticaj na nacionalnu privredu", doktorska disertaija, Ekonomski Fakultet u Nišu, Niš, 2012.
59. D. Kostić, "Kongeracija-opravnani način korišćenja gasa u energetskim postrojenjima" zbornik Gas, 1996.
60. Dagobert L. Brito "Pipelines and the Exploitation of Gas Reserves in the Middle East"
61. Danilović D. i dr. "Mogućnost korišćenja gasnog ležišta naftno-gasnog polja Ostrovo kao podzemnog skladišta" Beograd, 2012.
62. Dawe R.A. i dr. "Hydrate Technology forTransporting Natural Gas" Engineering Jurnal of the University of Qatar, Vol. 16, 2003.
63. Dawe R.A.i dr. "Hidrate tehnology for transporting natural gas" sa departmana za hemijski inžinjerung univerziteta West Indies Trinidad, Enginerung Journal of the university of Qatar, Vol. 16, 2003.
64. Deghmount A. "A Riveting Review of Worldwide Industrial Geological arbon apture and Storage Projets with the Juntion of CO<sub>2</sub> Emission in Algeria" Cairo, Socity of Petroleum Engineers, 2012.
65. Dekanić I. "Geopolitika energije" Golde marketing-Tehnička knjiga, Zagreb, 2011.
66. Dekanić I. i dr. "Studija o primjeni stlačenog prirodnog plina u Republici Hrvatskoj, diverstifikacija dobavnih pravaca SPP-a brodovima" studija, 2008. str. 11.
67. Desphande A. EKONMIDES, M.J. "CNG: An Alternative Transport for Natural Gas Insteand of LNG"
68. Dizdar N. "Zeleni porezi" YUNG 2004.
69. Dojčinović Z. "Podzemno skaldištenje ukapljenog naftog plina u Republici Hrvatskoj" stručni rad, XVII Međunarodni susret stručnjaka za plin, Opatija 2007.

70. Dojčinović Z. "Podzemno skladištenje plina" časopis Zima, 2009.
71. Domazet A. i drugi, "Međunarodni marketing" Ekonomski fakultet u Sarajevu, Sarajevo 2002.
72. Dunlop J.P., White C.N. "CNG Transport Technology is Delivering on promises" SPE annual Technical conference and Exhibition, denver, Colorado, USA, 5-8 Octobar 2003. SPE-s eLibrary, 2003.
73. Dunlop P.J. "CNG Transport Tehnology is Delivering on Promises" SPE Annuol Technical Conference and Exhibition, Denver, 2003, SPE 84254.
74. Dvornik J. i dr. "Konstrukcijska i tehnološka rešenja Q-max LNG brodova" International Maritime Scene Conference, Split, 2014.
75. Đajić N. "Energetika Srbije" Akademija inženjerskih nauka Srbije, 2011.
76. Đajić N. "Energetika za održivi svet" Rudarsko-geološki Fakultet, Beograd, 2002 god.
77. Đajić N. "Energetika Srbije" Akademija inženjerskih nauka Srbije, Beograd, 2011.
78. Đajić N. "Kongeracija električne i toplotne energije – šansa racionalnije korišćenje prirodnog gasa u Srbiji" časopis Gas IX, 2004.
79. Đurović V. "Jonsko-Jadranski plinovod i njegov potencijal" EGE 3, Zagreb, 2008.
80. Đurović V. "Novi plinski sustav Republike Hrvatske i novi projekti - osnova regionalnog trans regionalnog povezivanja plinski sustava i tržišta" naučni skup Opatija 2013.
81. Economides, M.J. Subero G., Compressed Natural Gas (CNG): An Alternative to Liquid Natural gas (LNG), SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and exhibition, Jakarta, Indonesia, SPE's, 2005.
82. Eichhor M. "Logistische Entscheidungen und Ihre Auswirkungen" Die Unternehmenssililation Logiste PLUS, Diss, Georg-avgust Universitat, Gottingen, 2000.
83. Energetski bilans Republjike Srbije za 2013.; 2014.; 2015.
84. Energi Information Administration – The Basic of Undergroun Natural Gas Storage
85. Englezos P. "Energy Pontential of Natural Gas Hydrates" University of British Columbia, Paciflc energy Innovation Association, 2010.
86. Eppert M. "Budućnost plinskog tržišta Jugoistočne Evrope" RGNF, Zagreb 2012.
87. Ersland G., Graue A. "Natural gas hydrates" University of Bergen, Norway, Intecopen, 2012.
88. Evropski istraživački projekat.SACS - Saline Aquifer CO2 Storage;
89. Filipović S. "Ekološki porezi u pojedinim Evropskim zemljama" Economic Annals, br. 162. 2004.
90. Frančić G. "Ukapljeni plin značajan potencijal za regiju" 5 Međunarodna gasna konferencija regiona Jugoistočne Evrope, naučni skup, Sarajevo, 2012,
91. Galešić Z. "Kopnena i odobalna postrojenja za ukapljivanje prirodnog plina" dip., RGNF Zagreb, 2013.
92. Ganić G. "Porez ili naknada na CO2 kao jedinstveni ekonomski instrument za vođenje politike zaštite klime, povećanja korišćenja obnovljivih izvora i energetske učinkovitosti" NAFTA 65. 2014.
93. Gašić I. "Plinska industrija u Ruskoj Federaciji" RGNF, u Zagreb, Zagreb, 2012. god.
94. Gazprom Annual Report 2011.
95. General Report of the Committee A 12<sup>th</sup> World Conference of Intenational Gas Union, Nice.
96. Genić S. "Svojstva procesnih fluida" Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara, Beograd 2014.
97. Gerdemann S.J. "Ex situ aqueous mineral carbonation" Environmental Siene & Tehnology, 41/7, 2007.
98. Gjetvaj I. "Postanak ležišta prirodnog plina" Prirodni plin, INA, Zagreb 1989.
99. Gleston S. "Udžbenik fizičke hemije" Naučna knjiga Beograd, 1975.
100. Gligorijević M. "Industrijski marketing" Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd 2004.
101. GOC Engineering GmaH
102. Goodman A. i dr. "US DOE Methodology For the Development of Geologic Storage Potential For Carbon Dioxide at the National and Regional Scale" International Journal of Greenhouse Gas Control, 5/4; 2011.
103. Gregor Rehder i dr. "Methane Hydrate Pellet Transport using the Self-Preservation Efeect: A Techo-Economic Analysis" Journal Energies, 2012.
104. Grupa autora "Enciklopedijski leksikon Fizika" Interpres, Beograd, 1972.
105. GSE Gas Storage Europe, 2014.
106. GTM (Gas Transport Modul) ili CRPV (Composite Reinforeed Presure Vessels)

107. Gudmundsson J. "Hydrate Non-Pipeline Technology for Transport of natural Gas" 22<sup>nd</sup> World Gas Conference, Tokyo, 2003.
108. Gudmundsson J.S. "Natural gas hydrate problem solver and resource for production and transport" Gas Hydrates, Tekna, Bergen, 2008.
109. Gudmundsson J.S. prezentovao u radu "Frozen Hydrat for transport of Natural Gas" 2<sup>nd</sup> Internacional conference on Natural Gas Hydrat, Toulouse, France, 1996.
110. Guðrún Jóna Jónsdóttir "LNG as a ship fuel in Iceland A feasibility study " Master of Science in Construction Management, Reykjavik University, 2013.
111. Gudmundsson J., i dr. "Hydrate non-pipeline technology for transport of natural gas" 22nd world Gas Conference, Tokyo, 2003.
112. Haramija V. "Tehnologija hvatanja i zbrinjavanja ugljenikovog dioksida" Gorivo i maziva, br. 51, 2012.
113. Haung S. i dr. "LNG Basics of Liquefid Natural Gas" Austin, Texas: University of Texas, Controlling Education, Petroleum Extension Service, 2007.
114. Haung S., Chiu C-H, Elliot D. "LNG: Basics of Liquefid Natural Gas" Austin, Texas, University og Texas, Continuing Education, Petroleum Extension Service, 2007.
115. Haywood M.H. i dr. "Carbon dioxide sequestration as stable carbonate minerals – environmental barriers" Environmental Geology, 41. 2001.
116. Hiroki Okimi "Comparativne Economy of LNG and Pipelines in Gas Transmission" Japan; ...
117. Hodak K. "Transport stlačenog plina brodovima" RGNF, Zagreb, 2010.
118. Holman A. "Direct conversion of methane to fuels and chemicals" Catalysis Today, 142, 2009.
119. Houghton J. "Global warming: The Complete Briefing" Cambridge University Press, 2006.
120. Howard J. Herzong "Ocean sequestration – of an overview" Messachusetts Institure of Technoology (MIT) Energy Laborat., ...
121. Hrnčević L."Analiza uticaja provedbe Kyoto protokola na naftnu industriju i poslovanje naftne tvrtke" doktorska disertacija RGNF Zagreb. 2008.
122. Huang S. i dr. "Basics of Liquefied Natural Gas" Austin, Texas, University of Texas, ontroling Education, Petroleum Extension Servie, 2007.
123. IGC code – The Internacional Code for the Construction and Equipment og Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk, Internacionalni propis za konstrukciju i opremanje brodova za transport tečnog gasa, odnosi se na brodove posle 1986. II Međunarodna konferencija o razvoju gasne industrije u tranzitnim zemljama Jugoistočne Evrope, Beograd, 2007.
124. Ilić S., Kostović S. "Skladištenje gasa u funkciji sigurnog snabdevanja gasom gasnih kompanija u JIE sa posebnim osvrtom na mogućnost podzemnog skladištenja Banatski Dvor" Sarajevo, 2007.
125. Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2001:
126. IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Metz,B., Davidson, O. de Coninck, H.C., Loos, M. & Meyer, L.A. (ur.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. (2005)
127. Ivanšić I. "Prednosti i nedostaci LNG RV projekata na području otoka Krk" Naučni skup, Opatija 2011.
128. J. Price, B. Smith "Geologic Storage of Carbon Dioxide, Staying Safely Underground" IEA Greenhouses Gas R&D Programme, 2008.
129. Jannet J.P. "Managing with a Global Mindset", Prentice Hall, London, 2000.
130. Javanmardi J. i dr. "Economic evaluation of natural gas hydrate as an alterative for natural gas transportation" Applind Themal Engineering, 25, 2005.
131. Jerolimov Z. "Projekat izgradnje alternativnog terminala za ukapljeni prirodni plin" RGNF, Zagr. 2011.
132. Jevtić-Šarčević N. "Dunavsko-Crnomorski region kao geopolitički, energetski i bezbednosni prostor" Institut za međunarodnu politiku i privredu, Beograd 2012.
133. Ji-hom Kim i dr. "Development of the World's largest above-ground full containment LNG storage tank" 23<sup>rd</sup> World Gas Conference, Amsterdam, 2006.

