



УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ  
ФАКУЛТЕТ ЗАШТИТЕ НА РАДУ У НИШУ



**Зоран М. Марјановић**

**ИСТРАЖИВАЊЕ АЛТЕРНАТИВНИХ  
ПОГОНА МОТОРНИХ ВОЗИЛА**

Докторска дисертација

Ниш, 2015.



UNIVERSITY OF NIŠ  
FACULTY OF OCCUPATIONAL SAFETY IN NIŠ



**Zoran M. Marjanović**

# **RESEARCH OF ALTERNATIVE MOTOR VEHICLE PROPULSION SYSTEMS**

Doctoral dissertation

Niš, 2015.

**Ментор:**

Ванредни професор, др Миомир Раос,  
Универзитет у Нишу, Факултета заштите на раду у Нишу;

**Чланови комисије:**

-

-

-

-

**Датум одбране докторске дисертације:** \_\_\_\_\_

## ЗАХВАЛНОСТ

*Захваљујем се ментору проф. др Миомиру Раосу на бројним консултацијама, као и корисним сугестијама, у току израде овог рада.*



## ИСТРАЖИВАЊЕ АЛТЕРНАТИВНИХ ПОГОНА МОТОРНИХ ВОЗИЛА

**Rezime:** Еколошки проблеми изазвани саобраћајем припадају „првој врсти“ загађења у урбаним срединама. Прогнозе о резервама нафте увек су наметале потребу и интензивирале истраживања замене минералних горива.

Термин „алтернативна горива“ првенствено је везан за мотор СУС и настао је као последица дугогодишњег искључивог коришћења фосилних горива као примарног горива за његов погон. Ако се проблем генерализује на област моторних возила, онда се може говорити о алтернативним (хибридним) погонима, који осим мотора СУС, као погонског агрегата, укључују и електромотор. Погодност коришћења неког горива оцењује се: квалитетом његове енергетске трансформације у процесу добијања рада чиме су директно дефинисане и излазне перформансе погонског уређаја, ценом производње, погодношћу и безбедношћу транспорта, складиштења и манипулација, природним резервама сировина из којих се добија и еколошким карактеристикама.

У овом раду анализирано је тренутно стање и могуће перспективе примене алтернативних погона моторних возила. Посматрана су данас најчешће коришћени алтернативни погони/горива: електрични погон, хибридни погон, течни нафтни гас, природни гас, биодизел, етанол и метанол. Дат је пример рачунарске симулације (у Матлабу) хибридног електричног возила у два различита режима вожње. Симулирано хибридно електрично возило је комбинованог типа, слично као у аутомобилима Тојота Приус. Такође, у раду је представљена економска (кост-бенефит) анализа поводом различитих стратегија увођења, као и различитих елемената који из тога произилазе, за различите врсте алтернативних погона моторних возила. Кост-бенефит анализа се предузима ради повећања броја различитих врста алтернативних погона моторних возила у српском транспортном сектору.

**Кључне речи:** животна средина, загађење, алтернативно гориво/погон, моделирање

**Научна област:** Инжењерство заштите животне средине и заштите на раду

**Ужа научна област:** Енергетски процеси и заштита

**УДК број:** 504:[662.61.9:629.113

## **RESEARCH OF ALTERNATIVE MOTOR VEHICLE PROPULSION SYSTEMS**

**Summary:** Ecology problems of transport appertain „first class“ pollution in urban environment. The forecast about the reserves of crude petroleum have always imposed the need for intensified researches on substitution of conventional mineral fuels.

The term „alternative fuels“ is primarily connected with the IC engine and it has developed because of long lasting strict use of petroleum fuels as primary fuels for its drive. If the problem is generalized to the area of motor vehicles, then we can discuss alternative (hybrid) drives, that, beside IC engine as a drive unit, also include electric motor. Applicability of the use of some fuel is rated: by the quality of its energetic transformation through the process of obtainment of work, which directly defines output performance of the drive unit, by production cost, by suitability and safety of transport, storage and manipulation, by natural resources of raw materials for its obtainment and by its toxic characteristics.

The current state and possible perspectives by using motor vehicles alternative drives are analyzed in this paper. The most frequently currently used alternative drives/fuels: electric drive, hybrid drive, liquid petroleum gas, natural gas, bio-diesel, ethanol and methanol are observed. It are showed an example computer simulation (in Matlab) of a complex hybrid electric vehicle in two different driving modes. A simulated hybrid electric vehicle is of combined type, similar to Toyota Prius cars. Also, in paper are presented an economic (cost-benefit) analysis of different introduction strategies, as well as different elements thereof, for different kinds motor vehicles alternative drives. A cost-benefit analysis is undertaken for increasing the number of various kinds of motor vehicles alternative drives in the Serbian transport sector.

**Key words:** human environment, pollution, alternative fuel/drive, modeling

**Scientific field:** Environmental protection engineering and occupational safety

**Scientific discipline:** Energy processes and protection

**Number of UC:** 504:[662.61.9:629.113

## САДРЖАЈ

<b>1. УВОД</b> .....	1
<b>1.1. Еколошки разлози за примену алтернативног погона</b> .....	1
1.1.1. Стање животне средине у Србији.....	2
<b>1.2. Законски разлози за примену алтернативног погона</b> .....	5
1.2.1. Законско стање у области животне средине у Србији.....	7
<b>1.3. Енергетски разлози за примену алтернативног погона</b> .....	9
1.3.1. Стање енергетике у Србији.....	14
<b>1.4. Предмет истраживања</b> .....	14
<b>1.5. Основне хипотезе</b> .....	15
<b>1.6. Преглед стања у подручју истраживања</b> .....	15
<b>1.7. Веза са досадашњим истраживањима</b> .....	18
<b>1.8. Циљ и значај истраживања</b> .....	19
<b>1.9. Методе истраживања</b> .....	20
<b>2. ИНЖЕЊЕРСКЕ ОСОБИНЕ АЛТЕРНАТИВНИХ ГОРИВА</b> .....	22
<b>2.1. Етанол (Е85)</b> .....	23
<b>2.2. Метанол (М85)</b> .....	28
<b>2.3. Биодизел (В20, В100)</b> .....	29
<b>2.4. Алтернативно гориво Р-серије</b> .....	36
<b>2.5. Водоник</b> .....	39
<b>2.6. Течни нафтни гас (LPG)</b> .....	45
<b>2.7. Природни гас (CNG, LNG, LCNG)</b> .....	55
<b>2.8. Стање и перспектива примене алтернативних горива</b> <b>код моторних возила у Србији</b> .....	59
2.8.1. Стање и перспектива примене LPG у Србији .....	61
2.8.2. Стање и перспектива примене CNG у Србији .....	63
2.8.3. Стање и перспектива примене биодизела у Србији.....	64

<b>3. ИНЖЕЊЕРСКЕ ОСОБИНЕ ЕЛЕКТРИЧНОГ ПОГОНА .....</b>	<b>67</b>
<b>3.1. Потпуно електрична возила .....</b>	<b>67</b>
3.1.1. Акумулаторска електрична возила .....	67
3.1.2. Електрична возила с погоном на гориве ћелије .....	72
3.1.3. Електрична возила на соларни погон .....	78
<b>3.2. Хибридна електрична возила .....</b>	<b>82</b>
<b>3.3. Стање и перспектива примене електричног погона у Србији.....</b>	<b>87</b>
<b>4. АНАЛИЗА ЕКОЛОШКИХ ЗАХТЕВА И СТАНДАРДА ЗА КОРИШЋЕЊЕ ВОЗИЛА СА АЛТЕРНАТИВНИМ ПОГОНОМ СА ОСВРТОМ НА СМАЊЕЊЕ ЕМИСИЈЕ ПОЛУТАНАТА (УГЉЕН-ДИОКСИДА).....</b>	<b>90</b>
<b>4.1. Емисија гасова из моторних возила .....</b>	<b>90</b>
<b>4.2. Удео емисије моторних возила у укупном загађењу атмосфере.....</b>	<b>95</b>
<b>4.3. Амерички прописи о емисији из моторних возила .....</b>	<b>101</b>
4.3.1. Путничка и теретна возила .....	101
4.3.2. Ванпутна механизација (трактори).....	102
<b>4.4. Европски прописи о емисији из моторних возила .....</b>	<b>103</b>
4.4.1. Путничка возила.....	103
4.4.2. Теретна возила.....	104
4.4.3. Ванпутна механизација (трактори).....	106
<b>4.5. Еколошки захтеви за емисију угљен-диоксида из моторних возила .....</b>	<b>108</b>
<b>4.6. Еколошке карактеристике возила на алтернативни погон.....</b>	<b>109</b>
4.6.1. Смањење емисије издувних гасова коришћењем хибридног погона возила .....	109
4.6.2. Смањење емисије издувних гасова коришћењем биодизела у моторним возилима .....	110
4.6.3. Смањење емисије издувних гасова коришћењем течног нафтног гаса у моторним возилима.....	113

4.6.4. Смањење емисије издувних гасова коришћењем природног гаса у моторним возилима .....	115
4.6.5. Смањење емисије издувних гасова коришћењем етанола у моторним возилима .....	115
4.6.6. Смањење емисије издувних гасова коришћењем метанола у моторним возилима .....	116
4.6.7. Смањење емисије загађујућих супстанци у издувним гасовима коришћењем алтернативног горива Р-серије у моторним возилима.....	117

## **5. МОДЕЛИРАЊЕ И СИМУЛАЦИЈА КОМБИНОВАНОГ**

<b>ХИБРИДНОГ ЕЛЕКТРИЧНОГ ВОЗИЛА.....</b>	<b>118</b>
--	------------

<b>5.1. Појам моделирања и симулације.....</b>	<b>118</b>
--	------------

<b>5.2. Моделирање комбинованог хибридног електричног возила.....</b>	<b>122</b>
---	------------

5.2.1. Моделирање динамике возила.....	124
--	-----

5.2.2. Моделирање пнеуматика .....	125
------------------------------------	-----

5.2.3. Моделирање инерције.....	128
---------------------------------	-----

5.2.4. Моделирање мењача променљивог степена преноса .....	128
--	-----

5.2.5. Моделирање диференцијала .....	129
---------------------------------------	-----

5.2.6. Моделирање мотора СУС .....	130
------------------------------------	-----

5.2.7. Моделирање погона са синхроним машином .....	131
---	-----

5.2.8. Моделирање батерије.....	136
---------------------------------	-----

5.2.9. Моделирање DC/DC конвертера.....	137
---	-----

5.2.10. Моделирање планетарног зупчастог преносника .....	138
---	-----

5.2.11. Моделирање блока управљање.....	139
---	-----

<b>5.3. Симулација комбинованог ХЕВ .....</b>	<b>141</b>
---	------------

5.3.1. Валидација симулираног ХЕВ .....	144
---	-----

5.3.2. Симулација комбинованог ХЕВ у урбаном подручју.....	145
--	-----

5.3.2. Симулација комбинованог ХЕВ при вожњи на отвореном путу .....	150
--	-----

<b>6. БЕЗБЕДНОСНИ РИЗИЦИ ПРИМЕНЕ ВОЗИЛА НА АЛТЕРНАТИВНИ ПОГОН.....</b>	<b>155</b>
<b>6.1. Безбедносни ризици примене возила на алтернативна горива .....</b>	<b>161</b>
<b>6.2. Безбедносни ризици примене возила на електрични погон.....</b>	<b>167</b>
<b>7. ЕКОНОМСКИ РИЗИЦИ ПРИМЕНЕ ВОЗИЛА НА АЛТЕРНАТИВНИ ПОГОН (КОСТ-БЕНЕФИТ АНАЛИЗА) .....</b>	<b>170</b>
<b>7.1. Кост-бенефит анализа за возила на алтернативна горива.....</b>	<b>171</b>
7.1.1. Кост-бенефит анализа за LPG/CNG возила.....	171
7.1.2. Кост-бенефит анализа за возила на биодизел .....	173
<b>7.2. Кост-бенефит анализа за возила на електрични погон.....</b>	<b>176</b>
7.2.1. Обрада трошкова за различита возила .....	176
7.2.2. Трошкови инфраструктуре .....	179
7.2.3. Емисиони фактори .....	180
7.2.4. Еколошки трошкови.....	181
7.2.5. Трошкови буке .....	182
7.2.6. Спремност потрошача за плаћање возила на електрични погон.....	184
7.2.7. Еколошки трошкови по јединици растојања.....	185
7.2.8. Потпуна кост-бенефит анализа.....	188
<b>8. ЗАКЉУЧАК.....</b>	<b>192</b>
<b>9. ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>196</b>
<b>10. БИОГРАФИЈА АУТОРА .....</b>	<b>203</b>
<b>11. ИЗЈАВЕ АУТОРА.....</b>	<b>204</b>

## 1. УВОД

Модерни свет и садашња економија не могу без моторних возила. Већина возила користи фосилна горива чијим сагоревањем се стварају штетни издувни гасови. Концепт алтернативног погона је заснован на горивима и технологијама која стварају мање штетних издувних гасова или их уопште не стварају. Светска кретања у области коришћења алтернативног погона показују да се све развијене земље убрзано оријентишу на интензивно коришћење овог погона код моторних возила.

Поставља се питање: „Колика је стварна цена горива које данас трошимо?“ На то питање тешко је дати одговор, јер постоје тешкоће да се тачно предвиде економске димензије будућих еколошких проблема који се на овај начин кумулирају. Потпуне последице садашњег коришћења фосилних горива сагледаће тек следеће генерације.

Поред тога, додатни разлог и импулс за коришћење алтернативног погона потиче од све строжијих услова које намеће заштита животне средине и нужности изналажења технолошких решења која омогућују одрживи развој аутомобилске индустрије.

Издајамо три основна разлога за примену алтернативног погона код моторних возила:

- еколошки (смањење загађења ваздуха),
- законски (обавезе које произилазе из стандарда ISO 14000 и Кјото протокола),
- енергетски (крај нафтне епохе-наступајућа нафтна криза).

### 1.1. Еколошки разлози за примену алтернативног погона

Према извештају Националне здравствене академије САД-а ниједна катастрофа у целокупној познатој прошлости неће изазвати толико погубан утицај на цивилизацију и живот на планети као што би то могло изазвати тренд глобалног загревања. До сада је о том питању најрелевантнијом сматрана студија објављена након завршетка Међувладиног панела о климатским променама, одржаног 2010. године у оквиру Уједињених нација, која прогнозира да би температура на површини земље до 2100. године могла порасти од 1,4 до 5,8°C. Ова студија предвиђа да би такав раст температуре могао проузроковати отапање ледника и арктичког поларног прекривача, повећање нивоа мора, појаву олуја, дестабилизацију и нестанак животињских станишта

и миграције животиња према северу, салинизацију питких вода, масовно уништење шума, убрзан нестанак биљних врста и велике суше. Уколико се узме у обзир да ће захваљујући људској активности удвостручити количина угљен-диоксида која ће се у овом веку емитовати у атмосферу, могло би сазрети услови за наглу климатску промену на глобалном нивоу и то можда у раздобљу од неколико деценија [1].

Чист ваздух је основ за здравље и живот људи и читавог екосистема. Ваздух је смеша гасова који чине атмосферу, а састоји се приближно од 4/5 азота, 1/5 кисеоника и врло малих количина племенитих гасова, угљен-диоксида, водоника, озона, водене паре и разних нечистоћа. Неволје настају када се овај однос поремети. Загађени ваздух утиче на различите начине на здравље људи и читав екосистем. Атмосфера служи и као средство транспорта загађујућих материја до удаљених локација и као средство загађења копна и воде. Извори загађења ваздуха су индустријске активности 42%, транспорт 24%, загревање стамбених просторија 20% и остало 14%.

При сагоревању бензина у возилима као издувни гасови јављају се бројна органска и неорганска једињења. У издувним гасовима моторних возила налази се око 180 органских компоненти, од чега је око 47% засићених и око 40% незасићених угљоводоника, око 7% ароматичних једињења, око 4% алдехида, око 1% фенола и око 1% осталих једињења. Од неорганских једињења најзаступљенији су оксиди угљеника. Моторна возила су највећи емитери токсичних гасова у урбаним срединама. Највећа концентрација загађујућих материја из моторних возила је на раскрсницама и другим саобраћајницама у центру градова, због великог броја возила, при чему мотори раде и при стајању возила (семафори и сл.) [3].

#### 1.1.1. Стање животне средине у Србији

Актуелно стање животне средине у Србији било је предмет више студија, сачињених после 2000. године. Свакако најопсежнији приказ садрже „Извештај о стању животне средине и природних ресурса – промене у односу на 2000. годину“ и „Приказ стања животне средине у Србији 2011. године“. Значајне информације даје и „Преглед сектора животне средине“ рађен од стране Светске банке. На основу ових студија стиче се целовита слика веома хетерогеног стања животне средине у Србији. Укратко



речено, Србија се састоји од мноштва изразито „зелених“ и изразито „црних“ тачака. Све „црне“ тачке, било да је реч о загађењима ваздуха (Бор, Панчево), било вода (Краљево, Врбас, Панчево), било земљишта (Крагујевац, Обреновац, Панчево) везане су за последице активности у индустрији, енергетици и саобраћају.

Стање ваздуха у Србији 2011. године, са емисијама од око 530.000 тона сумпор диоксида, 160.000 тона азотних оксида, 95.000 тона амонијака, и око 62.000 тона прашкастих материја, ствара значајне здравствене проблеме у угроженим зонама. Сматра се да је око 15% смртних исхода од малигних и респираторних обољења повезано са загађењима животне средине. Посебно забрињавају емисије микро и нано честица из саобраћаја. Ове честице се данас сматрају изузетно опасним по здравље.

Од фебруара до септембра 2008. године, у оквиру припрема за израду Националног еколошког акционог плана (НЕАП-а), Европска агенција за реконструкцију иницирала је (као део Environmental Capacity Building Programme 2007) израду студије под насловом Assessment of the Economic Value of Environmental Degradation in Serbia. Поменута студија је први покушај да се квантификује износ економских штета по животну средњу у Србији применом коригованих јединичних вредности штета.

Утицај саобраћаја на животну средину у Србији огледа се као [25]:

- расуто загађење ваздуха проузроковано саобраћајем;
- емисије угљоводоника приликом утовара и истовара горива;
- загађења од нафте и деривата на пловним водотоковима;
- загађење буком и вибрацијама узроковано углавном путничким саобраћајем;
- загађење земљишта и воде од саобраћаја (прашина, чађ).

И поред чињенице да су у Европској унији на снази прописи о емисији издувних гасова који обезбеђују значајно снижење количине штетних компоненти у ваздуху емитованих од возила, стање у Србији је другачије. Политичка и економска криза током 1990-тих година, између осталог, утицала је и на смањење возног парка и на повећање његове просечне старости. Након вишегодишњег колебања, број возила се крајем овог периода привремено стабилизовао на нивоу који приближно одговара величини возног парка Србије уочи распада ex Југославије.

Према неким проценама старост возног парка у просеку износи преко 16 година, при чему је свега око 10% возила старо испод 10 година. Чињеница да се код возила

старијих од 10 година потрошња горива и ниво емисије полутаната повећава, довољно илуструје значај овог проблема.

Садашњи степен моторизације од око 180 путничких аутомобила на 1.000 становника, приближно одговара стању у развијеним земљама западне Европе (Француска, Немачка, Италија) пре 25÷30 година и релативно је висок у поређењу са актуелним нивоом економског развоја. Овоме доприносе наслеђени возни парк и потпуно неконтролисани увоз половних возила у претходном периоду. Трендови убрзаног раста моторизације у Србији и другим земљама региона требало би да се наставе наредних 15÷20 година тј. све до нивоа од око 400 аутомобила на 1.000 становника.

Обнављање флоте путничких и теретних возила возилима са минималном емисијом (Еуро 4, Еуро 5) је у веома ниском степену (1% годишње) због недовољне куповне моћи становништва и лоше укупне економске ситуације. Предност имају половна возила различитог доба старости због ниских цена које више одговарају купцима.

Узроци загађења у сектору саобраћаја у Србији су [25]:

- застарелост и техничка неисправност моторних возила;
- недовољно коришћење алтернативних погона код моторних возила;
- прекомерна оријентација на друмски саобраћај;
- недовољна градска и ванградска мрежа путева за повећан обим саобраћаја, укључујући недовољан број обилазница;
- недовољна заступљеност и застарео возни прак јавног превоза;
- лоше спровођење прописа о емисији издувних гасова из моторних возила;
- неодговарајући стандарди за квалитет горива који допуштају прекомерни садржај сумпора;
- недостатак технологије за поновно искоришћење пара од испаравања при руковању горивом на терминалима, бензинским пумпама и цистернама.

Загађење ваздуха и животне средине у Србији представља извор бројних проблема:

- здравствених ризика углавном повезаних са инхалацијом гасова и честица и
- еколошких ризика у виду нарушавања квалитета делова животне средине и оштећења вегетације унутар и у близини градова.

За решавање ових проблема неопходно је решити проблем градског превоза у великим градовима Србије и стимулисати увођење моторних возила на алтернативни погон.

## 1.2. Законски разлози за примену алтернативног погона

Основ за идентификацију и вредновање заштите животне средине могу бити: захтеви закона, правилника, уредби, стандарда, протокола, итд. Идентификовањем и вредновањем аспеката заштите животне средине као сталним процесом одређују се прошли, садашњи и потенцијални утицаји на животну средину.

Глобално посматрано број законских регулатива из области заштите животне средине увећава се условљавајући државе да им посвећују све већу пажњу. Брига за очувањем животне средине је попримила такве размере да се о њој већ може говорити као о међународном тренду који доминира у програмима многих држава, односно влада.

1992. године Стратешка саветодавна група за животну средину (SAGE), препоручује формирање новог техничког комитета ТС 207, за интернационалне стандарде управљања окружењем. Овај комитет укључује представнике индустрије, организација за стандардизацију, влада и организација које се баве заштитом окружења из многих земаља. Након тога долази до формирања серије стандарда ISO 14000 који покривају:

- системе управљања заштитом животне средине,
- проверавање окружења и слична истраживања,
- вредновање учинка заштите животне средине,
- еколошко обележавање и декларације,
- оцењивање животног циклуса и
- појмове и дефиниције, [20].

Стандарди серије ISO 14000 доноси шири приступ окружењу, истовремено пружајући могућност постојања здравијег, чистијег и безбеднијег животног простора за све људе на планети. Многе државе настоје да препознају стање сопственог окружења и његове потребе, које могу варирати од државе до државе. Исто тако, свака држава има своје законске регулативе везане за окружење, па је задатак овог стандарда да спречи постојање различитих интерпретација појма адекватне заштите животне средине.

Стандарди серије ISO 14000 су базирани на следећим кључним принципима:

- примена стандарда за резултат има бољу заштиту животне средине,
- стандарди су применљиви за све нације,
- промовишу шире интересе јавности и корисника стандарда,
- стандарди су научно засновани, практични, корисни и употребљиви, [20].

У наредном периоду ISO организација има намеру да заокружи глобалну визију очувања животне средине и ти стратешки циљеви су дефинисани као:

- развој конзистентних и мултисекторских серија стандарда који би имали глобални карактер;
- осигуравање учешћа деоничара;
- подизање свести и капацитета земаља у развоју;
- отвореност према успостављању партнерства за ефективан развој Интернационалних стандарда;
- заговарање усвајања и примене стандарда на добровољној бази, као алтернативе или као подршке техничким регулативама;
- пружање ефикасних процедура и програма за развој широког спектра смерница које ће бити активно прихваћене од стране ISO чланова, [15].

Поред наведеног стандарда, у јапанском граду Кјотоу 1998. године око 50 земаља потписало је Оквирну конвенцију Уједињених нација о климатским променама, чији је циљ спречавање и смањивање емисије гасова који изазивају ефекат стаклене баште (greenhouse gases, GHG), пре свега угљен-диоксида, који се сматра главним узрочницима пораста температура на Земљи. Протокол је ступио на снагу 2005. године и данас покрива више од 163 земље и преко 55% GHG емисија на глобалном нивоу.

Потписнице Кјото протокола могу се поделити на две опште категорије:

- земље наведене у Анексу 1 (углавном развијене земље) које су преузеле међународну обавезу да смање своје GHG емисије. Оне су се обавезале да ће између 2008. и 2012. године смањити своје годишње емисије за око 8% у односу на ниво из 1990. који је одабран као основица за мерење и процену годишњих емисија GHG сваке земље;
- земље које нису наведене у Анексу 1 (углавном земље у развоју) које нису у обавези да смање своје емисије GHG, јер им је „дозвољено“ да расту и развијају се. Исплативије је смањивати емисије у земљама чији су производни процеси застарели и неефикасни него у развијеним земљама где би за смањење емисија била потребна још развијенија технологија од постојеће [10].

САД и Аустралија су, међутим, иступиле из Протокола. Интересантно је, међутим, да, према Протоколу, Аустралија има право да за осам процената повећа ниво емисије CO<sub>2</sub> у односу на 1990. годину. САД, највећи светски загађивач, своје одбијање су

образложиле чињеницом да би ратификовање Кјото протокола нанело штету националној економији.

Све земље које су ратификовале Кјото протокол морају да воде евиденцију GHG на националном нивоу, а земље наведене у Анексу 1 (развијене земље) потом прописују гранама индустрије на својој територији квоте емисија GHG. Те квоте, односно циљне вредности емисија које већина предузећа не може да испуни, јер та ограничења негативно утичу на производњу, допринеле су са своје стране стварању веома активног тржишта емисијама GHG, популарно названог „тржиште угљеником“ (carbon market). Трговање емисијама одвија се на следећи начин: развијене земље које су се обавезале да ће снизити емисије могу, уместо тога, да откупе одређени део емисија од држава, односно предузећа из Анекса 1 чије су емисије испод одобреног нивоа. Такође, оне могу и да уложе средства у пројекте за смањивање емисија GHG у земљама у развоју, то јест земљама које нису наведене у Анексу 1 (нпр. пројекте за побољшање енергетске ефикасности) и на тај начин стекну „емисионе кредите“ који одговарају нивоу смањења GHG оствареном кроз пројекат.

Такође, увођењем алтернативног погона код возила смањујемо/елиминишемо емисију GHG у поређењу с садашњом емисијом конвенционалних возила. На то смањење емисије обавезују и еуро стандарди (од 1 до 6). Примена критеријума одређеног еуро стандарда је обавезна за нове типове возила који се први пут пуштају у продају почев од датума његовог ступања на снагу, док је за новопроизведена возила ранијих модела ова граница продужена за једну годину.

#### 1.2.1. Законско стање у области животне средине у Србији

У новије време многе иновације производа су резултат све строжих еколошких ограничења које постављају многе земље (посебно развијене), тако да се на њиховом тржишту могу наћи само они производи који испуњавају постављене захтеве и ограничења. У складу са тим се доносе прво препоруке, затим директиве и најзад стандарди на националном нивоу (у Србији су то JUS/SRB ISO стандарди).

Утицај на животну средину је свака промена животне средине, било погоршање или побољшање, која је, потпуно или делимично, резултат активности, производа или

услуга неке организације. Спречавање загађења је примена процеса, праксе, материјала или производа којима се избегава, смањује или контролише загађење (ово у Србији регулише стандард JUS ISO 14000).

У Србији савремена легислатива за стварање и заштиту животне средине је у развоју, о чему сведоче разни постојећи и нови закони, уредбе Владе, као и упутства појединих ресора о поступцима елиминисања негативних утицаја човекових активности на животну средину. Ипак, недостаје укупни увид на оптерећење животне средине за поједине локације, као и егзактне методе за обраду овог проблема у току времена.

На националном нивоу Република Србија Законом о заштити животне средине прописује израду Националног програма заштите животне средине. Национална стратегија се реализује путем планова, програма и основа за сваки појединачни природни ресурс или добро које доноси Влада Србије. На основу података и евиденција о извршењу планова, програма и основа, Влада Србије једанпут у две године подноси извештај Народној скупштини о реализацији Националне стратегије.

Прописи и мере које предузима државна администрација нису биле увек конзистентне нити водиле довољно рачуна о аспекту аерозагађења. Олако је одобраван увоз половних возила без икаквих захтева и процедуре у погледу заштите од аерозагађења. На тај начин је постигнуто да продаја увозних половних моторних возила вишеструко премаши продају нових.

Док већина европских држава као главни приоритет истиче глобално загревање, Србија је тек у октобру 2007. године потписала Кјото протокол, којим је сврстана у категорију земаља које нису наведене у Анексу 1 и има право да учествује у Механизму чистог развоја, што значи да може уновчити емисионе кредите стечене смањењем GHG емисија на међународном тржишту. Чак и кад би Србија постала део Анекса 1, не би дошло до економски неповољних последица, јер Србија тада може да постане земља у којој се спроводе пројекти смањења GHG емисија у склопу Механизма за заједничку имплементацију Кјото протокола, који функционише по истом принципу као и Механизам чистог развоја, али је доступан само земљама наведеним у Анексу 1 (које имају законску обавезу да смање емисије).

Мада у Србији не постоји званични попис GHG емисија, из података Међународне агенције за енергију (International Energy Agency) види се да су Србија 2010. године испустила око 50 милиона тона угљен-диоксида (и других гасова који изазивају ефекат

стаклене баште). Пошто је угљен-диоксид роба којом се може трговати на међународним тржиштима, важно је да надлежне институције у Србији схвате да загађење ваздуха данас представља економско средство, а не само негативно деловање на процес производње. Стога, пошто просечна цена будућих уговора за децембар 2010. на европском тржишту износи око 20 евра по тони угљен-диоксида, укупна новчана вредност годишњих емисија угљен-диоксида у Србији износи око једну милијарду евра. Другим речима, ако би Србија успела да своје емисије сведе на нулу, могла би да зарађује милијарду евра годишње на међународном тржишту емисија. И мада су емисије на нивоу нуле неостварив циљ, овим хипотетичким примером наглашава се да би свако смањење емисија могло остварити добит на међународном тржишту.

Када поредимо Србију са земљама ЕУ, уочава се да је интензитет емисија код свих земаља чланица ЕУ мањи. Из тако утврђеног положаја Србије у међународној табели интензитета емисија види се да постоје велике могућности за побољшање емисија GHG и то кроз улагање у модерну технологију и пројекте енергетске ефикасности.

### **1.3. Енергетски разлози за примену алтернативног погона**

Производња конвенционалне нафте врло брзо ће достићи кулминацију, можда већ 2020. године. Прорачуни су засновани на подацима о производњи нафте у историји и данас, познатим резервама и открићима компанија и влада, проценама о стању резерви, као и говорима нафтних магната. До сада је извађено око 944 милијарде барела нафте, око 764 милијарде барела тек треба да буде извађено из познатих налазишта нафте, или резерви, а још 142 милијарде барела је класификовано као количина нафте која тек треба да буде откривена. Ако је то тачно, онда ће производња нафте доживети врхунац 2020. То ће за последицу имати да производња нафте у свету константно опада за око 2÷3% годишње, а да ће цена путовања, грејања, пољопривреде, трговине и свих производа од пластике порасти и зато се интензивирају напори за контролисање нафтних резерви.

С друге стране, Амерички Институт за геолошка истраживања тврди да су резерве нафте које се могу обновити, 2010. године износиле око три билиона барела и да производња нафте неће достићи врхунац још око 30 година. Међународна енергетска

агенција сматра да ће производња нафте доживети врхунац негде између 2030. и 2040. године и да Саудијска Арабија, Кувајт, Ирак и Иран, четири земље богате нафтним резервама нису забележиле скоро никакво смањење нафтних резерви. Нафтне компаније, које не износе јавно процене о томе када ће оне доживети кулминацију у производњи нафте, тврде да још дуго неће бити несташнице нафте и гаса. “У свету постоји довољно познатих резерви нафте за наредних 40 година и резерви гаса најмање за још 60 година, уколико се ови енергенти буду трошили овим темпом”, саопштио је „ВР“. За последњих 150 година нафтна индустрија скоро сваке године је производила више нафте него претходне године, а сва предвиђања да ће нафта нестати или доживети кулминацију увек су се показала као погрешна. Данас, нафтна индустрија производи око 83 милиона барела дневно, а откривена су велика нова налазишта у Азербејдану, Анголи, Алжиру и у дубоким водама Мексичког залива.

Посао процењивања нафтних резерви је споран и исполитизован. Кембел (професор Оксфордског универзитета) каже да компаније ретко износе у јавност истините податке из комерцијалних разлога, а да владе, које поседују 90 одсто резерви, често не говоре истину. Он тврди да је већина званичних података у великој мери непоуздана.

Процене чланица ОПЕКА су крајем осамдесетих година систематски увећаване са циљем да се добије веће парче приликом дељења колача. Тако су се, према званичним подацима, резерве нафте на Блиском истоку за само три године повећале чак за 43%, иако нису пронађена значајна нова налазишта. Проучавање „кулминације у производњи нафте“ (peak oil) – тачке у којој је половина укупне нафте за коју се зна да постоји потрошена – после које експлоатација овог енергента неповратно опада било је прилично незадовољавајуће. Тај посао нису озбиљно схватиле ни нафтне компаније ни владе, углавном због тога што је нафте увек било у изобиљу и што је била јефтинија. Почетком рата у Ираку, убрзаним привредним успоном Кине, глобалним загревањем и порастом цена нафте, више се не води расправа да ли ће, већ када ће наступити „кулминација у производњи нафте“.

Америчка влада зна да конвенционална нафта брзо нестаје. Према извештају о снабдевању уљем од парафинских шкриљаца и конвенционалном нафтом, који је прошле године саставила Америчка канцеларија за нафтне резерве, резерве овог енергента се троше три пута брже него што се откривају нове. Нафта се производи из раније откривених налазишта, али се не надокнађује у потпуности. Преостале резерве



појединачних нафтних компанија ће сигурно наставити да се смањују. Јаз између повећања производње и смањења проналажења нових резерви може да има само један исход: доћи ће до практичног ограничавања снабдевања и потражња конвенционалне нафте у будућности неће моћи да буде задовољена. Иако не постоји сагласност око датума када ће производња нафте у свету достићи врхунац, геолог Лес Магун Oil and gas journal и други предвиђају да ће се то десити у периоду од 2010 до 2020. године.

Уредник Canadian energy viewpoint investment journal Бил Пауерс каже да геолози који проучавају снабдевање света нафтом верују да ће производња нафте ускоро почети неповратно да се смањује. Америчка влада не жели да призна каква је стварно ситуација. Теза доктора Кембела и сличне постају водеће. Због непостојања поузданих званичних података, геолози и аналитичари се окрећу оцу анализе експлоатације нафте М. Кингу Хуберту, који је 1956. године математички израчунао да експлоатација нафтног поља следи предвидљиву криву путању (Хубертова крива), која је на почетку спора, онда се нагло уздиже, затим иде равно и нагло пада. Највећа нафтна поља из којих се најлакше вади нафта откривена су на почетку историје експлоатације нафте, док су мања поља настала када је производња из великих поља опала. Он је тачно предвидео да ће производња домаће нафте у Америци достићи врхунац око 1970. године, 40 година после периода кулминације у откривању нафтних поља око 1930. године. Многи аналитичари Хубертов модел кулминације данас схватају озбиљно. Слични обрасци кулминације у откривању и производњи нафте могли су се видети широм главних нафтних поља у свету. Прво нафтно поље у Северном мору је откривено 1969., кулминација од откривања је достигнута 1973., а Велика Британија је завршила кулминацију производње 1999. године. Британски део басена је у озбиљном опадању (други сектор припада Норвешкој). Други доводе у питање и ажурирање података нафтних компанија. Енергетска компанија са Вол Стрита Herald group је упоредила званичне податке о резервама водећих светских нафтних компанија са открићима и нивоима производње и предвиђа да ће у свих седам највећих нафтних компанија у року од четири године почети да опада производња.