134. Joffre G.H. "Study on Under, Gas Storage in Europe and Central Asia" Working Part on Gas Geneva, 2012.
135. Johanson P., Santillo D. "Carbon Capture and Sequestration: Potential Environmental Impacts" Greenpeace Research Laboratories, University of Exeter;
136. Johansson J. "Global marketing" McGraw-Hill, New York, 2003.
137. John Bradbury "SeaGas Group Seeks GTI Test" Hart's E&P, March,
138. Jolić N. "Luke i ITS" Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2005.
139. Jovanović M, Damljanović Simić J. "Ekonomski efekti proširenja Evropske Unije na zemlje Istočne Evrope u periodu 2000-2012." Moguće strategije razvoja Srbije, Ekonomski zbornik XIII, SANU, 2014.
140. Jovičić D. "Gasno ležište Itebej "g3" u funkciji podzemnog skladišta gasa" magi., RGF, Beograd, 2009.
141. Jurgen Messner and Georg Babies "Transport of Natural Gas" Polinares EU Policy on Natural Resources, European Commission, 2012.
142. Jurinić S. i dr. "KSU (Kaptiranje i Skladištenje Ugljikovog dioksida) – uticaj na okolinu" XXII Međunarodni susret stručnjaka za plin, Opatija 2013.
143. Kanda H. "Economic study on Natural Gas Transportation with Natural Gas Hydrate (NGH) pellets" Japan, prezentovano na 23<sup>rd</sup> world Gas Conference, Amsterdam, 2003.
144. Karabajić D. "Optimizacija konfiguracije S-lay postupka polaganja podmorski cjevovoda" doktorska disertaciji Tehnički fakultet, Rijeka, 2012.
145. Karasalihović Sedlar D. "Gospodarenje plinovima 1 – nekonvencionalni izvori prirodnog plina" RGNF, Zagreb, 2010.
146. Karasalihović Sedlar D. "Gospodarenje plinovima 2 – ukapljeni prirodni plin (LNG)" RGNF, Zagreb, 2010.
147. Karasalihović Sedlar D. "Gospodarenje plinovima 2, Transport i skladištenje prirodnog plina", RGNF, Zagreb, 2010.
148. Karasalihović Sedlar D. "Rezerve i potrošnja plina" RGNF, Zagreb, 2010. god.
149. Kasanić I. "Transport stlačenog plina" diplomski rad, RGNF, Zagreb, 2008.
150. Keegen J. Warren "Global Marketing management" Prentice Hall International, Pearson Education, 2002.
151. Key World Energy Statistics, IEA, 2012.; 2014. i 2015,
152. Kilibarda M. "Marketing u logistici" Saobraćajni Fakultet u Beogradu, Beograd, 2011.
153. Kilibarda M. "Modeliranje performansi kvaliteta logistike usluga" Saobraćajni Fakultet u Beogradu, 2005.
154. Klarin M. "Organizacija unutrašnjeg transporta i upravljanje kvalitetom" Mašinski fakultet u Beogradu, Beograd. 1995.
155. Kolenković I. "Mogućnosti za geološko skladištenje ugljeničkog dioksida u Gornjomiocenskim pješčenjacima zapadnog dijela Savske depresije" doktorski rad, RGNF, Zagreb, 2012.
156. Kolenković I., Saftić B. "Geološko skladištenje ugljeničkog dioksida" časopis RGNF, 28. Zagreb, 2014.
157. Kolomejceva-Jovanović L. "Principi održivog razvoja u rešavanju globalnih ekoloških problema" Ekologija, Beograd 2011.
158. Kolundžić S. "Interes za ukapljeni prirodni plin ponovo raste (1.deo)" EGE, 4/2005.
159. Kolundžić S. Lopac A.A. "LNG terminal doprinos umrežavanja RH u regionalne tokove energetike" naučni skup Opatija 2007.
160. Kostić A. "Geologija ležišta nafte i gasa" predavanja, Rudarsko Geološki Fakultet, Beograd, 2013.
161. Kostić V., Kostić Lj. "Hemijsko tehnološki leksikon" Rad, Beograd, 1980.
162. Kotler P. "Marketing Management" Prentice Hall International Inc. New Jersey, 2000.
163. Kotler P. i dr. "Principles of Marketing" 10<sup>th</sup> edition, Published by Pearson Education, Prentice Hall, 2003.
164. Kovač O. "Ekonomski efekti proširenja E U na zemlje Istočne Evrope u periodu 2000-2012." Moguće strategije razvoja Srbije, Ekonomski zbornik XIII, SANU, 2014.
165. Krstičević T. "Budući razvoj svjetskog tržišta prirodnog plina" RGNF, Zagreb, 2013.
166. Kukuljan D. i dr. "Opravdanost ugradnje i princip rada uređaja za ponovno ukaplavanje prirodnog plina na brodu" Pomorstvo, 26/1, 2012.
167. Kuterova E.A. i dr. Associated Gas Utilization in Russia, Issues and Prospects, Annual Report Issue 3, Moscow, 2011.

168. Labudović B. "Osnove tehnike ukapljenog naftnog plina" Energetika marketing, Zagreb, 2007.
169. LINDE Dokumentacije "Cryogenic AIR Separation" History and Tehnological Progress
170. Liuhto K. "A liquefied natural gas terminal boom in the Baltic Sea region?"  
Turun Yliopisto University of Turku, 2012.
  
171. Lopac A.A., Vugrinec M. "Nove tehnologije uplinjavanja ukapljenog prirodnog plina (LNG-a)"  
Naučni skup u Opatiji, 2010.
172. Loš B. "Tehnologija hvatanja i spremanja ugljenikovog dioksida u elektroenergetskom sektoru –  
pregled relevantnog stanja" Energija 58, 2009.
173. Lovreta S. i dr. "Kanali marketinga" Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd, 2016.
174. Lovreta S. i dr. "Menadžment odnosa sa kupcem" Data Status i Ekonomski fakultet, Beograd, 2010.
175. Lovreta S. i dr. "Sve veća uloga trgovine i ostalih kanala marketinga u jačanju konkuretnosti  
srpske privrede" CID Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd, 2011.
176. Lovreta S. i dr. "Trgovinski marketing i prodaja" Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd, 2016.
177. Lovreta S. i dr. "Trgovinski menadžment" Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd, 2015.
178. Lovreta S. i dr. "Strategija izvozno orjentisane privrede – preduslov za izlazak Srbije iz krize"  
Moguće strategije razvoja Srbije, Ekonomski zbornik XIII, SANU, 2014.
179. Ljubaš D. i dr. "Mogućnosti transporta i skladištenja prirodnog plina u obliku plinski hidrata"  
Skup u Opatiji, 2011.
180. Ljubičić P. i dr. "Mehanička svojstva nerđajućih čelika na niskim temperaturama"
181. M. Milisavljević: Marketing, 21 izdanje, Savremena administracija, Beograd 2003.
182. Maetto Marongiu-Porcu i dr. "The Economics og Compressed Natural Gas sea Transport"  
University of Houston, 2008.
183. Maggie Y.M. Lee "Intodces Market Statstics on Major Gas Supplier" Gases&Instrumentation, 2012.
184. Makogon Y.F., "Natural gas-hydrates- A potential energy source for the 21<sup>st</sup> Centry"  
Journal of petroleum Science and Engineering 56, 2007.
185. Malenica Š. "An Overwiv of the Hydro-Structure Interactions during siothing impacts in the  
tanks of LNG Carriers" časopis Brodogradnja. br. 64..
186. Marchand B. "Distribution a practical guide to planning and operation" Kogan P, London, 1999.
187. Marian Koshland-Science Museum of the National Academy of Science.
188. Marić T. i dr. "Podzemno skladište gasa Banatski Dvor A-studija izvodljivosti"  
naučni skup Gas, Vrnjačka banja, 2009.
189. Mark Zoback "Challenges for Solid Earth Science related to Energy / Climate /  
Environment / Economy" Stanford University;
190. Martić F. "Potrošnja energije pri pretvorbi plina iz tekućeg u plinovito stanje na  
brodovima za prevoz ukapljenog prirodnog plina" časopis Naše more 58 (5-6), 2011.
191. Mateto Marongiu-Porcu, i dr. "The Economics of Copressed Natural Gas sea Transport" SPE Russian Oil &  
Gas Tehnical Conference and Exhibition held in Moscow, Russia, 2009.
192. Mateto Marongiu-Porcu, i dr. "The Economics of Copressed Natural Gas sea Transport"
193. Matez B. i dr. "Carbon Dioxide Capture and Storage" Cembridge University Press, 2005.
194. Matić D. prezentacija "Prirodni plin u svejetu i evropski i plinsko gospodarstvo Republike Hrvatske" 2013.
195. McCabe, P.J. "Energy resources; cornucopia or empty barrel?" AAPG Bulletin, 82., 1988.
196. McLeod N.J., Kelly R.T. "Identifying and Filling Western Europe's Natural Gas Storage  
Needs for the Next Decade" RPS Energy, SPE, 2007.
197. Meandžija I. "Čišćenje od primjesa i frakcioniranje prirodnog plina" Prirodni plin, INA Naftapin, Zagreb
198. Mid-Norwegian Margin" Faculty of Science, Department of Geology, University of Troms, 2009.
199. Milenović B. "Ekološka ekonomija, ekonomski razvoj i životna sredina" Fakultet zaštite na radu, Niš 1996.
200. Mileusnić N. "Unutračnji transport i skladištenje" Naučna knjiga, Beograd, 1990.
201. Milisavljević M. i dr. "Osnovi marketinga" Ekonoski fakultet u Beogradu, Beograd 2012.



202. Milivojević V. "Proizvodne bušotine" Prirodni plin, INA Naftapin, Zagreb 1989.
203. Milovanović G., Barac N. Anđelković "Razvoj i elementi međunarodne logistike" Ekonomske teme, Niš, 2009.
204. Milovanović G., Barac N. "Riversna logistika kao deo lanca snabdevanja" Ekonomski fakultet, Niš, 2007.
205. Milovanović G., Barac N. "Rizici u lancu snabdevanja i njegova konkurentnost" Zbornik "Unapređenje konkurentnosti javnog i privatnog sektora ..." Ekonomski fakultet, Niš, 2011.
206. Milovanović G., Barac N., Anđelković A. "Korprativna društvena odgovornost u eri globalizacije" Economics and Organization, Vol. 6, N 2, 2009.
207. Milovanović G., Barac N., Anđelković A. "Logistika, menadžment lanca snabdevanja i konceptualne perspektive" Ekonomske teme 3/2012., Ekonomski fakultet, Niš, 2012.
208. Milovanović V. "Logistika" Megatrend univerzitet u Beogradu, Beograd, 2010.
209. Mokhatab S. i dr. "Process Selection is Critical to Onshore LNG Economics" World Oil, 2006.
210. Mokhatab S., Economides, M.J. "Onshore LNG Production Process selection SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas, U.S.A., 2006.
211. Muk J. i dr. "Tehnički gasovi" Tehnogas, Beograd, 1974.
212. Murayama T. "Effects of Guest Gas on Pelletizing Performance of Natural Gas Hydrate (NGH) Pellete" Proceedings of the 7<sup>th</sup> Interna. Conference on Gas Hydrates (ICGH), Edinburgh, United Kingdom, 2011.
213. Muštović F. "Propan-butan", IBC, Sarajevo, 2006.
214. Nakata T. i dr. "Study of natural gas hydrate (NGH) carries" 6th International Conference on Gas Hydrates Vancouver, British Columbia, Canada, 2008.
215. Niels Marquardt "Introduction to the principles of vacuum physics" University of Dortmund, Dortmund,
216. Nikolić M. "Zaštita životne sredine" Lex forum, 2005.
217. Nikolić M. i dr. "Ekonomika Energetike" Ekonomski Fakultet u Beogradu, Beograd, 2003.
218. Novaković S. Božić V. "Ekonomika saobraćaja" Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd, 1994.
219. Novosel D. "Učinak ugljeničkog dioksida u tercijalnoj fazi iskorištavanja naftih ležišta polja Ivanić", RGNF u Zagrebu, Zagreb. 2009.
220. P. A. i dr. "A Cost Curve For Greenhouse Gas Reduction" The McKinsey Quarterly, No. 1, 2007.
221. Patrick V. De Laguerie "Underground Storage of LPG in Rock Cavern at Visakhapatnam in Andhra Pradesh" WLPG, Seoul, 2008.
222. Pavlović D. "Optimizacija plinskog sustava Republike Hrvatske integrisanje terminala za ukapljeni prirodni plin" doktorska disertacija, RGNF, Zagreb, 2011.
223. Pavlović D. "Prikaz načela bitnih za odabir terminala za uplinjavanje (UPP) u Republici Hrvatskoj temeljem usporednih elemenata UPP terminala u Poljskoj i Litvi" Naučni skup u Opatiji, 2013.
224. Perać P. "Gasovodni sistemi" JUGAS, Beograd, 2002.
225. Perišić R. "Savremene tehnologije transporta 1- integralni sistemi transporta" Saobraćajni fakultet u Beogradu, Beograd, 1985.
226. Perišić R. "Savremene tehnologije transporta" Saobraćajni fakultet u Beogradu, Beograd 1994.
227. Petrick V. Laguerie "Underground storage of LPG rock cavern at visakhapatnam in andhra prades (India)" WLPG, Seoul, 2008.
228. Pfohl H. Ch. "Logistiksysteme" Sechste neuarbeitete und aktualisierte Auflage, Springer Verl., Berlin, 2000.
229. Philips C. F. and Ducand D. J. "Marketing: Principles and Methods" 6<sup>th</sup> edition, Richard D. Irwin, Illionis,
230. Pillarella M. i dr. "Large LNG Trains: Developing the Optimal Process Cycle" Gastech 2005 Conference & Exhibition, Bilbao, 2005.
231. Plat H. "Underground gas storage" why and how, 2009.
232. Posavac D. i dr. "Brodovi za ukapljeni prirodni plin" RGN zbornik br. 22, Zagreb, 2010.
233. Prabhakar M., "Gas Hydrates as an Unconventional Resource: Asian Perspective" Singapore at the Geoscience Tehnology Workshop, 2012., 2013., ...
234. Previšić J., Ozretić Došen Đ. "Marketing" Adverata, Zagreb 2004.
235. Previšić J., Ozretić-Došen Đ. "Međunarodni marketing" Masmedia, Zagreb 1999.

236. Prosvetina Enciklopedija, Prosveta, Beograd, 1986.
237. Prstojević B. "Cevovodni transport nafte i gasa" Rudarsko-geološki fakultet u Beogradu, Beograd, 2012.
238. Prstojević B. "Distribucija prirodnog gasa" Rudarsko-geološki fakultet u Beogradu, Beograd, 2004.
239. Prstojević B. i dr. "Distribucija prirodnog gasa" Rudarsko-Geološki Fakultet, Beograd 2005.
240. Prstojević B., Đajić N. "Merenje i regulacija prirodnog gasa" Rudarsko Geološki Fakultet u Beogradu, Beograd, 1995.
241. Putanov P. "Osnovi fizičke hemije" Tehnološki fakultet u Novom Sadu, Novi Sad, 1989.
242. R. Lee Gresham "Geologic CO<sub>2</sub> Sequestration and Subsurface Property Rights: A leage and Economic Analysis" Dissertations, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 2010.
243. Radiš D. "Mesto i pozicija tečnog prirodnog gasa na svetskom tržištu" Industrija br. 7,8. 2007.
244. Radiš D. "Plasman tehničkih gasova" časopis Nova trgovina, br. 11-12. 1999.
245. Radiš D. "Poslovna logistika u funkciji distributivnih aktivnosti preduzeća" Poslovna logistika, br. 8. 2007.
246. Radiš D. "Proizvodnja i plasman tečnog prirodnog gasa u svetu" Gas br. 4. 2006. god.
247. Radiš D. "Marketing logistika" časopis Direktor, br. 11. 1999.
248. Radiš D. "Sistem marketing logistike u proizvodnji i distribuciji tehničkih gasova" magistarski rad, Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd, 1999.
249. Radiš D. "Tečni prirodni gas; energija za budućnost" Ekonomist, br: 309; i br: 310. 2006 god.
250. Radiš D. "Unapređenje prodaje kao element promociionog miksa" Nova trgovina br. 3-4. 2000. god
251. Raguet J. Globalna industrija trgovinom gasovima, rad je prezentovan na 18-om nacionalnom seminaru o industriskim gasovima 1996. godine u Aurangobadu.
252. Rajnauth J. i dr. "Monetizing Gas: Focusing on Developments in Gas Hydrate as a Mode of Transportation" Energy Science and Technology, CS Canada, Vol 4, No 2, 2012.
253. Rakita B. "Međunarodni menadžment" Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd 2003
254. Rakita B. "Međunarodni marketing" Ekonoski fakultet u Beogradu, Beograd 2012.
255. Rakite B. "Međunarodni marketing" Ekonomsku fakultet u Beogradu, Beograd, 2004.
256. Raškovič Lj. "Osnove kriogene tehnike" Akademska misao, Beograd, 2005.
257. Ratner M. i dr. "U.S. Natural Gas Exports: New Opportunities, Uncertain Outcomes" Congressional Research Service, 2013.
258. Rawe R. "Odoriranje zemnog gasa (istraživanja inteziteta mirisa različitih supstanci za odoriranje) " Međunarodni znanstveno-stručni skup za plin, Opatija 2002.
259. Regodić D. "Logistika - lanci snabdevanja", Univerzitet Sinsidunum, Beograd, 2014.
260. Regodić D. "Logistika" Univerzitet Sinsidunum, Beograd, 2012.
261. Rehder G. "Methane Hydrate Pellet Transport Using the Self-Preservation effect: A Techno-Economic Analysis" Energies, journal, 2012.
262. Results from the CO<sub>2</sub> Capture Project, Geologic Storage of Carbon Dioxide with Monitoring, 2008.
263. Roca B. "Marketing logistika" Kultura, Bački Petrovac, 2004.
264. Rožić Ž. "Napredne mogućnosti rasplinjavanja ukapljenog plina kogeneracijskim postrojenjima na LNG terminalu" Vjesti 30, Zagreb, 2009.
265. Rukavina V. "Proizvodnja i primena ugljene kiseline i suvog leda" Savez energetič. Srbije, Beograd, 1971.
266. Ruppel C. "Methan Hydrates and the Futre of Natural Gas" MITEI Natural Gas Report. 2011.
267. Rusan I. "Razlika u pristupu ekonomskoj procjeni konvencionalnih i nekonvencionalnih lažišta (sa naglaskom na nekonvecionalna ležišta) naučni rad, INA,
268. S. M. Benson, "CO<sub>2</sub> Storage Preface, Carbon Dioxide Capture for Storage in Deep Geologic Formations-
269. Sally Benson i dr. "IPCC Special Rerort on carbon dioxide Capture and Storage" Chapter 5 Underground
270. Sanggyu L. i dr. "The Study on Natural Gas Liquefaction Cycle Development for LNG-FPSO, Proceedings
271. Saridja V. "Konstrukcija bušotine" Prirodni plin, INA Naftaplin, Zagreb 1989.
272. Schematic derivad from 2007. European Physical Gas Flows chat from UK Depet of Energy and Climate
273. Schwimbeck R.G. "LNG Pipeline" Vortrag auf der 3<sup>rd</sup> Pipeline Technology Conference, Hanover, 2008.
274. Sečan J., Zelić M. "Hoće li metan iz hidrata biti energent budućnosti?" naučni skup Opatija 2003.

275. Segeltija Z. "Tržišna logistika, vertikalni marketing" naučni skup" Savremena logistika i distribucija,
276. Segeltija Z. "Uvod u poslovnu logistiku" Ekonomski fakultet u Osijeku, Osijek 2004.
277. Senger Kim, "Firrst-order estimation of in-place natural gas resources at the Nyegga gas hydrate prospect,
278. Shah p Duur, Ch, "Monetizing Stranded Gas u Petroleum Engineering Handbook"  
Volume VI-emerging and peripheral tehnologies, Society of Petroleum Engineers, Richardson, 2007..
279. Simon K. "Skladištenje i potrošnja energenata, skladištenje prirodnog plina i nafte" RGNF, Zagreb, 2010.
280. Simon K. i dr. "Pregled procesa ukapljavanja prirodnog plina" RGN Zbornik, br. 21, Zagreb, 2009.
281. Sircar S., Myers A. "Gas Separation by Zeolites" Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania, USA, 2003.
282. Smith A.R. Klosek J. "A review of air separation tehnologies and their integration  
with energy onversion proesses" Fuel Proesing Tehnology 70, Elsevier, 2001.
283. Smontara N. "Terminali za uplinjavanje ukapljenog plina" RGNF, Zagreb, 2010.
284. Sonne T.R. "Critical Parameters for LNG marine Terminal Site Selection"  
Offshore Tehnology Conference, Texas, SAD, 2008.
285. Span R., Wagner W. "A new equation of state for carbon dioxide covering the fluid region from the triple-  
point temperature to 1100K at pressures up to 800MPa" Journal of Physical and Chemical Refe. 25, 1996.
286. Spencer L.K., Bradshaw J. i dr. "Regional Storage Capacity Estimates: Prospectivity  
Not Statistics" Energy Procedia 4, 2011.
287. SPE's eLibrary, 102160, pages 1-10. Preuzeto iz rada Talić Lj. "Ekonomika transporta plina tehnologijom  
LNG-a i uticaj termina za LNG na Hrvatsko gospodarstvo" RGN Fakultet u Zagrebu, Zagreb 2008.
288. Standard BS 7777- British standard: Flat-bottomed, vertical, cylindrcal storage tanks for low temper. service
289. Stanivuković D. "Logistika, organizacija i menadžment" Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad 2003.
290. Stanković Lj., Đukić S. "Marketing" Ekonomski fakultet u Nišu, Niš, 2013.
291. Stepanov B. "Energija i okruženje" Fakultet tehnički nauka, Novi Sad, 2006.
292. Studija "Primjena stlačenog prirodnog plina u Republici Hrvatskoj, Diverstifikacija  
dobavnih pravaca SSP-a brodovima, Uporedna analiza cijene transporta SPP-a brodovima  
u odnosu na transport plinovodima" RGNF Zagreb, 2008.
293. Sušić D. "Projektni dobave prirodnog plina za Europu- Južni tok i Nabucco" RGNF, Zagreb, 2011.
294. Sušić D. i dr. "Analiza značaja projekta dobave prirodnog plina za Evropu –  
Južni tok i Nabucco" RGN zbornik, broj 23, Zagreb, 2011.
295. Sylvie Cornot-Gandolphe i dr. "The challenges of Further Cost Reductions for new  
Supply Options (Pipeline, LNG, GTL)" World Gas Confference, Tokyo, 2003.
296. Šamanović J. "Prodaja, distribucija, logistika" Ekonomski fakultet u Splitu, Split, 2009.
297. Šamanović J. "Prodaja distribucija logistika" Ekonomski fakulteu u Splitu, Split, 2009.
298. Šarić M. "Projekat Jonsko-Jadranskog plinovoda" RGNF, Zagreb, 2011.
299. Škrbić B. "Tehnologija proizvodnje i pripreme gasa" Tehnološki fakultet u Novom Sadu, Novi Sad, 2002.
300. Škrbić B., "Tehnologija proizvodnje i pripreme nafte", Tehnološki Fakultet u Novom Sadu 2002.
301. Šoć D. "Prirodnog plin – Transport prirodno plina" INA-Naftaplin, 1989.
302. Šourek M. Vugrinec J. "Aspekti signosti prihvata, skladištenja i uplinjavanja LNG"  
Naučni skup o plinu, Opatija 2006.
303. Šunić M. "Plinski sustavi – distribucija plina" Bauer grupa, Samobor, 2003.
304. Šunić M. "Znanost menja svijet a plin komoditet življenja" BAUER GRUPA, Samobor, 2003.
305. T. M. Shires, C. J. Loughran "API's Compendium of Greenhouse Gas Emissions Methodologies  
For The Oil and Gas Industry" American Petroleum Institute, Washington DC, SAD, 2004.
306. Tanasković P. "Transport sirove nafte i gasa 1 deo" Nafta-gas, Novi Sad, 1976.
307. Tancer D. "Izgradnja novog podzemnog skladišta plina" časopis EGE, 2/2010.
308. Taylor M. "Fire and Ice: Gas hydrate transporation – A possibility for the Carbbean region" SPE's eLibrary,
309. The Linde Group, Nitrogen Generattion by pressure Swing Adsorption.
310. The Scientific Basis, Cambridge, Cambridge University Press, Velika Britanija, 2001.
311. Thomas S. Dawe R.A. "Review of ways to transport natural gas energy from countries