Потрошња нафте у свету се повећава. Међународна енергетска агенција, задужена за сређивање података из појединачних земаља и предвиђање потражње, тврди да би земље у развоју до 2030. могле да допринесу повећању потражње за чак 47 одсто (на 121 милион барела дневно) и да нафтне компаније и државе произвођачи нафте морају

да потроше око 100 милијарди долара годишње да би могли да задовоље ту потражњу. Према подацима Међународне енергетске агенције, потражња је 2012. повећана брже него у било којој години од 1976. до данас. Потрошња нафте у Кини, на коју отпада трећина додатне потражње у свету, порасла је за 17% и очекује се да ће се за наредних 15 година удвостручити на више од 10 милиона барела дневно. Ако потражња нафте у свету настави да расте темпом од два одсто годишње, онда ће 2035. морати да се експлоатише 160 милиона барела дневно.

Према подацима консултантске компаније за нафтну индустрију IHS energy, 90% свих познатих резерви се тренутно експлоатише, што значи да може бити откривено још само неколико великих поља. Компанија Shell каже да су се њене резерве нафте прошле године смањиле, зато што је нашла само нафте довољно да замени од 15% до 25% онога што је произвела, док компанија BP је америчкој берзи поручила да је заменила само 89% нафте коју је произвела прошле године. Осим тога, снабдевање нафтом је све више ограничено на неколико џиновских нафтних поља тако да 10% укупне количине произведене у свету потиче из само четири нафтна поља, а 80% из поља откривених пре 1970. Чак и када би било откривено нафтено поље величине Гавара у Саудијској Арабији, за које се претпоставља да садржи још 125 милијарди барела нафте, оно би могло да задовољи потражњу у свету за само око 10 година.

Највећа нафтна поља су откривена 60-их година и она се од тада постепено смањују. Сада се читав свет детаљно сеизмички претражује. Геологија је за последњих 30 година знатно напредовала и сада је скоро незамисливо да се пронађу још нека велика нафтна поља. Кембел сматра да можда постоје још једно или два велика нафтна поља у Русији, и можда неко у Африци, али да она не би могла да задовоље потражњу. Неконвенционалне резерве, као катран и шкриљац, могу само да успоре смањење производње нафте.

Сада се завршава прва половина нафтне епохе. Она је трајала 150 година и обележили су је убрзана експанзија индустрије, саобраћаја, трговине, пољопривреде и финансијског капитала, омогућавајући становништву да се повећа шест пута. Свиће друга половина нафтног доба и оно ће бити обележено смањењем количине нафте и свега што од ње зависи, укључујући финансијски капитал. Један од важнијих знакова прекретнице и почетка друге половине нафтног доба је знатно повећање цена горива. Други знак су напори земаља као што је Кина да од земаља снабдевача обезбеде

дугорочне испоруке нафте. Трећи је нова популарност хибридних возила и нагли пад потражње возила која имају велику потрошњу бензина.

Када је ураган Катрина погодио обалу залива у САД-у и избацио из производње све обалске изворе за извесно време, показало се колико је немогуће заменити изгубљене бареле нафте, што је довело до значајног пораста цена. То би требало да буде аларм да је линија између понуде и потражње неугодно уска. Нажалост, САД и ЕУ не чине довољно да би развили алтернативне изворе енергије како би ублажиле предстојећу кризу. Ниједна од могућности не може да буде адекватно развијена у року краћем од деценије и готово је сигурно да ћемо запасти у несташицу много пре тога.

Цена нафте на светском тржишту у сталном је порасту. У последњих десетак година цена нафте је порасла шестоструко. У 2003. години износила је око 25 US\$/barel, да би 2006. године са ценом од 55 US\$/barel успорила привредни развој у земљама као што су САД и Кина. Европска Унија је, примера ради, због високе цене нафте, два пута за редом ревидирала процењену стопу раста у 2006. години и на крају 2006. године она је износила 1,6 одсто. Светско тржишта нафте је јако осетљиво и може се лако дестабилизovati, што је показано 2008. године када је цена нафте прешла 120 US\$/barel и можда била један од узрока настанка светске економске кризе. Већ годинама се ништа не ради на дугорочнијој стабилизацији светског тржишта нафте, тако да оно у великој мери зависи, малтене, од дневних догађаја, али и од интереса „великих играча“ на светском тржишту нафте. Свој максимум цена нафте је достигла 2010. године, када је износила 145 US\$/barel, а у 2013. години цена је била 117 US\$/barel (01.09.2013). Знајући да ће нафте у наредним деценијама бити све мање, онда се може очекивати још више неизвесности у трговини овим енергентом. Поједини познаваоци „нафтних прилика“ поручују да свет једноставно мора да се помири са високом ценом нафте, а то ће учинити јефтинијим истраживања и развој других извора енергија, који сада, због ниске цене нафте, изгледају прескупи. Званичници ОПЕК поручују да је и њихов интерес да цена нафте буде у разумним оквирима, али тврде и да је нужно да цена нафте буде висока, како би земље произвођачи имале довољно средстава за већи обим експлоатације и истраживање нових налазишта.

Знајући за све ово пред стручну јавност се данас често поставља питање: Шта је алтернатива на путу енергетске стабилности? Стручњаци кажу – алтернативна горива, обновљиви извори енергије и повећање ефикасности у коришћењу енергије.

### 1.3.1. Стање енергетике у Србији

Према званичним подацима, кад се ради о нафтним налазиштима, око 65% простора Србије није истражено: 40% у Војводини и 80% територије јужно од Саве и Дунава. Технолошке резерве процењене су на 2.474 милиона тона еквивалентне нафте<sup>1</sup>, а утврђене износе 202,4 милиона тона. Закључно са 2012. годином произведено је 77,2 милиона тона или 38,1% од утврђених, односно 3,2% процењених геолошких резерви.

Максимална производња нафте у Србији остварена је 1982. године (1,3 милиона тона нафте), да би од тада имала лагани тренд пада (2012. године је произведено 1,13 милион тона нафте). Природни пад производње нафте из лежишта надокнађује се производњом из нових лежишта и на рачун допунских метода. За допунске методе је карактеристично да обезбеђују производњу нафте која заостаје после примарне производње у лежиштима и уз мањи ризик, обезбеђујући повећану производњу уз значајна инвестициона улагања, али и ниже економске ефекте. У дугорочним плановима Србија ће повећати домаћу производњу нафте али и увоз.

Ако покушамо да одредимо кулминацију у производњи нафте у Србији доћи ћемо до занимљивих резултата. Ако анализирамо сценаријо са до сада познатим резервама нафте и са годишњим количинама нафте које се данас експлоатише ту кулминацију ће Србија достићи за 25 година. Ако би смо целокупну количине нафте предвиђену за потрошњу производили из домаћих изворишта кулминација би наступила за 6 година.

### 1.4. Предмет истраживања

Проблем загађивања животне средине и угрожавања здравља становништва у урбаном подручју, проузрокован је између осталог и малим бројем возила са алтернативним погоном у транспортном сектору Србије. Повећање броја возила са алтернативним погоном условљено је њиховим техничким и еколошким карактеристикама, повећањем економске исплативости њихове примене у поређењу са бензинским/дизел возилима, безбедносним аспектима примене као и свешћу потрошача о заштити животне средине. Предмет истраживања су алтернативни погони моторних возила кроз технички,

---

<sup>1</sup> **Еквивалентна нафта:** Једна тона еквивалентне нафте износи 41.868 GJ.

еколошки и безбедносни аспект коришћења алтернативних погона моторних возила, са дефинисањем параметара којима се обезбеђују еколошки захтеви у односу на примену постојећих еколошких стандарда. Важност примене алтернативног погона моторних возила, нарочито у урбаним срединама коренспондира значајним разлозима за њихову примену, а један од најважнијих јесте смањење емисије угљендиоксида. Преглед стања у подручју истраживања уз одговарајуће упоредне анализе техничких и еколошких карактеристика алтернативних погона моторних возила такође представљају део предмета истраживања докторске дисертације. Важан елемент истраживања тезе представља моделирање и симулација виртуелног возила на хибридни погон у Simulink-у (simulation and model-based design) програмског пакета Матлаб. Резултати симулације упоређиваће се са експериментално добијеним подацима на тест возилу са алтернативним погоном. Део предмета истраживања представља и анализа безбедносних ризика примене возила на алтернативни погон, нарочито у елементима уградње уређаја и опреме, односно експлоатације овог погона.

### **1.5. Основне хипотезе**

У истраживању се полази од следећих хипотеза:

- Моторна возила на алтернативни погон имају мању емисију загађујућих супстанци у односу на конвенционална бензинска/дизел возила.
- Моторна возила на алтернативни погон у експлоатацији имају мање штетан утицај на животну средину.
- Моторна возила на алтернативни погон су еколошки прихватљивија од бензинских/дизел возила.

### **1.6. Преглед стања у подручју истраживања**

Досадашња истраживања, релевантна за предмет докторске дисертације, обухватају области: нафтна епоха, алтернативни погон и алтернативна горива, техноекономска анализа алтернативног погона, стање животне средине и квалитет живота.

Нафтна епоха. Многа истраживања у овој области односе се на кулминацију у производњи и потрошњи нафте. /Bil Pauers, "Canadian energy wiewpoint investment journal"/ У ову област се све чешће укључују геолошка мерења, њихове процене залиха нафте са различитом прецизношћу. Како је некада написао Кембел, професор Оксфордског универзитета "Требало би да се забринемо. Нафта и гас доминирају нашим животима и њихово смањење ће променити свет на радикалан и непредвидив начин. Нема много времена, а још нисмо признали ни да имамо проблем. Владе су увек превише оптимистичне. Проблем је у томе што кулминација, за коју мислимо да ће бити достигнута 2020, у терминима планирања наступа сутра". Геолог Америчког Института за геолошка истраживања Les Magun "Oil and gas journal" предвиђају шта ће се дешавати на нафтном тржишту у периоду између 2010. и 2020. године.

Алтернативни погон и алтернативна горива. Обухвата истраживања везана за: иновације у примени алтернативног погона, потрошњу горива, карактеристике горива и возила, трошкове производње и пласман алтернативних горива. /Federal Register - USA, "Part II, Department of Energy"/

Идеја о примени нових, алтернативних горива за погон моторних возила није нова. Наиме, многа од ових горива су се користила на почетку развоја мотора СУС, пре примене фосилних горива. Хронолошки посматрано, још далеке 1820. године Вилиам Грове поставио је принцип рада гориве ћелије (FC), да би иста, као откриће појавила 1839. године. Франсис Бесон је 1859. године демонстрирао рад прве гориве ћелије, а прва конкретна примена је била у 1960. години у оквиру свемирског програма Gemini. Такође, још 1880. године Хенри Форд је у један од својих првих аутомобила „квадрицикл“ уградио мотор погоњен етанолом и ово гориво користи и код „Т-серије“. На почетку новог миленијума, повећава се број дебата о могућности масовне примене алтернативних горива. Аутори расправљају о проширењу експлоатације алтернативних горива у обиму који би довео до попуштања постојеће зависности од фосилних горива. /Hamelinck C., Utrecht University, "Outlook for advanced biofuels"/.

У мају 2007. године, амерички председник Буш је изложио план своје администрације за смањење емисије „гасова стаклене баште“. Програм је назван Twenty in ten и подразумева смањење потрошње горива моторних возила пореклом из нафте за 20% у наредних 10 година. То ће бити реализовано већим коришћењем алтернативних горива и новим технолошким решењима која повећавају ефикасност самих моторних возила.

Европска комисија је 2011. године донела Европску стратегију за транспорт изнесу у Белој књизи Нацрт за јединствени европски прометни простор-На путу конкурентног и економски ефикаснијег саобраћајног система (енг. Roadmap to a Single European Transport Area-Towards a competitive and resource efficient transport system). У овом документу је предвиђено четрдесет конкретних мера у циљу стварања конкурентног транспортног система. Основни циљ је смањење употребе фосилног горива које емитује штетне гасове. Зато се инсистира на модернизацији саобраћаја производњом нових возила која ће користити алтернативна горива и дуге мање штетне изворе енергије, као и модернизацијом инфраструктурних објеката.

Инвестициона грозница за примену алтернативних горива узела је маха до те мере да чак и озбиљни аналитичари светских пословних трендова, попут Алекса Халперина из магазина Business Week, о њима говоре као о горивима која треба да спасу светску економију. То је преседан који до сада на енергетској сцени света није виђен. Озбиљна концентрација крупног капитала за развој примене алтернативна горива у светском бизнису гарантује да инвестициона грозница неће бити кратког даха.

Урађени су бројни пројекти из ове области које су финансирале владе развијених земаља Европе: пројект PVFSYS у Француској (2000-2004), пројект PURE у Великој Британији (2002-2005)... У САД-у је Министарство енергетике започело с прогамом за примену алтернативног погона "Водоник, гориве ћелије и инфраструктурне технологије", а Европска комисија објавила је документ под називом "Водоникова енергетика и гориве ћелије – визија наше будућности". У аутомобилској индустрији у току је пројект (2010-2015) под називом "Следећи кораци за развој водоникове инфраструктуре у европском друмском транспорту".

Техноекономска анализа алтернативног погона. У овој области истраживања су мало и недовољно рађена, како код нас, тако и у свету. Kazimi [79] је користио модел микросимулације, дао је процену увођења електричних возила у САД-у без јасних закључака и анализе са аспекта трошкова. Hahn [80] је разматрао профитабилност различитих мера у транспортном сектору како би се побољшао квалитет окружења. Анализа и закључак воде ка томе да увођење строжијих стандарда о загађењу ваздуха и побољшани квалитет горива дају најпрофитабилније мере, а не нпр. увођење електричних возила. Слично томе, Wang [81] у прегледу осталих америчких студија о профитабилности закључује да електрична возила спадају у најмање профитабилна. Са

друге стране све ове студије не узимају у обзир чињеницу да се електрична возила највећим делом користе у урбаним срединама где друштвени значај смањења емисије полутаната превазилази сагледавање само профита.

Квалитет живота и заштита животне средине. Чињеница је да саобраћај значајно утиче на стање животне средине, првенствено на квалитет ваздуха у урбаном окружењу. Свако смањење полутаната представља значајан допринос у заштити животне средине, побољшању квалитета здравља и живота становништва и очувању материјалних добара. Утврђивање политике и стратегије коришћења алтернативног погона/горива јесте први корак ка остварењу тих циљева. Значајна су истраживања која се односе на корелацију између емисије полутаната моторних возила, квалитета животне средине и здравља популације у урбаним срединама.

Са друге стране увођење алтернативних погона/горива, према истраживањима, значајно утиче на смањење присуства загађујућих суспензија у амбијенталном ваздуху урбаних средина, од којих значајно место заузима угљен-диоксид. Инвестирање у технологију алтернативних погона/горива имају за краткорочни циљ смањење емисије угљен-диоксида, а дугорочни циљ је потпуна елиминација емисије угљен-диоксида [5]. Индустрије везане за обновљиву енергију су само у САД-у према истраживањима оствариле у 2006. години 8,5 милиона нових радних места за научне професије, стручњаке, обучене раднике, као и 100 билиона долара профита [82].

### **1.7. Веза са досадашњим истраживањима**

Истраживања у раду су повезана са истраживањима из области: алтернативних погона, обновљивих горива, пољопривредне производње, заштите животне средине, законске регулативе и усклађивања са међународним стандардима у светлу приближавања ЕУ. Резултати пројекта, који су заједнички радили крагујевачка Застава, Крушик из Ваљева, београдски Електротехнички факултет и суботички Север, 1990. године, а који се тичао конструкције, израде и испитивања првог домаћег аутомобила на електрични погон Југо Електра, представљају део садржаја овог рада. Са поменутих пројектом се стало због економске кризе и увођења економских санкција, с тога би овај рад могао да буде иницијатива за наставак и унапређење истраживања у овој области.



Веза овог рада са истраживањима у пољопривреди огледа се у пројектима везаним за повећање приноса уљаних култура (сировина за производњу обновљивих горива) и економској исплативости узгоја тих култура. Ове и сличне пројекте задњих година у Србији финансира Европска унија или њене чланице. Пројекти су потврдили да у Србији постоје изванредни услови за интензивирање овакве производње, која у ширем смислу може радно да ангажује десетине хиљада људи и да буде веома значајан извозни артикл.

На националном нивоу Република Србија Законом о заштити животне средине прописује израду Националног програма заштите животне средине. Национална стратегија се реализује путем планова и програма. Међутим, прописи и мере које предузима државна администрација нису биле увек конзистентне нити водиле довољно рачуна о аерозагађењу (увоз половних аутомобила...).

### **1.8. Циљ и значај истраживања**

Циљ истраживања је дефинисање техничких и еколошких параметара коришћења возила са алтернативним погоном са аспекта смањења емисије полутаната у вазу, у складу са Куото протоколом. Такође, циљ је и упоредни приказ техничких и еколошких параметара алтернативног и бензинског/дизел возила. С обзиром на обавезу поштовања безбедносних норми од стране произвођача возила, од значаја је приказати и безбедносни аспект примене алтернативног погона користећи ЕСЕ препоруке.

Значај рада, гледано са становишта општег друштвеног, огледа се у популаризацији и истицању важности примене алтернативног погона моторних возила, нарочито у урбаним срединама, која за последицу има смањење емисије загађујућих супстанци, а тиме и побољшање квалитета животне средине. У истраживачком смислу рад даје анализу алтернативних погона моторних возила кроз технички, еколошки, безбедносни и економски аспект коришћења уз дефинисање параметара којима се обезбеђују еколошки захтеви у односу на примену постојећих еколошких стандарда.

Процене су да ће тражња за возилима у Србији постепено расти у наредном периоду. Са порастом бруто-националног дохотка, предвиђања су да ће се садашњи степен моторизације од око 180 аутомобила на 1.000 становника приближавати степену

моторизације у земљама ЕУ (око 500 аутомобила на 1.000 становника). Резултати који ће проистећи из овог рада допринеће бољем сагледавању примене возила на алтернативни погон и већој њиховој примени у транспортном сектору Србије.

Како до сада код нас, нису рађена истраживања о исплативости примене алтернативног погона са становишта искоришћења, цене, техничких карактеристика, утицаја на животну средину и емисију загађујућих супстанци у поређењу са бензинским погоном, то ово истраживање у раду има посебан значај.

Увођењем алтернативног погона/горива смањила би се зависност Србије од увоза нафте која је 2010. године износила 3,33 милиона тона. Такође, применом алтернативног погона/горива смањила би се емисија угљен-диоксида из издувних гасова из возила, која је 2010. године износила око 13 милиона тона. Смањењем емисије полутаната из издувних гасова возила позитивно би утицало на стање квалитета ваздуха, нарочито у урбаним срединама, а тиме и побољшао квалитет живота људи.

## 1.9. Методе истраживања

За потребе овог рада коришћена је стандардна методологија научног истраживања, што подразумева дефинисање проблема, циљева, предмета и хипотеза истраживања, које би у даљем раду требало да буду доказане. Сложеност проблема којим се овај рад бави условљава примену неколико истраживачких метода:

- Анализа – теоретски део истраживања,
- Експериментална метода мерења упоредних техничких карактеристика возила,
- Метода рачунарске симулације рада хибридног електричног возила,
- Метода идентификације и стратегија управљања безбедносним ризицима,
- Методе процене техноекономског ризика.

Први, теоретски део истраживања има шири контекст, у оквиру којег је извршена анализа значаја употребе и описане особине алтернативног погона. Наведено теоријско истраживање је реализовано прегледом и консултовањем домаће и иностране актуелне и компетентне литературе. Као допуна теоретском делу истраживања, дати су експериментални резултати мерења упоредних техничких карактеристика возила Југо

1,3 CW (бр.каросерије 01078501, бр.мотора 0086447) погоњеног на бензин и LPG (систем ZAVOLI, мешач MDS 22/23,4 mm) које је добијено испитивањем на постројењу динамометарских ваљака SCHENK LNC-0052 у Фабрици Застава аутомобили Крагујевац у марту 2010. године.

Рачунарска симулација рада хибридног електричног возила, урађена је коришћењем рачунарског програма Матлаб уз приказ валидације симулираног хибридног електричног возила, чиме урађени рачунарски модел возила добио на значају.

Идентификација безбедносних ризика употребе алтернативног погона урађена је за оне делове возила који се разликују од конвенционалних (бензинских) возила. Стратегија управљања безбедносним ризицима односи се првенствено на уградњу и одржавање возила на алтернативни погон.

Кост-бенефит анализа показује оправданости примене алтернативног погона у транспортном сектору Србије. У раду су поштована правила кост-бенефит анализе уз занемаривање ефеката продаје самих моторних возила на алтернативни погон јер је њихов значајна опште друштвени и егзистенцијални.

## 2. ИНЖЕЊЕРСКЕ ОСОБИНЕ АЛТЕРНАТИВНИХ ГОРИВА

Термин „алтернативна горива“ првенствено је везан за мотор са унутрашњим сагоревањем (мотор СУС) и настао је као последица дугогодишњег искључивог коришћења фосилних горива (бензина и дизел горива) као примарног горива за његов погон. Ако се проблем генерализује на област моторних возила, онда се може говорити о алтернативним (хибридним) погонима, који осим мотора СУС, као погонског агрегата, укључују и електромотор, замајац (инерциони погон) и сл. [27].

Полазећи од опште дефиниције по којој се мотор СУС дефинише као топлотна машина, у којој се топлота добијена сагоревањем горива претвара у рад, јасно следи и пресудан утицај карактеристика горива на укупне перформансе мотора. Током свог дугогодишњег развоја, мотор СУС се релативно рано везао за погонска горива добијена из сирове нафте (бензина и дизел гориво), па су се сва будућа истраживања и усавршавања мотора и његових помоћних уређаја одвијала уз претпоставку коришћења таквих горива. Увођењем и поштравањем прописа о заштити животне средине и смањивањем светских резерви нафте фосилна горива постепено губе свој примат, па се све чешће размишља о њиховој замени алтернативним горивима.

Погодност коришћења неког горива оцењује се пре свега, квалитетом његове енергетске трансформације у процесу добијања рада, чиме су директно дефинисане и излазне перформансе погонског уређаја, ценом производње, погодношћу и безбедношћу транспорта, складиштења и манипулација, природним резервама сировина из којих се добија и еколошким карактеристикама у свим фазама, почев од експлоатације сировине до коришћења у погонском уређају.

Алтернативна горива се јављају у сва три агрегатна стања:

- чврстом,
- течном и
- гасовитом.

Од чврстих горива највише је било покушаја коришћења угљене прашине, почев од Рудолфа Дизела, творца првог дизел мотора, преко Павликовског до данашњих истраживања у оквиру којих су испитане могућности коришћења раствора и емулзија угљене прашине са течним горивима (најчешће бензинима). Упркос свим

истраживачким напорима, коришћење чврстих горива за погон мотора још увек није оправдано, па о њима у овом раду нећемо говорити детаљније.

Од течних алтернативних горива, најчешће се користе следеће, [26]:

- етанол (Е85),
- метанол (М85),
- биодизел (В20, В100),
- алтернативно гориво Р-серије.

У групу гасовитих алтернативних горива спадају, [26]:

- водоник ( $H_2$ ),
- течни нафтни гас (LPG),
- природни гас (CNG, LNG, LCNG),
- хитан (смеша водоника и природног гаса).

Ова подела на течна и гасовита алтернативна горива је очигледно условна и више се односи на природна стања ових материја. Наиме, за оптимално коришћење у мотору СУС сва гасовита горива се посебним поступцима преводе у течно стање.

Коришћење алтернативних горива захтева и одређене измене на возилу, па се у литератури често ова група возила декларише као возила са погоном на алтернативна горива (AFV). Зависно од коришћене врсте горива, могуће су следеће варијанте ових возила: једногорива, двогорива и вишегорива. Једногорива возила су пројектована тако да могу користити само једну врсту горива (бензин, дизел гориво, водоник). Двогорива возила могу користити две различите врсте горива које су смештене у посебним резервоарима (бензин-течни нафтни гас, бензин-природни гас). Вишегорива возила могу користити два или више различитих горива из истог резервоара (бензин, етанол, метанол, дизел гориво, гориво Р-серије, биодизел (В20, В100)).

## 2.1. Етанол (Е85)

Први мотор са унутрашњим сагоревањем у САД израдио је пуковник Џон Стивенс 1798. године, а користио је етанол као гориво. Такође, значајни проналазач био је Немац Николаус Ото који је направио први прототип модерног мотора са унутрашњим сагоревањем 1877. године, а користио је такође чисти етанол као гориво.

По свом хемијском саставу, етанол је етил алкохол ( $C_2H_5OH$ ) који садржи 34,7% кисеоника и потпуно је растворљив у води. У чистом облику то је запаљива, безбојна течност са слаткастим мирисом на алкохол. Етанол је лакши од воде; када његова смеша са бензином дође у контакт са минималним количинама воде, етанол ће се раздвојити од бензина у водени слој. Чисти етанол и етанолне смеше бензина су теже од бензина. Етанол је врло испарљив, те ће испарити у ваздух око пет пута брже него бензин. Паре етанола су гушће од ваздуха и таложе се на нижим местима.

У табели 2.1. приказане су карактеристике етанола Е85.

Табела 2.1: Инжењерске особине горива Е85, [23]

Карактеристике етанола Е85	Одговарајућа вредност
Запремински % етанола	82
Reid напон паре (psi)	6,2
Масени % воде	0,4
Бруто топлота сагоревања, kJ/kg	32.412,81
Нето топлота сагоревања, kJ/kg	29.649,52
Истраживачки октански број	105
Густина, $kg/m^3$	0,78
Масени % угљеника	57,92
Масени % водоника	13,02
Масени % кисеоника	29,06
Проводљивост, $\mu S/cm$	1,81
pH	7,6

Мада је чисти етанол отрован, он је мање токсичан од бензена, толуена, етилбензена и ксилена (ВТЕХ) који су компоненте бензина. Етанол је присутан у фармацеутским производима, алкохолним пићима, средствима за чишћење, растварачима, бојама и експлозивима. Људи често уносе у организам ферментисана пића која садрже око 12% етанола. Пошто је етанол метаболички продукт, многи организми толеришу концентрације које се могу наћи при хаваријским испуштањима у животну средину.

При сагоревању етанол ослобађа мање топлоте него моторни бензин. Један и по галон етанола (један амерички галон је 3,785 литара, а један империјални галон 4,546 литара) имају приближно исту енергију сагоревања горива као један галон бензина. Етанол има вишу температуру паљења него бензин (око 4.500°C у односу на бензин са око 2.500°C) и има октански број<sup>2</sup> од око 110, те при додавању у бензин, повећава његов октански број.

У возилима се најчешће користи мешавина етанола и бензина у односу 85% етанола и 15% бензина (Е85). Етанол Е85 има карактеристичан мирис и ружичасту боју. Састав етанола Е85 прописан је стандардом ASTM D5798. Овим стандардом прописани су адитиви за спречавање корозије и постављена ограничења за регулисање параметара као што су напон паре и октански број. У табели 2.2 дате су упоредне карактеристике Е85 и Е10.

Табела 2.2: Карактеристике Е85 и Е10, [23]

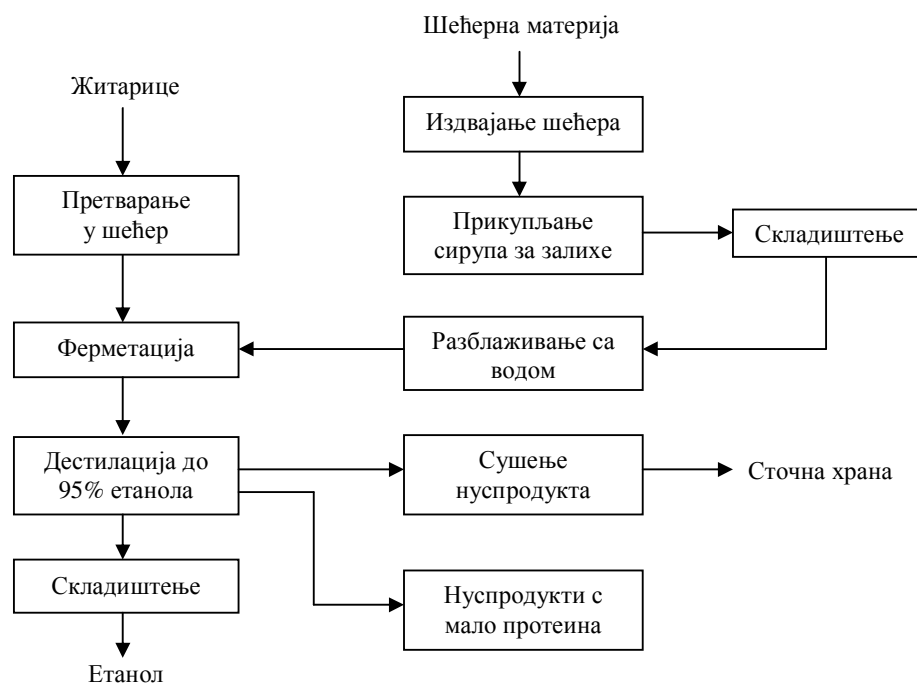
Карактеристика	Е85	Е10
Тачка кључања, °C	900	400÷2.100
Бруто топлота сагоревања, kJ/kg	32.412,81	45.282,57
Нето топлота сагоревања (масена), kJ/kg	29.458,79	41.868
Нето топлота сагоревања (волуме), kJ/litru	353.942,27	486.428,26
Топлота испаравања, kJ/kg	830,38	465,2
Октански број: (RON)	109	92
(MON)	91	87
Изглед	Ружичасти, безбојни	Безбојни, светло жути
Продајна цена у САД-у, \$/galon	1,39	0,99÷1,05

Етанол и његове смеше са бензином проводе електрицитет (насупротив томе, бензин је електрични изолатор). Због своје проводљивости, чисти етанол је корозивнији него бензин, те се мора пазити на компатибилност материјала при пројектовању великих резервоара за складиштење етанола.

<sup>2</sup> **Октански број:** угљоводоник са молекулом у облику дугачког ланца, познат као октан користи се као стандард и његов октански број износи 100.

Погодне сировине за производњу етанола су житарице, пшеница, шећерна трска, шећерна репа, јерусалимска артичока, итд. Међутим, не постоји „најбоља“ сировина пошто су у различитим регионима једне земље погодније за производњу етанола различите културе са различитих врста земљишта. Поред житарица постоје и други извори отпадака из производње житарица и хране који се могу искористити за производњу етанола али је њихов укупни потенцијал мали. У развоју су и други процеси који би омогућили комерцијалну дестилацију етанола из целулозних сировина као што су резидуи из жетве, траве, дрво и папир из комуналног чврстог отпада.

Процес комерцијалне дестилације/конверзије у етанол састоји се од четири основна корака (слика 2.1). Прво, сировина се обрађује ради добијања шећерног раствора. Затим се шећер конвертује у посебном кораку у етанол и угљендиоксид помоћу квасца или бактерија у процесу званом ферментација. Етанол се одваја процесом дестилације који даје раствор етанола и воде, у коме етанол не може да пређе 95,6% (при нормалном притиску) због физичких особина смеше етанол – вода (азеотропна смеша).



Слика 2.1: Производња етанола [23]

У финалном кораку вода се уклања како би се произвео “осушени” етанол. Ово се постиже додавањем у раствор хемикалије која мења физичке особине и поновном



дестилацијом. Материјал који заостаје у воденом раствору после дестилације етанола, тзв. остатак после дестилације, садржи квасац или мртве бактерије и материјал из сировине који није ни скроб ни шећер.

Из 100 kg кукуруза при производњи етанола добијамо [28]: 19,4 литара етанола, 23,2 kg дестилеријске сачме, 5,4 kg високопротеинске хране и 2,9 kg кукурузног уља. Процес производње етанола развија се у правцу коришћења целулозних сировина као извора шећера за добијање етанола. Ови процеси захтевају веће капиталне инвестиције (2÷3 пута веће од конвенционалних процеса) због скупог предтретмана, па ово ограничава њихову применљивост. Међутим, има више приступа поступцима конверзије целулозе, којима се могу снизити производни трошкови добијања етанола. Нпр., у процесу који је развио Gulf Oil Chemicals Co. користи се комунални отпадни папир, а посебним начином финансирања оваква дестилерија може бити конкурентна са конвенционалним процесом. Један од начина да се сниже трошкови производње етанола из целулозе је иновирање процеса при концентрисању и сушењу етанола.

Тестирања извршена на возилима са погоном на етанол су показала да је Е85 корозиван за неке компоненте, што захтева њихову замену компатибилним компонентама. Компресија мотора повећава се са 9,71 на 10,32 при коришћењу Е85, при чему перформансе моторног возила (снага, убрзање, путна брзина) су сличне као и код погона на чист бензин. Због мање топлотне моћи етанола Е85 смањује се радијус кретања (пређени пут са једним литром горива) за око 28% у поређењу са погоном на бензин.

Возила пројектована за погон фосилним горивима није рационално преправљати на погон етанолом, због неопходне измене неких материјала, посебно заптивних елемената у систему за напајање горивом. Отуда је уобичајено да се пројектују вишегорива возила која могу користити чист бензин и мешавине ових горива до односа 85% етанола и 15% бензина (Е85). У случају коришћења етанола Е85 за погон вишегоривог моторног возила, потребно је поштовати препоруке произвођача у погледу врсте коришћеног уља за подмазивање и листе делова које је неопходно заменити. Моделе возила која се могу погонити горивом Е85 у свом производном програму имају фирме: Daimler-Chrysler, Nissan, Ford Motor Co., Mercedes-Benz, General Motors-Chevrolet [28].

## 2.2. Метанол (М85)

Метанол је бистра, безбојна течност, слаткастог мириса и по хемијском саставу је метил алкохол ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ). Тачка кључања метанола је  $64,7^\circ\text{C}$ , а његова густина на  $20^\circ\text{C}$  је  $792 \text{ kg/m}^3$ . Метанол сагорева врло чисто (пламен је светлоплаве боје) и при сагоревању ослобађа скоро за половину мање топлоте него бензин. Кисеоник који садржи метанол, омогућава његово потпуно сагоревање у мотору и смањује емисију издувних гасова.

Метанол се производи из биомасе или из биолошки разградивог отпада (отпадно дрво, различити пољопривредни усеви и сл.). Економисти су показали да се метанол најјефтиније добија из конопље, која је једна од многих ресурса биомасе (из конопље се добија десет пута више метанола него из кукуруза).

Метанол се у возилима углавном употребљава [43]:

- у смешама са бензином (М85 – мешавина 85% метанола и 15% бензина),
- као додатак бензину за повећање октанског броја (МТВЕ),
- за погон горивих хелија.

Метанол М85 је високооктанско гориво и за његову примену у возилу потребне су конструкционе преправке (због корозивности метанола). Већи октански број метанола М85 повећава компресију мотора СУС у поређењу са бензинским погоном.

Предности примене метанола код возила [43]:

- може да чини и до 85% гориве смесе,
- повећава октанску вредност горива
- смањује емисију издувних гасова,
- може да се произведе из биомасе и угља,
- смањује ризик од пожара,
- учествује непосредно у производњи водоника, па се због тога користи као гориво у горивим хелијама,
- може се продавати на постојећим бензинским станицама (нема улагања у инфраструктуру),
- разградљив је у води.

Недостаци примене метанола код возила:

- загађује подземне воде,

- повећава емисију канцерогених алдехида,
- у процесу производње јавља се амонијак који загађује животну средину,
- прилично сложен процес производње,
- смањује топлотну моћ мотора,
- корозивност и висока токсичност.