- which do not need the gas for domestic use" Energy 28, 2003.
312. Tomonori N. i dr. "Development of natural gas ocean Transportation chain by means of natural gashydrate (NGN)" Proceedings of 6th International Conference on Gas Hydrates (ICGH), Vancouver, British Columbia, Canada, July 2008.
  313. Tore A. Torp & Ken R. Brown "CO<sub>2</sub> Underground storage cost as experienced at Sleipner and Weyburn" Norway, 2003.; ...
  314. Trond Jerve "LNG TERMINAL STOCKHOLM - Opportunity for LNG in the Baltic Sea" Linde AG, 2010.
  315. Turčinec F. "Plinovi kao energent, energetske transformacije i budući razvoj" RNF, Zagreb, 2007.
  316. Umrath W. "Fundamentals of Vacuum technology" Oerlikon Leybold vacuum, Cologne, Germany, 2007.
  317. Unsalan D. "Conceptual Study for a Gas Hydrate Carrier Ship" Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Maritime and Naval Science and Engineering, ISSN: 1790-2769.
  318. Uščumlić M., Sekulić V. "Proizvodnja i razvoj primene tečnog gasa u "Rafineriji gasa- Elimir" Zbornik radova GAS 96.
  319. Uščumlić D. i dr. "Komercijalno poznavanje robe" Ekonomski Fakultet u Beogradu, Beograd 2004.
  320. Vasiljević M. "Skladištenje plina u aquiferima" RGNF, Zagreb, 1995.
  321. Vaslav Chrz "Opportunities for an LNG direct distribution chain in Croatia and Adriatic region" Gas professionals, Opatija, 2003.
  322. Vavro Z., Turk Z. "Podzemno skladište propana" zbornik radova, XVII Međunarodni znanstveno-stručni susret stručnjaka za plin, Opatija 2002.
  323. Verification" Elsevier B. V. Vol. 2, p. Amsterdam, Nizozemska, 2005.
  324. Veselić M. i dr. "Analiza dostupnosti kapaciteta terminala za uplinjavanje UPP-a radi osiguranja sigurnosti opskrbe Europe prirodnim plinom" RGN zbornik 23, 2011.
  325. Vitorović D. "Hemijska tehnologija" Naučna knjiga, Beograd, 1995.
  326. Vučković J. "Priprema sirove nafte i prirodnog plina za transport" Poslovno udruženje Nafta, Zagreb 1968.
  327. Vučković J. "Transport nafte i plina cjevovodom" INA Nafta Plin, Zagreb, 1971.
  328. Vuković D. "Podzemno skladištenje plina" diplomski, RGNF u Zagrebu, Zagreb, 2011.
  329. Vuletić V. "Tečni prirodni gas" časopis GAS, br: 1, Beograd, 2002.
  330. Watanabate S., i dr. "A demonstration project of NGH land Transportation system" Proceedings of 6th International Conference on Gas Hydrates (ICGH), Vancouver, British Columbia, Canada, July 2008.
  331. Wolf J. "Vacuum Technology" ISAPP, Universitat Karlsruhe, 2009.
  332. Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC "Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage" Cambridge University Press, New York, SAD, 2005.
  333. World Oil and Gas Review, ENI, 2012, 2013, 2014, 2015.
  334. Yuasa K. i dr. "Key Technologies of Mitsubishi LNG Carriers – Present and Future" Technical Review Vol. 38 No. 2, Tokyo, 2001.
  335. Zelenika R. "Prometni sustavi" Ekonomski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2001.
  336. Zelenika R. i dr. "Gospodarski učinci ekologizacije globalnoga logističkog sustava" Pomorski zb. 39. 2001.
  337. Zelenika R., Pupavac D. "Menadžment logističkih sustava" Ekonomski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2008.
  338. Zelić M. "Tehnologija sabiranja i pripreme nafte i plina za transport" INA Naftaplin, Zagreb 1987.
  339. Zelić M., Petrovića D., "Razvoj tehnologije proizvodnje, sabiranja i transporta nafte i plina" Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Zagreb, 1990.
  340. Zlatković Ž, Barac N. "Poslovna logistika" Prosveta, Niš, 1994.
  341. Zlatković Ž., Barac N., Radovanović D. "Ekonomika trgovine" Ekonomski fakultet, Niš, 2000.
  342. Živković M. "Ekološko-ekonomski efekti primene kogeneracionih postrojenja sa prirodnim gasom" časopis Gas IX, 2004.;
  343. Блинков А.Н. и др. "Морская транспортировка сжатого газа, Новые возможности для освоения месторождений природного газа на шельфе" Морская Биржа N2 (16), 2006.
  344. Власов А.А. "Морская транспортировка сжатого газа, Техническая утопия или реальность?" Морская Биржа N2 (16) / 2006.

345. Голжанов А.И. "Газовие сети и газохранилища" Уфа, Монографија, 2008.
346. С. І. Крижанівський "ВИКОРИСТАННЯ CNGТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПОСТАЧАННЯ ГАЗУ ДО УКРАЇНИ" Новітні технології транспортування нафти и газу, 2012.
347. Казарян В. А. "Подземное хранение газов и жидкостей" Москва, Ижевск, 2006.
348. Dekanić I. i dr. "Stoljeće nafte, veza između novca i moći koja je promenila svjet" Zagreb, 2009.
349. Kolev D. "Geopolitička dimenzija energetske bezbednosti" Ekonomija i tržišne komunikacije, br.1.
350. Bariš K. "Cevovodi, politika i moć" Centar za Evropsku reformu, 2009.
351. Dekanić I. "Geopolitika energije" Golgen marketing – Tehnička knjiga, Zagreb, 2011.

### **Posebna izdanja, izveštaji, časopisi, ...**

352. "BP Statistical Review of World Energy" 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015,
353. "Commercial Potential of Natural Gas storage in Lined Rock Caverns (LPC)" Topical Report, Houston, Texas, United States, 1999.
354. "Current State of And Issues Concerning Underground natural Gas Storage" Federal Energy Regulatory Commission, Staff Report, 2004.
355. "Energetski bilans" Republički zavod za statistiku Srbije: 2010.; 2011.; 2012.; 2013.; 2014.; 2015.
356. "Energy in the Western Balkan" The Path to Reform and Reconstruction, International Energy Agency, UNDP, Paris, 2008.
357. "Gas storage in Great Britain" The Oxford Institute For Energy Studie, University of OXFORD, V. Britanija,
358. "Geologic Storage of Carbon Dioxide-staying safely underground " IEA Greenhouse Gas R&D Progr., 2008.
359. "Greenhouses Gas R&D Programme", Capturing CO<sub>2</sub>, IEA, 2007.
360. "Key World Energy Statistics" IEA, 2012, 2013, 2014, 2015,
361. "Mala enciklopedija Prosveta" opšta enciklopedija, Prosveta, Beograd, 1986.
362. "Oil & Natural Gas Transportation & Storage Infrastructure: Status; Trends, & Economic Benefits" American Petroleum Institute, Washington, 2013.
363. "Ship design and Construction" Written by an International Group of Authorities, Thomas Lamb, Editor, Pavonia Avenue, Jersey City, 2004. Chapter 32.
364. "Strategiju dugoročnog razvoja energetike Srbije do 2015."
365. "Tehnički gasovi" Tehnogas, Beograd 1974.
366. "Terminal za ukapljeni prirodni plin na otoku Krku" OIKON, Zagreb, 2013.
367. "The Future Role of Natural Gas" Xynteo, 2011.
368. "The Global Industrial Gas Business" CHMO41D 2013, BCC Research, USA, 2013.
369. "The North American Carbon Storage Atlas" NACSA 2012.
370. "Transport sirove nafte i gasa" III deo, Nafta-Gas Novi Sad i Rudarski fakultet u Beogradu, 1976.
371. "Trends in global CO<sub>2</sub> emissions" Report, European Commission, Joint Research Centre; 2013.
372. "Underground Gas Storage in the World 2013" CEDIGAZ, (Internacionalna Asojiaija za prirodni gas).
373. "Ekonomska i poslovna enciklopedija", Savremena administracija, Beograd, 1994.
374. "Mala enciklopedija Prosvete" četvrto izdanje, treći tom, Prosveta, Beograd, 1986.
375. BP Statistical Review 2014, BP Energy Outlook 2035.
376. gasWorld "Quarterly Financial Report – The global industrial Gases business" Q2, 2014.
377. IEA, International Energy Agency, izveštaj, Key World Energy Statistics 2014.
378. IEA, International Energy Agency, izveštaj, Key World Energy Statistics 2015.
379. IEA, International Energy Agency, izveštaj, Key World Energy Statistics 2013.
380. IEA, International Energy Agency, izveštaj, Key World Energy Statistics 2012.
381. IEA, International Energy Agency, izveštaj, Key World Energy Statistics 2011.
382. IEA, International Energy Agency, izveštaj, Key World Energy Statistics 2010.
383. Izveštaj "C-237 The World Industrial Gas Business" Business Communications Company u 2003.

## literatura

---

384. Izveštaj GIE za 2011.
385. Izveštaj Internacional Gas Union: 2000; 2005; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015.
386. Izveštaji asocijacije Gas Storage Europe: 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015.
387. Izveštaji i prezentacije Agencije za energentiku Republike Srbije, Beograd: 2013; 2014; 2015:
388. O&G, World Oil and Gas Review, Eni: 2000; 2005; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015.



# PRILOZI

## Neki koeficijenti konverzije

bar [bar]; 1 bar = 100 000 Pa

bar [bar]; 1 bar = 14.503 psi

psi; 1 psi = 6894.75 Pa

inch; 1" = 0.0254 m

1 inch = col

foot; 1 ft = 0.3048 m

NM; nautička milja = 1,852 km

sef (eng. Standard Cubic Foot), 1 sef = 0.0283 m<sup>3</sup>; 1 MMsef = 10<sup>6</sup>; 1 Bcf = 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>;

BTU (eng. British Thermal Unit), 1 BTU = 1055.06

1 calorija = 3.965 MMBtu

za LNG (TZG – tečne zemni gas)

BTU (eng. British Thermal Unit) je tradicionalna jedinica za energiju.<sup>1</sup>

Iznosi oko 1055 džula.<sup>2</sup> To je količina energije potrebne za hlađenje ili grejanje ½ kilograma vode za 1 °C. Preciznije, BTU je količina toplotne energije potrebne da se podigne temperatura od 1 funte (0.454 kg) tečne vode za 1 °F (0,56 °C) pri konstatnom pritisku od jedne atmosfere.

1 MMBTU (1 milion BTU)

1 MMBTU = 28.263682 m<sup>3</sup> zemnog gasa (srednja vrednost (energetski ekvivalent))

35.38109 MMBTU = 1000 m<sup>3</sup>

1000 m<sup>3</sup> ~ 35.8 MMBTU i 1 MMBTU ~ 27,9 m<sup>3</sup> za cenu konverzije prirodnog gasa

Tabela P.1. Konverzija izvora energije u ten

	jedinica mere	ten
Koks	t	0.657
Sirova nafta	t	1
Tečni gas	t	1.120
Prirodni gas	000m <sup>3</sup>	0.849
Ugalj	t	0.24-0.55
Električna energija	GWh	0.086

Tabela P.2. Konverzija zemnog gasa

	cubni feet zemnog gasa	
1 m <sup>3</sup> gas	35.3	cubic feet of natural gas
1 m <sup>3</sup> LNG	21,824	cubic feet of natural gas
1 Tona LNG	47,257	cubic feet of natural gas

<sup>1</sup> Danas je u nauci, opšte prihvaćena jedinica za energiju, džul. Ali se u nekim oblastima nauke i delovima sveta u velikoj meri koristi BTU. Naročito kada je reč o energiji, transportu energenata, ... Još uvek se značajno koristi u engleskom govornom području. Veoma je prisutna i u celom svetu se upotrebljava kada je reč o tečnom zemnom gasu (LNG).

<sup>2</sup> Jedinica za meru energije (SI sistem) je Džul (Joule, J), koji je jednak jednom Njutn metru, koji se definiše kao rad koji izvrši sila od jednog njutna (N) pri pomeranju tela na putanji od 1 metra. Jedinica za snagu SI sistema je vat (Wat, W), to je snaga koja u jedinici vremena iskoristi energiju od 1J. U praksi se često koriste znatno veće jedinice od Džula: kilo džul (kJ 10<sup>3</sup>), mega MJ, giga GJ, tera TJ, ... U cilju definisanja energetskog potencijala i upoređivanja različitih izvora energije koriste se i druge jedinice. Sa ciljem lakšeg definisanja energetskog potencijala i upoređivanja različitih izvora energije, često se u upotrebi koristi i prirodni oblik jedinica za masu ili zapreminu. Radi lakše konverzije u uslovno gorivo koriste se utvrđene faktorske vrednosti za obračun. Najčešće se u praksi koristi jedinica ekvivalentne nafte. Na ovaj način se omogućuje sagledavanje i upoređivanje vrsta goriva i energije. Utvrđeno je da, 1ten = 41868 kJ = 10 gal, odnosno ekvivalent nafte je gorivo toplotne vrednosti 41868 kJ/kg.

Tabela P.3. Konverzioni faktori<sup>3</sup>

Natural Gas Coonversion from: ↓ to: →	Bilon cubic feet NG	Bilon cubic metres NG	Million Tonnes LNG	Trilion British Terminal Unitis	Million Barrels oil Equivalent
1 Bilon cubic feet NG	1	0.028	0.021	1.1	0.19
1 Bilon cubic metres NG	35.3	1	0.74	35.7	6.6
1 Million Tonnes LNG	48	1.36	1	48.6	8.97
1 Trilion British Terminal Unitis	0.99	0.028	0.021	1	0.18
1 Million Barrels oil Equivalent	5.35	0.15	0.11	5.45	1

Tabela P.4. Konvezioni faktor

	cubic metre	cubic foot gas	milion Btu	therm	gigajoul	kilowatt hour	cubic metre of LNG	ton of LNG
1 cubic metre gas	1	35.3	0.038	0.36	0.038	10.54	0.00171	0.000725
1 cubic foot gas	0.0283	1	0.00102	0.0102	0.00108	0.299	0.00005	0.00002
1 milion Btu	27.8	981	1	10	1.054	292.7	0.048	0.0192
1 therm	2.78	9.81	0.1	1	0.1054	29.27	0.0048	0.00192
1 gigajoul	26.3	930	0.95	9.5	1	277.5	0.045	0.018
1 kilowatt hour	0.0949	3.3	0.003415	0.03418	0.0036	1	0.000162	0.000065
1 cubic m of LNG	584	20631	21.04	210.4	22.19	6.173	1	0.405
1 ton of LNG	1.379	48690	52	520	54.8	15222	2.47	1
1 barrel Arabian	0.152	5350	5.46	54.6	5.75	1597	0.259	0.105
1 tona Arabian	1.111	39218	40	400	42.2	11708	1.9	0.769

Tabela P.5. Faktori za konveziju jedinica energije u međunarodnoj statistici

iz:	u:	TJ	Gcal	Mtoe	MBtu	GWh
Teradžul (TJ)		1	238,8	$2,388 \times 10^{-5}$	947,8	0,2778
Gigakalorija (Gcal)		$4,1868 \times 10^{-3}$	1	$10^{-7}$	3,968	$1,163 \times 10^{-3}$
Mtoe		$4,1868 \times 10^4$	$10^7$	1	$3,968 \times 10^7$	11630
Miliona Btu (MBtu)		$1,0551 \times 10^{-3}$	0,252	$2,52 \times 10^{-8}$	1	$2,931 \times 10^{-4}$
Gigavat sati (GWh)		3,6	860	$8,6 \times 10^{-5}$	3412	1

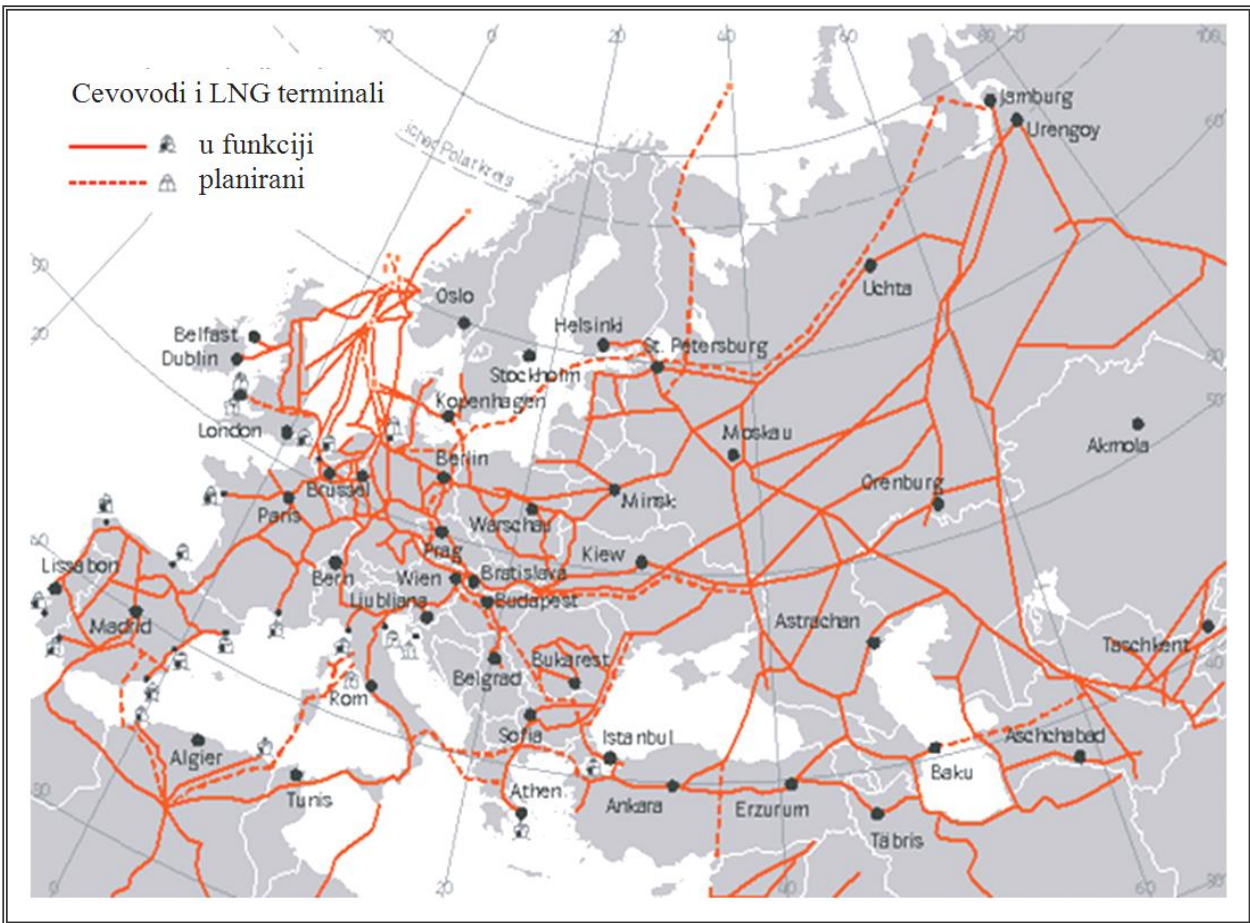
Tabela P.6. Neke od često prisutni jedinica mere u inostranoj literaturi

$10^6 m^3$	million cubic metres
$10^6 m^3/d$	million cubic metres per day
$10^9 m^3$	billion cubic metres
$10^9 m^3/d$	billion cubic metres per day
$10^{12} m^3$	trillion cubic metres
Bcf	billion cubic feet
Bcf/d	billion cubic feet per day
Btu	British thermal unit
GJ	gigajoule
$m^3$	cubic metre
mtpa	million tonnes LNG per year
MMBtu	million British thermal units
Tcf	trillion cubic feet

<sup>3</sup> Prema BP "Conversion factors" statcal review of World Energy 2013.