Метанол није препоручљив као замена за бензин кад се добија из угља – природног производа. Од 1998. године знатно је смањена примена метанола као погонског горива за возила у односу на етанол, делом и због тога што метанол представља идеално базно гориво за добијање водоника у горивој ћелији.

### **2.3. Биодизел (B20, B100)**

Термин биодизел односи се на течну, обновљиво гориво добијено из биљних уља и по хемијском саставу представља метил естар. Иако слоган "дизел" улази у његов назив, у биодизелу нема нафтних деривата или других фосилних горива. Код биодизела ради се о сировинама које нису токсичне, које су биодеградабилне и обновљиве.

Идеју о добијању горива из биљака први пут пре једног века покушао да реализује немачки инжењер Рудолф Дизел искористивши за покретање прототипа дизел мотора уље од кикирикија (1900. године на Светској изложби у Паризу показано је то возило), али се његова примена није остварила због појаве јефтинијег дизел горива. Међутим, тек у време настанка прве нафтне кризе (1973. године) долази до савремених покушаја испитивања могућности коришћења биљног уља за покретање моторних возила. Уз тадашњи доказ да се биљна уља могу успешно користити у дизел моторима, постојали су и одређени проблеми. Главни узрок проблема (висока вискозност уља) убрзо је решен од стране хемичара.

Данас се биодизел користи као:

- чисто гориво (B100) и/или
- смеша са 80% дизел горивом (B20).

Биодизел може да се добије од било које врсте биљног уља (уљане репице, сунцокрета, соје, палме). У САД-у биодизел се углавном производи од сојиног уља или

рециклираног уља за кување, али се за његово добијање могу употребити животињске масти и биљна уља (кукурузно уље, уље од лана, лешника, кафе, семена каучуковца, памука, конопље, соје, уљане репице, маслине, јојобе, семена бундева, сусама, пиринча, сунцокрета, кикирикија, авокада, уљане палме, шафрана, овса), што зависи од њихове цене. У будућности ће се за производњу биодизела у САД-у вероватно употребљавати смеше свих врста масти и уља. У Европи је најпопуларнија сировина за производњу биодизела уље од уљане репице, мада се могу употребити сунцокретоно и сојино уље [36].

При избору сировине за производњу биодизела постоје одређени стандарди који треба да се испоштују: врста уља, садржај слободних масних киселина, садржај фосфора и нерастворљивих материја. Ови стандарди ограничавају примену искоришћеног уља из ресторана тј. поскупљују цену производње биодизела јер захтевају одговарајући предтретман. Са друге стране, право ограничење представља доступност сировина, тј. уља од репице или соје од којих је најоптималније производити биодизел који задовољава стандард квалитета EN 14214. Због тога, како производни капацитети расту, тако се и све већа површина обрадиве земље посвећује саћењу уљаних култура. Интерес за производњом биодизела у Европској унији (ЕУ) је нагло порастао у последњих десет година. Прве количине комерцијално направљеног биодизела су се појавиле у ЕУ почетком 1990. године, с тим што је раст на нивоу ЕУ последњих неколико година достигао 35% на годишњем нивоу (2007. године произведено је 4,75 милиона тона биодизела), [35].

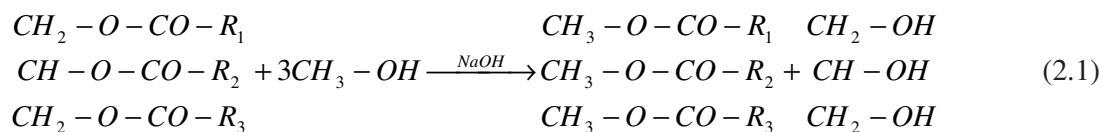
Потенцијал тржишта биодизела се може дефинисати величином постојећег тржишта минералног (фосилног) дизела. Стога се може закључити да нема ограничења што се тиче супституирања дизела биодизелом на тржишту ЕУ. За сада једно од ограничења представља количина доступних сировина за производњу биодизела на годишњем нивоу.

Покретачи значајног инвестирања у повећање производних капацитета за производњу биодизела у ЕУ, а посебно у Немачкој, који су проузроковали развој тржишта биодизела у Европској унији, су законске регулативе које су донете у ЕУ од 1992. године до данас. Приказ ових законских регулатива и дефинисане иницијативе дате су у табели 2.3.

Табела 2.3: Законске регулативе, [48]

Год.	Регулатива	Циљ/иницијатива
1992.	Аграрна реформа	Установила је исплате по хектару специфичног усева како би компензовала смањење цена.
1995.	Blair House Agreement	Обавеза ЕУ земаља да бар 10% пољопривредних површина не искористе за производњу производа за прехранбену индустрију.
1997.	Кјото конференција	Кјото протокол етаблира светски распрострањену стратегију за борбу против глобалног загревања.
1997.	ЕУ издала Белу књигу	Стратешки извештај о обновљивим енергетским ресурсима који дефинише циљ од 12% обновљиве енергије од укупне потрошње у ЕУ до 2012. год.
1998.	Ратификован Кјото протокол од стране ЕУ чланица	Смањење укупне емисије гасова са ефектом стаклене баште, где CO <sub>2</sub> има велики удео, за 8% до 2012. године а у поређењу са 1990. годином.
2000.	ЕУ издала Зелену књигу	Обезбеђење континуираног и растућег присуства биодизела на тржишту горива.
2003.	Директива 2003/30/ЕС	Циљ је да до краја 2010. године 5,75% свих горива у ЕУ буде замењено биодизелом.
2003.	Директива 2003/96/ЕС	Дозвољава да чланице ЕУ ослободе биодизел акциза. Ово правило важи како за чист биодизел, тако и за његове мешавине.
2003.	Стандард за биодизел DIN EN 14214	Дефинише квалитет биодизела као алтернативног горива и тиме етаблира В100 као бренд.
2004.	Европски стандард за дизел мот. DIN EN590	Дозвољава додавање биодизела до 5% без обележавања.

Биодизел се у рафинеријама добија процесом естерификације масних киселина с метанолом уз помоћ катализатора (NaOH) и тада се осим биодизела (метил естер масних киселина) добија и глицерин који се обично даље пречишћава до чистоће од 99% и више, и продаје фармацеутској и козметичкој индустрији, једначина 2.1, [37].



Остали нуспродукти при производњи биодизела су погача (остатак поступка истискивања уља из уљарица) и сачма (остатак поступка одвајања уља екстракцијом). Комплетна процена енергетског биланса производње биодизела укључује не само енергију која се потроши у његовој производњи, већ и енергију која се апсорбује/одаје од стране свих процеса потребних да би се дошло до коначног производа, табела 2.4.

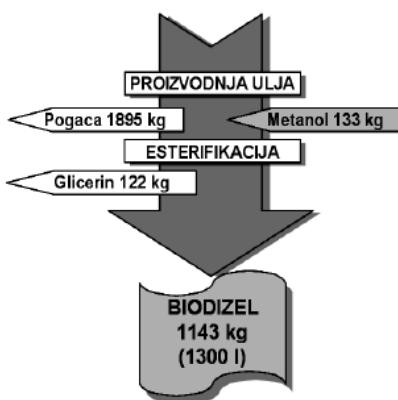
Табела 2.4: Енергетски биланс за биодизел добијен од уљане репице у MJ/ha, [34]

Параметри	Вредности
Принос семена (t/ha)	3,2
<b>Енергетски улаз (MJ/ha)</b>	
Обрада земљишта	-4.300
Ђубриво	-12.800
Агрохемија	-600
Семе	-200
Складиштење/паковање	-300
Превоз	-774
Прерада/производња	-16.071
<b>Укупно улаз</b>	<b>-35.045</b>
<b>Енергетски излаз (MJ/ha)</b>	
Биодизел	45.800
Погача	3.700
<b>Укупан излаз без стабљике</b>	<b>49.500</b>
<b>Енергетски излаз/енергетски улаз (без стабљике)</b>	<b>1,41</b>
Нето енергетски биланс без стабљике	49.500
Стабљика	38.400
<b>Укупан излаз са стабљиком</b>	<b>87.900</b>
<b>Енергетски излаз/енергетски улаз (са стабљиком)</b>	<b>2,51</b>
<b>Нето енергетски биланс са стабљиком</b>	<b>52.855</b>

Општи енергетски биланс зависи и од употребне вредности стабљике уљане репице која се може исећи и користити као извор енергије или се може заорати. Студије, које су рађене за биодизел, показују да је укупни енергетски биланс (укључујући и екстракцију, рафинацију и естерификацију) позитиван (табела 2.4).

Када се уради енергетски биланс за биодизел добијен од сунцокрета, долази се до закључка да су цифре сличне овим показаним за биодизел од репице. Један хектар сунцокрета производи мање биодизела, али са друге стране добија се више стабљика, а користи се мање ђубрива и агрохемије.

На слици 2.2 је приказан масени биланс производње биодизела.



Слика 2.2: Масени биланс производње биодизела, [36]

За производњу 1.300 литара биодизела (као и нуспродуката: сировог глицерина 122 kg, погаче 1.895 kg) из уљане репице потроши се:

- паре око 510 kg,
- расхладне течности ( $\Delta t=10^{\circ}\text{C}$ ) око  $33 \text{ m}^3$ ,
- електричне енергије око 15 kWh,
- метанола око 133 kg,
- катализатора (100%) око 6 kg,
- соне киселине (37%) око 12 kg,
- камене соде (50%) око 1,8 kg,
- азота око  $1,2 \text{ m}^3$ .

У поређењу са конвенционалним дизелом, биодизел гориво карактерише већи садржај кисеоника (11%) и мања количина угљеника (77%), док је удео водоника приближно исти. Због повећаног садржаја кисеоника топлотна моћ биодизела у односу на дизел фосилног порекла је нижа (37 MJ/kg у односу на 43 MJ/kg), а сагоревање горива је побољшано, [46]. Вискозност биодизел горива је већа него дизел горива али вишеструко умањена у односу на вискозност уља из којих је произведено (табела 2.5). Биодизел има знатно лошије карактеристике на ниским температурама (стињавање), у односу на дизел гориво.

Табела 2.5: Физичко-хемијске карактеристике биодизел и дизел горива, [35]

Карактеристика	Биодизел (SRB EN 14214)	Дизел D-2
Густина на 15°C, kg/m <sup>3</sup>	860÷900	820÷845
Вискозност на 40°C, mm <sup>2</sup> /s	3,5-5,0	2,0-4,5
Угљенични остатак, % m/m	< 0,3	< 0,3
Садржај естера, % m/m	> 96,5	-
Слободни глицерин, % m/m	< 0,02	-
Тачка паљења, °C	> 120	> 55
Садржај честица, % m/m	< 0,01	< 0,01
Садржај фосфора, mg/kg	< 10,0	-
Садржај сумпора, mg/kg	< 10,0	< 10,0
Садржај воде, mg/kg	< 500,0	< 200,0
Јодни број, g I <sub>2</sub> /100 g	< 120	-
Оксидациона стабилност на 110°C, h	> 6,0	-
Цетански број <sup>3</sup> , % v	> 51,0	> 51,0

Због разлика у физичко-хемијским карактеристикама биодизела и фосилног дизела, при коришћењу биодизела, треба имати на уму следеће чињенице:

- при коришћењу биодизел горива долази до смањења снаге мотора од 1,8% до 6,0%,

<sup>3</sup> **Цетански број:** лако упаливи цетан користи се као стандард за дизел гориво и његов цетански број износи 100 и тешко упаливи алфа-метил-нафталин цетански број је 0.



- због ниже топлотне моћи и веће густине биодизела потрошња горива расте. Према литературним подацима раст потрошње креће се у интервалу од 4,0 до 18,7%. Међутим, ово повећање се у пракси показало као знатно мање од оног што показују експериментална испитивања, јер друге позитивне особине биодизела омогућавају ефикаснији рад мотора,
- цеви за гориво и повратак горива из пумпе, као и заптивке које долазе у додир са биодизел горивом, потребно је заменити материјалима прикладним за биодизел, као што је флуор-каучук (Витон). У противном, биодизел може узроковати пропуштање цеви. Те измене су скоро сви произвођачи дизел мотора и опреме за дизел моторе већ спровели.
- биодизел без адитива зими (испод  $-8^{\circ}\text{C}$ ) није прикладан за коришћење,
- уколико се претходно користило само фосилно дизел гориво, након првих пуњења резервоара биодизелом, потребно је заменити филтер за гориво јер биодизел раствара талог са зинова резервоара изазивајући запушење филтера,
- са обзиром да биодизел има вишу тачку кључања у односу на минерални дизел, несагореле количине горива могу продрети између клипова и кошуљице цилиндра у моторно уље, што доводи до разређивања уља и погоршавања његове мазивости,
- биодизел не садржи сумпор па због тога нема опасности за примену у моторима са каталитичким конверторима,
- биодизел продужава век трајања мотора и смањује потребе одржавања, наиме биодизел има бољу мазивост у односу на минерални дизел.

Као доказ оправданости примене биодизела даћемо најважније резултате експерименталног тестирања биодизела које је урађено на два аутобуса Икарбус 103 у ГСП Београд, од 6. марта до 12. априла 2006. године, у оквиру пројеката „Нас сунце покреће“ (пројекат су заједнички реализовали ГСП Београд и Викторија група):

- Посматрано са техничког аспекта, при вожњи аутобуса на биодизел нису забележени никакви недостаци и биодизел није проузроковао никакву промену на мотору.
- Економски аспект примене биодизела у ГСП Београд (у овом пројекту) показује следеће: потрошња бидизела је око 5% већа од дизела, али због ниже цене (пошло се од претпоставке, да ће у Србији, као и у већини других држава,

биодизел бити 0,15 €/l јефтинији од дизел горива) биодизел је исплативији. Ако би се у ГСП Београд заменило 10% дизел горива са биодизелом (260.000 l биодизела) на месечном нивоу остварила би се новчана уштеда од 39.000 €, односно на годишњем нивоу уштеда од 468.000 €.

Произвођачи аутомобила имају позитиван став о употреби биодизела. Volkswagen, Škoda, Audi и Seat дозвољавају употребу B100 у својим возилима произведеним од 1996. године. BMW и Mercedes-Benz дозвољавају употребу B100 само у неким моделима, али само уз доплату, као „пакет припрема за биодизел“. Већина осталих произвођача (Peugeot, Citroen, Chrysler, Jeep, Suzuki) дозвољава коришћење до 5% биодизела у новим аутомобилима [47].

Од произвођача камиона MAN дозвољава коришћење биодизела од 1998, али интервал замене моторног уља треба да буде дупло краћи. Mercedes-Benz и Scania дозвољавају употребу биодизела у више модела, док Renault и Volvo дозвољавају само коришћење B5 у својим камионима. Произвођачи трактора, Same, Lamborghini, Hurliman, Case, John Deere дозвољавају коришћење биодизела у свим моделима, док Renault и Belarus не дозвољавају. Deutz и Deimler-Chrysler дозвољавају само у неким моделима.

Сматра се да су у биодизелу произведеном према EN 14214 (од 2005.г.) превазиђене све проблематичне појаве коришћења биодизела претходних генерација стандарда. Зато је биодизел према EN 14214 поуздано, квалитетно гориво за дизел моторе које се без ограничења може користити чисто или у мешавини свакога односа са минералним дизелом у свим савременим дизел моторима, у складу са упутствима произвођача [47].

#### **2.4. Алтернативно гориво Р-серије**

Алтернативно гориво Р-серије је развио Стефан Паул са Pricenton Универзитета и патентирао 1997. године (US патент бр. 5.697.987). Гориво је регистровано од стране корпорације за чисту енергију (DOE) 1998. године.

Горива Р-серије спада у групу обновљивих, нефосилних, течних горива, која по својим карактеристикама могу заменити бензин при погону моторних возила. Састав алтернативног горива Р-серије у варијантама регулар, премијум и гориво за ниске температуре, прихваћен од стране DOE, дат је у табели 2.6.

Табела 2.6: Састав и врсте алтернативног горива Р-серије, [39]

Компонента горива	Регулар	Премијум	Гориво за ниске температуре
Пентан плус	36,2%	33,3%	19,1%
МТХФ*	37,7%	22,1%	32,3%
Етанол	26,1%	44,6%	37,5%
Нормални бутан	0%	0%	11,2%
МТХФ+Етанол	63,8%	66,7%	69,8%

\* МТХФ – Метил-тетра-хидро-фуран

У табели 3.6 је издвојен и осенчен сумарни садржај метил-тетра-хидро-фурана (МТХФ) и етанола, јер су то једињења која се могу добити из биомасе (нефосилног порекла), док нормални бутан и пентан плус настају као течни нуспродукти при производњи природног гаса. Нормални бутан се додаје гориву Р-серије у зимским условима, због хладног старта мотора.

О етанолу је било речи у поглављу 2.1, а овде ћемо пажњу посветити метил-тетра-хидро-фурану. МТХФ је дериват етара који има добра својства при путним испитивањима.

У табели 2.7 дата су хемијска и физичка својства метилтетрахидрофурана.

Табела 2.7: Хемијска и физичка својства метилтетрахидрофурана, [41]

Хемијска ознака	$C_5H_{10}O$
Опис	Светла, жућкаста, благоиритирајућа течност.
Тачка кључања, °C	78
Тачка растварања, °C	-136
Густина, $kg/m^3$	0,86
Растворљивост	Растворљив је у води. Растворљивост у води се повећава са смањењем температуре. Врло је растворљив у етанолу.
Реактивност	Стабилан је при собној температури и притиску. Некомпатабилан са оксидисаним елементима, снажним киселинама и базама. Веома је запаљив.

МТХФ се употребљава као специјални растварач (погоднији је од тетра-хидро-фуран) и као изазивач хемијских реакција. МТХФ се такође употребљава за електролитске растворе у литијумским батеријама.

МТХФ се данас производи у малим количинама и мало је заступљен на тржишту. Побољшањем каталитичких процеса за производњу метилтетрахидрофурана доћи ће и до позитивних промена на тржишту МТХФ. Метил-тетра-хидро-фуран се добија из киселине која је произведена из биомасе (целулозних нуспродуката, отпадног папира, дрвених отпадака, отпадака од хране, пољопривредних нуспродуката и сл.).

Технолошки процес производње МТХФ започиње загревањем киселине на око 40°C и њеним мешањем са водоником. У присуству катализатора одвијају се вишеструке водоничне и две дехидратационе хемијске реакције којима се добија МТХФ чистоће 99%. Трошкови производње једног литра МТХФ су око 1\$ према подацима USITC (U.S. International Trade Commission).

За примену алтернативног горива Р-серије везују се две значајне ставке:

- потреба за нефосилним енергетским изворима – биомасом и
- могућност управљања комуналним чврстим отпадом.

Коришћењем комуналног чврстог отпада (папира и дрвених отпада и сл.) за производњу горива Р-серије смањују се трошкови производње, што омогућава да продајна цена горива Р-серије буде мања од цене бензина. Смањење трошкова производње горива Р-серије коришћењем комуналног чврстог отпада, односи се првенствено на трошкове транспорта и складиштења отпада у урбаним срединама, а коришћењем комуналног чврстог отпада се остварује и велика еколошка добит (смањују се количине чврстог отпада на сметлиштима).

Алтернативно гориво Р-серије се може користити у вишегоривим возилима са ото мотором у чистом стању или мешавинама са бензином у различитим односима и та возила су позната као FFV (Flexible Fuel Vehicles). Гориво Р-серије има скоро као бензин, октански број од 89÷93 октана и добро подноси зимске и летње услове рада.

Продајна цена за алтернативно гориво Р-серије са свим порезима и таксама на тржишту САД-а је око 2,49 \$ по галону (1 галон = 3,785 литара), што је приближно за око 0,75 \$ по галону мање од цене бензина. Поред тога потрошња алтернативног горива Р-серије је око 10% мања него код возила која користе бензин, док су трошкови одржавања возила приближно исти.

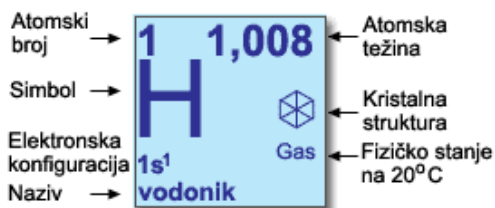
Главне предности примене алтернативног горива Р-серије су:

- компоненте за горива Р-серије добијају се из обновљивих извора (више од 60%),
- смањује се потреба за нафтом код возила до 80%,
- смањује се емисија гасова који изазивају ефекат стаклене баште за 45÷50%,
- нижа тржишна цена горива Р-серије,
- мања потрошња горива Р-серије за погон возила у односу на бензин.

У наредних десет година, не очекује се да алтернативно гориво Р-серије замени употребу бензина, али је очекиван нагли пораст његове производње и продаје. Иако се алтернативно гориво Р-серије данас производи у малим количинама, повећање производних капацитета ће још више редуковати трошкове производње овог горива и тако у великој мери повећати његову исплативост примене.

## 2.5. Водоник

Водоник ( $H_2$ ) је најзаступљенији хемијски елемент у свемиру, откривен у 18. веку (Хенри Кавендиш, 1766. године). На собној температури водоник је загушљив али неотрован гас без боје, мириса и укуса који се хлађењем на температури испод  $-252,8^{\circ}C$  претвара у течност. На  $-259,3^{\circ}C$  течни водоник се кристализује у хексигоналној кристалној структури (слика 2.3). Према електронској конфигурацији у периодном систему ( $1s^1$ ) налази се у првој групи алкалних елемената (један електрон у с орбитали) и његова физичка својства и основне карактеристике дате су у табели 2.8.



Слика 2.3: Атом водоника [24]

Табела 2.8: Физичка својства водоника [42]

Доња топлотна моћ, $kJ/m_n^3$	10.800
Горња топлотна моћ, $kJ/m_n^3$	12.770
1 нормални кубни метар ( $m_n^3$ ), kg	0,09
Гасна константа, $J/kgK$	4.125
Специфична топлота ( $c_p$ ), $J/kgK$	14.266
Густина (гасовито стање), $kg/m^3$	0,09
Густина (течно стање), $kg/m^3$	70,9

На Земљи водоник се ретко налази у природном облику чистог гаса, јер је он и најлакши познати хемијски елемент, па веома лако одлази у више делове атмосфере. Најчешће се налази у виду једињења као што су хидриди, халогеноводоници, угљоводоници, вода или амонијак.

Водоник се често назива горивом будућности, за што постоји више разлога:

- може се производити из било којих извора енергије,
- може се производити централно и локално,
- дугорочно је посебно занимљив у спрези с обновљивим изворима енергије,
- може се складиштити,
- може се користити за разне намене уместо садашњих фосилних горива,
- при производњи (из обновљивих извора) и кориштењу није штетан за околину,
- при примени у горивним ћелијама омогућава производњу електричне енергије с високим степеном искоришћења.

Применом водоника као горива обезбеђује се:

- сигурност у снабдевању енергијом,
- тржишна конкурентност,
- квалитетнији ваздух и побољшање здравља људи,
- смањивање емисије гасова који изазивају ефекат стаклене баште.

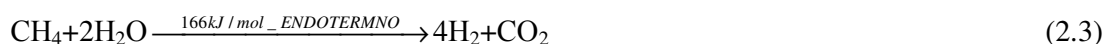
Светска производња водоника 2007. године је износила око  $500 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ , са тенденцијом даљега раста. Водоник се добија у процесима:

- парцијалне оксидације сирове нафте (48%),
- каталитичког реформинга природног гаса (30%),
- газификације угља (16%),
- електролизе воде (3%) и
- осталим процесима (3%).

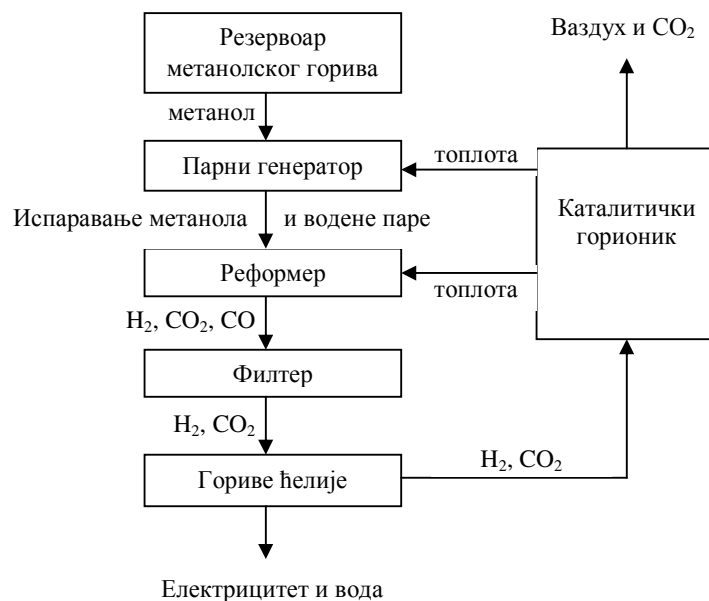
Данас најзаступљенији процес добијања водоника (парцијална оксидација сирове нафте/метана) описана је следећом једначином:



За потребе гориве ћелије водоник се најчешће производи реформингом природног гаса:



Приказ процеса каталитичког реформинга природног гаса (метана), дат је на слици 2.4.



Слика 2.4: Процес с реформером [24]

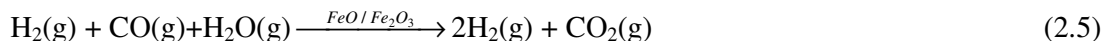
Процес реформинга је релативно једноставан. Водена пара и метанол у облику паре загрејани у парном генератору, реагују при температури од приближно 200°C, па након двостепеног или чак тростепеног процеса добија се: 70% H<sub>2</sub>, 24% CO<sub>2</sub>, 6% N<sub>2</sub> и у траговима CO.

Након пречишћавања у филтру смеша гасова се доводи горивим ћелијама. Остаци водоника се на излазу из горивих ћелија прикупљају и доводе у каталитички горионик који ствара топлоту за рад генератора паре и самог реформера.

Добијање водоника газификацијом угља врши се провођењем водене паре кроз ужарени кокс (угљеник, C) на температури од 1.000°C до 1.400°C и тада се добија смеша водоника и угљенмоноксида (водени гас):



Да би се водоник одвојио од добијене смеше, водени гас се меша са воденом паром и проводи кроз катализатор (обично неки оксид гвожђа) на температури од 450°C:

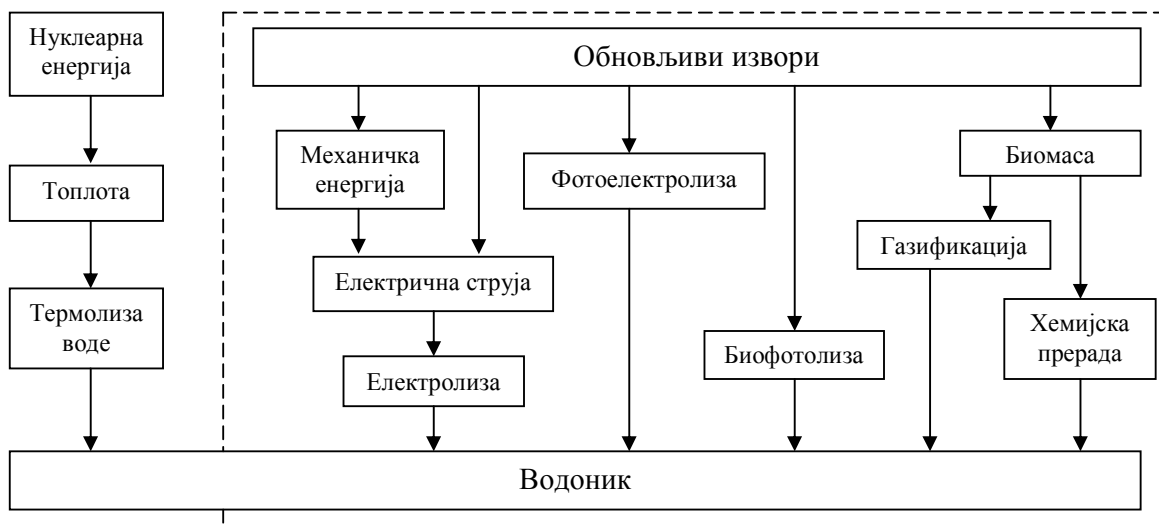


Настали CO<sub>2</sub> се раствара у води под притиском или се апсорбује неком од база.

Најмање заступљен је процес добијања водоника електролизом воде јер водоник добијен електролизом воде знатно је скупљи од водоника добијеног осталим хемијским процесима. Електролиза воде може бити: класична (225 dm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>/кWh), на повишеним

температурама 90°C до 260°C (246 dm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>/кWh), на високим температурама већим од 900°C (440 dm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>/кWh).

Коришћење нуклеарне енергије за добијање водоника сматра се рентабилним. За сада се нуклеарна енергија користи за добијање водоника на два начина – електролизом воде и коришћењем термичког и термохемијског циклуса разлагања воде. Термички и термохемијски циклуси разлагања воде директно користе термичку енергију добијену из нуклеарних реактора. Неминовно повећање потреба за енергијом и захтеви за смањењем штетних емисија у блиској ће будућности проузроковати напуштање класичних процеса добијања водоника и увођење нових технологија његове производње, нарочито оних које користе обновљиву енергију (слика 2.5).



Слика 2.5: Производња водоника из обновљивих извора [24]

Напредне технологије највећег потенцијала за производњу водоника, с циљем задовољења предвиђених потреба су фотобиолошке, фотоелектрохемијске и термохемијске. С обзиром на већ споменуто исцрпљивање залиха фосилних горива, научници раде на развоју прихватљивијих процеса добивања водоника као што је термохемијски процес газификације биомасе или пак фотобиолошка производња кориштењем способности неких живих организама (алги) да изложени светлости производе водоник. На термохемијске и фотобиолошке процесе надовезује се фотоелектрохемијска производња, која, као и фотобиолошки процеси, користи сунчеву светлост за разлагање воде на водоник и кисеоник. До сада је само процес добивања



водоника газификацијом биомасе развијен до степена који ће у наредних неколико година омогућити стварање тржишно компетитивног производа.

Након производње водоник треба чувати и складиштити, односно транспортовати како би могао бити коришћен. Водоник се складишти у гасовитом, течном и чврстом стању. Складиштење водоника у гасовитом стању врши се у подземним претходно припремљеним просторима. Водоник у гасовитом стању може се складиштити и у резервоарима под притиском, који су израђени од материјала велике затезне чврстоће. Комерцијално доступан гасовит водоник може да буде сабијен на собној температури под притиском од 24,8 МПа у алуминијумске резервоаре ојачане стакластим влакнима. Када су сасвим напуњени лагани композитни резервоари обезбеђују водоник при притиску од 33,8 МПа. На овај начин сабијен водоник има велику запремину у односу на бензин. С друге стране, само сабијање захтева утрошак одређене енергије, тако да се скоро 10% укупне вредности ускладиштене енергије утроши на сабијање гаса. Овакви резервоари запремине од 225 литара користе се за погон аутомобила, а нешто већи и за погон аутобуса са горивим хелијама у САД-у (Лос Анђелесу и Чикагу).

Складиштење водоника у течном стању врши се у челични резервоари запремине од 25 до 450 m<sup>3</sup>. При чувању и складиштењу водоника у течном стању треба имати у виду његове ограничене (мале) количине. Водоник постаје течан на  $-252,7^{\circ}\text{C}$ , а одржавање овако ниске температуре представља лимитирајући фактор за његову употребу.

Складиштење водоника у чврстом стању врши се у виду реверсних металхидрида који представљају задовољавајући начин за чување релативно малих количина. Металхидрид представља хемијску комбинацију водоника и неког метала/легури у чврстом стању.

Већина произведеног водоника транспортује се на мале удаљености у гасовитом стању, најчешће цевоводима. У транспорту на велике удаљености, због мањег габарита, течни водоник је у предности у односу на водоник у гасовитом стању. Економске студије показују да, због великог габарита водоника у односу на остала горива као и због количине потребне изолације за резервоаре, цена превоза течног водоника је виша од цене превоза осталих горива.

Примена водоника за погон мотора датира из 1820. године, када је Реверенд Сесил филозовском друштву у Кембриџу приказао свој рад под насловом: О примени водоника за производњу снаге у машинама. Такав мотор је радио на принципу

стварања вакуума са једне стране клипа и вршио рад. Николаус Ото је 1860. и 1870. године код својих првих мотора користио синтетички добијен гас који је садржао више од 50% водоника.

Данас, водоник као погонско гориво моторних возила користи се у неколико облика:

- у чистом стању као примарно гориво мотора СУС,
- у виду додатака другим горивима и
- као компонентно гориво гориве ћелије [42].

Коришћење водоника, као примарног горива мотора СУС, ограничено је:

- широким подручјем упаљивости,
- малом енергијом паљења,
- малом зоном гашења пламена,
- високом температуром самопаљења,
- високом дифузивношћу,
- веома малом густином [42].

Ако се при томе има у виду да се водоник, као гас, мора складиштити и транспортовати или у компримованом или течном стању (у криогеним резервоарима), онда је његова примена у системима за напајање горивом возила јако отежана. Отуда се возила са оваквим погоном јављају само у експерименталним варијантама (Ford Fokus C-max, Mazda RX-8). И поред свих тешкоћа у примени водоника у возилима данас, мишљења сам да ће у скорој будућности ова технологија доживети експанзију. Доказ за ову тврдњу може се подкрепити чињеницом да Mazda RX-8 (са погоном на водоник), која је била представљена 2003. године на салону аутомобила у Токију, као прототип, од 2009. године осим у Јапану, може се видети и на путевима Норвешке у оквиру Hi-Nor пројекта. У оквиру овог пројекта, у рад су пуштене и две станице за допуну горивом на бази водоника, чиме је започео пројекат грађења потребне инфраструктуре у Норвешкој. Такође, ротациони мотор који се налази у Mazda RX-8 се показао као мотор који одговара специфичним захтевима погона на водоник. Један од тих специфичних захтева је потреба да се водоник убризгава у усисну комору ротационог мотора при ниским температурама а то не би било могуће уколико би се користио традиционални мотор СУС.

Веће погодности пружа варијанта коришћења водоника као додатка другим горивима. Најбољи резултати се постижу када се водоник дода метану (природном гасу у течном

стању) у количини од 20%, јер се у том случају може користити исти резервоар за смештај оба горива. Овакво гориво је познато под називом Хитан и има добре еколошке карактеристике (смањује токсичност издувних гасова за око 20%) и може се користити у моторима који су пројектовани да раде са природним гасом без претходних преправки.

Највећу перспективу коришћења водоника као погонског горива моторних возила, пружа могућност његове примене у горивој хелији (о овоме опширније у поглављу 3).

## 2.6. Течни нафтни гас (LPG)

Течни нафтни гас (LPG – Liquefied Petrol Gas, код нас је познат и под скраћеницом ТНГ), представља смешу угљоводоника, пре свега пропана ( $C_3H_8$ , до 94%) и бутана ( $C_4H_{10}$ , до 5%) и мањих количина осталих угљоводоника ( $C_nH_{2n+2}$ , до 1%). Смеша пропана и бутана је у Србији дефинисана стандардом SRB В.Н2.134.

Примена LPG у моторима СУС има врло дугу традицију, али тек почетком 20. века течни деривати нафте преузимају примат међу погонским горивима за моторе, а разлог за то биле су тешкоће у производњи, складиштењу и манипулацији гасом.