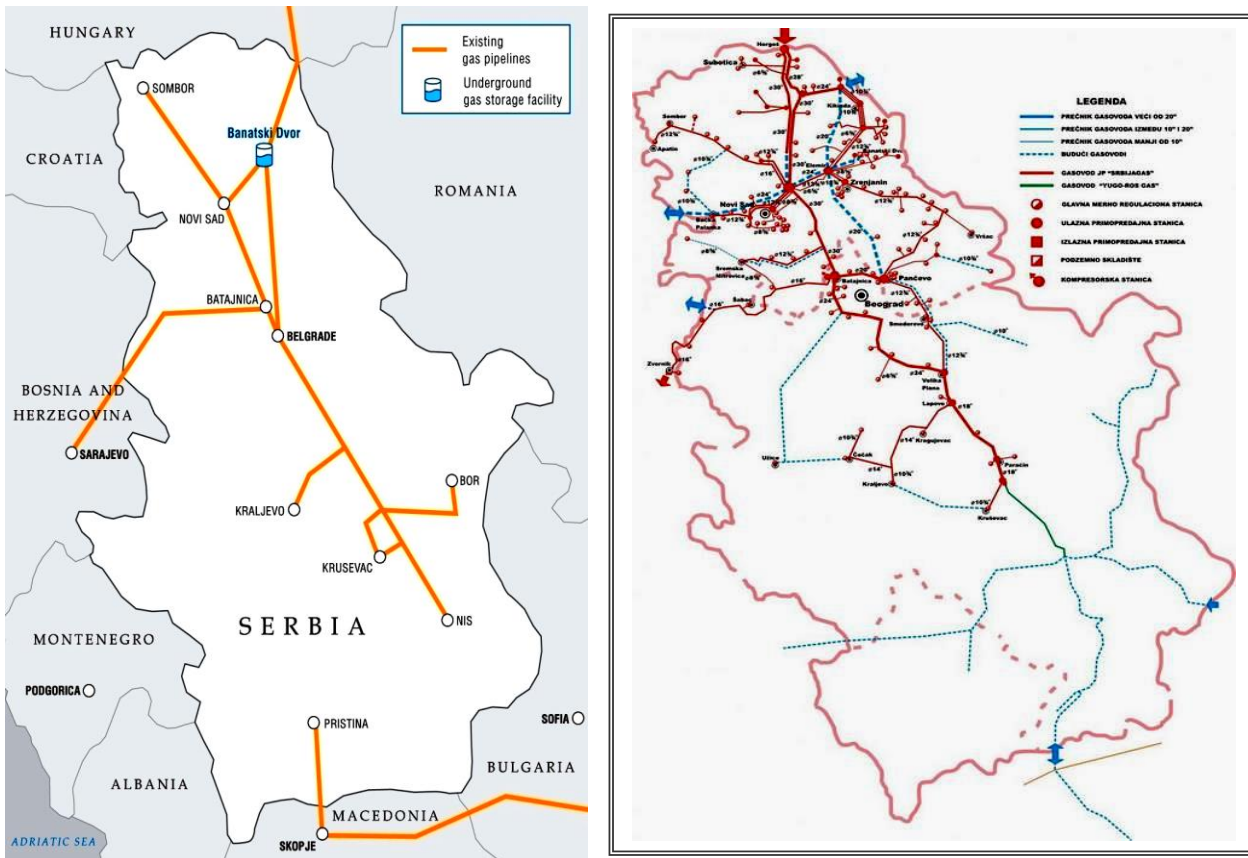
Slika P.1. EVROPA - najznačajniji postojeći i planirani gasovodi i LNG terminali



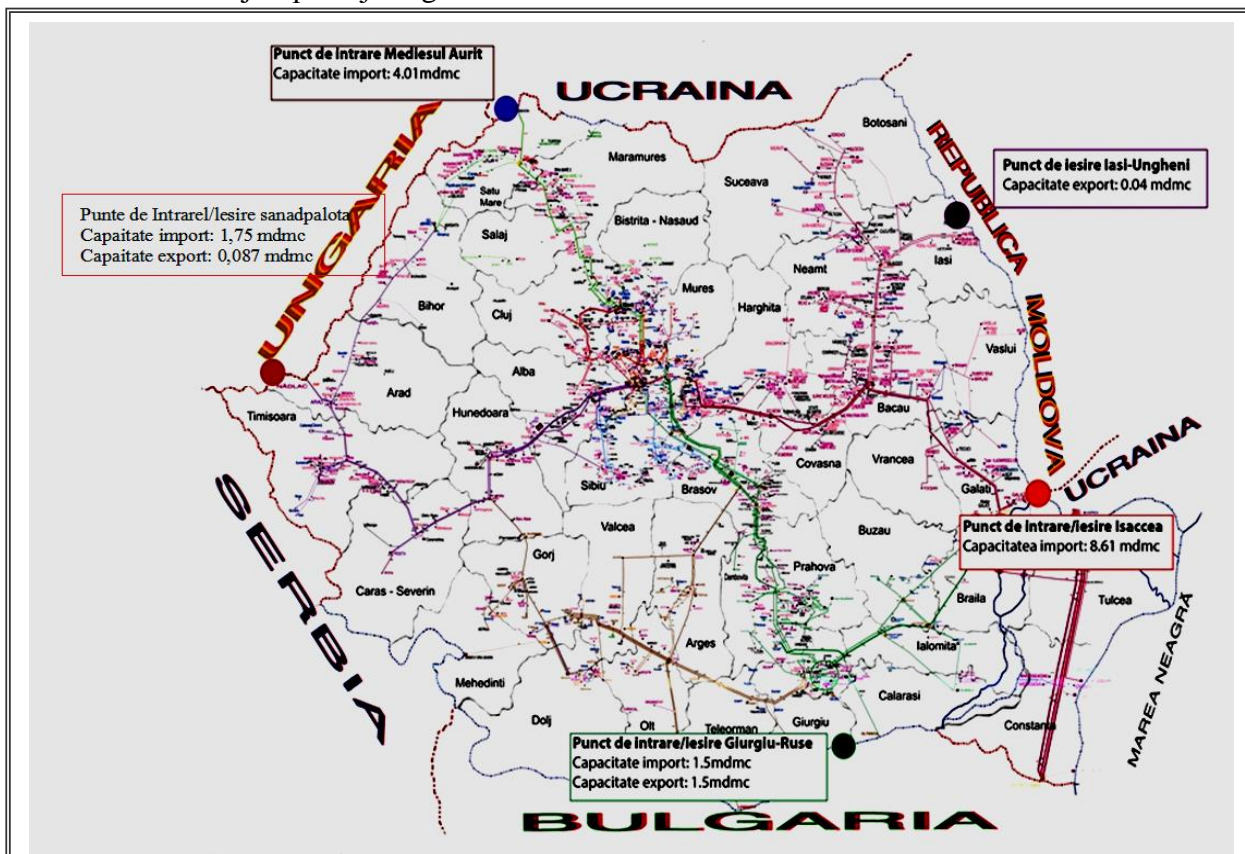
Slika P.2. Region Balkana – postojeća i planirana gasna infrastruktura (cegovodi i skladišta)



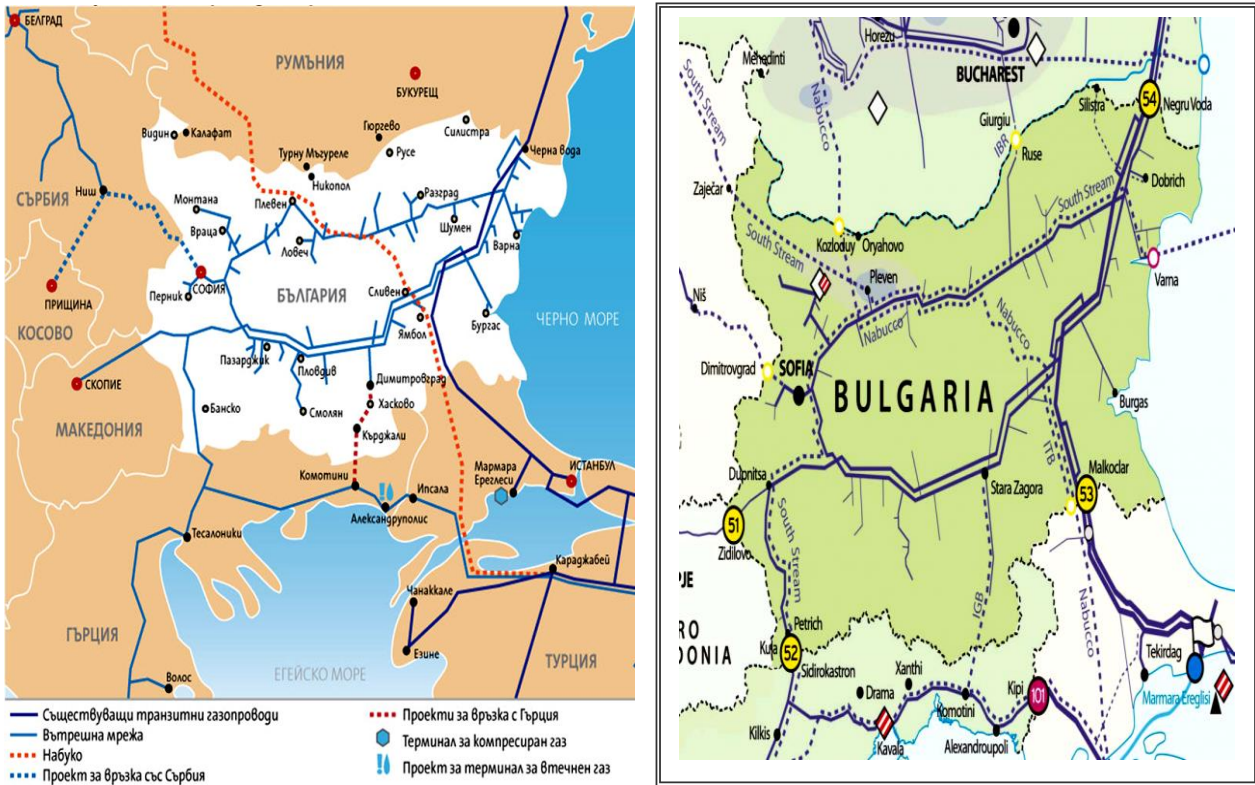
Slika P.3 i P.4. SRBIJA - postojeća i planirana gasna infrastruktura



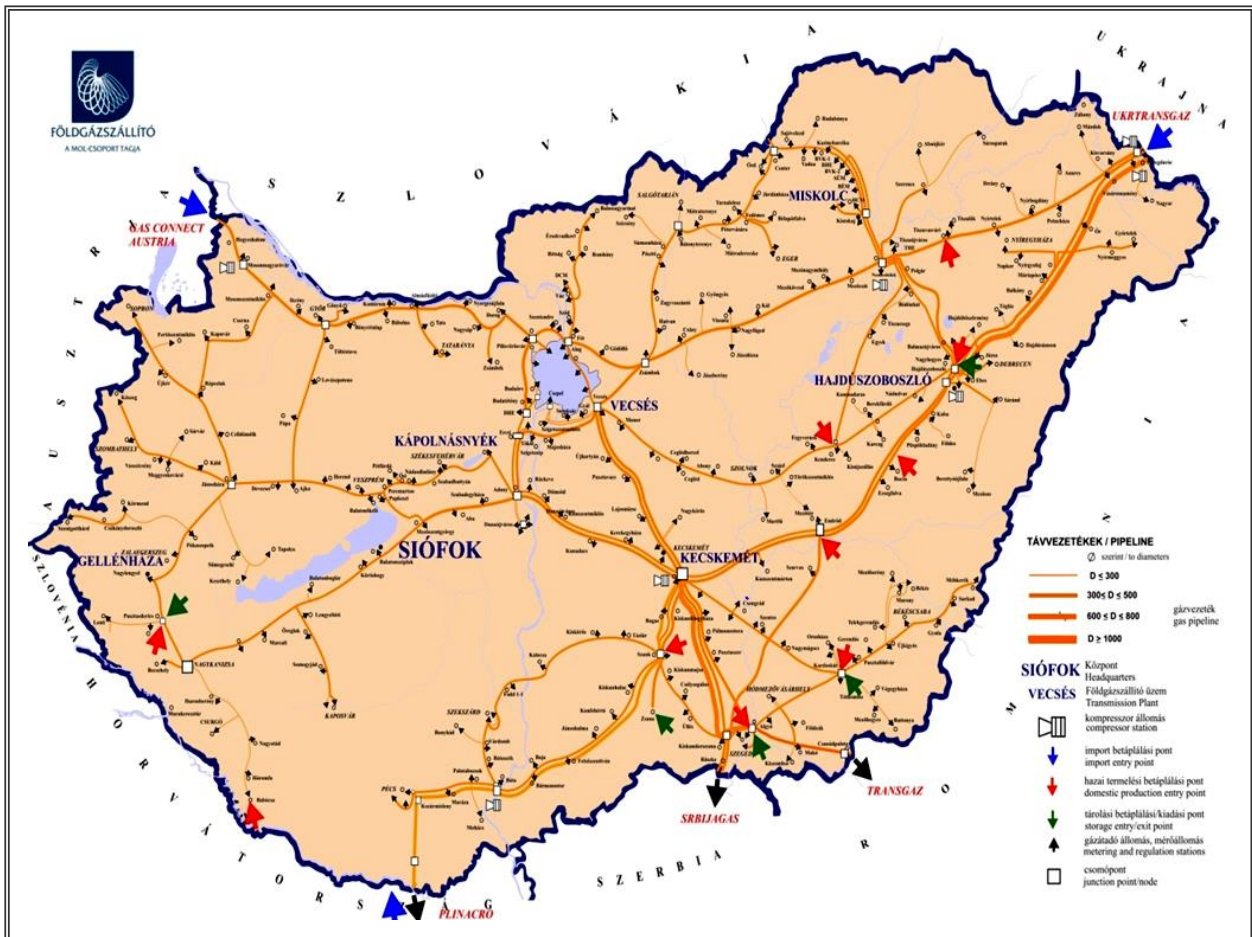
Slika P.5. Rumunija - postojeća gasna infrastruktura



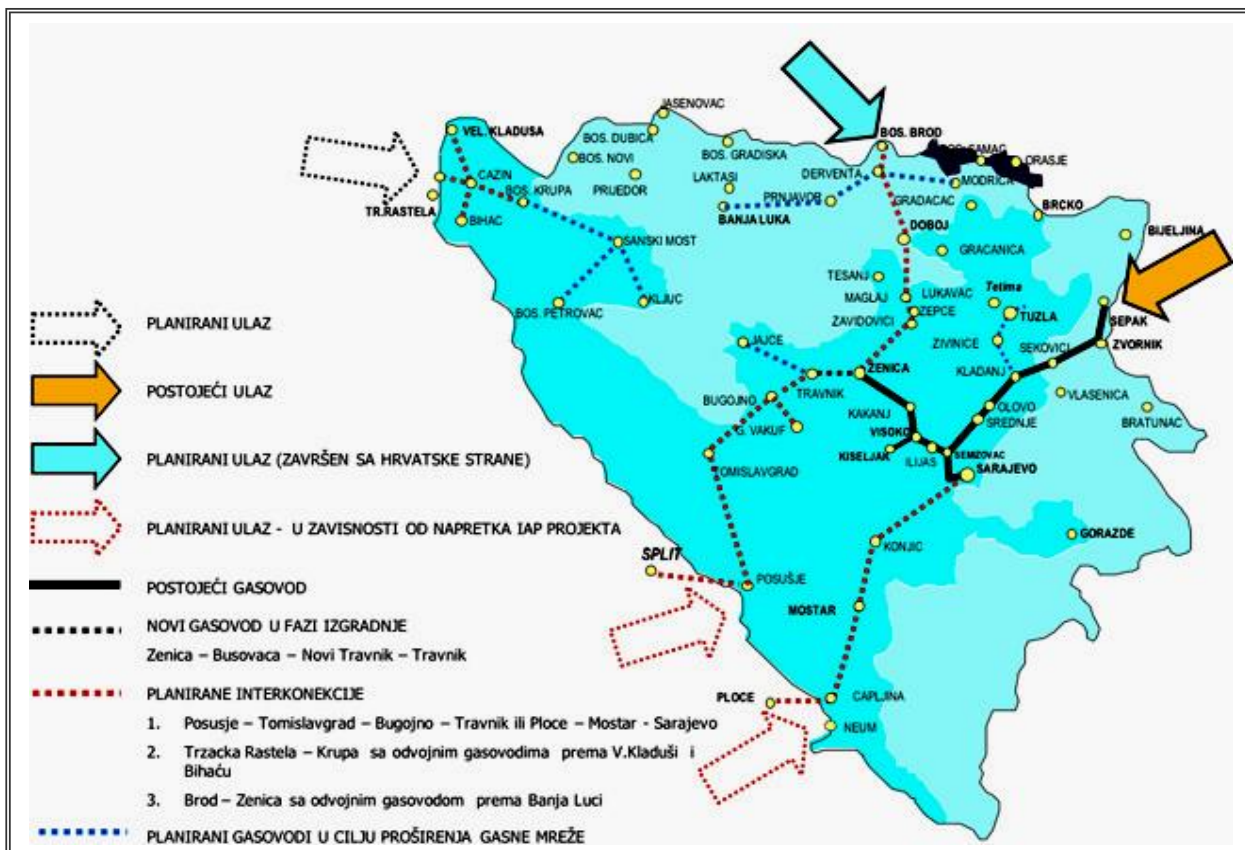
Slika P.6. Bugarska - postojeća i planirana gasna infrastruktura



Slika P.7. МАЂАРСКА - postojeća gasna infrastruktura



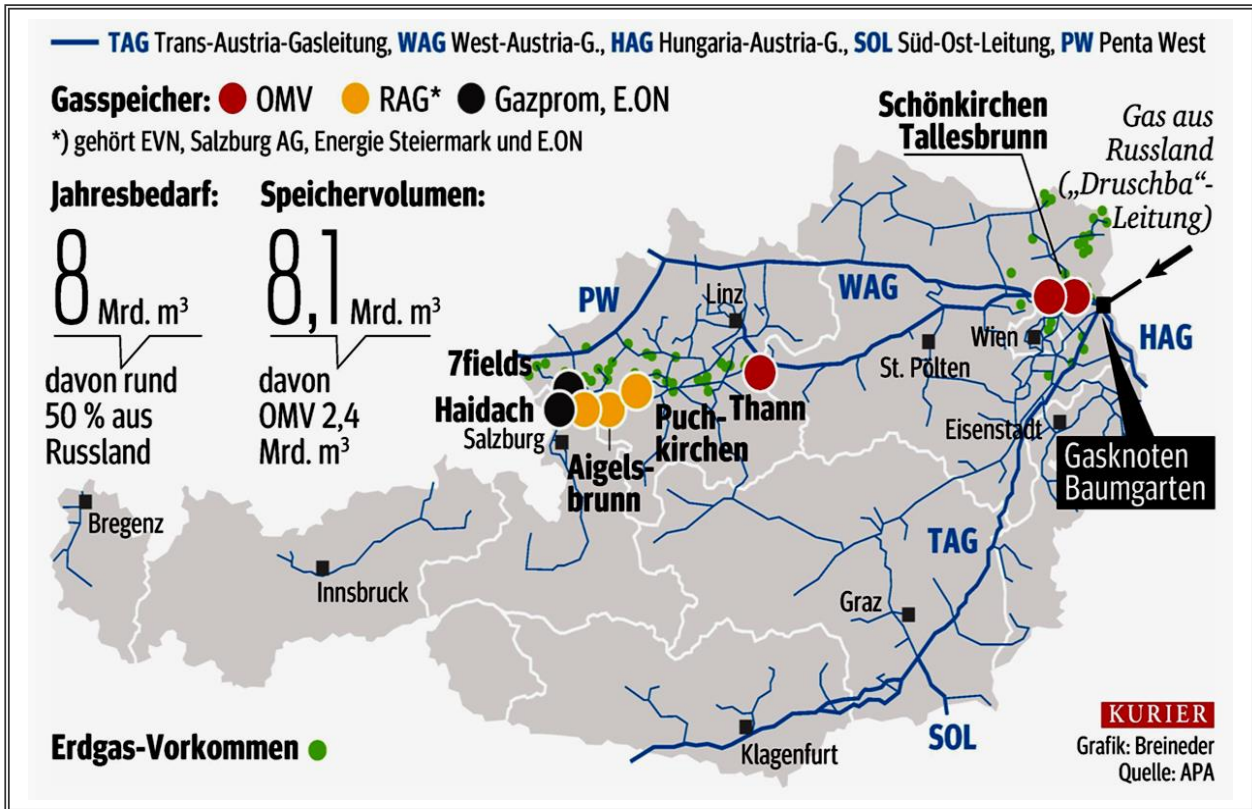
Slika P.8. BOSNA I HERCEGOVINA - postojeća i planirana gasna infrastruktura



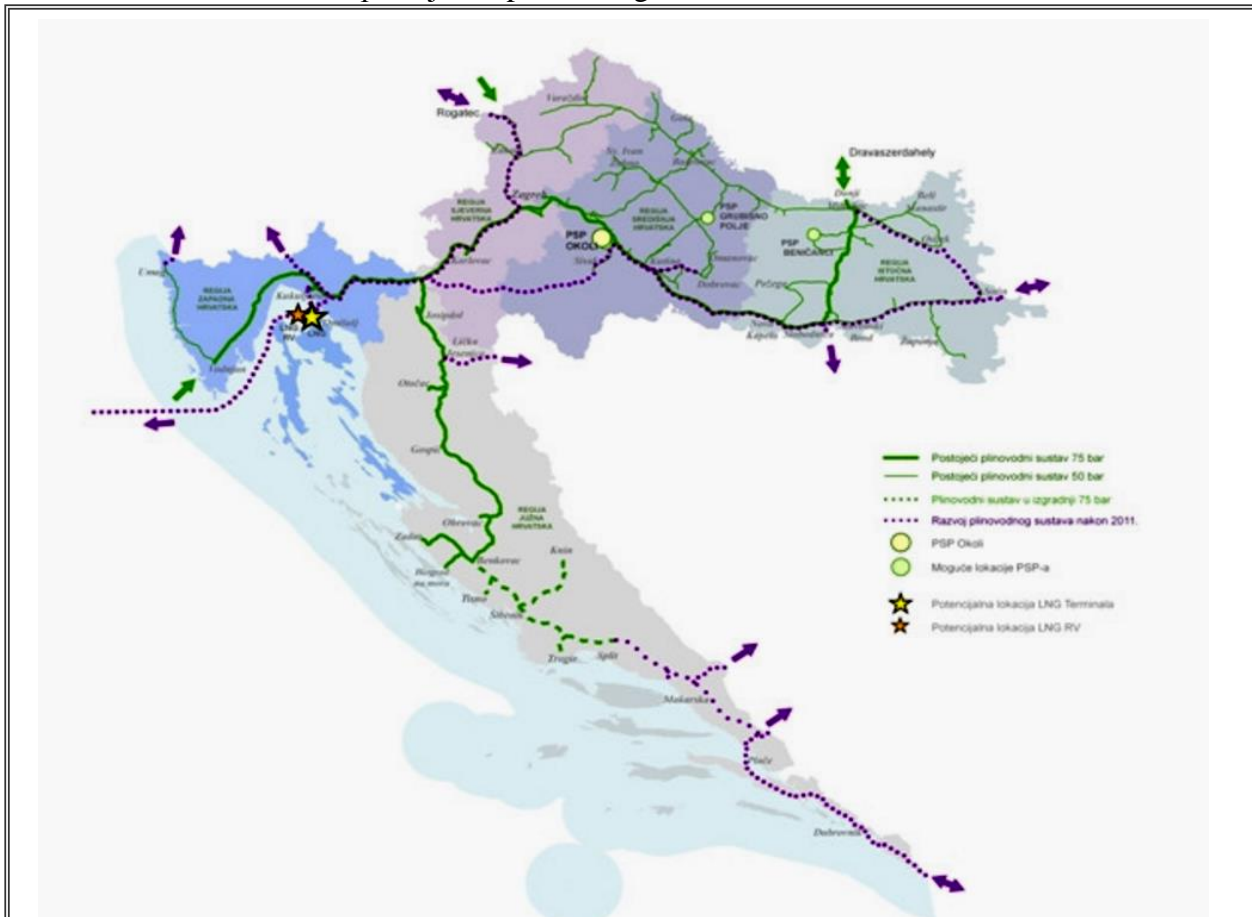
Slika P.9. TURSKA - postojeća i planirana gasna infrastruktura