Данас се широм земљине кугле креће флота од око девет милиона возила која користе LPG као погонско гориво. Овај број има тренд раста и на основу података THE GLOBAL AUTOGAS INDUSTRY NETWORK он износи 12÷15% на годишњем нивоу. У Европи, највећи потрошачи LPG су Италија са приближно 1.400.000 возила, затим Пољска са 600.000, Норвешка 400.000, Холандија 360.000, итд [45].

LPG се у свакодневном говору помиње као пропан-бутан. Када је намењен за коришћење у домаћинству, назива се просто гас или плин, а када се користи као погонско гориво за аутомобиле употребљава се назив аутогас. Због својих повољних карактеристика, LPG има врло широку примену као гориво за домаћинства, у индустрији, у пољопривреди и као гориво за моторе СУС. LPG се добија на два начина. Из природног гаса, у поступцима фракционисања сировог природног гаса, током којих се издвајају етан, пропан, бутан и остали гасови. Ови поступци се спроводе у специјалним постројењима за "дегазолинажу", у близини налазишта природног гаса. Други начин добијања LPG је током поступака примарне и секундарне прераде нафте.

LPG се на нормалним атмосферским условима налази у гасовитом стању. Назив течни нафтни гас указује да се LPG лако кондензује, јер на нормалној температури већ при притисцима од 2÷8 бара (зависно од састава смеше) прелази у течно стање. LPG је гас тежи од ваздуха, тако да се при евентуалном цурењу из резервоара таложи у близини тла. У течном стању LPG је упола лакши од воде. LPG је безбојан, и као гас и као течност, нема мирис, тако да му се из безбедносних разлога додаје јака ароматична супстанца (етил-меркаптан или диметил-сулфид) која својим оштрим и непријатним мирисом упозорава на цурење гаса из резервоара. Већ при концентрацијама LPG у ваздуху од 0,4% интензивно се осећа мирис додате супстанце. LPG није токсичан, али у већим концентрацијама у ваздуху делује као анестетик и чак може да проузрокује гушење услед недостатка кисеоника. Лако је запаљив, али је за његово упаљење потребно да постоји одговарајућа смеша гаса и ваздуха. Границе упаљивости, изражене запреминским односом гаса и ваздуха, износе од 1:50 до 1:10, што значи да и при малим цурењима може лако доћи до упаљења. Зато у близини инсталације или места на којима се манипулише гасом не сме бити отвореног пламена. Температура паљења LPG износи 500°C. LPG је хемијски врло агресиван, тако да изазива деградацију гуме и пластике. Зато се при формирању инсталације за LPG мора водити рачуна о избору материјала. [45]

Зависно од односа појединих компоненти у смеси LPG доња топлотна моћ уобичајене комерцијалне смеше пропана и бутана износи око 25,4 MJ/l. У односу на доњу топлотну моћ бензина од 32,3 MJ/l, следи да је коефицијент еквиваленције бензин/LPG око 1,27. Из овога следи да 1 литар течног нафтног гаса има топлотну моћ као 0,78 литара бензина, односно мотор при преласку на LPG као гориво трошио би око 22% више гаса него што је трошио бензина<sup>4</sup>. Једна од најзначајнијих карактеристика течног нафтног гаса је висока отпорност ка самопаљењу, јер LPG има висок октански број што га чини посебно погодним за примену у ото моторима.

Снага мотора са LPG као горивом је за око 10÷15% нижа у односу на снагу мотора са бензином, што се објашњава:

- мањим коефицијентом пуњења цилиндра, као последица мање густине смеше,
- топлијом смешом гаса и ваздуха од смеше ваздуха и бензина.

---

<sup>4</sup> Ова вредност не може да се сматра фиксном, с обзиром на променљивост садржаја пропана и бутана у смеси. На основу искуства у реалним условима експлоатације ова релација се креће у границама 15÷30%.

Ово је потврђено испитивањем снаге возила Југо 1,3 CW (бр.каросерије 01078501, бр.мотора 0086447) погоњеног на бензин и LPG (систем ZAVOLI, мешач MDS 22/23,4 mm). Испитивање је урађено на постројењу динамометарских ваљака SCHENK LNC–0052 у Застава аутомобилима – Дирекцији развоја аутомобила, Крагујевац у марту 2010. године (слика 2.6).



Слика 2.6: Возило Југо 1,3 CW на динамометарском ваљаку SCHENK LNC–0052

Мерење силе на точковима возила ( $F_1, F_2, F_3, F_4$ ) врши се у другом степену преноса и резултати мерења дати су у табели 2.9. Атмосферски притисак био је  $p=994,6$  mbar.

Табела 2.9: Резултати мерења

$n$ o/min	БЕНЗИНСКИ ПОГОН					LPG ПОГОН				
	$v_1$ km/h	$F_1$ V	$t_{v1}$ °C	$F_2$ V	$t_{v2}$ °C	$v_2$ km/h	$F_3$ V	$t_{v3}$ °C	$F_4$ V	$t_{v4}$ °C
1500	16,85	3,13	22,59	3,14	22,59	16,55	2,88	20,86	2,95	22,02
2000	22,6	3,01	23,75	3,04	23,17	22,15	3,11	20,86	3,22	22,59
2500	27,3	3,63	23,75	3,57	22,59	26,9	3,47	22,59	3,46	23,75
3000	32,75	3,62	27,82	3,69	24,33	32,5	3,59	24,33	3,58	25,49
3500	38,85	3,65	28,98	3,64	25,49	38,1	3,61	25,49	3,63	27,82
4000	43,8	3,64	27,82	3,62	26,65	44	3,45	26,65	3,51	30,16
4500	49,75	3,5	27,82	3,52	28,40	49,6	3,29	27,24	3,29	28,98
5000	55,05	3,46	28,40	3,4	29,57	55,15	3,24	28,40	3,22	29,57
5500	61,2	3,23	31,33	3,2	30,74	60,8	3,05	29,57	3,04	32,50

На основу измерних вредности из табеле 2.9 и коришћењем једначине 2.6, добијамо вредност снаге на точковима возила за бензински ( $P_{BEN}$ ) и LPG погон ( $P_{LPG}$ ), што је приказано у табели 2.10 (вредности снаге су помоћу коефицијента  $K$  сведене на температуру од 20°C и притисак 1013 mbar):

$$P = K \cdot \frac{735 \cdot 75}{3600} \cdot v \cdot F \quad (2.6)$$

где је:

$$K = \frac{1013}{p} \sqrt{\frac{273 + t_v}{293}}$$

$p$  – атмосферски притисак на дан мерења, mbar,

$t_v$  – температура ваздуха на усису мотора, °C,

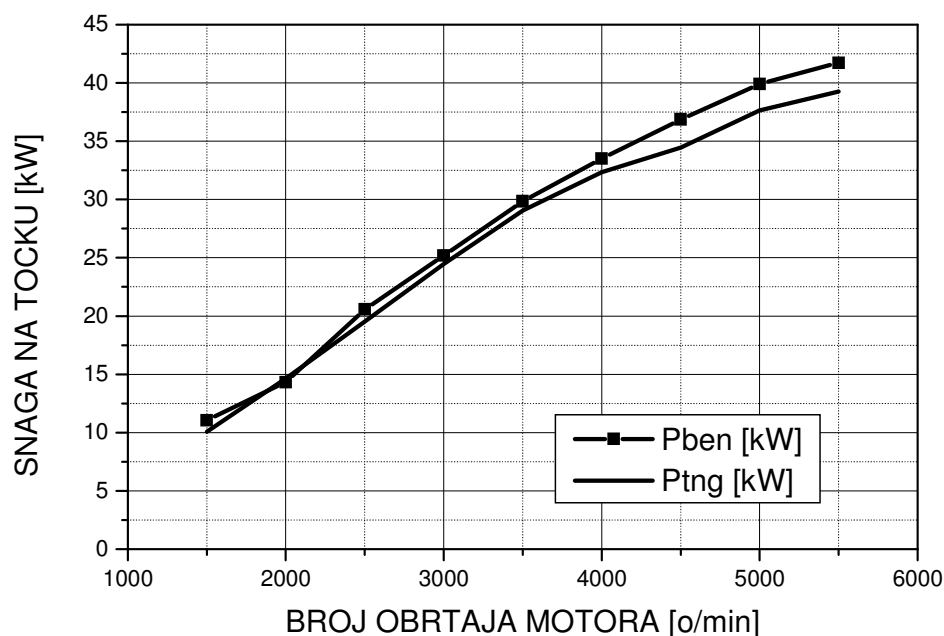
$v$  – брзина возила, km/h;

$F$  – сила на точковима, V.

Табела 2.10: Вредност снаге на точковима возила

$n$ o/min	БЕНЗИНСКИ ПОГОН					LPG ПОГОН				
	$K_1$	$P_{1BEN}$ kW	$K_2$	$P_{2BEN}$ kW	$P_{BEN}$ kW	$K_3$	$P_{1LPG}$ kW	$K_4$	$P_{2LPG}$ kW	$P_{LPG}$ kW
1500	1,023	11,03	1,023	11,06	11,04	1,020	9,94	1,022	10,20	10,07
2000	1,025	14,25	1,024	14,38	14,31	1,020	14,36	1,023	14,91	14,64
2500	1,025	20,76	1,023	20,38	20,57	1,023	19,52	1,025	19,50	19,51
3000	1,032	25,01	1,026	25,34	25,17	1,026	24,46	1,028	24,44	24,46
3500	1,034	29,97	1,028	29,71	29,84	1,028	28,90	1,032	29,17	29,03
4000	1,032	33,63	1,030	33,38	33,50	1,030	31,95	1,036	32,70	32,33
4500	1,032	36,73	1,033	36,97	36,85	1,031	34,38	1,034	34,48	34,43
5000	1,033	40,21	1,035	39,59	39,90	1,033	37,72	1,035	37,56	37,64
5500	1,038	41,93	1,037	41,51	41,72	1,035	39,23	1,040	39,29	39,26

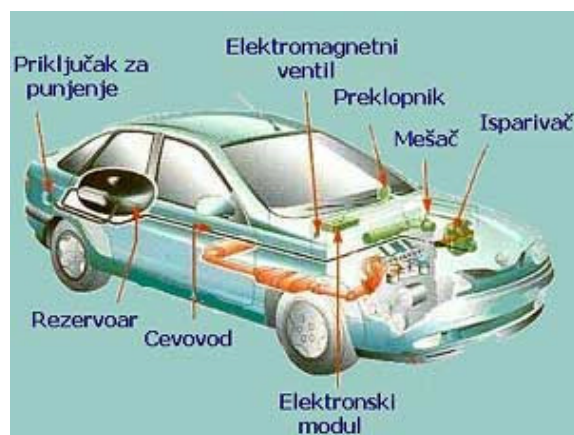
На основу вредности из табеле 2.10 (снаге на точковима и броја обртаја мотора бензинског и LPG погона), урађен је дијаграм зависности ове две величине (слика 2.7). Са слике 2.7 јасно се види да је снаге на точковима бензинског погона за око 8% виша од снаге на точковима LPG погона.



Слика 2.7: Зависност снаге на точковима од броја обртаја мотора

Да би се прешло на погон гасом код моторних возила неопходно је извршити конверзију бензинског мотора. Велики број фабрика производи опрему за конверзију бензинских мотора на LPG, нарочито у Италији, а постоји на хиљаде радионица у којима се за кратко време врши ова конверзија.

Основни делови инсталације за напајање мотора LPG су: резервоар или тзв. боца за гас, прикључак за пуњење, сигурносни вентил, испаривач, мешач гаса, прекидач, регулатор, доводне цеви и управљачка електроника (слика 2.8).



Слика 2.8: Основни делови инсталације за напајање мотора LPG, [45]

Резервоар за гас је најчешће цилиндричног облика и смешта се у пртљажни простор возила. Запремина резервоара се бира према типу возила и могућностима за његов смештај. Најчешће се користе резервоари запремине од 35 до 120 литара. Убацавањем резервоара губи се око 20÷30% запремине пртљажног простора. Постоје и тзв. торусни резервоари који се могу смештати у простор за резервни точак. Они заузимају мање пртљажног простора, али остаје проблем смештаја резервног точка. Смештај резервоара и губитак корисног простора, представљају главну отежавајућу околност при преласку на погон LPG. На неким већим возилима могуће је сместити резервоаре и споља.

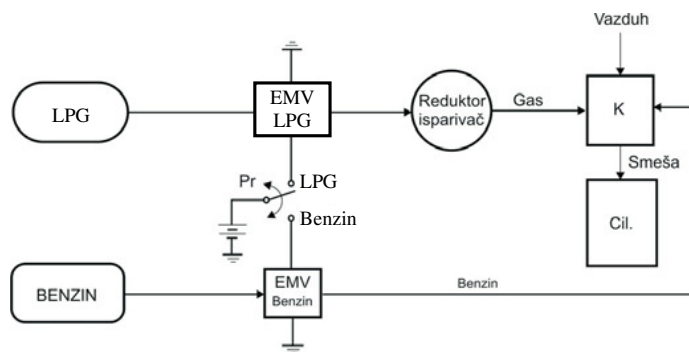
Прикључак резервоара је склоп који омогућава пуњење резервоара LPG и налази се најчешће код задњег браника или поред прикључка за пуњење бензина. Са прикључка LPG, се изолованим бакарним цевима одводи у резервоар. Из резервоара, LPG се специјалним изолованим бакарним цевима води ка испаривачу који је смештен у моторском простору возила. Цеви су на одговарајући начин причвршћене за под возила. Сви прикључци на резервоар, као и сигурносни вентил, смештени су у одговарајуће кућиште, које је саставни део резервоара, како би се спречило евентуално оштећење.

Кључни део инсталације је испаривач који, као што му назив говори, служи за превођење LPG из течног у гасовито стање. За овај процес потребно је обезбедити топлоту с обзиром да свака течност током процеса испаравања одузима топлоту од околине. За ту сврху користи се расхладна течност самог мотора. Испаривач је цревима повезан са системом хлађења мотора тако да топла вода из мотора непрекидно струји око њега и загрева течни гас који испарава. Из испаривача, гас се одводи у тзв. мешач који се налази на грлу карбуратора или на усисној грани, испред лептира. Из њега се гас распршује у карбуратор или у усисну грану, после чега се образује смеша горива и ваздуха.

Код мотора који су опремљени савременим електронским системима за убризгавање горива, инсталација за напајање LPG садржи и додатни електронски модул који врши пребацивање погона са бензина на гас и обратно. Овај модул има задатак да емулира сигнал положаја лептира и сигнал ламбда сонде, на бази чега се одређује потребна количина гаса која се доводи у усисну грану, тј. састав смеше.

Прва генерација система погона на гас примењена је на карбураторским моторима. На слици 2.9 је приказана упрошћена шема једног таквог система.





Слика 2.9: Основни концепт система за погон карбураторског мотора на LPG, [50]

Приказани систем омогућава рад мотора са бензином или LPG, при чему се избор горива са којим ће мотор радити врши прекидачем (Pr) са ручним или аутоматским укључивањем у функцији режима рада мотора. У случају укљученог погона на гас, електромагнетни вентил (EMV) за бензин прекида доток горива у лонче карбуратора, а EMV за LPG отвара пролаз гаса из резервоара у редуктор-испаривач и мешач који се поставља у зону највећих брзина струјања (дифузор) карбуратора.

У резервоару за LPG, гас се налази у течној и парној фази при чему је притисак у њему једнак притиску засићених пара пропана и бутана на датој температури. Вредности овог притиска зависе од околне температуре и степена напуњености резервоара и крећу се у границама од 6 до 10 бара. Због могућности да услед ширења течне фазе на вишим температурама дође до разарања резервоара за LPG, ограничена је количина максималног пуњења на 80% од номиналне запремине резервоара.

Редуктор-испаривач се најчешће изводи као двостепени. У првом степену, услед снижавања притиска и испаравања течне фазе, долази до знатнијег снижавања температуре, па да би се спречило залеђавање, овај степен се греје медијумом из система за хлађење мотора. У другом степену се обавља даље, контролисано, снижавање притиска до вредности приближно једнаке притиску околине.

Мешач се изводи у облику дифузора (венурија) константног (нпр. Landi Renzo), или променљивог проточног пресека (Impco) и поставља у главни ток струјања ваздуха у карбуратору. Код мешача са константним проточним пресеком промена подпритиска у његовом најужем пресеку, која је функција броја обртаја и положаја пригушног лептира мотора, преноси се на излаз другог степена испаривача и изазива кретање његове мембране чиме се мења и доток гаса у мешач. Дозирање гаса код оваквих

система зависи од конструктивног извођења испаривача, његовог подешавања, конструкције мешача и протока ваздуха кроз његов најужи пресек. Системи са мешачима променљивог проточног пресека раде на принципу промене проточног пресека у функцији подпритиска у усисном систему мотора, чиме се мења и проток гаса, док притисак на излазу другог степена испаривача остаје приближно константан.

Поштравањем законских прописа о емисији токсичних компонената јавила се потреба увођења електронски управљаних система за убризгавање горива код ото мотора (EFI - системи), што је неминовно довело до одговарајућих измена у системима за напајање оваквих мотора гасом.

Најједноставнија могућа варијанта једног таквог система је свакако концепт са редуктором-испаривачем и мешачем константног проточног пресека какав се користи код карбураторских мотора. У овом случају се мешач поставља у усисни вод испред пригушног лептира, а у циљу обезбеђивања регуларног рада електронске управљајуче једнице (EУJ), у систем се поставља емулатор чија је улога да симулира рад бризгача. Раније истакнута непрецизност дозирања гасовитог горива оваквог система и немогућност коришћења мапа управљања EУJ представља значајан недостатак због чега његова примена није рационална.

У циљу отклањања наведених недостатака код ових система је уобичајена примена електронски управљаног вентила за гас и актуатора који се постављају између испаривача и мешача (системи: Eurogas Landi Renzo, AG Autogas ALC, BRC LPGas Koltec и сл.). Радом вентила управља посебна EУJ која је спојена са EУJ за рад са бензином у циљу коришћења сигнала са одговарајућих давача: броја обртаја, ламбда сонде, положаја лептира, притиска у усисном воду и других давача битних за оптимално управљање дозирањем гасовитог горива.

Највеће могућности у погледу комплексности управљања саставом смеше и осталим битним моторским параметрима пружају системи са убризгавањем гаса који, аналогно системима за убризгавање бензина, могу бити изведени у варијантама: централног (SPI) и убризгавања по свим цилиндрима (MPI).

MPI системи се могу реализовати као континуални, временски симултани и секвенцијални. Већина наведених система је пројектована за убризгавање LPG у гасовитом стању, али неки произвођачи (Vialle, Tartarini), нуде и системе са убризгавањем гаса у течној фази. Поред прецизне електронске регулације и управљања

у затвореној контури, значајна предност оваквих система је и могућност извођења као једногоривих или двогоривих система.

Из свега реченог могу се таксативно набројати предности и недостаци примене LPG код моторних возила.

Предности примене LPG као горива су:

- висока топлотна моћ,
- високи октански број,
- нижа цена LPG у односу на бензин,
- емисија штетних издувних гасова је мања са аспекта несагорелих угљоводоника, угљенмоноксида, аромата, бензена и полицикличних једињења,
- квалитетније подмазивање мотора (не спира цилиндри и не разређује уље),
- опрема возила је позната и у тој области не треба очекивати проблеме,
- дефинисани међународни стандарди (ECE R 67/01 и ECE 115),
- сагоревање смеше гаса и ваздуха је квалитетније што се објашњава бољом хомегенизацијом смеше, услед чега је незантно повећан укупан степен корисности.
- с обзиром на квалитетније сагоревање и знатно мањом количином чврстих честица (чађи), неупоредиво је мања количина наслага на клиповима, вентилима и глави мотора, па тиме и продужен век клипова и клипних прстенова,
- продужен је век катализатора због мање могућности зачепљења, прегоривања или уништења слоја племенитог метала,
- продужен је век трајања уља у мотору због мањег разблаживања уља, дужег задржавања тоталног базног броја уља (због мање количина киселина) и знатно мање талоба у уљу,
- релативно мек рад мотора, без детонација, претвара се у опште побољшање радних услова лежајева, радилице и осталих делова у систему, што у крајњем, омогућава дужи век мотора,
- могућност избегања пожара услед неконтролисаног истицања или цурења је минимизирана, с обзиром на уске границе запаљивости.

Недостаци примене LPG као горива су:

- снага мотора је за око 10÷15% нижа, у односу на снагу са бензином као горивом,

- емисија штетних издувних азотних оксида је нешто већа него код бензинских мотора, што се објашњава вишом температуром при сагоревању као последица хомогеније смеше,
- ово гориво не спада у групу обновљивих горива, без обзира што се може добити и синтетизовањем из угља, његово коришћење у будућности биће доста ограничено,
- због ниже снаге мотора, време убзрања аутомобила је нешто дуже (дакле убзање је лошије) и максимална брзина нижа за око 5%,
- употреба LPG у моторима није препоручљива код мотора који имају низак степен компресије (испод 8) и код којих вентили немају стелитну превлаку на печуркама и седишту вентила (то су у принципу сви мотори старије генерације и мотори са ливеним главама),
- код мотора са ниским степеном компресије, који троше премијум бензин, морало би да се накнадно подешава предпаљење када је гориво LPG.

И поред наведених недостатака при примени, развијене земље већ дуго систематски раде на омасовљењу употребе LPG за погон моторних возила. У великим градовима, са великим интензитетом саобраћаја, аутобуси градског саобраћаја, као и такси возила, масовно користе LPG. Најдужу традицију у том погледу има Аустрија, где у Бечу скоро сви аутобуси градског превоза већ 30 година користе LPG. Слично је и у осталим европским државама, Јапану и САД. Осим у јавном превозу, посебним пореским олакшицама подстиче се употреба LPG у путничким возилима (државе ЕУ субвенционирају прелазак на погон гасом учешћем од око 30% у трошковима). Подстицајне мере за примену LPG у земљама ЕУ односе се и на могућност паркирања возила која користе LPG на местима где није дозвољено конвенционалним возилима. Водећи светски произвођачи аутомобила (Renault, Vauxhall, Ford, Volvo, Fiat, Daimler Chrysler, GM, Rover) са својих производних трака испоручују возила са већ фабрички имплементираним LPG системом, то су такозване bi-fuel верзије возила која могу да користе LPG и бензин. Произвођачи аутомобила Nissan и Toyota производе за потребе тахи службе возила у mono fuel аутогас верзији. Други по броју произведених аутомобила у mono fuel аутогас верзији су произвођачи аутомобиле из Јужне Кореје. Поред поменутих путничких возила запажен је и развој на пољу тешких возила тј. аутобуса који користе LPG као гориво (DAF-Холандија, OAF-Аустрија...).

## 2.7. Природни гас (CNG, LNG, LCNG)

Природни гас је мешавина угљоводоничних једињења која постоје у природи и формиран је током милиона година распадањем органских материја као што су дрвеће и животиње. Обично се налази заробљен у подземним резервоарима, било у цевовима гаса, било заробљен у супстрату као што су песак и уље, а издваја се или као нуспроизвод при вађењу нафте или као самостална сировина.

Метан ( $\text{CH}_4$ ) је главна компонента природног гаса и обично чини преко 90% природног гаса који се дистрибуира путем гасовода. У остала угљоводонична једињења која се у природном гасу могу наћи у малим количинама спадају етан, пропан и бутан. Физичко-хемијске особине природног гаса директно зависе од садржаја метана у њему. Доња топлотна моћ метана је  $25,66 \text{ MJ/m}^3$  односно  $35,8 \text{ MJ/kg}$ , а октански број је већи од 100. Природни гас је без мириса, тако да му се додају одоранти који му дају карактеристичан „мирис гаса”.

Да би се природни гас користио као погонско гориво моторних возила, потребно је претходно да се преведе у течно стање. При томе су могућа два поступка:

- сабијање под високим притисцима (200 bar)-компримовани природни гас (CNG)
- хлађењем до екстремно ниских температуре ( $-162^\circ\text{C}$ )-течни природни гас (LNG)

Комбинацијом ова два поступка добија се течни компримовани природни гас (LCNG). Ако се пореде горива добијена овим поступцима онда се може закључити да LNG има 2,4 пута већу густину од CNG, самим тим и толико већи радијус кретања. За добијање CNG потребне су скупе компресорске станице за чији рад се троше значајне количине струје, као и постојање цевовода за допремање гаса. С друге стране, LNG се мора држати у специјалним (криогеним) резервоарима. Ипак, због низа предности природни гас се у возилима најчешће користи у компримованом стању, а сасвим ретко у течном стању.

Компримовани природни гас –CNG (код нас је познат под скраћеницом КПГ) гори спорије од бензина, чиме се смањује хабање и повећава радни век мотора. У CNG нема олова, тако да нема таложених олова на свећицама, па се радни век свећицама продужава 2 до 3 пута.

Сва дешавања у вези успостављања техничке регулативе за моторна возила која користе CNG дешавају се у Светском форуму за хармонизацију правилника за возила –

WP.29, односно његовој Радној групи за аерозагађење и уштеду енергије – GRPE при Економској комисији за Европу при УН. Еколошки захтеви, које треба да испуне моторна возила која користе CNG у свом погонском систему дефинисана су у оквиру ЕСЕ Правилника бр. 49 (Додатак 2 на 02 серију амандмана) за моторна возила која служе за превоз путника и робе, а у оквиру ЕСЕ Правилника бр. 83 (Додатак 1 на 03 серију амандмана) за путничке аутомобиле. Безбедоносни захтеви за возила на CNG су успостављени октобра 2000. године у оквиру ЕСЕ Правилника бр. 110 који дефинише поступак хомологацију опреме на моторним возилима која користе CNG и хомологацију возила у односу на уградњу такве опреме. У оквиру Европске уније постоје директиве (70/220\*2001/100/EC; 88/77\*2001/27/EC) које регулишу ову материју и оне су идентичне са одговарајућим ЕСЕ правилницима.

Постоје три типа возила за CNG: наменска (dedicated), двогоривна (Bi-Fuel) и двогоривна (Dual Fuel) возила. Наменска возила раде искључиво на CNG. Bi-Fuel двогоривна возила раде на CNG али задржавају могућност употребе бензина као резервног горива. Мотор може да ради на обе врсте горива али не истовремено. Компресиони однос мотора мора остати на нивоу погодном за рад на бензин. Тренутно овај тип мотора се користи скоро искључиво код возила тежине до 3500 kg. Dual Fuel возила изведена су из дизел возила. Мала количина дизела се и даље користи као извор паљења. CNG као примарно гориво меша се са улазећим ваздухом. Dual Fuel мотори се аутоматски пале услед компресије и не захтевају свећице.

Да би се прешло на погон гасом код моторних возила неопходно је извршити конверзију бензинског мотора. У начелу постоје неколико метода за прилагођавање возила коришћењу CNG:

- постојећем возилу које је прилагођено коришћењу класичних горива (бензин и дизел гориво) додаје се гасна инсталација при чему возило постаје двогориво,
- постојећем возилу се замењује погонски агрегат, уграђује гасна инсталације и возило постаје у највећем броју случајева корисник само гасног горива,
- израђује се ново возило које је фабрички прилагођено коришћењу класичног горива и CNG или само CNG.

Са гледишта постизања највећих функционалних и економских ефеката, задовољења захтева сигурности и безбедности најповољније је да се изради ново двогориво или једногориво возило. Већина произвођача возила у свету имају један или више типова

CNG или CNG/класично гориво Ford (E250, E350, F150, Crown Victoria), General Motors (Silverado, Express, Savana), Honda Civic GX, Fiat Punto, Opel Zafira, Reno Megan.

Поред поменутих путничких возила запажен је и развој тешких возила која користе CNG као гориво. Пре свега треба поменути произвођаче дизел мотора: Baytech, Caterpillan, Cummins, Detroit Diesel, John Deer, Mack Truck који у свом производном програму имају CNG моторе.

У случају прилагођавања возила које се налази у експлоатацији коришћењу CNG, уградњом наменских гасних сетова за CNG, појављује се проблем који је везан за старост возила и усклађивање параметара електронских компоненти које су данас незаобилазни део сваког савременог моторног возила.

Поред тога појављује се проблем који се односи задовољење параметара сигурности и безбедности обзиром на конструктивне особине постојећег моторног возила. Ово су битни разлози да се развој CNG возног парка усмери на возила која су фабрички прилагођена коришћењу CNG.

Принцип рада возила за CNG зависи од врсте бензинског возила (карбураторско или с убризгавањем). Природни гас се доводи у мотор CNG возила помоћу регулатора притиска (најчешће постављен у одељку мотора) који снижава његов притисак.

Код карбураторских мотора гориво улази у карбуратор (путем специјалног мешача за гориво и ваздух) под скоро атмосферским притиском кроз специјално конструисани мешач природног гаса у коме се он меша са ваздухом.

Код возила са убризгавањем горива CNG улази у брызгалке под релативно ниским притиском (до око 6 bara, 90÷100 psi). У сваком случају, CNG тада улази у комору за сагоревање у мотору и пали се да би створио снагу потребну за покретање возила. Посебни електромагнетни вентили спречавају продирање CNG у мотор када је он искључен.

Из свега реченог могу се таксативно набројати предности примене CNG као горива:

- са аспекта технике и емисије издувних гасова не треба очекивати проблеме, тим пре што је адаптација мотора слична као код LPG, осим код резервоара и редуктора притиска,
- остале предности сличне као код LPG.

Недостаци примене CNG као горива:

- недовољно развијена мрежа станица за пуњење CNG,

- веома неповољан однос енергетске густине (око 5,35 kg масе резервоара за сваких 41 MJ, што би одговарало приближно 1 литру бензина),
- неопходност примене резервоара под високим притиском (200 bara), те самим тим њихова велика тежина у односу на расположиву запремину, чине га подесним само за употребу у третним возилима или аутобусима у градском или приградском транспорту), уз смањивање корисне носивости за око 20%.

Према извештају ENGVA (European Natural Gas Vehicle Association) из 2005. године, у свету постоји око 4.000.000 CNG возила разних категорија која су подржана са око 8.000 станица за пуњење. Према овом извештају, највеће возне паркове CNG возила и највећи број станица за пуњење имају Аргентина (1.288.462 CNG возила и 1.267 станица), и Бразил (786.921 CNG возила и 911 станица).

Примена природног гаса за погон моторних возила доживљава последњих година праву експанзију. Најчешће се почиње од градских аутобуса, али све је више и путничких, посебно такси возила, као и возила за комуналне службе и унутрашњи транспорт.

О значају конверзије моторних возила на природни гас добро говори и чињеница да је 1998. године Европска комисија покренула развојни пројекат NGVEurope, са циљем развоја возила на природни гас и компресорских станица, промоције и испитивања ових возила, посебно у погледу емисије издувних гасова. Овај пројекат, у који је Европска комисија уложила 2,6 милиона евра, уз велико учешће већег броја фирми, реализован је у 15 градова у 7 земаља Европе, а усмерен је био на градске аутобусе, доставна, такси и комунална возила која се користе у еколошки угроженим срединама. У оквиру овог пројекта [49] развијено је и у експлоатацију укључено више стотина возила, која су праћена и испитивана по посебно развијеном и међусобно усклађеном програму.

ЕУ је својим директивана зацртала да се до 2020 године мора развити возни парк од 23.000.000 возних једница са годишњим прирастом од 8%. Свакој земљи, чланици ЕУ, остављена је слобода да формира свој модел развоја CNG погона. Паралелно са развојем возила на CNG развија се и инфраструктура у ЕУ, граде се гасоводи (који свакако снабдевају и друге потрошаче), шири се мрежа компресорских станица за њихово пуњење.



## **2.8. Стање и перспектива примене алтернативних горива код моторних возила у Србији**

Возила која користе алтернативна горива изузетно су погодна за урбане средине где су загађења човекове околине највећа. Ова горива су изузетно погодан за градски и међуградски превоз, погон пољопривредне механизације, комунална возила, доставна возила, хитну помоћ, такси возила, возила унутрашњег транспорта (нпр. виљушкари и сл.), радна возила (нпр. утоваривачи и сл.), возила која се користе у туристичке сврхе (туристички возови и сл.).

Тренутно слаба економска исплативост примене алтернативних горива у моторним возилима у Србији свакако игра кључну улогу у њиховој малој примени. У вези са критеријумом економичности коришћења алтернативних горива треба да се истакне да цене горива, трошкови регистрације, порези и друге обавезе које се намећу кориснику возила проистичу из глобалне фискалне и економске политике у једној земљи, посебно из политике развоја саобраћаја и енергетике. То значи да на цене алтернативних горива, поред производне цене, директно и одлучујуће утиче држава, својим мерама и одлукама. На овај начин, може да се директно поспешу коришћење једног, на уштрб другог горива. Може, дакле, да се подстиче потрошња оног горива за који држава има највећи интерес, чије су резерве велике, која не загађују околину.

Веома је извесно да ће у наредних 15 година на располагању као алтернативна горива у друмском саобраћају Србије налазити три врсте алтернативних горива:

- течни нафтни гас (LPG) – обезбеђен највећим делом из увоза,
- компримовани природни гас (CNG) – обезбеђен из увоза,
- биодизел – произведен из сопствених сировина у Србији (у будућности).

У Србији поред ова три алтернативна горива, значајну могућност примене у наредним годинама пружа и етанолско гориво јер се у конвенционалним условима, без генетски модификованог зрна, на најбољим имањима може произвести тона кукуруза за 50 долара (у свету се просечно потроши 80 долара) и са том ценом барел етанола би био фантастичних 30 долара (сада је етанол комерцијално исплатив на нивоу 50 долара за барел и без субвенција државе).

Овоме треба додати и могућност производње етанола из индустријског (целулозног) отпада, што је експериментално показао наш академик доктор хемије Марко

Тодоровић и за тај проналазак је у Москви, на 11. сајму индустријске својине “Архимед 2008” добио сребрну медаљу. Дакле, потенцијали за производњу етанола у Србији постоје и треба их искористити у наредним годинама.

Данас у технолошки најразвијенијој земљи света САД најмасовнију примену од алтернативних горива има LPG уз значајан тренд повећања примене CNG, чиме претходни избор алтернативних горива за друмски саобраћај у Србији добија на значају. У целини гледано становништво и привреда Србије не познају довољно алтернативна горива, занемарљива су искуства њиховог коришћења, не препознају се предности њихове употребе и не постоје ни значајније иницијативе (ван академских кругова и потенцијалних инвеститора у постројења за производњу) о ширењу свести о позитивним ефектима њихове производње и примене.

Да би читав систем улагања у алтернативна горива био успешан у Србији потребно је:

- да Влада Србије донесе потребне правне и техничке прописе који се тичу производње, дистрибуције, продаје и употребе алтернативних горива у Србији. Крајњи циљ је успостављање правног и финансијског система у Србији који би алтернативна горива учинио јефтинијим од фосилних горива у малопродаји, чинећи тако целокупан подухват исплативим,
- сагледати и вредновати ефекте исказане кроз смањење загађења животне средине, запошљавање локалног становништва и отварање нових радних места што допринос привредном и финансијском развоју земље,
- препознати кључне субјекте који су спремни да у најкраћем могућем року покрену производњу и прихвате употребу алтернативних горива,
- промовисати све предности алтернативних горива како привреди тако и становништву (јавни маркетинг, округли столови, путем привредних комора и удружења, сајмови, школе) ради повећања свести о постојању алтернативних горива и његовој доступности на тржишту у Србији, те еколошким предностима и повољним економским ефектима његове примене,
- обезбедити да производња сировина за алтернативна горива буде за пољопривреду финансијски интересантна, а за кориснике алтернативна горива треба да буду јефтинија од фосилних горива,
- обезбедити дистрибутивну мрежу за алтернативна горива, а где је могуће користити неке од већ постојећих мрежа (НИС, OMV и сл.),

- у првом таласу промоције и продаје алтернативних горива, поред директне употребе у сопственом возном парку државних органа, активности треба усмерити на аутопревознике, шпедитере и градска саобраћајна предузећа.

За стратешко планирање алтернативних горива у Србији је задужена Канцеларија за обновљиве изворе енергије и енергетску ефикасност при Министарству рударства и енергетике. Тренутно, нажалост нема алтернативних горива у стратегијама експлоатације обновљивих извора енергије на нивоу државе, тако да сав терет носе домаћи произвођачи, који су у позицији да комплетно носе ризик финансијске конструкције и пласмана алтернативних горива.

Ипак, видљиви су неки помаци у планирању будућег коришћења алтернативних горива у Србији. Влада Србије усвојила је јануара 2007. године програм реализације стратегије развоја енергетике у Србији до 2015. године који предвиђа измену 14 закона, увођење 12 финансијских мера подстицаја и 23 нефинансијске мере подстицаја, чији је заједнички циљ остварење привредног амбијента погодног за савремено коришћење алтернативних горива у Србији.

#### 2.8.1. Стање и перспектива примене LPG у Србији

У Србији употреба LPG као погонског горива аутомобила почела је крајем шездесетих година прошлог века. Тада, недостатак LPG станица у данашњој форми диктирао је примитиван начин препумпавања LPG из кућних боца без задовољења основних мера безбедности. У промоцији аутогаса и његовом све масовнијем коришћењу почетком осамдесетих година 20. века у Србији значајну улогу одиграло је увођење бонова за бензин током познатог “нафтног шока”, тако да LPG постаје популарно и прихватљиво гориво представљајући алтернативу другим скупим енергентима.

Децембра 2004. године основана је у Београду Ауто гас асоцијације Србије (АГАС) као репрезентативно тело свих субјеката из области ауто гаса. У Републици Србији у 2011. години је регистровано 65.997 возила са погоном на LPG, док је према проценама АГАС број ових возила у саобраћају 15 пута већи. Према овом податку Србија је на шестом месту у Европи, па би се могао извести закључак да је државна стратегија у погледу решавања енергетске кризе на нивоу европске.

Нажалост, није тако. Да се ни у овом погледу не уклапамо у европске стандарде најбоље говори податак да се потрошња LPG од стране такси возила "стимулише" наплатом и додатне накнаде за употребу локалних, некатегорисаних, магистралних и регионалних путева при регистрацији ових возила.

Изостанак планске активности и стратегије у примени LPG види се и у прописима којима се одређује област примене LPG на возилима и у непостојању прописа за уградњу уређаја за погон возила на природни гас, као и у чињеници да ЕСЕ Правилници 67 и 115 који се односе на уређаје за LPG нису ратификовани у Србији.

Нагли пораст LPG возила у последњих две године је последица приватне иницијативе, ниског животног стандарда и веома брзе исплативости инвестиције у уређаје за погон на LPG. Стратегија „празног новчаника“ - што више јефтине и неконтролисане робе на тржишту, па самим тим и делова за возила, би могла да изазове веома озбиљне последице, како у погледу безбедности саобраћаја тако и у погледу примене овог алтернативног горива у будућности. Наиме, последњих 3 године веома се повећао број инсталатера који врше уградњу ових уређаја на возилима и према проценама АГАС више од половине њих није регистровано за обављање ове делатности, односно да ти нерегистровани инсталатери углавном уграђују тржишно нелегалну робу, неутврђеног порекла и квалитета.

Због повећаног интересовања становништва Србије за LPG погон у некадашњој Фабрици аутомобилима у Крагујевцу (сада Фиат аутомобили Србија) спроведена су развојна истраживања (у периоду 2005-2010. година) која су имала за циљ апликацију система за LPG на серијским возилима из производног програма Застава (Скала, Флорида, Корал) тако и на возилима у постојећем возном парку. Уграђени LPG системи на овим возилима атестирани су на Машинском факултету у Крагујевцу, и код ових возила у експлоатационим условима углавном није било већих интервенција, иако се ради о возилима која прелазе више од 5.000 km месечно. Резултати овог развојног истраживања представљају још један доказ оправданости примене LPG.

За даљи и безбеднију примену LPG погона у моторним возилима у Србији неопходно је да Влада Србије што пре направи јасну стратегију и предвидљив правац развоја, да не би посао везан за ауто гас попримио карактеристике стихије која може произићи из чињенице да су данас сива економија и шверц опреме завладали LPG бизнисом.

Влада Србије треба да се ангажује у прихватању европског стандарда и доношења домаће регулативе, како би ова област била регулисана и како би ситуација на пољу шверца, продаје и уградње ауто гас опреме била регулисана сходно европским стандардима.

### 2.8.2. Стање и перспектива примене CNG у Србији

Учешће природног гаса у укупној потрошњи финалне енергије у Србији је на нивоу од око 14%. Стратегијом развоја енергетике Владе Србије је планирано да се повећа учешће потрошње природног гаса у укупној потрошњи енергије на 18% до 2015. године. Идеја о примени природног гаса у возилима у Србији је отпочела иницијативом за формирање CNG пилот постројења 1995. године, а годину дана касније је формирана Студија о коришћењу природног гаса у саобраћају у Србији. 1998. године остварена је практична реализација CNG пилот постројења. Изграђен је градски аутобус ИК 104 CNG и инсталрана мини станица за споро пуњење FuelMaker FM4, а од 2001. године аутобус се налази у експлоатацији. Овим аутобусом се обавља превоз запослених НИС Енергогаса и Икарбуса и обављено је неколико вожњи између градова. Добијени експлоатациони резултати показују да су трошкови CNG погона при градској вожњи за око 200% мањи од трошкова са дизел погоном, а да су резултати још убедљивији при ванградској вожњи (око 400% мањи трошкови за CNG погон).

Битан услов за развој возног парка који је прилагођен коришћењу CNG је постојање одговарајућа логистичке подршке. Она се огледа у обезбеђењу одговарајуће количине природног гаса, постојању разгранатог гасоводног система довољне пропусне моћи за све потрошаче и формирање адекватне мреже станица за пуњење.

Може се констатовати да је гасоводни систем Србије довољно разуђен и да покрива целу државну територију. Максимални пројектовани капацитет од 1.000.000 m<sup>3</sup>/h до сада није достигнут што значи да постоји резерва за прикључење нових потрошача као што су станице за пуњење CNG возила.

У оквиру постојећег гасоводног система постоји два карактеристична путна правца:

- Е75 (граница Србија/Мађарска – граница Србија/БЈР Македонија) и
- Е70 (граница Србија/БиХ – Београд).

Ови путни правци подпадају под коридоре европског привредног развоја 10 (Салзбург – Солун) и 7 (Дунавски коридор) који су верификовани по одлуци Радне групе Европске комисије за транспорт, 2005. године у Бриселу. По овој одлуци на овим коридорима је предвиђено да се изгради адекватна инфраструктура (станице) за пуњење возила CNG.

Да би се реализовала већа примена природног гаса у возилима Србије неопходно је завршити изградњу подземног складишта чиме би се знатно повећала сигурност снабдевања потрошача и смањили би се трошкови набавке гаса.

Такође, изградња гасовода Јужни ток (чија градња је почета 2013. годину) ће повећати сигурност снабдевања природним гасом у Србији, омогућити кориштење различитих извора гаса или барем различитих праваца снабдевања што би утицало и на мању набавну цену природног гаса, а самим тим и на већи број возила на CNG погон.

### 2.8.3. Стање и перспектива примене биодизела у Србији

У Србији је 1994/95. године направљен државни пројекат за производњу биодизела, који је био укључен у енергетски биланс земље – са планираних 50.000 тона биодизела годишње. Како и данас потврђују у Привредној комори Србије, тада очигледно некиманије одговарало да заживи пројекат за производњу биодизела, због жеље разних мешетара да се домогну екстремне зараде, продајући тих година дизел у пластичним боцама. Мешетари су ишли дотле, причају у Привредној комори, да су тржишту подметали недовољно прерађено уље које би тек „мало” обогатили хемикалијама и правим дизелом, па је тако уништено више од 1.000 дизел мотора.

По правилима Европске уније, Србија је већ 2005. године требала да производи 121.000 тона биодизела (2,75% од укупне потрошње фосилних горива увећану за 10% ради изједначења енергетског садржаја), али се то није десило. Података о производњи биодизела у Србији 2006. нема, а нема ни података о потрошњи биодизела.

Правим почетком производње биодизела у Србији сматра се 2007. година, када је фабрика Викторија група у Шиду произвела прве количине биодизела који испуњава захтеве стандарда ЕН 14214. Викторија група је 2007. године у фабрици у Шиду произвела око 25.000 t биодизела. Процењује се да је 2007. године у Србији потрошња

биодизела чинила мање од 0,5% потрошње дизела. Од новембра 2007. године на бензинској пумпи „Вјештица” у Новом Саду продаје се биодизел (Б100) за аутомобиле по цени од 0,91 €/л.

Србија може да произведе врло велике количине уљарица које би се користиле као база за производњу биодизела. При анализи пожетих површина, просечних приноса и произведених количина уљарица, коришћени су подаци Републичког завода за статистику за посматрани десетогодишњи период од 1996. до 2005. године. При томе анализа се ограничава на уљарице које су релевантне за наше поднебље (табела 2.11).

Табела 2.11: Просечна количина биодизела по 1 хектару уљарица у Србији, [6]

Врста уљарице	Просечан принос, t/ha	Садржај уља у зрну, %	Количина биодизела	
			kg/ha	l/ha
Сунцокрет	1,79	40	716	816
Соја	2,25	18	405	460
Уљана репица	1,69	36	608	690

Србија располаже са 3.344.000 ha ораничних површина. Потенцијална површина у Србији за гајење уљарица намењених преради у биодизел је површина за гајење уљарица (20% ораничних површина, односно око 668.800 ha) умањена за збир површина за производњу јестивих уља и површина за производњу семена и за сточарство. За производњу потребних количина јестивог уља, маргарина и чврстих биљних масноћа у Србији потребно је прерадити око 170.000 t сировог уља и неопходно је резервисати 271.722 ha ораничних површина. Процењује се, да је за производњу семенског материјала и потребе сточарства, неопходно изузети додатних 8% ораничних површина, односно око 54.000 ha, па се површина за гајење уљарица намењених преради у биодизел процењује на приближно 668.800–(271.722+54.000)=350.000 ha. У зависности од начина искоришћавања (врсте уљарица) са потенцијалне сетвене површине од 350.000 ha могуће је обезбедити производњу од 212.800 t до 250.600 t биодизела.

Имајући у виду укупну потрошњу дизел горива у Србији, која је 2006. године износила 1.384.000 t (од тога око 400.000 t у пољопривреди), биодизелом је могуће заменити од 13,49 до 15,88% укупне домаће потрошње дизел горива (рачунато на енергетској

основи) или од 45 до 50% укупне потрошње дизела у пољопривреди. Значајна резерва за обезбеђење већих количина сировина за биодизел је повећање приноса уљарица у Србији јер су оне знатно испод европског просека и биолошког потенцијала семена.

Повећање производње биодизела у Србији је потреба која је условљена све већом потрошњом фосилних горива, али истовремено и обавеза која је диктирана све израженијим захтевима Европске уније у вези са већом производњом и применом еколошки погоднијих врста горива.

Да би дошло до повећане примене биодизела у Србији државни сектор треба да ради на стварању атрактивног привредног окружења за производњу сировина за биодизел и инвестира у погоне за производњу биодизела кроз стварање и подстицање тржишта биодизела.

Такође, Влада Србије треба да:

- подстиче наменску производњу уљарица,
- даје посебне премије за олеински тип сунцокрета,
- сигура откуп уљарица за вишегодишњи период у будућности,
- гарантује цене уљарица за више година унапред,
- подстиче инвестиције стварањем атрактивног конкурентног привредног окружења,
- контролише квалитет произведеног биодизела, да буде у складу са важећим стандардом,
- дозволити делимично или потпуно ослобађање биодизела од акцизе,
- контролише квалитет биодизела на продајним местима, и то путем Министарства и тржишних инспекција. Тај веома важан сегмент употребе биодизела мора садржати ригорозне казнене мере и оне се у пракси морају спроводити.



### 3. ИНЖЕЊЕРСКЕ ОСОБИНЕ ЕЛЕКТРИЧНОГ ПОГОНА

Уколико се моторно возило погони неким другим погонским агрегатом (не мотором СУС), онда такво возило спада у групу возила са алтернативним погоном. Најчешћи алтернативни погонски агрегат моторних возила је електромотор и возила погоњена овим агрегатом називају се електрична возила. Могуће су две варијанте електричних возила:

- потпуно електрична возила (ЕВ) – погон моторног возила је само електромотором,
- хибридна електрична возила (ХЕВ) – погон моторног возила је комбиновани погон мотора СУС и електромотора.

Потпуно електрична возила се разликују зависно од извора струје којом се напаја електромотор. У том погледу разликујемо следеће случајеве:

- погон возила струјом директно из дистрибутивне мреже (тролејбуси, трамваји...),
- погон возила струјом из акумулаторске батерије,
- погон возила из уређаја који производи струју на самом возилу (горива ћелија).

Пуњење акумулатора може се вршити и помоћу енергије сунца, преко соларних ћелија и тада се ради о соларном погону возила, који такође спада у потпуно електрична возила.

#### 3.1. Потпуно електрична возила

##### 3.1.1. Акумулаторска електрична возила

Акумулаторска електрична возила су возила која за своје кретање користе електричну енергију ускладиштену у батеријама акумулатора. Мада се о акумулаторским електричним возила говори као о возилима будућности, потребно је подсетити се да је прво електрично возило направљен још 1837. године у Шкотској. Златно доба електричних возила представља вероватно задња деценија 19. века када се на улицама

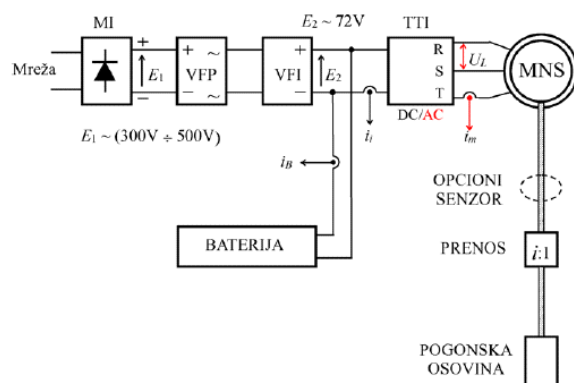
великих градова налазила већина возила покретана електричном енергијом. Убрзо после тога потиснули су их снажнији и робуснији мотори са унутрашњим сагоревањем. Поново интересовање за електрична возила јавља се седамдесетих година 20. века када је долазило до сталних поскупљења нафте. Истовремено дошло је и до изузетно брзог развоја енергетске електронике чиме су се добила квалитетна и ефикасна решења регулатора брзине електромотора, затим развој лакших акумулаторских батерија као и лакших материјала за каросерије.

Осамдесетих година долази опет до енергетске кризе и истовремено се почиње интензивно размишљати о очувању животне средине. Велики подстрек у свету даљем развоју електричних возила дају САД, јер у Калифорнији је донет пропис по коме одређени број у укупној флоти моторних возила мора да имају електропогон због потребне нулте емисије издувних гасова у граду.

Акумулаторска електрична возила, за разлику од бензинских, не испуштају никакве издувне гасове те се класификују у возила са нултом емисијом ZEV (Zero Emission Vehicles). Када се вреднује учинак електрична возила на загађење ваздуха треба имати у виду да је највећи проблем загађења ваздуха у градовима. Употребом електричних возила ваздух изнад градова би се потпуно очистио. Претпоставља се да околина електрана није густо настањена, па се ефекти загађења у тим областима сматрају мање штетним.

Друга фундаментална предност електромобила над возилима са СУС мотором је то што ова возила не зависе од употребе фосилних горива чије су резерве ограничене. За производњу електричне енергије се поред фосилних горива користе обновљиви извори енергије и нуклеарна енергија, а и од фосилних горива се не користи само нафта већ и угаљ и земни гас. Ова разноликост постојећих извора као и убрзана истраживања алтернативних извора енергије омогућују неограничену употребу електричних возила.

Осим што електрична возила користе различите изворе енергије, они су и енергетски ефикаснији од бензинских возила (троше свега 60% енергије потребне за покретање бензинских возила исте класе). То је последица више фактора конверзија топлотне енергије у електричну се одвија у електранама где је тај процес максимално оптимизован и сви електрични уређаји у електричним возилима су високо ефикасни тако да су губици минимални. Електрична шема погонског система електричног возила, дата је на слици 3.1.

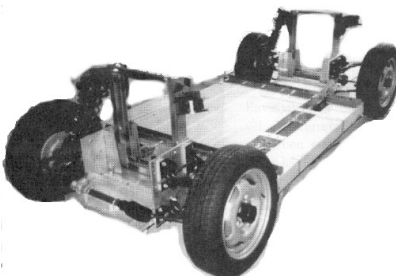


Слика 3.1: Електрична шема погонског система електричног возила [29]

Са слике 3.1. се види да електрична шема погонског система електричног возила се састоји од:

- мрежног исправљача (MI),
- високофреквентног DC/DC претварача (VFP),
- исправљачког степена високофреквентног DC/DC претварача (VFI),
- акумулаторске батерије 72 V (120 Ah),
- трофазног транзисторског инвертора (TTI),
- мотора наизменичне струје (MNS) ,
- сензора (опционо),
- механичког редуктора,
- погонске осовине.

Да би се постигле што боље возне карактеристике електричног возила потребно је да тежиште возила буде што ниже. Оптимално решење са тога аспекта је конструкција електричног возила са кутијастом шасијом у коју се смештају акумулаторске батерије (слика 3.2). Акумулаторске батерије морају да буду посебне конструкције како би могле да стану у предвиђени простор.



Слика 3.2: Шасија електричног возила са простором за акумулаторе [45]

Акумулаторске батерије представљају највећи проблем код електричних возила. Батерије се карактеришу и упоређују преко више параметара: тежине у kg, струјног капацитета у Ah, специфичне енергије у Wh/kg, густине енергије у Wh/dm<sup>3</sup>, специфичне снаге у W/kg, степена струјне ефикасности ( $\eta_{Ah}$ ), степена енергетске ефикасности ( $\eta_{Wh}$ ), броја циклуса пражњења (века трајања) и др. (табела 3.1).

Табела 3.1: Упоредне карактеристике неких врста акумулаторских батерија, [29]

Врста батерије	kg	Ah	Wh/kg	Wh/dm <sup>3</sup>	W/kg	$\eta_{Ah}$ %	$\eta_{Wh}$ %	Број цикл.
Натријум/сумпор	25,3	238	81	83	152	100	91	592
Литијум/моносулфид	2,94	203	66	133	64	95	81	163
Цинк/хром	81	126	79	56	40	93	75	334
Никл/цинк	1,89	69	67	142	105	91	77	114
Никл/металхидрит	0,08	3,6	54	186	158	92	80	333
Феро/никл	25	203	51	118	99	74	58	918

Мада се задњих година раде интензивна истраживања на побољшању специфичних карактеристика батерија, до сада нису пронађена задовољавајућа и економски прихватљива решења.

Проблем који се јавља код акумулаторске батерије је и њено пуњење. Животни век батерије зависи и од тога како се она пуни. Ако се препуни (напон 100%), долази до кључања и сулфатизације електролита чиме се скраћује радни век батерије.

Постоје три начина допуњавања акумулаторских батерија из спољашњих извора електричне енергије:

- пуњење прикључењем возила на кућну монофазну утичницу. Пуњење се врши преко пуњача уграђеног у возило са снагом до 2 kW,
- пуњење акумулатора са снагом једнофазног пуњача од око 6 kW, где то пуњење траје 6÷8 сати и
- брзо пуњење снагом трофазног пуњача од 22 до 120 kW, при чему се акумулатор мора напунити до 50% свог капацитета за 10 до 15 минута.

Да би се виделе предности, слабости, могућности и изазови примене акумулаторских електричних возила у раду је урађена SWOT анализа, табела 3.2.

Табела 3.2: SWOT анализа за акумулаторска електрична возила

<b>SWOT анализа</b>	
<p><b>S – Предности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• нулта локална емисија,</li> <li>• једноставно одржавање.</li> </ul>	<p><b>O – Могућности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• локална питања у вези заштите животне средине и глобалног загревања,</li> <li>• дугорочни раст цена нафте.</li> </ul>
<p><b>W – Слабости:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• мала ефикасност,</li> <li>• мала аутономија (због батерија),</li> <li>• мала понуда возила,</li> <li>• већа почетна цена возила,</li> <li>• потребна инфраструктура за пуњење електричних возила.</li> </ul>	<p><b>T – Изазови:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• расположивост компоненти за возила,</li> <li>• стабилно законодавство за возила са нултом емисијом,</li> <li>• технички развој конкуренцијских горива (биодизела, CNG, водоника).</li> </ul>

Процент акумулаторских ЕВ који се продаје на данашњем тржишту занемарљиво је мали. За успех акумулаторских ЕВ на тржишту неопходно је обезбедити одговарајућу инфраструктуру. Ту се првенствено мисли на станице за допуњавање батерија. Међутим, данас сви велики светски произвођачи аутомобила имају свој електрични програм. Побројати све моделе који су се појавили на тржишту заиста је немогуће јер су ту GM EV1, Ford Ranger EV, Ford e-Ка, Honda EV+, Nissan Hypermini, Toyota e-Com, Peugeot 106 Electric и сл. У овом тренутку се електрична возила углавном продају као службена возила разних сервисних и доставних градских служби.

Поред тога што су на тржишту присутна акумулаторска електрична возила, могуће је наћи и одређене компоненте за та возила, како за самоградњу и преправку класичних возила тако и за израду нових возила. Као произвођачи електричних мотора и комплетних погонских система на тржишту су присутни Solectria Corporation, Unique Mobility Inc., AC Propulsion Inc., Siemens и др.

Због недостатака данашњих акумулаторских батерија, научне институције и пројектни бирои су веома заузети на унапређењу постојећих и изналажењу нових решења. Само у САД постоји низ невладиних и владиних институција које се баве развојем акумулаторских ЕВ. Поменимо само неке: DOE (U.S. Department of Energy), USABC

(U.S. Advanced Battery Consortium), PNGV (Partnership for New Generation of Vehicles). Овако жива активност у вези са развојем и пројектовањем акумулаторских ЕВ су знак да ће она ускоро постати свакодневица.

### 3.1.2. Електрична возила с погоном на гориве ћелије

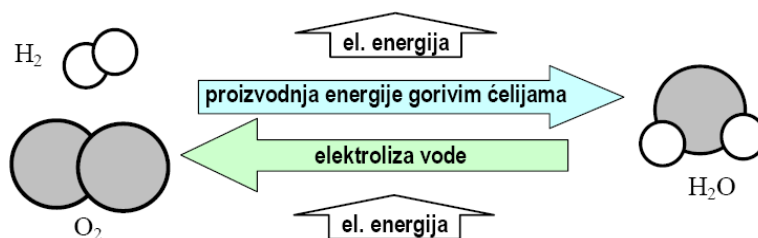
Гориве ћелије (енг. fuel cells) су електрохемијски претварачи енергије који из хемијске енергије горива, без покретних делова и сагоревања, производе електричну и топлотну енергију. Сам назив „гориве“ при томе помало завања јер у њима ништа не гори.

Принцип рада гориве ћелије познат је већ дуго времена. Физичар Грове је 1839. године открио да се електрохемијским спајањем водоника и кисеоника добија електрична струја. Своје експерименте је описао 1842. и гориву ћелију назвао волтина плинска батерија. 1889. године Монд и Ланцер унапредили су волтину плинску батерију додајући између електрода порозну мембрану и крајем 19. века уводе назив горива ћелија. Тек 1932. године Бекон смишља технички употребљиве гориве ћелије. Средином 50-тих година 20. века производе се прве гориве ћелије за погон малих електричних уређаја, а средином 60-тих година започела је употреба горивих ћелија у свемирским летелицама. Крајем 80-тих година 20. века напослетку почиње интензиван развој технологије горивих ћелија. Широм света државне институције, истраживачки институти и индустрија интензивно су се посветили тој теми и инвестирали значајну количину средстава у истраживање и развој горивих ћелија (нарочито индустрија аутомобила). Mercedes Benz је већ презентирао прототипског возила с горивом ћелијом, аутомобил NECAR III (слика 3.3).



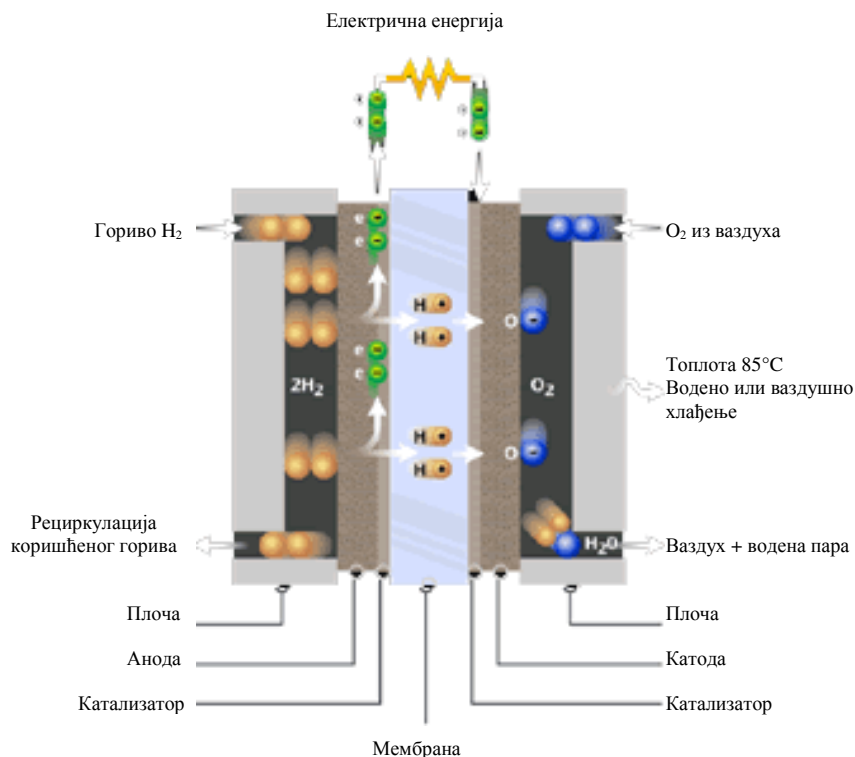
Слика 3.3: Мерцедес-ов аутомобил NECAR III са погоном на гориве ћелије [42]

По свом начину рада гориве ћелије су сличне батеријима, али за разлику од њих, гориве ћелије захтевају сталан довод горива и кисеоника. При томе гориво може бити водоник, синтетски плин (смеша водоника и угљендиоксида), природни гас или метан, а продукти њихове реакције с кисеоником су вода, електрична енергија и топлота, при чему је цели процес, заправо, супротан процесу електролизе воде (слика 3.4).



Слика 3.4: Производња енергије горивим ћелијама [24]

У случају када је гориво водоник у гориву ћелију улази водоник и кисеоник (или ваздух јер у њему има 21% кисеоника) а излази (топла) вода и електрична енергија (слика 3.5).



Слика 3.5: Горива ћелија, [42]

На аноди гориве ћелије врши се процес електрооксидације водоника ( $2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ ). Тако ослобођени електрони путују спољним електричним колом, преко потрошача, до катоде. Катјони настали на аноди путују кроз електролит до катоде. На катоди гориве ћелије редукује се други елемент који учествује у хемијској реакцији а то је кисеоник ( $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ ). Тако настали јони спајају се у коначни продукт реакције који се одводи из гориве ћелије ( $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ ). Ради убрзавања реакција електроде су прекривене слојем катализатора. Врста катализатора зависи од типа гориве ћелије. Подела горивих ћелија најчешће се врши према врсти електролита (мембране) и према начину рада. Према врсти електролита у употреби је пет типова горивих ћелија и њихове особине дате су у табели 3.3.

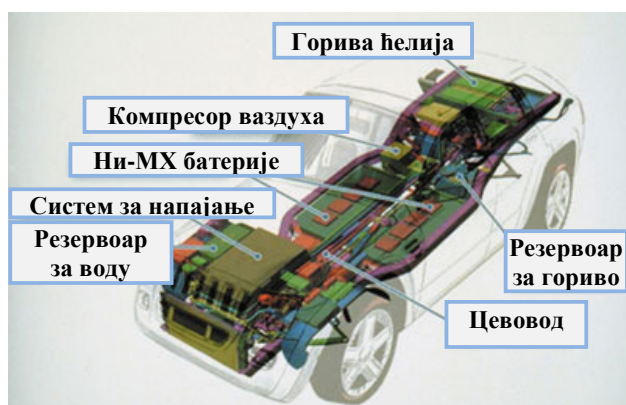
Табела 3.3: Типови горивих ћелија и њихове особине [24]

Тип гориве ћелије	Електролит	Гориво	Степен искоришћења	Радна температура	Примена
Гориве ћелије с крутим оксидом (SOFC)	Крути оксид ( $\text{ZrO}_2$ )	$\text{CH}_4$ , $\text{H}_2$ , $\text{CO}$	45÷65%	900÷1000°C	Велике електране
Гориве ћелије с течним карбонатом (MCFC)	Течни карбонат $\text{Li}_2\text{CO}_3$	CNG, $\text{H}_2$	45÷60%	650÷700°C	Велике електране
Гориве ћелије с фосфорном киселином (PAFC)	Фосфорна киселина $\text{H}_3\text{PO}_4$	CNG, $\text{H}_2$ , $\text{CH}_4$	35÷42%	190÷210°C	Мале електране
Алкалне гориве ћелије (AFC)	Калијев хидроксид $\text{KOH}$	CNG, $\text{H}_2$ , $\text{CH}_4$	45÷60%	60÷130°C	Свемирске технологије и возила
Гориве ћелије с полимерном мембраном (PEFC)	Крута полимерна мембрана	CNG, $\text{H}_2$ , $\text{CH}_4$	30÷40%	70÷90°C	Возила и преносиви уређаји



Према начину рада гориве ћелије можемо поделити на примарне и секундарне. Код примарних горивих ћелија гориво и оксиданс се доводе из резервоара, а настали продукт реакције се одводи. Пример таквих горивих ћелија су алкалне гориве ћелије у свемирским летелицама код којих се настала вода користи за пиће. Такође, могуће је водоник потребан за рад гориве ћелије издвојити из неког једињења богатог водоником (нпр. метана из којег се водоник издваја помоћу водене паре на 280°C и уз присуство катализатора) и на тај начин се решава проблем складиштења водоника, али недостатак је емисија CO<sub>2</sub>. Код секундарних горивих ћелија продукти реакције се регенерише у полазне елементе уз довођење енергије.

Већина производача аутомобила имају прототипе аутомобила с погоном на гориве ћелије, а број аутомобила с таквим погоном у свету стално расте. Највећи део тих аутомобила произведен је прилагођавањем постојећих модела. Код неких од њих погон се искључиво заснива на горивим ћелијама, а код неких је погон хибридан и користи никл-металхидрит (Jeep, Renault FEVER, Toyota, Daihatsu – слика 3.6) или литијум-јонске батерије (Nissan) или ултракапацитивне (Honda FCX-V3).



Слика 3.6: Аутомобил с погоном на гориве ћелије, [42]

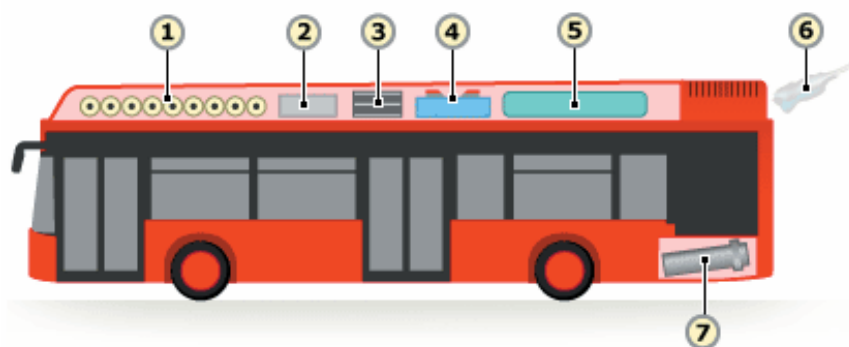
Неколико је основних могућности за примену горивих ћелија код возила:

- гориве ћелије служе као основни извор енергије за погон електромотора, док је додатни акумулатор потребан само за паљење (као код мотора СУС),
- гориве ћелије служе за покривање основних, а батерије за покривање вишних погонских оптерећења при погону електромотора (тзв. хибридни паралелни погон, јер гориве ћелије и батерије раде упоредно),

- гориве ћелије служе за пуњење батерија које су основни извор енергије за погон електромотора (тзв. хибридни серијски погон, јер гориве ћелије напајају батерије, а оне покрећу мотор),
- гориве ћелије служе само као помоћни извор енергије (нпр. за електричне уређаје), док се погон може извести на било који други начин (прикладно нпр. за хладњаче с великом потрошњом електричне енергије за погон расхладног уређаја).

Смештај резервоара за водоник у аутомобилима представља значајан проблем због габарита и високих захтева безбедности који се постављају за резервоар, посебно када се ради о компримованом водонику.

За разлику од аутомобилима, код аутобуса постоји довољно места на крову, што је предност и с гледишта безбедности јер је водоник лакши од ваздуха, па у случају цурења одлази увис у атмосферу. Зато је за потребе пројекта CUTE (Чисти градски превоз за Европу), компанија EVOBUS произвела серију од 30 аутобуса Citaro дужине 12 метара (слика 3.7), који су у неколико европских градова од 2004. године до данас прешли више од милион километара експерименталне вожње. Данас на развоју и усавршавању таквих аутобуса раде сви водећи светски произвођачи: DaimlerChrysler, MAN, Neoplan, Renault/IVECO.



Слика 3.7: Аутобус Citaro с погоном на гориве ћелије

- (1. Боца са  $H_2/350\text{ bara}$ ; 2. Регулатор притиска  $H_2$ ; 3. Горива ћелија; 4. Уређај за хлађење гориве ћелије; 5. Уређај за убацивање кисеоника  $O_2$  из атмосфере; 6. Испуст за водену пару; 7. Погонски електромотор.)

Такође, у Европи и САД убрзано се доносе законске регулативе и стандарди за примену горивих ћелија (табела 3.4).

Табела 3.4: Законске регулативе и стандарди за гориве хелије [42]

Закон/Стандард	Организација	Кратак садржај
PTC 50	ASME	<i>Performance Test Code</i> – Предвиђа испитне процедуре, методе и дефинише карактеристичне перформансе за гориве хелије.
IEEE SCC 21	IEEE	<i>Standards Coordinating Committee</i> – Односи се на гориве хелије, фотогалванске хелије, дисперзију производње и акумулирање енергије.
IEEE SCC 36	IEEE	<i>Standards Coordinating Committee</i> – Односи се на комбиновани саобраћај.
IEEE PI 547	IEEE	<i>DG Interconnection Standard</i> – Основни критеријуми и захтеви за спајање дистрибуције ресурса са електричним енергетским системом.
ANSI Z21.83-1998	ANSI	<i>Product Standard</i> – Детаљно припрема пробу и критеријуме испитивања горивих хелија за електране које користе природни и нафтни гас.
NFPA 853	NFPA	<i>Installation Standard</i> – Припрема инсталацију за стационарне гориве хелије у електранама.
NFPA 70	NFPA	члан 691 – Гориве хелије
UL 1741	UL	<i>Electric Inverters</i> – Стандард за испитивање и безбедоносни сертификат за претвараче.
SAE Standards Forum	SAE	<i>Vehicle Standards</i> – На данашњем нивоу развоја, стандард за безбедност, поузданост и перформансе. Такође, установљава испитну процедуру.
IEC TC 105	IEC	<i>Technical Committec 105</i> – Стандард који је шире компетенције од „ANSI Z21.83“ и даје посебне технологије горивих хелија.