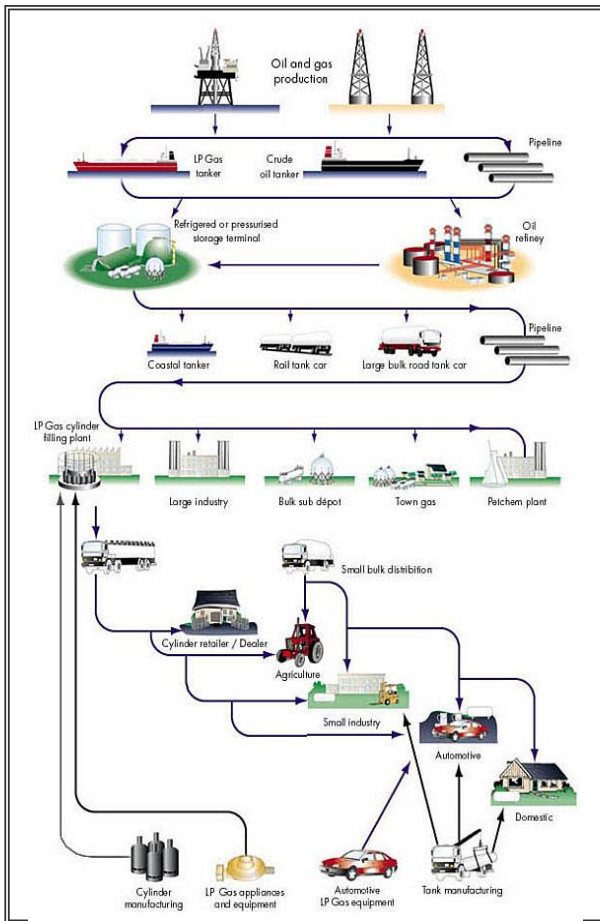
Slika P.10. AUSTRIJA - postojeća gasna infrastruktura



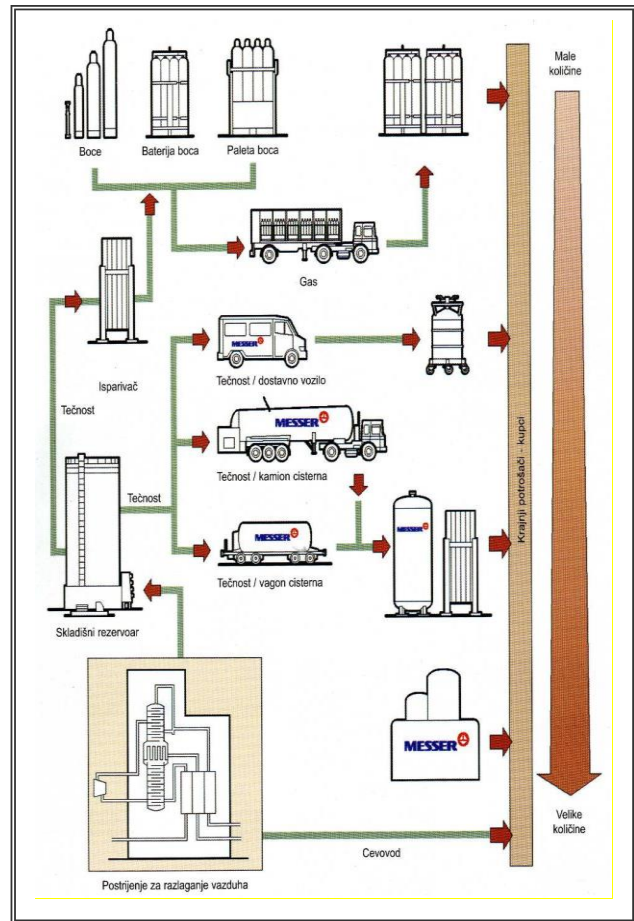
Slika P.11. HRVATSKA – postojeća i planirana gasna infrastruktura



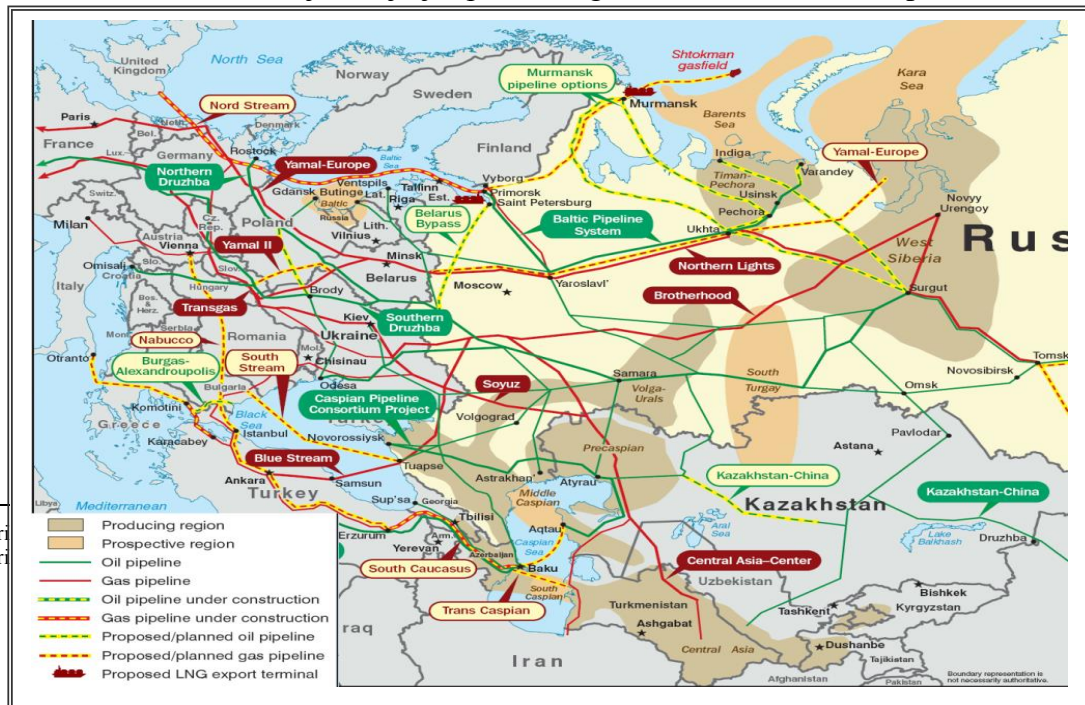
Slika P.12. Šema transporta i snabdevanja naftnim tečnim gasom<sup>4</sup>



Slika P.13. Optimizacije snabdevanja potrošača tehničkim gasovima<sup>5</sup>



Slika P.14. Rezerve, najznačajniji i planirani gasovodi i naftovodi Evrope i B. Istoka



<sup>4</sup> Šematski pri  
<sup>5</sup> Šematski pri

## BIOGRAFIJA

---

Rođen u drugoj polovini 20 veka, na prvoj avialnoj ravni Delibalske pešćare, u Južnom Banatu. Završio Ekonomski fakultet u Beogradu, smer marketing. Na istom fakultetu magistrirao na smeru menadžment u trgovini. Objavio više naučni radova i tekstova. Dobitnik treće nagrade za pronalazak 2013. u organizaciji Privredne Komore Srbije.

Radio u pozorištu kao profesionalni glumac. Dugi niz godina, zaposlen u multinacionalnoj kompaniji koja se bavi proizvodnjom i distribucijom tehnički gasova. Radio na poslovima bezbednosti, komercijale, marketinga, novi primena, ... Učestvovao u realizaciji i organizaciji velikog broja različitih manifestacija: koncerata, skupova, predstava, baleta, televizijski emisija, snimanja spotova, filma, ...





**Универзитет у Нишу**  
**Економски факултет**

---

**ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ**

Изјављујем да је докторска дисертација, под насловом

**УТИЦАЈ ТРАНСПОРТА И СКЛАДИШЕЊА ГАСА  
НА СНАБДЕВЕНОСТ ТРЖИШТА БАЛКАНА**

која је одбрањена на Економском факултету Универзитета у Нишу:

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да ову дисертацију, ни у целини, нити у деловима, нисам пријављивао/ла на другим факултетима, нити универзитетима;
- да нисам повредио/ла ауторска права, нити злоупотребио/ла интелектуалну својину других лица.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци, који су у вези са ауторством и добијањем академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада, и то у каталогу Библиотеке, Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Нишу, као и у публикацијама Универзитета у Нишу.

У Нишу, јануар, 2015. године

Аутор дисертације  
**ДРАГАН Л. РАДИШ**

---





**Универзитет у Нишу**  
**Економски факултет**

---

**ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНОГ И ЕЛЕКТРОНСКОГ ОБЛИКА  
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Име и презиме аутора: Драган Л. Радиш

Наслов дисертације: УТИЦАЈ ТРАНСПОРТА И СКЛАДИШЕЊА ГАСА  
НА СНАБДЕВЕНОСТ ТРЖИШТА БАЛКАНА

Ментор: проф. др Нада Барац

Изјављујем да је штампани облик моје докторске дисертације истоветан електронском облику, који сам предао за уношење у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу.

У Нишу, јануар, 2015. године

Потпис аутора дисертације

---



Универзитет у Нишу  
Економски факултет

---

## ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Никола Тесла“ да, у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, унесе моју докторску дисертацију, под насловом:

### УТИЦАЈ ТРАНСПОРТА И СКЛАДИШЕЊА ГАСА НА СНАБДЕВЕНОСТ ТРЖИШТА БАЛКАНА

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском облику, погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију, унету у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons), за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прераде (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

У Нишу, јануар, 2015.

Аутор дисертације

---