Европа и САД интензивно раде на истраживањима о могућностима примене горивих хелија. Свакако вреди истаћи пројекат под називом „Следећи кораци за развој водоникове инфраструктуре у европском друмском транспорту“. У том пројекту

учествују неки од водећих светских произвођача возила (BMW, DaimlerChrysler, Ford, GM, MAN, Volkswagen) и две енергетске фабрике (Shell Hydrogen, Total).

Пројекат се састоји од три фазе:

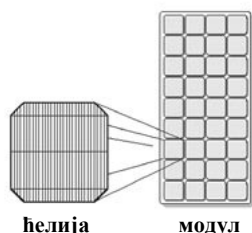
1. фаза „Развој технологија и снижавање трошкова“ (до 2010): одређивање потребе возила за водоником у одабраном европском пилот-подручју на којем ће се испитивати већи број возила,
2. фаза „Преткомерцијално дотеравање технологија и припремање тржишта“ (2010÷2015): изградња инфраструктуре – станица за снабдевање водоником (водоник под притиском од 700 бара или течни водоник) у склопу постојећих бензинских пумпи за возила у неколико европских пилот-подручја, односно градова,
3. фаза „Комерцијализација“ (након 2015. године): почетак производње с циљем остварења масовне производње код сваког оригиналног произвођача опреме у раздобљу до 10 година.

На крају напоменимо да је горива ћелија данас још увек врло скупа што за последицу има да аутомобил покретан горивим ћелијама је неколико пута скупљи од класичног аутомобила исте класе. Између осталог је и то један од ограничавајућих фактора који успоравају комерцијализацију електровозила покретаних горивим ћелијама и њихову масовну употребу. Заговорници таквих возила се надају да ће научници пронаћи јефтиније катализаторе и тако учинити ова возила приступачнијим.

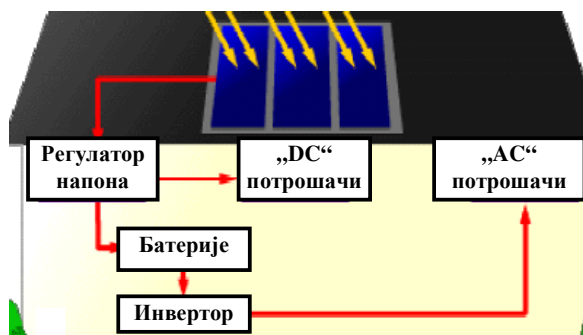
### 3.1.3. Електрична возила на соларни погон

Соларни системи раде на принципу претварања сунчеве светлости (фотона) у електричну енергију помоћу соларних фотонапонских модула. Соларни модули се састоје од низа фотонапонских ћелија које су међусобно спојене (слика 3.8).

Фотоелектрични ефект (да материјали стварају малу електричну струју кад се изложе светлости) је још 1839. године открио Едмонд Бескурел при експериментисању с галванским елементима. Дуго година се овај ефект користио само у фотографији при мерењу осветљења. Практично коришћење овог поступка је новијег датума. Преокрет је настао 50-тих година наглим развојем свемирске индустрије.



Слика 3.8: Приказ модула и ћелије [33]



Слика 3.9: Принципи рада соларног система

Фотонапонске ћелије се састоје од полупроводника (најчешће силицијума) и по начину израде се деле на: монокристалне, поликристалне, аморфне и танкослојне.

Принцип рада фотонапонске ћелије је једноставан: ако сунчева светлост падне на полупроводник (посебно дизајниран облик P-N споја) у њему се „ослободе“ слободни носиоци наелектрисања електрони (–) и шупљине (+). Кроз унуташње електрично поље наелектрисања се раздвајају и тако настаје једносмерни напон на странама P-N споја (тзв. фотоелектрични напон око 0,6 V по ћелији) све док постоји улазни флуks светлости. Повезивањем више фотонапонских ћелија и њиховим комбинацијама производи се фотонапонски модул с уобичајеним радним једносмерним напонима од 12 или 24 V. Снага таквог модула директно зависи од укупне површине свих ћелија. Типичан соларни модул снаге 80÷100 W и напона 12 V има димензије 100 x 50 cm.

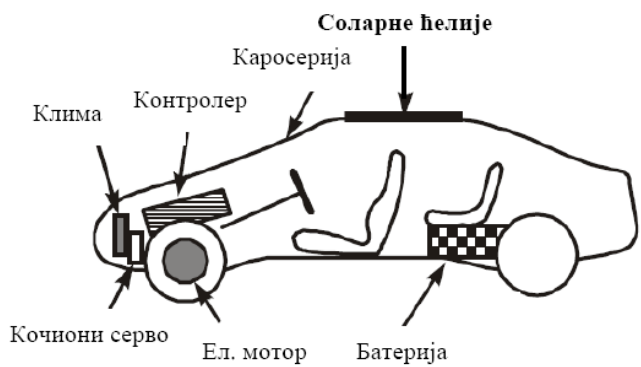
Једносмерни напон фотонапонског модула је променљив и да би се прецизно контролисао води се у редуктор напона. Регулисаним напоном се пуни батерија или се напајају једносмерни (DC) потрошачи. Напон из батерије иде у инвертор (уређај који једносмерну струју претвара у наизменичну, а једносмерни напон од 12 V претвара у наизменични од 220 V) како би се напајали наизменични (AC) потрошачи (слика 3.9).

Цена електричне енергије добијене из фотонапонских модула је због употребе „чистих“ материјала и савремене технологије израде доста већа (готово два пута) од цене електричне енергије из конвенционалних извора, али зато је то врло чисти и врло распрострањен облик енергије.

И поред високе цене електричне енергије добијене из соларних ћелија, неки произвођачи аутомобила имају прототипове електричних возила на соларни погон. Код ових прототипова соларна енергија најчешће служи само као помоћни (додатни) извор

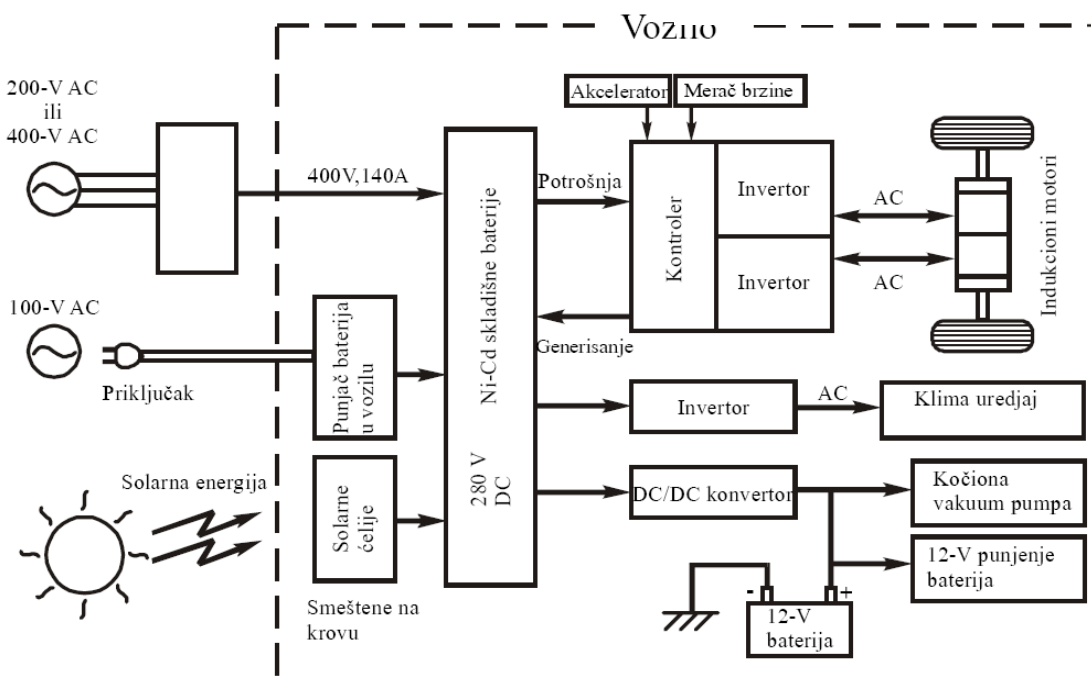
за пуњење батерије, док главно пуњење батерије може бити било који други претходно описан начин (прикључењем на електромрежу и сл).

Nissan је развио високоперформансни концепт електричног соларног возила названог FEV (Електрично возило будућности) и на овом прототипу показаћемо могућу примену соларних ћелија код возила (слика 3.10).



Слика 3.10: Распоред компоненти у електричном соларном возилу (FEV) [33]

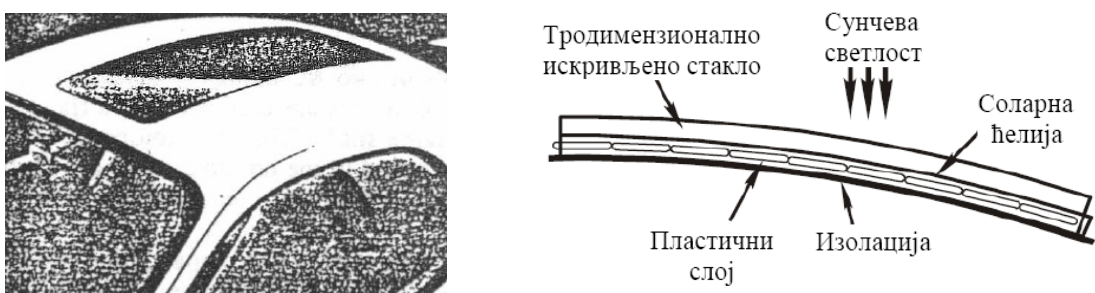
Три различита метода се могу користити за пуњење батерија FEV. Оне чине пуњење још прикладнијим и повећавају ефикасност коришћења енергије (слика 3.11).



Слика 3.11: Мултиенергетски систем FEV [33]

Аутомобилски пуњач је направљен тако да га можемо прикључити на обичан извор за пуњење батерије преко ноћи на месту где је возило смештено. Са напајањем од 100 V и 15 A, овакав пуњач пуни батерије за осам сати. Када је возило ван гараже, супербрзим пуњачем га можемо напунити на 40% капацитета и то за само шест минута. У овом случају се користи велики пуњач од 400 V и 160 A.

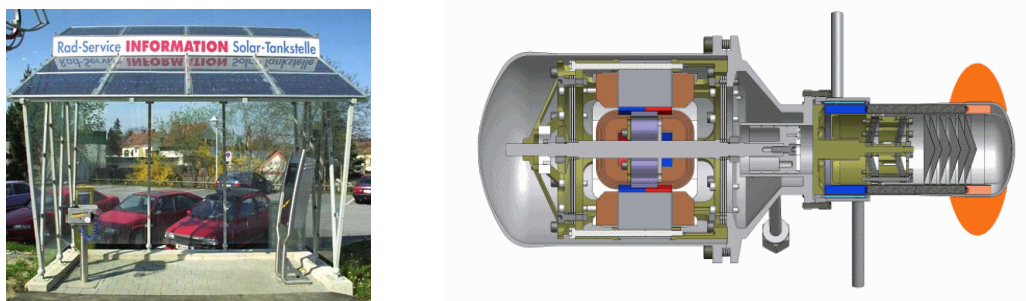
Батерије се такође могу пунити соларном енергијом преко соларних ћелија које се налазе на крову (слика 3.12). Степен искоришћења соларних ћелија је 16% и оне могу напунити Ni-Cd батерије у потпуности за пет дана по константно добром времену.



Слика 3.12: Кровна соларна ћелија и њен попречни пресек [33]

Поред возила код којих је соларни погон помоћни, праве се и прототипови возила на чисто соларни погон (иако је једно њихово ограничење, немогућност вожње ноћу). Најновији пример таквог возила је Соларни такси, који има три точка и развија максималну брзину око 90 км/х, а састоји се од соларног возила и приколице са соларним ћелијама које дају потребну енергију. Соларни такси пројектован је на четири швајцарска института (НТА у Луцерну, ЕТН у Цириху, Универзитету примењених наука у Арау и Универзитету примењених наука у Берну) и Београђани су имали прилику да га виде и да се провозају у њему у јулу 2007. године, у оквиру подухвата да се са овим возилом обиђе свет са циљем промовисања чистог превоза.

Иако се доста ради на усавршавању електричних возила на соларни погон, ова возила су још далеко од комерцијалне употребе. Један од разлога је и непостојање инфраструктуре за допуњавање батерија. Пример једне соларне станице и попречни пресек соларног пуњача за возило дат је на слици 3.13. Снага модула соларног пуњача је 1,5 W, а напон је 12 V.



Слика 3.13: Соларна станица и попречни пресек соларног пуњача за возило [33]

Соларне ћелије се и даље истражују и развијају јер им је потребно повећати ефикасност и смањити цену израде. Очекује се да ће само САД 2020. год. производити 7,2 GW/годишње електричне енергије користећи соларне ћелије.

Соларне ћелије монтиране на кров или хаубу аутомобила могле би данас да послуже само као допунски извор за пуњење батерија. Данашњи степен развоја соларних ћелија не омогућава њихову масовнију примену као главног (јединог) погона на возилу, јер овај погон има бројне недостатке које треба отклонити у будућности. Па ипак, ако цена соларних ћелија буде довољно ниска, њихова масовна употреба за допуњавање акумулатора може да има значајан утицај на еколошке и енергетске прилике на земљи и то у врло блиској будућности.

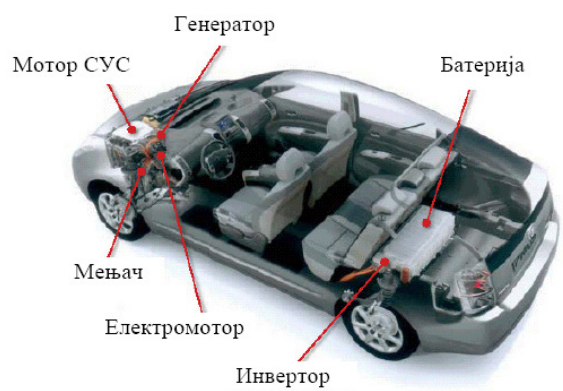
### 3.2. Хибридна електрична возила

Хибридни систем представља погон који у себи обједињује два или више разнородна мотора који раде у садејству. Основни задатак хибридизације је да потрошњу енергије, која се користи за погон, смањи испод граница економичности конвенционалних мотора.

Практичан развој хибридног система заснивао се на комбиновању мотора са унутрашњим сагоревањем (СУС), електромотора и/или хидрауличних мотора. Ипак, услед продора који су начињени на пољу електричних возила, а посебно на терену технологија регулације рада система, хибриди типа мотора СУС и електромотор, доспели су у средиште пажње.



Један пример хибридног електричног возила (ХЕВ) је Тојота Приус (слика 3.14). Комплетан погонски систем ХЕВ сачињавају: мотор СУС, електромотор, генератор, енергетски претварач (инвертор), мењач (трансмисија) и акумулаторска батерија. У ХЕВ се користе батерије другачијих карактеристика у односу на ЕВ. У овом случају је много значајнија специфична снага и могућност брзог пуњења и пражњења акумулаторске батерије него њихова велика специфична енергија као што је случај код ЕВ. Капацитет акумулатора је мањи него код ЕВ.



Слика 3.14: Тојота Приус [73]

Смисао постојања ХЕВ се налази у чињеници да ова возила немају проблема са радијусом кретања јер користе фосилно гориво за погон мотора СУС и истовремено су еколошки чистија (спадају у возила са ниском емисијом штетних гасова, LEV–Low Emission Vehicles) и ефикаснија у односу на класична возила јер користе погодности електричног погонског система.

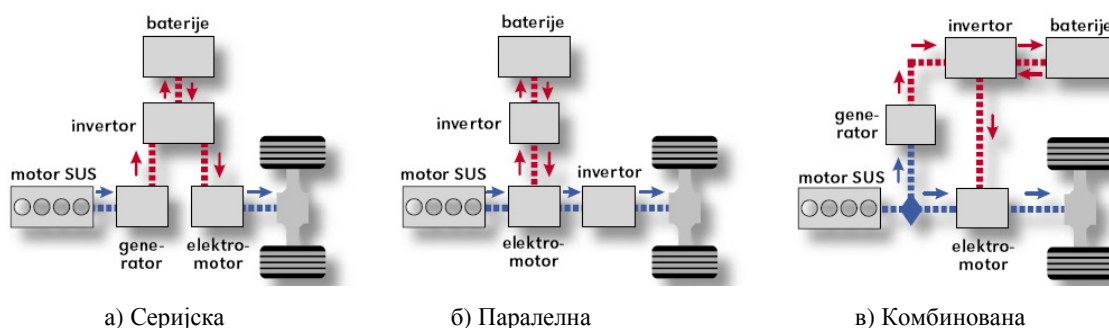
ХЕВ можемо поделити на:

- слаба/блага (енг. mild) ХЕВ, која нису у стању да се крећу без рада мотора СУС,
- јака/пуна (енг. full) ХЕВ, која могу да се крећу без рада мотора СУС.

Израз „слаб“ се односи понајвише на електромотор који није довољно јак да самостално покреће возило, а потом и на акумулаторске батерије које нису довољно великог капацитета да омогуће његово напајање. Такође, унутар породице слабих хибрида можемо направити поделу на нисконапонске и високонапонске у зависности од напона које користе њихове електрокомпоненте. Генерално, виши напон подиже снагу електромотора и ефикасност регенеративног пуњења, па високонапонски хибриди су економичнији.

Како систем јаких хибрида поседује способност чистог електропогона, ово додатно подиже економичност и екологију возила, па јаки хибриди имају осетно мању потрошњу и чистије издувне гасове од слабих.

На перформансе ХЕВ значајно утиче његова конфигурација. Постоје три конфигурације ХЕВ: серијска, паралелна и комбинована (слика 3.15).



Слика 3.15: Конфигурације ХЕВ [45]

Код серијског ХЕВ ток снаге од мотора СУС до точкова је линијски. Наиме, мотор СУС погони генератор који производи електричну струју. Овако створена струја се потом шаље у акумулаторске батерије и одатле служи за погон електромотора који покреће точкове.

Предности серијског ХЕВ су:

- мотор СУС није директно везан за точкове, па може већину времена комотно да ради у релативно устаљеном режиму;
- мотор СУС нема брзих и честих осцилација бројева обртаја и оптерећења, као што је то случај када је он једини мотор на возилу. Директан резултат овога јесте снижавање потрошње горива и емисије штетних материја;
- мотор СУС може бити мањи, јер он не диктира максималну вучну силу на точковима (то ради електромотор).

Мана серијског ХЕВ јесте његова потреба за коришћењем великих и тешких батерија јер су оне једини непосредни извор енергије за погон точкова. Неопходност смештања оваквих масивних компоненти негативно се одражава на перформансе возила, његову управљивост али и самањује користан простор. Такође, претварање механичке енергије у електричну, па затим претварање електричне енергије у механичку, узима цех у повећаним губицима, па потрошња и услед овог расте смањујући позитивне ефекте

примене хибридне концепције. Серијску хибридну конфигурацију користе рана ХЕВ и неки минибусеви попут Тојота Коастер.

У паралелном ХЕВ, тачкове покрећу мотор СУС и електромотор и однос њихових снага може бити различит у складу са тренутним захтевима. Код паралелног ХЕВ, акумулаторске батерије се пуне када то услови вожње дозволе и електромотор пређе у генераторски режим рада. Ово је уједно и предност и мана паралелног ХЕВ (предност јер се једна компонента користи у више намена – једноставан систем, а мана јер пуњење акумулаторских батерија није могуће када електромотор покреће тачкове). Са друге стране, рад мотора СУС није више независан од услова вожње, па се у односу на серијска ХЕВ повећава количина ослобођених штетних гасова, нарочито током загревања мотора. Овакву хибридну конфигурацију имају сви Хонда ИМА системи.

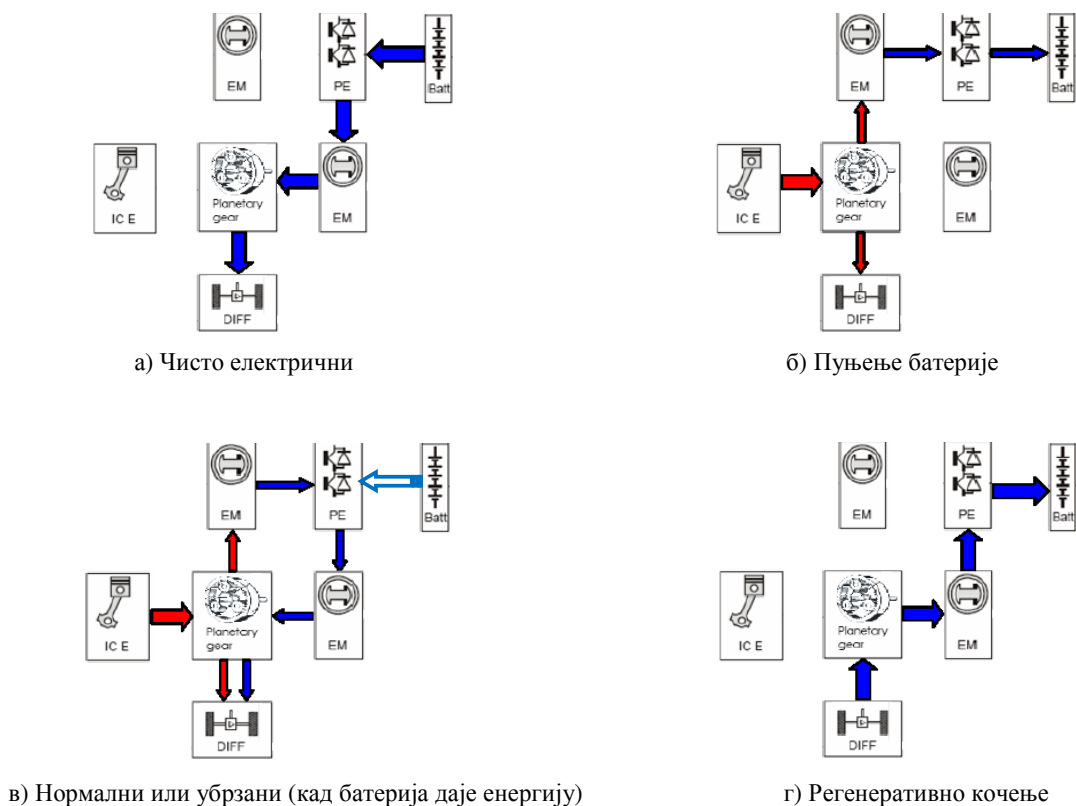
У циљу отклањања недостатака серијске и паралелне конфигурације, развијени су комбинована ХЕВ. Код комбинованог ХЕВ оба мотора своју снагу испоручују на погонско вратило. У зависности од захтева вожње, користи се само електромотор, или заједно мотор СУС и електромотор ради постизања највишег нивоа ефикасности. Поред тога, уколико је то неопходно, електромотор може да погони тачкове у исто време док генератор пуни батерије, што је био недостатак паралелних система. Ова способност доноси постизање веома ниске емисије штетних гасова кроз пружање оптималних услова рада мотора СУС. У исто време, батерије не морају бити велике, па отпадају и мане серијског типа. На крају, истовременим погоном оба мотора, комбинована ХЕВ показују одличне перформансе погона. Оваква хибридна конфигурација је примењена код Тојоте Приус.

Тојота Приус је беспоговорни лидер са 90% удела у светском тржишту хибридних аутомобила (до јула 2007. године продато је 807.934 Приуса широм света) и зато ћемо њој у овом раду посветити посебну пажњу.

Могући су различити режими рада (извори снаге) Тојоте Приус (јаког комбинованог ХЕВ) зависно од услова вожње и стања акумулаторске батерије: нормални и/или убрзани, пуњење батерије, чисто електрични и регенеративно кочење (слика 4.16). Прелаз са једног на други режим рада потпуно је аутоматизована операција коју контролише компјутер уграђен у ХЕВ.

Приликом вожње кроз град (због честих заустављања пред семафором или због гужве у саобраћају), тј. при малим оптерећењима возила укључујући празан ход, мотор СУС се

искључује и ХЕВ покреће искључиво електромотор (слика 3.16.а). У овом режиму рада ХЕВ се понаша као потпуно електрично возило, креће се искључиво помоћу електро мотора, при чему не емитује издувне гасове и омогућава путницима потпуно тиху вожњу.



Слика 3.16: Режији рада Тојоте Приус [73]

У условима вожње на отвореном путу бензински мотор ступа на сцену и погони точкове, али такође покреће и генератор који по потреби допуњује батерију (слика 3.16.б).

Приликом наглих убрзања, енергија складиштена у батерији шаље се до електромотора који у тим условима ради заједно са мотором СУС и на тај начин побољшава перформансе ХЕВ, док истовремено штеди гориво и смањује емисију издувних гасова (слика 3.16.в).

Приликом смањења брзине или кочења, електромотор постаје генератор који трансформише кинетичку енергију у електричну и на тај начин допуњује батерију ХЕВ (регенеративни систем кочења слика 3.16.г). Напомињемо, да код возила класичне

концепције приликом кочења кинетичка енергија возила кроз трење у кочницама се преводи у топлоту и практично баца у околину.

Технологија ХЕВ је потпуно развијена, тако да би ХЕВ могла одмах да замене класична возила. За разлику од потпуно електричних возила, код ХЕВ радијус кретања није проблем као ни инфраструктура јер се користе стандардне бензинске пумпе. Једини недостаци ХЕВ су њихова велика цена, велика маса и сложеност.

Власти у земљама широм света препознале су значај хибридних возила па се потенцијалним купцима и власницима нуде разне бенефиције како би стимулисале експлоатацију оваквих модела. На пример, у САД можете добити попуст чак до 3.500 долара при куповини ХЕВ. Такође, имате право да се на аутопуту возите брзом траком која је резервисана само за возила у којима се налази двоје или више људи иако сте сами у ауто. Такође, У Европи (Холандији) можете остварити до 7.000 евра попушта приликом куповине Тојоте Приуса на име разних повластица. Предности хибридних возила још више долазе до изражаја када се користе у службама јавног превоза. Бројне светске метрополе (Лондон, Ванкувер, Бостон, Чикаго, Њујорк, Сан Франциско) већ годинама имају разрађену мрежу хибридних такси служби, јер њиховом употребом значајно смањењу загађење ваздуха.

### **3.3. Стање и перспектива примене електричног погона у Србији**

Мада је проучавање проблема и могућих примена електричних возила у Србији започето још 1972. године, може се рећи да је почетак рада на развоју електричних возила у Србији повезан са оснивањем Бироа за аутономна електрична возила ИТН САНУ 1976. године.

Прво електрично возило у Србији, па и на Балкану, названо доставно аутономно електрично возило, направљено је 1976. године под руководством академика Деспића. Електрично возило за развожење хлеба, ТАМ 2001, поседовало је једносмерни мотор снаге 27 kW, са тиристорским чопером и оловне акумулаторске батерије напона 108 V а капацитета 350 Ah. Возило је постизало максималну брзину од 42 km/h и аутономан радијус кретања од 48 km. Ово возило иницирало је још неколико покушаја прављења доставних аутономних електричних возила.

Прво путничко возило са електричним погоном које се појавило на београдским улицама, направио је 1980. године Зоран Стојиљковић. За време нафтне кризе, ово возило марке Трабант коришћено је око 4 године у свакодневној возњи. Са електричним мотором снаге 4 kW, транзисторским чопером и акумулаторским батеријама напона 54 V и капацитета 240 Ah, возило је могло да достигне брзину и до 60 km/h. Оригинално решење погона и транзисторског регулатора снаге показало се као квалитетно и поуздано, а омогућило је да возило пређе око 20.000 km.

Прво комерцијално електрично возило направила је фирма Мелбат реконструкцијом Ладе Ниве крајем 1994. године, а које се свакодневно користи за комуналну намену. Са електричним мотором снаге 5 kW, акумулаторским батеријама напона 72 V и капацитета 350 Ah, ово возило масе 1820 kg, могло је да развије максималну брзину од 32 km/h.

Јула 1996 у оквиру Института техничких наука САНУ реконструисана су и регистрована два путничка возила Југо која су имала електромоторе једносмерне струје с редном побудом снаге 6,3 kW и акумулаторске батерије напона 72 V и капацитета 143 Ah. Возила су имала аутономан радијус кретања 45 km, и могла да развију максималну брзину 75km/h. Енергетска економичност ових возила износила је око 5 km/kWh на отвореном путу, а специфична потрошена енергија око 0,2 kWh/km. У градској возњи, а нарочито по брдовитом терену, резултати су били за око 10 % слабији.

Фабрика аутомобила – Институт за аутомобиле у Крагујевцу у сарадњи са Севером из Суботице, Електротехничким факултетом из Београда и Крушиком из Ваљева, направио је 1997. године функционални модел аутомобила на електрични погон (слика 3.17).



Слика 3.17: Југо са електричним погоном

Електрични аутомобил је развијен на бази стандардног аутомобила Југо Корал. Као погонски агрегат коришћен је, по први пут у Србији, северов стандардни асинхрони мотор од 5 kW. Извор енергије представљају Крушикове Ni-Cd батерије напона од 144 V и капацитета од 60 Ah. Инвертор је развијен на Електротехничком факултету у Београду.

Испитане су експлоатационе карактеристике Југа са електричним погоном у Институту за аутомобиле (1998. године) и добијени су следећи резултати:

1. Максимална брзина возила:
  - 83 km/h на ваљцима и
  - 87 km/h на путу;
2. Убрзање возило од 0÷50 km/h постиже за 15 s;
3. Радијус кретања возила без пуњења батерија:
  - при 50 km/h – 94 km,
  - при 60 km/h – 82 km,
  - при 70 km/h – 60 km,
  - при 80 km/h – 34 km;
4. Максимални успон који возило може да савлада:
  - у 1. степену преноса је 32,1%,
  - у 2. степену преноса је 15,3%,
  - у 3. степену преноса је 9,5%,
  - у 4. степену преноса је 4,6%;
5. При брзини возила од 60 km/h зауставни пут је 20,8 m.

Рад на побољшању карактеристика овог возила требао је да се настави, али због санкција, рата као и неразумевања значаја оваквих возила, са тим се нажалост стало, па је тако пропао покушај серијске производње електричног возила у Србији.

У Србији се на поспешивању продаје електричних возила уопште не ради због економске кризе. До већег увођења електричних возила у Србији не може доћи без ангажовања Владе Србије и учешћа наше државе у Европским еколошким пројектима.

#### 4. АНАЛИЗА ЕКОЛОШКИХ ЗАХТЕВА И СТАНДАРДА ЗА КОРИШЋЕЊЕ ВОЗИЛА СА АЛТЕРНАТИВНИМ ПОГОНОМ СА ОСВРТОМ НА СМАЊЕЊЕ ЕМИСИЈЕ ПОЛУТАНАТА (УГЉЕН-ДИОКСИДА)

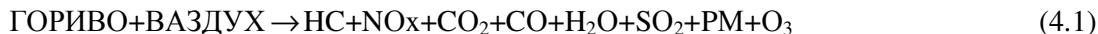
##### 4.1. Емисија гасова из моторних возила

Моторна возила су највећи емитери гасова у урбаним срединама. Највећа концентрација загађујућих материја из моторних возила је на раскрсницама и другим саобраћајницама у центру градова, због великог броја возила, при чему мотори раде и при стајању возила (семафори и сл.) [3].

Употребом моторних возила човек годишње троши више од једне милијарде тона нафте. За сагоревање 1 kg горива, нафтног порекла, треба око 15 kg ваздуха или 3,5 kg кисеоника. Значи годишње само мотори СУС троше скоро 4 милијарде тона кисеоника из атмосфере (више од једне генерације људи!) [77].

Сам процес сагоревања фосилног горива нарушава еколошки биланс у атмосфери. Сматра се да се на 1.000 литара бензина који сагори у моторном возилу емитује у атмосферу 98 kg угљен-моноксида, од 6 до 8 kg оксида азота, од 4 до 5 kg несагорелих угљоводоника и око 4,5 kg сумпор-диоксида [77].

Процес сагоревања фосилних горива у моторним возилима дат је једначином 4.1.



где је:

НС – несагорели угљоводоници,

NO<sub>x</sub> – оксиди азота,

CO<sub>2</sub> – угљен-диоксид,

CO – угљен-моноксид,

H<sub>2</sub>O – водена пара,

SO<sub>2</sub> – сумпор-диоксид,

PM – честице,

O<sub>3</sub> – озон.

Из моторних возила у ваздух доспевају и друге загађујуће супстанце као што су бензен, толуен и ксилен, које изазивају разна канцерогена обољења код људи.



Дејство појединих загађујућих супстанци из моторних возила на здравље људи, вегетацију и животну средину је приказано у табели 4.1.

Табела 4.1: Дејство појединих загађујућих супстанци из моторних возила [3]

Загађивачи	Извор загађења	Утицај на		
		здравље људи	вегетацију	атмосферу
HC	непотпуно сагоревање	надражује очи и слузокожу	уграђује се у вегетацију	ефекат стаклене баште
NO <sub>x</sub>	непотпуно сагоревање	едем плућа	киселе кише	ствара приземни озон
CO <sub>2</sub>	сагоревање горива	иритира дисајне органе	–	ефекат стаклене баште
CO	непотпуно сагоревање	утиче на срце и нервни систем	–	ствара приземни озон
SO <sub>2</sub>	сагоревање горива	иритира дисајне органе и кожу	киселе кише и сушење шума	ствара смог
PM	сагоревање горива	утиче на дисајне органе и срце	смањује асимилацију	ствара прашину

Несагорели угљоводоници (HC) су скуп различитих врста ацикличних и цикличних угљоводоника који се посматрају кумулативно. Емисија несагорелих угљоводоника је последица непотпуног сагоревања фосилног горива. Основни узрок је локални недостатак кисеоника и ниске температуре у зонама уз зидове коморе мотора. Угљоводоници су важни учесници фотохемијских реакција у атмосфери, реагују у присуству оксида азота и сунчевог светла и доприносе формирању приземног озона, главне компоненте тзв. "фотохемијског" смога. Угљоводоници реагују доста брзо са хидроксилним и нитратним радикалима, при чему је реакција са нитратним радикалима током ноћи основни пут уклањања многих органских једињења из тропосфере. Несагорели угљоводоници иритирају слузокожу дисајних органа, а неки циклични угљоводоници могу бити и канцерогени [83].

Оксиди азота (NO<sub>x</sub>) – У условима високих температура и притисака у мотору, атоми азота и кисеоника из ваздуха реагују стварајући низ азотових оксида (азот-моноксид-

NO, азот-диоксид-NO<sub>2</sub>, азот-субоксид-N<sub>2</sub>O), које све заједно обележавамо са NO<sub>x</sub>. Преко 90% оксида азота емитованих услед процеса сагоревања у СУС моторима чини азот-моноксид, док остатак чини азот-диоксид и мале количине азот-субоксида [77]. Азотни оксиди су такође штетни за људско здравље јер надражују и оштећују дисајне органе. Њихов садржај утиче и на смањење видљивости, стварање фотохемијског смога, разарања озона у вишим слојевима атмосфере, стварање штетног озона у нижим слојевима атмосфере, као и стварање киселих киша [83].

Угљен-диоксид (CO<sub>2</sub>) је безбојан незапаљив гас који настаје, као производ потпуног сагоревања фосилног горива, везивањем угљеника из горива са кисеоником из ваздуха. Угљен-диоксид не утиче директно на здравље људи, али је један од загушљивих гасова који доприносе повећању глобалног загревања наше Планете. Око три четвртине емисије угљен-диоксида услед људске активности настају сагоревањем фосилних горива, док се остатак емитује при технолошким процесима у ливницама, рафинеријама, цементарама. Део емисије је и последица неконтролисане сече шума, али је очигледно да утицај осталих узрочника мали у односу на доминантан „извор“-сагоревање фосилних горива.

Прва континуирана, прецизна и директна мерења атмосферског угљен-диоксида почела су 1957. на Јужном полу и 1958. у Мауна Лоа на Хавајима. У то време је акумулација угљен-диоксида износила око 567 mg/m<sup>3</sup> и расла је по стопи од 1,8 mg/m<sup>3</sup> годишње до 1981. године (када је износила 610 mg/m<sup>3</sup>). Наредних 20 година концентрација CO<sub>2</sub> у атмосфери се увећавала скоро константном стопом раста од 2,9 mg/m<sup>3</sup> годишње и 2001. године је износила 668 mg/m<sup>3</sup>. Од 2001÷2011. године концентрација CO<sub>2</sub> је повећана за 36 mg/m<sup>3</sup> што је највећи десетогодишњи пораст забележен од када су започела директна мерења угљен-диоксида [84]. Према подацима Светске метеоролошке организације (тела УН задужено за глобалне метеоролошке процене) у 2012. години концентрација угљен-диоксида износила је 708 mg/m<sup>3</sup>, што је за 4 mg/m<sup>3</sup> више него 2011. године. Пораст концентрације угљен-диоксида у 2012. години је надмашио просечни годишњи ниво раста концентрације од 3,6 mg/m<sup>3</sup> током претходних 10 година. На основу те стопе раста, Светска метеоролошка организација прогнозира да ће светски ниво загађења угљен-диоксидом до 2016. године прећи концентрацију од 720 mg/m<sup>3</sup>.

У преиндустријском периоду концентрација угљен-диоксида је била  $504 \text{ mg/m}^3$ , а то је вредност која се обично користи као референтна тачка за поређење са садашњим стањем и будућим предвиђањима. Тренутно концентрација  $\text{CO}_2$  је 40% виша него што је била у преиндустријском периоду. Концентрација  $\text{CO}_2$  ће до 2100. године достићи вредност од  $1170\div 1745 \text{ mg/m}^3$  (према прогнозама IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change), што је три пута више од вредности из преиндустријског периода. Стабилизација угљен-диоксида на  $810 \text{ mg/m}^3$  захтева да се емисија  $\text{CO}_2$  спусти на вредност од  $634 \text{ mg/m}^3$  из 1990. године у наредних неколико деценија, а да би се то остварило неопходна је и примена алтернативног погона код моторних возила [77].

Угљен-моноксид (CO) је отрован гас без боје и мириса; продукт непотпуног сагоревања и ствара се у случају рада мотора са богатом смешом. Тада угљеник из горива само делимично оксидише. На здравље људи угљен-моноксид утиче тако што успорава перцепцију и размишљање, изазива болест дисајних органа и крвотока, а у великим концентрацијама може проузроковати и смрт.

Водена пара ( $\text{H}_2\text{O}$ ) – Удео водене паре у атмосфери варира од 0% при врло ниским температурама (у поларним крајевима) до 4% при високим температурама (у тропским крајевима). Количина водене паре смањује се с повећањем надморске висине [85].

Водена пара је главни гас стаклене баште. Она у знатној мери апсорбује Сунчево зрачење и Земљино излучивање. На тај начин, као радијативно активан гас, има велики утицај на топлотне услове у тропосфери и у површинском слоју Земље. Стога, свака промена у њеној концентрацији би као одговор на загревање атмосфере осталим гасовима стаклене баште знатно изменила нето добит у топлотној енергији. Због појачаног загревања стаклене баште дошло би до пораста температуре атмосфере и океана, а услед тога и испаравања воде са океанских и копнених површина. Повећан садржај водене паре у атмосфери изазива даљи пораст температуре услед чега се још више интензивира процес испаравања [84].

Постоје и други процеси у атмосфери који су повезани са високим садржајем водене паре и који утичу на њено загревање. Услед загревања ваздуха на тлу ваздушне масе почињу да се шире, па постају лакше од маса у околини, те се због тога издижу на више нивое атмосфере, где се даље шире и расхлађују. Када се оствари довољан степен хлађења (дође до кондезације водене паре), настаје формирање облака који кроз интеракцију са зрачењем могу да доведу до загревања атмосфере. Процесу

кондензације водене паре потпомажу честице прашине, дима, соли и микоорганизми у ваздуху за које се молекули воде везују. Такве честице представљају језгра кондензације и називају се аеросоли. Такође, како се водена пара кондензује у облацима, ослобађа се латентна топлота, која даље загрева атмосферу [86].

Сумпор-диоксид ( $\text{SO}_2$ ) емитује се из моторних возила када се користи гориво у коме има сумпора. Сумпор-диоксид и његови секундарни производи (сумпорна киселина и сулфиди) могу изазвати озбиљне здравствене проблеме код људи (коњуктивитис, ефекти на респираторном систему), сушење биљног света, а запажени су штетни ефекти на метале, кожу, папир и текстил. Емисија сумпор-диоксида у урбаном подручју драстично је већа у зимском него у летњем периоду, због коришћења горива које садржи сумпор за загревање стамбених објеката. Због тога, власти у државама ЕУ воде кампању за редукцију употребе возила са СУС моторима у централним градским деловима и промовишу увођење возила на алтернативни погон.

Честице (PM - particulate matter) – Већи део честица присутног у ваздуху стварају моторна возила и те честице се углавном јављају код дизел возила као продукт пиролитичких реакција сагоревања дизел горива на високим температурама при недостатку кисеоника. Тада се издвајају виши угљеници  $\text{C}_{12}$  до  $\text{C}_{25}$  (којих има у дизел гориву) који формирају кристалне структуре честица чађи величине ( $0,1\div 2 \mu\text{m}$ ). Те иницијалне честице чађи (угљеника) се међусобно везују у веће честице (до  $10 \mu\text{m}$ ) које упијају органске киселине (на бази тешких угљоводоника из горива и уља) и неорганске киселине (на бази сумпора који гориво садржи) тако да постају веома токсичне [83]. Честице које су најважније са гледишта атмосферске хемије и здравствених ефеката су честице од  $0,002\div 10 \mu\text{m}$  и класификују се као:  $\text{PM}_{10}$  – грубе честице (између  $2,5$  и  $10 \mu\text{m}$ ),  $\text{PM}_{2,5}$  – fine честице ( $2,5\div 0,1 \mu\text{m}$ ) и  $\text{PM}_{0,1}$  – ултафине честице (све честице  $\leq 0,1 \mu\text{m}$ ) [85].

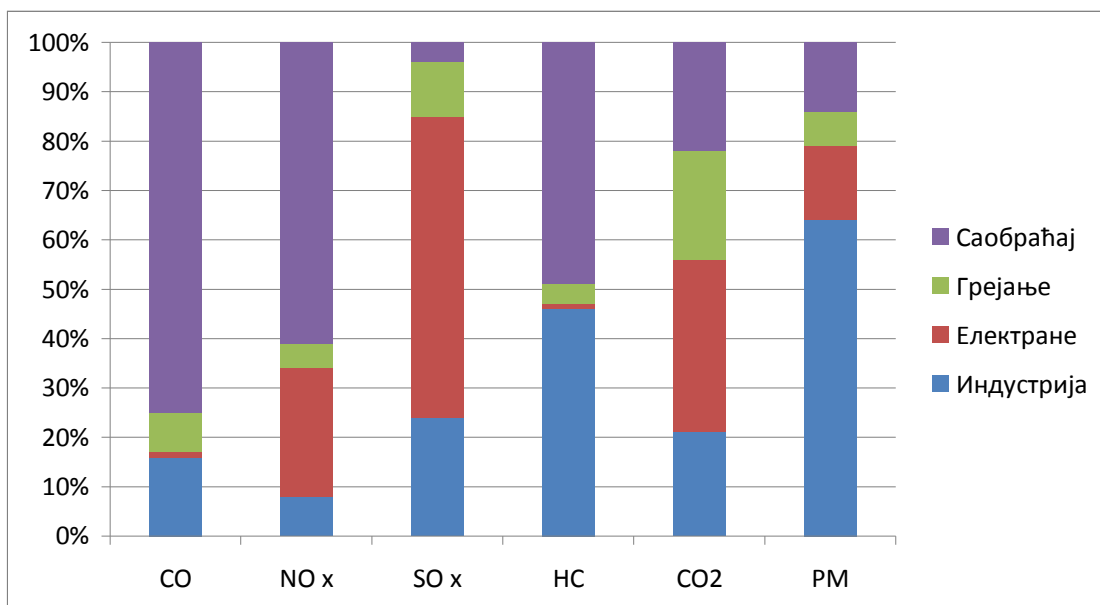
$\text{PM}_{10}$  су међу најопаснијим честицама у ваздуху. Приликом удисања делују на људски респираторни систем, утичу на његову отпорност и депонују се у најдубљим деловима плућа. Здравствени проблеми отпочињу када организам почне да се брани од ових страних тела (честица).  $\text{PM}_{10}$  изазивају или оснажују астму, бронхитисе и друга обољења плућа, а самим тим смањују укупну отпорност организма [86]. На основу студије спорведене у 90 градова у САД утврђено је повећање укупног морталитета за  $0,27\%$  и кардио-васкуларног морталитета за  $0,69\%$  са порастом концентрације  $\text{PM}_{10}$  за

10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  [87]. У великој европској студији која се базира на подацима из 29 градова процењен пораст укупног моратлитета је 0,6% [88], док је процењен пораст кардиоваскуларног морталитета 0,76% за пораст концентрације  $\text{PM}_{10}$  за 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  [89].

Озон ( $\text{O}_3$ ) – Молекули озона се састоје од три атома кисеоника и представљају алотропску модификацију кисеоника. На интензитет стварања озона утиче присутна концентрација угљоводоника и азотових оксида. Такође је интензитет стварања озона пропорционалан температури и зрачењу сунца, тако да су дуги и топли летњи дани најпогоднији за стварање озона. Озон иритира очи, оштећује плућа и доводи до проблема са дисањем. Озон који се ствара у приземним слојевима атмосфере је посебан проблем загађења у урбаним зонама.

#### 4.2. Удео емисије моторних возила у укупном загађењу атмосфере

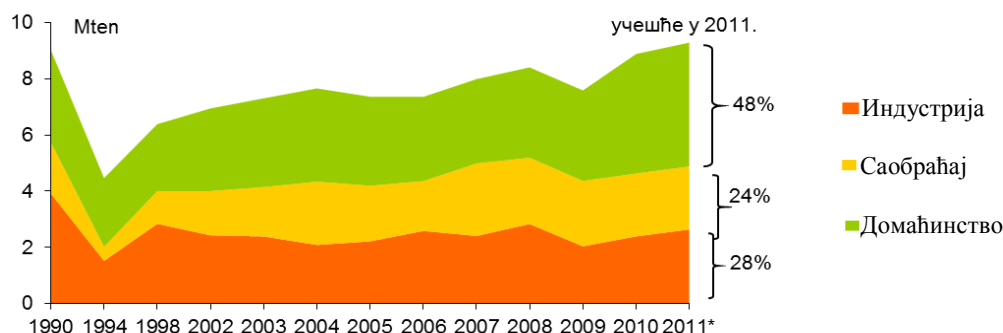
На укупно загађење ваздуха у насељеним местима највећи утицај имају моторна возила и то је изазвано њиховом великом концентрацијом, слика 4.1 [75].



Слика 4.1: Удео емисије из антропогених извора, [75]

Потрошња финалне енергије у Србији 2011. године износила је 9,29 Мтен (милиона тона еквивалентне нафте), и повећана је у односу на 1990. годину за 2,9%, као и у односу на 2010. годину за 4,5% [76].

У структури потрошње учешће индустрије је 28,4%, сектора домаћинства, пољопривреда, јавне и комерцијалне делатности је 47,9%, а саобраћаја 24,2%, слика 4.2.



Слика 4.2: Потрошња финалне енергије по секторима, [76]

Укупна потрошња горива у транспортном сектору Србије у сталном је порасту, табела 4.2.

Табела 4.2: Укупна потрошња горива у транспортном сектору Србије, 2001÷2011. године [78]

	2001.	2003.	2005.	2007.	2009.	2011.
Потрошња горива, 10 <sup>6</sup> тона	1,815	2,036	2,371	2,768	3,024	3,291

Број путничких возила у транспортном сектору Србије дат је у табели 4.3. Најчешће примењена техничка решења на возилима која се користе у Србији су:

- карбураторски мотори, са нерегулисаном емисијом,
- мотори са убризгавањем различитог нивоа опреме (са катализатором или без њега),
- мотори различитог нивоа стандарда о емисији (US83, Еуро 1 до Еуро 4) и
- врло мало возила на алтернативни погон (течни нафтни гас, хибрид, итд).

Табела 4.3: Број путничких возила у транспортном сектору  
Србије, 2001÷2011. год. [78]

	Технолог	2001.	2003.	2005.	2007.	2009.	2011.
<b>БЕНЗИН</b>	Конвенц.	998.840	943.538	889.823	754.148	635.161	497.128
	Еуро 1	67.121	68.097	70.403	66.975	82.434	71.634
	Еуро 2	82.572	120.125	150.920	137.450	140.226	145.302
	Еуро 3	38.527	82.924	113.630	149.404	185.941	201.173
	Еуро 4	–	–	21.387	91.742	132.145	153.798
	Укупно	1.187.060	1.214.684	1.246.163	1.199.719	1.175.907	1.069.035
<b>ДИЗЕЛ</b>	Конвенц.	100.428	100.718	105.172	106.611	119.613	121.761
	Еуро 1	13.292	13.916	14.849	16.274	25.962	34.326
	Еуро 2	11.382	24.088	36.686	39.107	47.953	53.548
	Еуро 3	4.086	11.039	27.483	76.401	110.053	127.472
	Еуро 4	–	–	6.559	39.351	72.248	105.957
	Укупно	129.188	149.761	190.749	277.744	375.829	443.064
<b>ТНГ**</b>	Конвенц.	149	1.189	5.930	20.367	30.284	38.520
	Еуро 1	5	147	610	3.269	4.720	6.154
	Еуро 2	4	357	1.461	6.125	7.871	9.270
	Еуро 3	6	441	1.930	7.153	6.195	6.726
	Еуро 4	–	–	337	6.918	4.923	5.327
	Укупно	164	2.134	10.268	43.832	53.993	65.997
<b>X*</b>	Еуро 4	–	–	2	3	8	13
<b>УКУПНО</b>		<b>1.316.412</b>	<b>1.366.579</b>	<b>1.447.182</b>	<b>1.521.298</b>	<b>1.605.737</b>	<b>1.578.109</b>

\* X – хибрид,

\*\* ТНГ – течни нафтни гас

У наредним табелама дати су број лаких теретних возила (табела 4.4), тешких теретних возила (табела 4.5) и аутобуса (табела 4.6) у транспортном сектору Србије.

Табела 4.4: Број лаких теретних возила у транспортном сектору Србије, 2001÷2011. год. [78]

	Технолог.	2001.	2003.	2005.	2007.	2009.	2011.
<b>БЕНЗИН</b>	Конвенц.	13.208	13.385	14.244	16.072	17.743	19.254
	Еуро 1	1.189	1.245	1.544	1.960	2.169	2.357
	Еуро 2	294	623	858	784	839	863
	Еуро 3	151	311	515	588	921	1.289
	Еуро 4	–	–	–	196	224	251
	Укупно	14.842	15.564	17.161	19.600	21.896	24.014
<b>ДИЗЕЛ</b>	Конвенц.	30.996	29.185	26.717	30.023	29.497	30.176
	Еуро 1	4.316	6.166	6.475	7.633	8.253	8.785
	Еуро 2	2.747	3.700	5.164	6.106	5.307	5.537
	Еуро 3	1.177	2.055	4.750	5.597	5.215	5.432
	Еуро 4	–	–	–	1.527	2.060	2.609
	Укупно	39.236	41.106	43.106	50.886	50.332	52.539
<b>УКУПНО</b>		<b>54.078</b>	<b>56.670</b>	<b>60.267</b>	<b>70.486</b>	<b>72.228</b>	<b>76.553</b>

Табела 4.5: Број тешких теретних возила у транспортном сектору Србије, 2001÷2011. год. [78]

Технолог.	2001.	2003.	2005.	2007.	2009.	2011.
Конвенц.	48.105	42.370	43.254	39.825	39.273	38.754
Еуро 1	6.645	8.935	11.284	12.025	11.839	11.923
Еуро 2	11.305	15.618	19.872	21.565	21.839	22.107
Еуро 3	15.757	22.029	28.130	30.162	30.546	30.856
Еуро 4	–	–	–	6.917	7.666	8.312
<b>УКУПНО</b>	<b>81.812</b>	<b>88.952</b>	<b>102.540</b>	<b>110.494</b>	<b>111.163</b>	<b>111.952</b>



Табела 4.6: Број аутобуса у транспортном сектору Србије, 2001÷2011. год. [78]

Технолог.	2001.	2003.	2005.	2007.	2009.	2011.
Конвенц.	6.355	5.527	5.291	4.020	3.446	2.734
Еуро 1	638	667	696	733	632	523
Еуро 2	887	899	967	930	879	817
Еуро 3	869	1.973	2.584	2.441	2.349	2.215
Еуро 4	–	–	–	945	1.363	1.759
<b>УКУПНО</b>	<b>8.749</b>	<b>9.066</b>	<b>9.538</b>	<b>9.069</b>	<b>8.669</b>	<b>8.048</b>

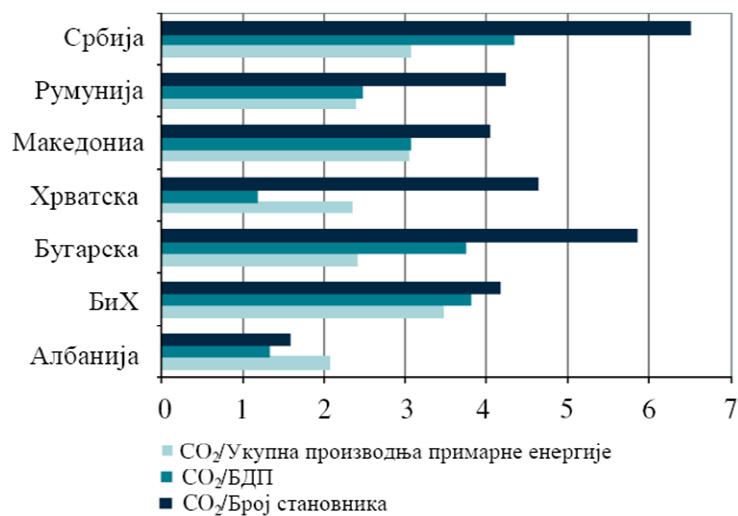
За приказ количине емитованих загађујућих супстанци из моторних возила у Србији коришћени су подаци из истраживање које је спроведено на Институту Саобраћајног факултета у Београду, рад [78], где су резултати добијени прикупљањем података о возном парку Републике Србије и коришћењем софтверског алата COPERT IV (који је једини признати алат за одређивање емисије загађујућих супстанци из саобраћаја на нивоу државе). Укупне количине емитованих загађујућих материја свих загађивача у транспортном сектору Србије приказане су у табели 4.7.

Табела 4.7: Количине емитованих загађујућих супстанци у транспортном сектору Србије, 2001÷2011. год. [78]

Загађивач	2001.	2003.	2005.	2007.	2009.	2011.
НС, тона	34.439,89	34.178,81	34.223,24	32.046,11	30.245,69	28.124,73
NO <sub>x</sub> , тона	51.655,18	54.940,21	60.605,74	64.269,21	67.755,92	70.924,31
CO <sub>2</sub> , 10 <sup>3</sup> т.	5.713,72	6.406,77	7.454,36	8.693,39	9.493,64	10.235,82
CO, 10 <sup>3</sup> т.	200,15	197,96	192,63	178,97	166,85	153,24
SO <sub>2</sub> , тона	11,11	12,53	14,72	17,17	18,81	20,27
PM, тона	6.736,22	7.002,1	7.558,09	8.102,38	8.717,49	9.276,83

Количина емитованих загађујућих супстанци или материја из моторних возила у транспортном сектору Србије у посматраном периоду од 2001. до 2011. године је у благом порасту, изузев количине емитованих несагорелих угљоводоника (НС) и угљен-моноксида (СО) који опадају током периода посматрања.

У поређењу са другим земљама у региону – када се у обзир узме однос  $\text{CO}_2$  и укупно произведене примарне енергије, као и однос  $\text{CO}_2$  и броја становника – Србија је у горем положају од осталих земаља у региону када је реч о количини емисија које се испусти у атмосферу (тзв. интензитет емисија, carbon intensity; видети слику 4.3).



Слика 4.3: Интензитет емисија у југоисточној Европи, [10]

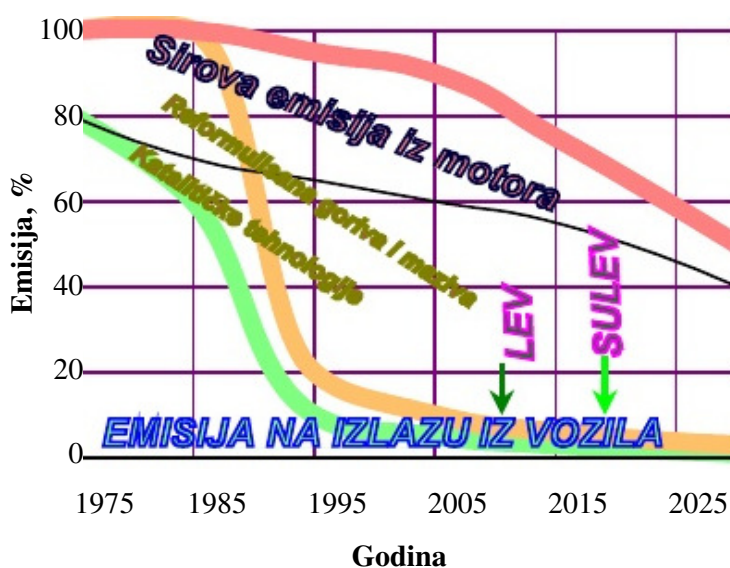
Имајући у виду и то да последњи подаци који се могу поредити с међународним стандардима датирају из 2011. године, може се претпоставити да су емисије гасова са ефектом стаклене баште (eng. greenhouse gases – GHG) у Србији могле од те године само расти у односу на друге земље у региону.

Разлога за раст емитованих загађујућих супстанци из моторних возила у транспортном сектору Србије има више. Употреба властитих аутомобила (чија просечна старост износи око 16 година) широко је распрострањена у урбаном подручју, а јавни превоз је у готово свим градовима неадекватан. У градском превозу се највише користе аутобуси (који углавном не задовољавају минималне еколошке захтеве), док трамвајски превоз постоји само у Београду. Такси превоз се због ниских цена доста користи, али су и овде у употреби стара возила. Куповина возила са минималном емисијом у овом периоду је била мала (1% годишње) због лоше укупне економске ситуације. Предност су имала половна возила различите старости, што је утицало на повећање емисије полутаната.

### 4.3. Амерички прописи о емисији из моторних возила

#### 4.3.1. Путничка и теретна возила

Федерална влада САД-а је 1969. године донела низ регулатива са циљем да се смањи емисија из возила и да ауто индустрија развија нове технологије. Прва уредба о чистом ваздуху „Clean Air Act“ је усвојена на Конгресу 1970. године. Сада је емисија из путничких моторних возила смањена за више од 95% у односу на почетне вредности (слика 4.4). У једном тренутку се аутомобилска индустрија противила доношењу таквих норми, а сада сарађује са законодавцима захтевајући дугорочно и благовремено доношење нових регулатива.



Слика 4.4: Еколошки захтеви за путничка моторна возила у САД-у, [77]

У САД-у федералне прописе доноси ЕРА (енг. Environmental Protecting Agency), а прописе за Калифорнију доноси CARB (енг. Californian Air Resources Board). LEV 2 стандард за емисију путничких возила у Калифорнији, дат је у табели 4.8. Граничне вредности су исте за путничка возила и са дизел и са бензинским моторима и то у току читавог века возила.

Табела 4.8: LEV 2 стандард за емисију путничких возила у Калифорнији, [40]

Категор емисије	Емисија после пређених		NMOG <sup>5</sup>		CO		NOx		PM	
	mi	km	g/mi	g/km	g/mi	g/km	g/mi	g/km	g/mi	g/km
TLEV <sup>1</sup>	50.000	80.467	0,125	0,078	3,4	2,1	0,40	0,25	–	–
	120.000	193.121	0,156	0,097	4,2	2,6	0,60	0,37	0,04	0,025
LEV <sup>2</sup>	50.000	80.467	0,075	0,047	3,4	2,1	0,05	0,03	–	–
	120.000	193.121	0,090	0,056	4,2	2,6	0,07	0,04	0,01	0,006
ULEV <sup>3</sup>	50.000	80.467	0,040	0,025	1,7	1,1	0,05	0,03	–	–
	120.000	193.121	0,055	0,034	2,1	1,3	0,07	0,04	0,01	0,006
SULEV <sup>4</sup>	120.000	193.121	0,010	0,006	1,0	0,6	0,02	0,01	0,01	0,006

<sup>1</sup>TLEV (eng. Transitional Low-Emission Vehicle) – Прелазна ниска емисија возила;

<sup>2</sup>LEV (eng. Low-Emission Vehicle) - Ниска емисија возила;

<sup>3</sup>ULEV (eng. Ultra-Low-Emission Vehicle) – Екстремно ниска емисија возила;

<sup>4</sup>SULEV (eng. Super-Ultra-Low-Emission Vehicle) – Супер екстремно ниска емисија возила;

<sup>5</sup>NMOG (eng. Non-Methane Organic Gases) – Неметански органски гасови

#### 4.3.2. Ванпутна механизација (трактори)

Први федерални стандарди (Tier 1) за возила ванпутне механизације са дизел моторима у САД-у су усвојени 1994. године и односили су се за моторе номиналне снаге изнад 37 kW. Увођење је било по фазама од 1996. до 2000. године. Нацрт правилника за емисију из возила ванпутне механизације 1996. године су потписали: EPA, CARB и произвођачи дизел мотора (Caterpillar, Cummins, Deere, Detroit Diesel, Deutz, Isuzu, Komatsu, Kubota, Mitsubishi, Navistar, New Holland, Wis-Con и Yanmar). Коначну регулативу у којој су укључени и мотори испод 37 kW EPA доноси 27.08.1998. године. Тада су уведене и строжије границе (Tier 2 и Tier 3), по фазама од 2000. до 2008. године.

EPA је усвојила посебну категорију строжијих граница које произвођачи не морају задовољити. Међутим, они произвођачи дизел мотора који добровољно задовоље те строжије границе, добијају право да носе назив произвођачи „серије плаво небо“. У том случају су ови произвођачи стимулирани пореском и кредитном политиком.

#### 4.4. Европски прописи о емисији из моторних возила

##### 4.4.1. Путничка возила

У Европи су регулативе за емисију из возила нешто касније него у САД-у. Тако је за путничка и лака теретна возила регулатива ЕСЕ15.00 донета 1971. године од стране Европске комисије УН. Амандман 01 (ЕСЕ15.01) је донет 1975. године и његове границе су износиле: 32 g/km за СО и 11 g/km за HC+NOx. Временом су увођени нови амандмани (све до ЕСЕ15.04 и ЕСЕР83/03) и границе постајале све оштрије.

Данас прописе о емисији доноси Европска унија. За путничка и доставна возила прописи су дефинисани Директивом 70/220/ЕЕС, табела 4.9.

Табела 4.9: Граничне вредности емисије путничких возила у Европи у g/km, [31]

Број стандарда	Датум ступања	Врста горива	СО	HC+ NOx	HC	NOx	PM
ЕУРО 1	01/07/1992.	бензин	2,72	0,97	–	–	–
		дисел	2,72	0,97	–	–	0,14
ЕУРО 2	01/01/1996.	бензин	2,20	0,5	–	–	–
		дисел	1,00	0,7	–	–	0,08
ЕУРО 3	01/01/2000.	бензин	2,30	–	0,20	0,15	–
		дисел	0,64	0,56	–	0,50	0,05
ЕУРО 4	01/01/2005.	бензин	1,00	–	0,10	0,08	–
		дисел	0,50	0,30	–	0,25	0,025
ЕУРО 5	01/09/2009.	бензин	1,00	–	0,10 <sup>а</sup>	0,06	0,005 <sup>б</sup>
		дисел	0,50	0,23	–	0,18	0,005
ЕУРО 6	01/09/2014.	бензин	1,00	–	0,10 <sup>а</sup>	0,06	0,005 <sup>б</sup>
		дисел	0,50	0,17	–	0,08	0,005

а – додатни услов и NMHC=0,068 g/km

б – односи се само на возила са директним убризгавањем горива

Ово је базна директива која је често мењана. Неке од важнијих измена су:

- Еуро 1 стандард (познат као ЕС93) – Директива 91/441/ЕЕС (само за путничка возила) или 93/59/ЕЕС (путничка и доставна возила),
- Еуро 2 стандард (познат као ЕС96) – Директива 94/12/ЕС (само за путничка возила) или 96/69/ЕС (путничка и доставна возила),
- Еуро 3/4 стандард – Директива 98/69/ЕС, касније амандмани у 2002/80/ЕС,
- Еуро 5/6 стандард – уводи регулативе (Regulation 715/2007) од 20.06.2007. године, тако се прописи поједностављују и претходне „директиве“ (које морају да буду уграђене у све националне законе) на даље ће бити замењене „регулативама“ (које се непосредно примењују одмах након доношења).

#### 4.4.2. Теретна возила

Регулатива за теретна возила у ЕУ је уведена Директивом 88/77/ЕЕС и након ње су донети бројни амандмани. Прописи су 2005. године измењени и утврђени директивом 2005/55/ЕС, табела 4.10. Од Еуро 4 нивоа прописи се поједностављују и досадашње „директиве“ су замењене са „регулативама“.

Испод су набројани неки најважнији прописи код теретних возила:

- Еуро 1 стандард је уведен 1992. године, а затим је уведен Еуро 2 стандард 1996. године. Ови стандарди су се односили и на теретна возила и на аутобусе, мада је стандард за градске аутобусе био необавезан.
- У 1999. години, ЕУ је усвојила Директиву 1999/96/ЕС која уводи Еуро 3 стандард (2000. године), а такође и Еуро 4/5 стандарде (2005/2008. године).
- Директива 2005/55/ЕС, прихваћена од стране ЕУ Парламента у 2005. години, уводи захтеве за век и за OBD дијагностику. Такође су усвојене и границе емисије за Еуро4 и Еуро 5 стандарде, које су публиковане у Директиви 1999/96/ЕС.
- У децембру 2007. године, Комисија ЕУ је публиковала прописе за Еуро 6 стандард за емисију, COM(2007)851. Нове границе за емисију, упоредиве са стандардом US 2010, ступиле су на снагу 2013. године.

Табела 4.10: Европски прописи о емисији за теретна возила у g/km, [31]

Број стандарда	Датум ступања	СО	НС	NO <sub>x</sub>	PM	Дим, m <sup>-1</sup>
Стандард за емисију за бензинске моторе						
ЕУРО 3	01/10/1999.*	1,5	0,25	2,0	0,02	0,15
	01/10/2000.	2,1	0,66	5,0	0,10	0,8
ЕУРО 4	01/10/2005.	1,5	0,46	3,5	0,02	0,5
ЕУРО 5	01/10/2008.	1,5	0,46	2,0	0,02	0,5
ЕУРО 6	01/10/2013.	1,5	0,13	0,4	0,01	–
Број стандарда	Датум ступања	СО	NMHC	CH <sub>4</sub> <sup>a</sup>	NO <sub>x</sub>	PM <sup>b</sup>
Стандард за емисију за дизел и гасне моторе						
ЕУРО 3	01/10/1999.*	3,0	0,40	0,65	2,0	0,02
	01/10/2000.	5,45	0,78	1,6	5,0	0,16
ЕУРО 4	01/10/2005.	4,0	0,55	1,1	3,5	0,03
ЕУРО 5	01/10/2008.	4,0	0,55	1,1	2,0	0,03
ЕУРО 6	01/10/2013.	4,0	0,16	0,5	0,4	0,01

\* за возила веома ниске емисије (енг. EEVs – Enhanced Environmental Friendly Vehicles)

а – само за моторе на природни гас

б – не примењује се за гасне моторе у 2000. и 2005. години.

Допунска правила које уводи Еуро 6 укључују:

- Концентрација амонијака (NH<sub>3</sub>) је ограничена на 7 mg/m<sup>3</sup> за теретна возила.
- Гранична вредност броја честица се дефинише након резултата програма мерења (UN/ECE Particulate Measurement Programme), а према ограничењу њихове масе.
- Највећа дозвољена вредност за NO<sub>2</sub> у укупном NO<sub>x</sub> ће бити касније утврђена.

Од октобра 2005. године, за све нове моделе, произвођачи морају доказати и гарантовати да њихова теретна возила задовољавају границе за емисију у току животног века који зависи од категорије теретног возила, како је то приказано у табели 4.11.

Табела 4.11: Категорије теретних возила и период гарантоване емисије

Категорија возила	Километража или године (шта се пре испуни)
N1, M2	160.000 km или 5 година
N2, N3 $\leq$ 16t, M3 (Class I/II/A/B $\leq$ 7,5t)	300.000 km или 6 година
N3 $>$ 16t, M3 (Class III/B $>$ 7,5t)	700.000 km или 7 година

#### 4.4.3. Ванпутна механизација (трактори)

У Европи је емисија из дизел мотора ванпутне механизације и пољопривредних трактора утврђена регулативом ЕСЕ96 од 15. децембра 1995. године. Поред овог прописа, усвајане су и одговарајуће директиве од стране Комисије ЕУ. Прва директива 97/68/ЕС усвојена је 16. децембра 1997. године. Прописи (табела 4.12) су увођени кроз две фазе:

- фаза 1 (Stage I) је уведена 1999. године и граничне вредности су исте као код ЕСЕ регулативе, а
- фаза 2 (Stage II) је уведена у периоду од 2001. до 2004. године зависно од снаге мотора и граничне вредности су прописи Комисије ЕУ.

Таб. 4.12: Граничне вредности емисије из дизел мотора ванпутне механизације у g/kWh

Снага kW	CO		HC		NOx		PM	
	фаза 1	фаза 2	фаза 1	фаза 2	фаза 1	фаза 2	фаза 1	фаза 2
P $\geq$ 130	5,0	3,5	1,3	1,0	9,2	7,0	0,54	0,2
75 $\leq$ P $<$ 130	5,0	5,0	1,3	1,0	9,2	7,0	0,70	0,3
37 $\leq$ P $<$ 75	6,5	5,0	1,3	1,3	9,2	8,0	0,85	0,4
18 $\leq$ P $<$ 37	–	5,5	–	1,5	–	8,5	–	0,8

За Републику Србију је од посебног интереса ново уведена категорија мотора снаге између 18 и 37 kW (у фази 2). Такође, Европски парламент је 9. децембра 2002. године



прихватио директиву 2002/88/ЕС, која је заменила директиву 97/68/ЕС. Нова директива је садржала и границе емисије за мале бензинске моторе снаге испод 19 kW.

Фазе 3/4 (Stage III/IV) у стандардима за емисију ванпутне механизације прихватио је Европски парламент 21. априла 2004. године (Директива 2004/26/ЕС), а за пољопривреду и дрвну индустрију 21. фебруара 2005. године (Директива 2005/13/ЕС). Фаза 3 се сукцесивно уводила од 2006. до 2013. године и подељена је у две фазе: фазу 3А и фазу 3Б. Фаза 4 је ступила на снагу 2014. године. Граничне вредности за емисију ванпутне механизације фазе 3А/3Б/4 дате су у табели 4.13. Фазе 3А/3Б/4 се примењују само на нову ванпутну механизацију.

Табела 4.13: Граничне вредности емисије ванпутне механизације, у g/kWh

Снага, kW	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM
фаза 3А				
130 ≤ P ≤ 560	3,5	0,19	2,0	0,2
75 ≤ P < 130	5,0	0,19	3,3	0,3
37 ≤ P < 75	5,0	0,19	3,3	0,4
19 ≤ P < 37	5,5	0,19	3,3	0,6
фаза 3Б				
130 ≤ P ≤ 560	3,5	0,19	2,0	0,025
75 ≤ P < 130	5,0	0,19	3,3	0,025
56 ≤ P < 75	5,0	0,19	3,3	0,025
37 ≤ P < 56	5,0	0,19	3,3	0,025
фаза 4				
130 ≤ P ≤ 560	3,5	0,19	0,4	0,025
56 ≤ P < 130	5,0	0,19	0,4	0,025

Претходна табела уводи веома строге границе за честице од 0,025 g/kWh (фаза 3Б) и оксиде азота од 0,4 g/kWh, што захтева уређаје за накнадни третман издувних гасова код ванпутне механизације.

#### 4.5. Еколошки захтеви за емисију угљен-диоксида из моторних возила

Осим гасова који имају директних последица на здравље људи, возила емитују и друге гасове који нису отровни али утичу на глобално загревање атмосфере, пре свега угљен-диоксид ( $\text{CO}_2$ ). Према мерењима Републичког хидрометеоролошког завода Србије у задњих сто година просечна температура у Београду се повећала за 2 °C. Угљен-диоксид је један од гасова који су узрочници повећаног глобалног загревања наше планете. Због тога је неопходно смањити количине емитованог угљен-диоксида из моторних возила, мада је учинак возила у глобалном загревању веома различит у појединим земљама: у САД-у свега 1,7% емисије  $\text{CO}_2$  узрокује транспорт, док у Јапану тај удео износи 19%. Смањење  $\text{CO}_2$  је могуће применом алтернативног погона код моторних возила и/или смањењем потрошње горива.

У САД-у су 1995. године, прописом уведене границе за емисију угљен-диоксида из моторних возила на 242 g/mi (150 g/km). На иницијативу председника Клинтона, 1993. године основано је удружење за пројектовање возила нове генерације (енг. Partnership for a New Generation of Vehicles – PNGV). То удружење чине три највећа произвођача возила у САД-у, влада и самостални институти. Један од основних задатака удружења је да се емисија  $\text{CO}_2$  из моторних возила сведе на 106 g/mi (66 g/km), уз непромењену цену, комфор и безбедност.

У Европи за сада нема законских ограничења за емисију угљен-диоксида из моторних возила. Удружење европских конструктора аутомобила (енг. Automobile Construct European Association – ACEA) је предложило да се просечна емисија  $\text{CO}_2$  ограничи на 140 g/km до 2008. године. Међутим, просечна емисија  $\text{CO}_2$  из моторних возила која су се налазила на ЕУ тржишту 2008. године прелазила је вредност од 150 g/km, што значи да је предлог удружења европских конструктора аутомобила без законских обавеза доживео неуспех, те да ЕУ што пре треба да донесе обавезујућу регулативу за ограничавање емисије  $\text{CO}_2$  из моторних возила.

Европски парламент је наручио израду одговарајуће студије о емисији  $\text{CO}_2$  из моторних возила и прихватио извештај у коме се тврди да око 19%  $\text{CO}_2$  емисије у ЕУ потиче од путничких и доставних возила. На бази извештаја Европски парламент усвојио је предлог да се средња емисија  $\text{CO}_2$  из свих нових моторних возила ограничи на највише 125 g/km до 2015. године. Такође, на бази поменутог извештаја разматра се

могућност усвајања предлога да се средња емисија CO<sub>2</sub> ограничи на највише 95 g/km до 2020. године. Граница треба да буде утврђена најкасније до 2016. године уз најаву да се смањење до 70 g/km или још мање уведе као обавеза од 2025. године.

#### 4.6. Еколошке карактеристике возила на алтернативни погон

##### 4.6.1. Смањење емисије издувних гасова коришћењем хибридног погона возила

Емисије штетних гасова код хибридних електричних возила (ХЕВ) данас је достигла велики напредак. За класична возила вредности су 5,5 тона угљен-диоксида (CO<sub>2</sub>) док најпопуларнији хибрида возила данас успевају да смање емисију на 4,1 и чак 3,5 тона угљен-диоксида. Оваква побољшања доприносе побољшању ваздуха у урбаним срединама. Са електричним и бензинским мотором штетни гасови неће бити потпуно избачени, али допринос ових возила смањењу ефекта стакене баште као и смањење азотових оксида, угљоводоника и угљен-монооксида који стварају фотохемијски смог у градовима је веома битан. Смањење које неки модели имају у стварању фотохемијског смога у градовима износи и до 90%. Статистика говори да са просечним навикама просечног возача коришћењем хибридних возила доћи до смањења штетних гасова за 25÷90% у поређењу са класичним возилима. Ово зависи од поређења бензинских и/или дизел возила са хибридним [90].

Према Тојотиним подацима, њихов Приус за око једну тону смањује емисију CO<sub>2</sub> на годишњем нивоу у поређењу са класичним аутомобилом исте класе. Такође је садржај угљоводоника за 80%, а азотних оксида за 87,5% мањи од вредности захтеваних према Еуро 4 стандардима за бензиске моторе (табела 4.14).

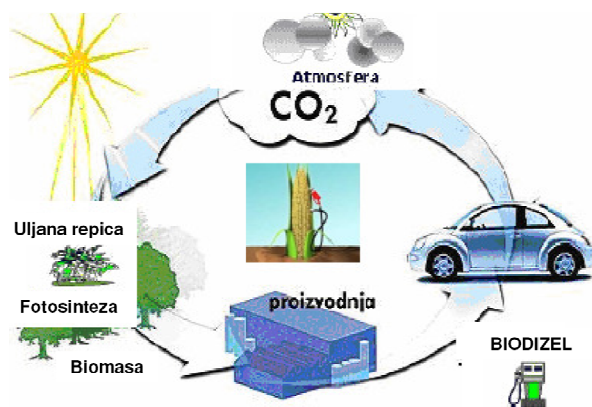
Табела 4.14: Емисија Тојоте Приус [40]

Емисија	Тојота Приус	Еуро 4
NO <sub>x</sub>	0,01	0,08
HC	0,02	0,10
CO	0,18	1,0

#### 4.6.2. Смањење емисије издувних гасова коришћењем биодизела у моторним возилима

Вредности смањења емисије појединачних загађујућих материја приликом употребе биодизела су:

Угљен-диоксид ( $\text{CO}_2$ ): Свака тона сагорелог дизела додаје око 2,8 тоне угљен-диоксида у атмосферу. Специфичан садржај угљен-диоксида од једне тоне сагорелог биодизела је нешто мањи, око 2,4 тоне [35]. Када се емисија угљен-диоксида насталог сагоревањем биодизела посматра на WTW (Well-to-Wheel) бази<sup>5</sup>, она је скоро једнака нули (слика 4.5).



Слика 4.5: Затворен  $\text{CO}_2$  циклус – WTW база, [48]

Сумпор-диоксид ( $\text{SO}_2$ ): Данас, 1 тона конвенционалног фосилног дизела у ЕУ садржи максимум  $460 \text{ mg/m}^3$  сумпора у просеку. Када дизел сагорева, сумпор се ослобађа у атмосферу у облику сумпор-диоксида, доприносећи формирању киселих киша. Биодизел скоро да нема сумпора (садржај сумпора  $0 \div 0,0069 \text{ mg/m}^3$ ). Са друге стране, у ЕУ се константно промовише употреба дизел горива са малим садржајем сумпора (испод  $65 \text{ mg/m}^3$  у Великој Британији и испод  $13 \text{ mg/m}^3$  у Шведској), па ће велику улогу у смањењу сумпора имати већа примена биодизела и његових смеша са дизелом [36].

Азотни оксиди ( $\text{NO}_x$ ): Емисија азотних оксида из биодизела може се повећати или смањити у односу на емисију из фосилног дизела, а у зависности од генерације мотора. Емисија азотних оксида из чистог биодизела се повећава за око 6% у просеку у односу

<sup>5</sup> То је врста анализе која омогућава да се утврди нето емисија гасова стаклене баште узимајући у обзир целокупни животни циклус производа од производње до потрошње.

на фосилни дизел [48]. Обзиром на недостатак сумпора у биодизелу могуће је користити технике контролисања азотних оксида које је немогуће користити код фосилног дизела.

Угљен-моноксид (СО): Употребом биодизела смањује се емисија угљен-моноксида за најмање 30% у односу на фосилни дизел [35].

Чврсте честице (РМ): Емисија у издуним гасовима честица је код биодизела око 50% мања него код фосилног дизела [48].

Угљоводоници (НС): Емисија угљоводоника је 50% нижа код биодизела од оне код дизел горива. Знатно мања емисија угљоводоника код биодизела објашњава се његовом вишом тачком кључања, тј. испаравања [31]

Можда је емисија алдехида, поред негативног утицаја на заптивке и боје, највећи еколошки недостатак биодизела. Емисија алдехида је знатно већа (око 20%) код биодизела у односу на дизел гориво.

У табели 4.15 дате су емисије биодизела (В100 и В20) у поређењу са емисијом фосилног дизел горива, узимајући да је емисија фосилног дизел горива 100%, где је једино угљен-диоксид посматран са тачке животног циклуса.

Табела 4.15: Промене у емисији биодизела у поређењу са емисијом дизела, [30]

Врста емисије	В100	В20
Угљенмоноксид	-43,2%	-12,6%
Угљоводоници	-56,3%	-11,0%
Честице	-55,4%	-18,0%
Азотни оксиди	+5,8%	+1,2%
Токсичне материје	-60%÷-90%	-12%÷-20%
Мутагене материје	-80%÷-90%	-20%
Угљендиоксид	-88,3%	-25,7%

Важна еколошка карактеристика биодизела је његова биодеградабилност. Фосилни дизел се разлаже само 50% у току првих 21 дан после просипања (нпр. акцидента при транспорту), док се биодизел разлаже 98% без последица, за исто време. Заменом или мешањем дизела са биодизелом, према подацима из литературе, смањио би се ризик од настанка канцера код људи (за 94% код примене В100, а за 27% код В20).

Еколошки ефекат примене биодизела код аутобуса, показаћемо уз помоћ резултата експерименталног тестирања које је урађено на два аутобуса Икарбус 103 у ГСП Београд, од 6. марта до 12. априла 2006. године, у оквиру пројекта „Нас сунце покреће“ (табела 4.16).

Табела 4.16: Емисије издувних гасова аутобуса на биодизел и дизел [18]

Мерени параметри	Лер		50% притиснута педала гаса		100% притиснута педала гаса	
	А-482 биодизел	А-491 дизел	А-482 биодизел	А-491 дизел	А-482 биодизел	А-491 дизел
CO, mg/m <sup>3</sup>	37,8	135,1	74,4	188,9	105,3	204,9
NO, mg/m <sup>3</sup>	210,3	218,9	140,2	206,6	139	158,7
NO <sub>2</sub> , mg/m <sup>3</sup>	44,9	41,4	49,4	55,3	49,8	44
SO <sub>2</sub> , mg/m <sup>3</sup>	22,9	237,4	14,3	263,1	14,3	291,7
H <sub>2</sub> , mg/m <sup>3</sup>	0,33	0,25	0,41	1,16	0,91	1,57
O <sub>2</sub> , vol %	18,9	18,8	18,5	17,9	17,7	17,5
CO <sub>2</sub> , vol %	1,81	1,83	2,11	2,55	2,7	2,84
Pm, mg/m <sup>3</sup>	18,2	74,9	24,5	85,2	31,2	98,3
Бензен, µg/m <sup>3</sup>	<10	335	<10	621	<10	825
Толуен, µg/m <sup>3</sup>	<10	168	<10	211	<10	398
Ксилен, µg/m <sup>3</sup>	<10	10	<10	23	<10	40

Из табеле 4.16 видимо да су загађења знатно мања у сва три режима рада када се у аутобусима користи биодизел уместо класичног дизела.

Еколошке предности биодизела у односу на фосилно дизел гориво, огледају се у:

- Смањеној емисији гасова који изазивају ефекат стаклене баште, пре свега угљен-диоксида, угљен-монооксида и сумпор-диоксида;
- Неканцерогености издувних гасова (у њима нема чађи, бензола, толуола);
- Биоразградивости и нетоксичности (случајно просипање не представља еколошки ризик).

#### 4.6.3. Смањење емисије издувних гасова коришћењем течног нафтног гаса у моторним возилима

Еколошки захтеви, које треба да испуне возила која користе течни нафни гас (LPG) у свом погонском систему дефинисана су тек 1996. године у оквиру ЕСЕ Правилника бр. 49 (Додатак 2 на 02 серију амандмана) за возила која служе за превоз путника и робе, а 1998. године у оквиру ЕСЕ Правилника бр. 83 (Додатак 1 на 03 серију амандмана) за путничка возила.

Течни нафни гас је тренутно комерцијално прихватљиво алтернативно гориво које задовољава све ригорозне норме о ограничењу емисије издувних гасова из моторних возила, те као такво одмах нуди конкретна решења у побољшању квалитета ваздуха, а посебно у урбаним срединама.

Системи прве генерације погона мотора на гас, без обзира на мању прецизност дозирања горива, имали су значајне предности у односу на карбураторске motore у погледу емисије токсичних компонената (табела 4.17).

Табела 4.17: Садржај токсичних компонената у издувним  
гасовима мотора на бензин и LPG [50]

	HC, g/km	CO, g/km	NOx, g/km	CO (леп) , g/km
Бензин	1,4	16,6	1,6	1,8
LPG	0,9	1,3	1,3	0,1
Разлика	-38%	-92%	-22%	-95%

У табели 4.18 су приказане вредности садржаја основних токсичних компонената у издувним гасовима мотора за случај коришћења система GTI (Gas Injection Technologies) који је изведен у варијанти MPI-секвенцијални и погона на бензин.

Табела 4.18: Садржај токсичних компонената у издувним гасовима мотора на бензин и GTI LPG, [50]

	HC, g/km	CO, g/km	NOx, g/km	CO <sub>2</sub> , g/km
Бензин	0,14	1,49	0,03	334,5
GTI LPG	0,01	0,05	0,02	263,5
Разлика	-93%	-97%	-33%	-21%

Сагоревање LPG у моторним возилима упоређено са савременим бензинским возилима опремљеним с оксидацијским катализатором емитује [26]:

- 10% мање угљен-диоксид,
- 40% мање азотних оксида,
- 85% мање угљоводоника,
- 75% мање угљен-монооксида и
- врло смањен садржај сумпор-диоксида.

Упоређено с нискосумпорним дизелом LPG емитује [26]:

- 90% мање азотних оксида,
- 90% мање угљоводоника,
- 85% мање честица и
- 60% мање угљен-монооксида

Када се упоређује емисија тзв. “нестандардизованих” супстанци које загађују ваздух, као што су алдехиди, бензен, толуен и ксилен с емисијама бензина и/или дизела, здравствене и еколошке предности LPG су неупоредиво веће. Бројна испитивања утицаја емисије штетних супстанци издувних гасова из моторних возила непобитно показују да LPG као моторно гориво упоређен с бензином/дизелом има најмањи потенцијални ризик за канцерогена обољења.

Испитивањем је показано да моторно возило које на бензин или дизел задовољава захтеве Еуро 3 стандарда, употребом LPG достиже захтеве Еуро 4 стандарда.



#### 4.6.4. Смањење емисије издувних гасова коришћењем природног гаса у моторним возилима

Са еколошке тачке возила на природни гас (CNG) имају знатно мању емисију штетних материја што их чини веома погодним за употребу. Многобројним испитивањима широм света утврђено је да смањење штетних емисија може бити значајно [45]:

- угљен-диоксид – 22÷24% смањење у односу на бензин, 10% у односу на дизел,
- угљен-моноксид – 76% смањење у односу на бензин; 5% у односу на дизел,
- азотни оксиди – 83% смањење у односу на бензин, 80% у односу на дизел,
- угљоводоници – 88% смањење у односу на бензин, 80% у односу на дизел,
- бензен – 99% смањење у односу на бензин, 97% у односу на дизел,
- честице – није применљиво на бензин, елиминисано у односу на дизел,
- сумпор – скоро 100% смањење у односу на бензин и дизел.

Овај ниво емисије штетних материја CNG возила задовољава прописе Еуро 5 и још преостаје резерве за неке будуће прописе (Еуро 6).

#### 4.6.5. Смањење емисије издувних гасова коришћењем етанола у моторним возилима

Емисије издувних гасова су један од главних разлога за употребу етанола као горива. Емисије којима се може управљати коришћењем етанола су азотни оксиди (NO<sub>x</sub>), угљен-моноксид (CO) и угљоводоници (HC).

Истраживања су показала да се:

- Коришћењем горива са високим садржајем етанола емисије угљоводоника могу смањити за 66%. Угљоводоници обично представљају 80% укупних емисија из моторних возила;
- Стварање CO се умногоме смањује употребом етанола због садржаја кисеоника у етанолу. За сагоревање је потребно мање кисеоника из ваздуха, те се тако ствара мање споредних производа као што је CO, па се смањује глобално загревање;

- У поређењу са бензином формирање токсичних једињења из етанола у атмосфери је релативно споро;
- Главни производи непотпуног сагоревања код употребе етанола су ацеталдехид (токсични загађивач ваздуха) и пероксиацетилнитрат (иритант очију и узрочник оштећења биљака), као и код употребе бензина;
- Употреба бензина са садржајем етанола може довести до повећања емисија испарљивих супстанци пошто су гума, пластика и други материјали пермеабилни за етанол; шта више, етанол може смањити радни капацитет филтера са активним угљем који се користе за контролу емисија испарљивих супстанци на возилима;
- Садашњи модели возила не могу се потпуно контролисати у погледу емисија испаравања етанола. Мада су 1998. године усвојени строжи стандарди за емисије испарљивих материја који су применљиви на моделе до 2006. године, поступци испитивања односе се само на горива у употреби у време усвајања прописа, те не обухватају етанолне смеше. Ипак, због нижег садржаја штетних испарљивих компонената у етанолском гориву, мањи је и ниво штетних испарења из ових моторних возила;
- Коришћењем етанола значајно се смањује могућност еколошког акцидента при транспорту у односу на транспорт бензина (због његове мање токсичности);
- Еколошка погодност примене етанола као горива огледа се и у мањем загађењу водених екосистема у односу на бензин.

#### 4.6.6. Смањење емисије издувних гасова коришћењем метанола у моторним возилима

Метанол М85 у односу на бензин смањује настанак смога за 59%. У издувним гасовима возила која користе метанол М85 нема емисије сумпордиоксида ( $\text{SO}_2$ ) и за 50% је мања емисија угљен-моноксида ( $\text{CO}$ ) у односу на бензин. Такође, у поређењу са бензинским погоном, возила на метанол имају ниже емисије азотдиоксида ( $\text{NO}_2$ ) и угљендиоксида ( $\text{CO}_2$ ). Међутим, велики еколошки проблем при употреби метанола М85 у возилима је велика емисија канцерогених алдехида [45].

4.6.7. Смањење емисије загађујућих супстанци у издувним гасовима коришћењем алтернативног горива Р-серије у моторним возилима

Тестови са горивом Р-серије показују ниже вредности емисије свих издувних гасова (угљен-моноксида-СО; угљоводоника неметанског састава-НМНС, азотних оксида-NO<sub>x</sub>) у односу на ЕУРО 4 (бензин и дизел) погон, што је и дато у табели 4.19.

Табела 4.19: Вредности емисије издувних гасова у g/km, [40]

Врста горива	НМНС	СО	NO <sub>x</sub>
Гориво Р-серије	0,05	0,67	0,04
ЕУРО 4 бензин	0,125	1,0	0,08
ЕУРО 4 дизел	0,156	0,8	0,25

## **5. МОДЕЛИРАЊЕ И СИМУЛАЦИЈА КОМБИНОВАНОГ ХИБРИДНОГ ЕЛЕКТРИЧНОГ ВОЗИЛА**

### **5.1. Појам моделирања и симулације**

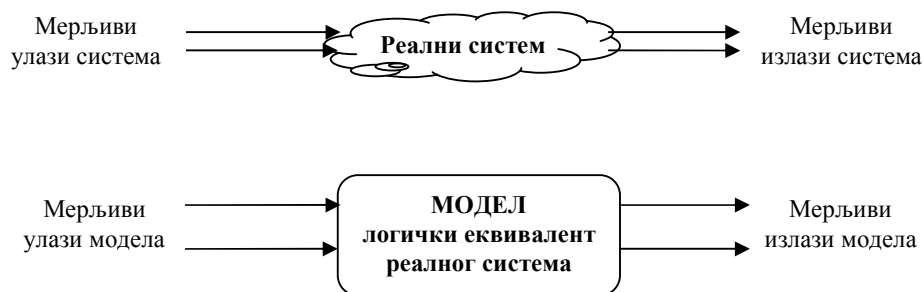
Моделирање изражава нашу способност да мислимо и замишљамо, да користимо симболе и језике, да комуницирамо, да вршимо генерализације на основу искуства, да се суочавамо са неочекиваним. Оно нам омогућава да уочавамо обрасце, да процењујемо и предвиђамо, да управљамо процесима и објектима, да изложимо значење и циљ. Управо зато, моделирање се најчешће посматра као најзначајније концептуално средство које човеку стоји на располагању. Међутим, у пракси се често дешава да се користе неадекватни модели, што с једне стране умањује ефикасност, а с друге стране може имати катастрофалне последице било у технолошком, социјалном или историјском погледу.

У најширем смислу, моделирање представља исплативо (у смислу трошкова) коришћење нечег (модела) уместо нечег другог (реални систем) са циљем да се дође до одређеног сазнања. Резултат моделирања је модел. Модел је апстракција реалности у смислу да он не може да обухвати све њене аспекте. Модел је упрошћена и идеализована слика реалности. Он омогућава да се суочимо са реалним светом (системом) на поједностављен начин, избегавајући његову комплексност и иреверзибилност, као и све опасности које могу проистећи из експеримента над самим реалним системом. Другим речима, модел је опис реалног система са свим оним карактеристикама које су релевантне из нашег угла посматрања. То заправо значи да у процесу моделирања морамо извршити избор између оних елемената и карактеристика система које су од значаја за наше истраживање и које ће бити обухваћене моделом и преосталих за нас ирелевантних, које наш модел неће садржати. Стога и кажемо да модел представља упрошћену слику реалног система, те као такав не садржи само објекте и атрибуте реалног система, већ и одређене претпоставке о условима његове валидности. Циљ модела није, наравно, да прецизно репродукује стварност у свој њеној сложености. Његов је циљ да уобличи на видљив, често формалан начин, оно што је суштинско за разумевање неког аспекта његове структуре [51].

Модели су увек апстракција реалног система, због тога задржавају само оне карактеристике оригинала које су битне за сврху његовог изучавања. Било какав модел мора да остави по страни читав низ детаља који су иначе саставни део појаве која се анализира. Тако, на пример, један идеалан модел система набавке требало би да узима у обзир и чињеницу да је потражња, између осталог, и функција времена у метеоролошком смислу, које је опет функција активности сунца. Тешко је међутим претпоставити да би било који економски користан и оправдан модел узео у обзир и ову чињеницу.

Ниво апстракције у процесу моделирања утиче на валидност модела, односно на успешност представљања реалног система моделом. Проблем валидације модела јавља се у сваком процесу моделирања, а проистиче из чињенице да је модел увек поједностављени поглед на реални систем који је предмет посматрања. Сувише сложени или савршени модели који имају способност да за исти скуп улазних величина производе исте излазне вредности као и реални системи, чак иако су оствариви, по правилу су прескупи и неадекватни за експериментисање. С друге стране, сувише поједностављени модели не одсликавају на прави начин посматрани систем, а резултати који се добијају њиховом применом могу да буду неадекватни и погрешни. Стога, опредељујући се за ниво апстракције у посматрању реалног система, потребно је у одређеном тренутку повући границу у реалном систему и то тако да резултујући модел што верније одсликава посматрани систем, али и да, с друге стране, његова сложеност и цена не буду ограничавајући фактори.

Слика 5.1 показује границу која је повучена приликом креирања модела. Нису узети у обзир сви мерљиви улази референтног система и модел даје излазе који се разликују од реалног система.

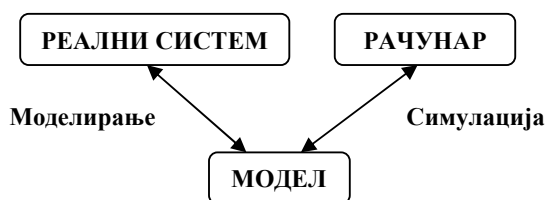


Слика 5.1: Реални систем и модел посматрани као „црна кутија“, [52]

Да би модел био користан, од суштинске је важности то да се за дати ограничени скуп његових описних променљивих, његово понашање може одредити на практичан начин: аналитички, нумерички или путем експеримента, где се за извесне улазе, посматрају одговарајући излази.

Симулација у свакодневној употреби може да означи већи број различитих активности, као на пример: сложене видео игре, испитивање утицаја бројних фактора на лет нових модела авиона, део експеримента у социо-психолошким истраживањима итд. Када реч користе рачунарски стручњаци, организатори, менаџери или статистичари, обично под симулацијом подразумевају процес изградње апстрактних модела за неке системе или подсистеме реалног света и обављање већег броја експеримената над њима. Посебно нас интересује случај када се ти експерименти одвијају на рачунару. Тада говоримо о рачунарском моделирању и симулацији.

Израз моделирање и симулација изражава сложену активност која укључује три елемента: реални систем, модел и рачунар. Ова се активност на упрошћен начин може представити следећим дијаграмом (слика 5.2).



Слика 5.2: Релације моделирања и симулације, [52]

Под реалним системом подразумевамо уређен, међузависан скуп елемената који формирају јединствену целину и делују заједнички како би остварили задати циљ или функцију, без обзира да ли се ради о природном или вештачком систему, и такође, без обзира да ли тај систем у посматраном тренутку постоји или се његово постојање планира у будућности. Реални систем је извор података о понашању, а ови се подаци јављају у облику зависности  $X(t)$ , где је  $X$  било која променљива која интересује истраживача, а  $t$  је време мерено у одговарајућим јединицама. Другим речима, реални систем се може посматрати као извор података за спецификацију модела.

Модел, као и сваки реални систем, има своје објекте који се описују атрибутима или променљивим. Он је апстрактни приказ система и даје његову структуру, његове компоненте и њихово узајамно деловање. С обзиром да се за симулацију најчешће

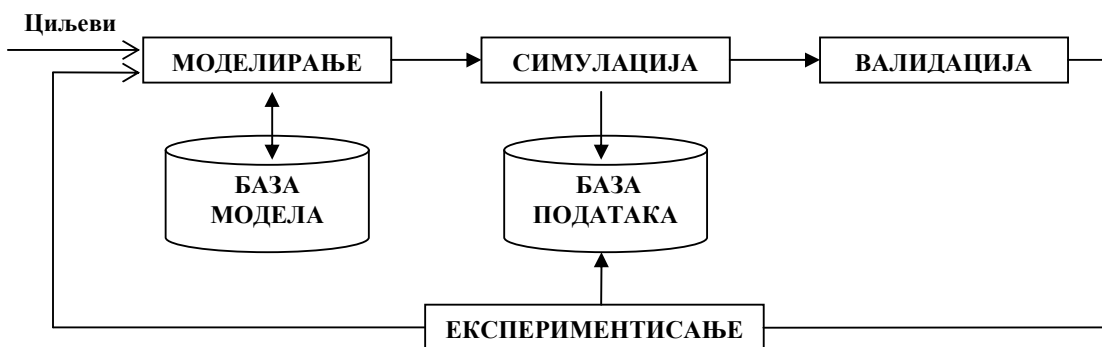
користи рачунар, то се под моделом може подразумевати скуп инструкција (програм) који служи да се генерише понашање симулираног система.

Рачунар као трећа компонента ове активности, представља уређај способан за извршење инструкција модела, који на бази улазних података генерише развој модела у времену. Рачунари, уз различите методе и програмске алате, омогућавају погодан амбијент за стварање сложених модела и ефикасан рад над њима.

Међутим, поред ових елемената, пажњу треба усмерити и на откривање и дефинисање релација које постоје између њих. Моделирање је процес којим се успоставља веза између реалног система и модела, док је симулација процес који успоставља релацију између модела и рачунара (слика 5.2).

Релација моделирања односи се на валидност модела. Валидност или ваљаност модела описује колико верно један модел представља симулирани систем. Процес утврђивања степена слагања података о реалном систему са подацима модела назива се валидација модела. Процес валидације је веома значајан, јер се на основу њега доносе одлуке о употребљивости резултата симулације, измени модела, измени података (улазних променљивих, параметара), даљем наставку симулације, понављању симулације, итд.

Релација симулације односи се на проверу да ли симулациони програм верно преноси модел на рачунар као и тачност којом рачунар извршава инструкције модела. Пре поређења стварних података са подацима које генерише рачунар (симулатор), мора се утврдити тачност, односно коректност симулатора. Процес процене коректности симулатора назива се верификација.



Слика 5.3: Процес моделирања и симулације, [51]

На слици 5.3 су приказане активности процеса моделирања и симулације са базом модела као централним објектом. Процесом моделирања се управља на основу циљева

који се генеришу ван граница система. Сваки нови циљ иницира активност синтезе модела. При синтези модела се користи расположиво знање из базе модела и базе података. Ове базе чувају и организују прикупљене податке о реалном систему. Фазе симулације (експериментисање са моделом) и валидације следе фазу изградње модела.

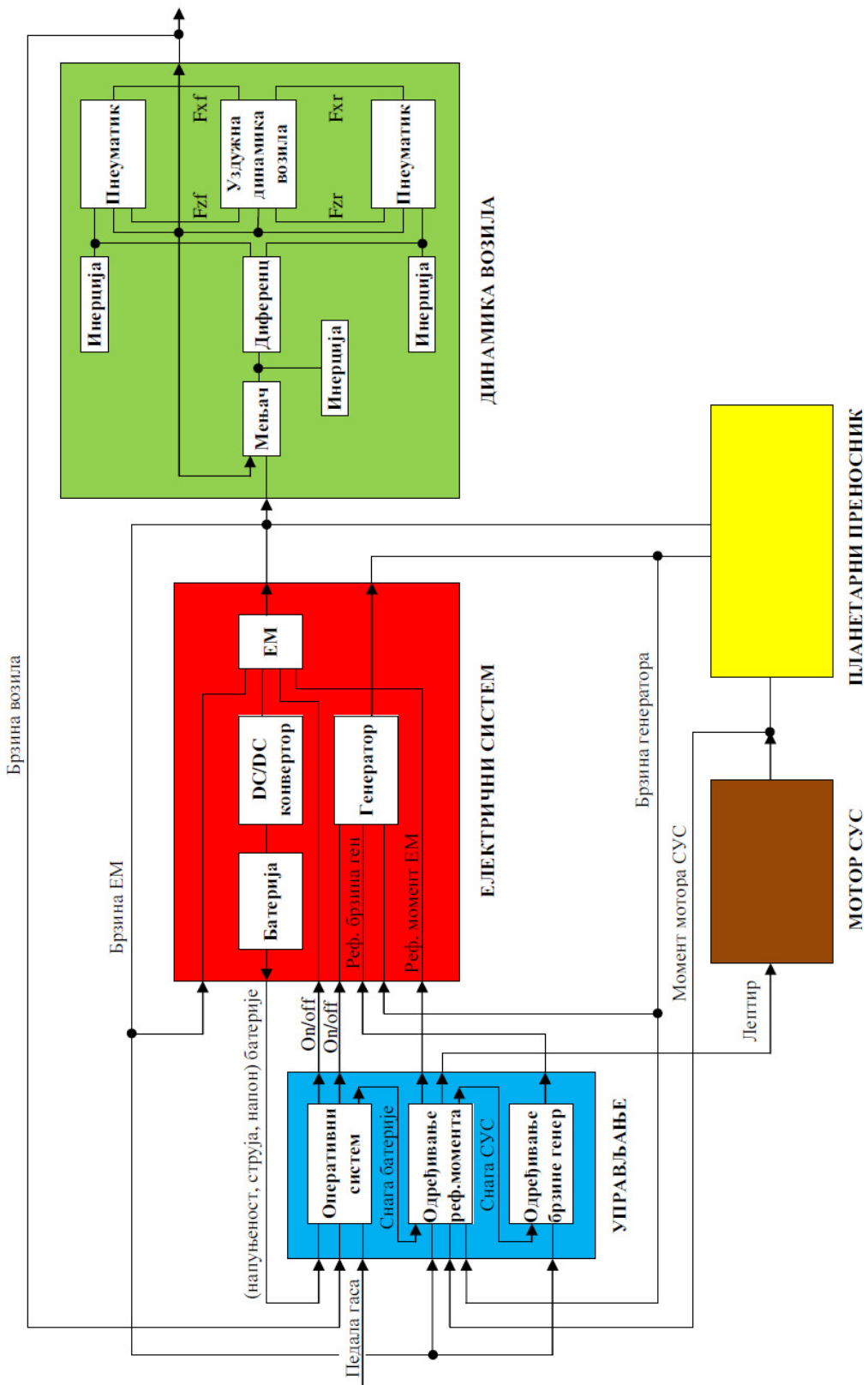
## 5.2. Моделирање комбинованог ХЕВ

У овом поглављу моделирано је комбиновано ХЕВ, слично као у аутомобилима Тојота Приус. Блок дијаграм комбинованог ХЕВ дат је на слици 5.4. Модел комбиновано ХЕВ, како би што реалније био приказан, састоји се од: електричног подблока, подблока мотор СУС, подблока управљање енергијом, подблока планетарни преносник и подблока динамика возила. При моделирању комбинованог ХЕВ коришћен је програмски пакет Матлаб верзије 7 и његов Симулинк (SimPowerSystems™ и SimDriveline™).

Класификација модела комбинованог ХЕВ може да буде изведена по више критеријума:

- према променљивима у моделу, модел комбинованог ХЕВ је неаутономни (јер зависи од улазне променљиве педале гаса) и отворен (јер има излазну променљиву  $v$  – брзину ХЕВ),
- према природи вредности променљиве „време“ модел комбинованог ХЕВ је модел са континуалним временом и континуалним променама стања,
- према временској структури модела, модел комбинованог ХЕВ је временски променљиви модел (структура модела зависи од времена),
- према детерминисаности променљивих модел комбинованог ХЕВ је недетерминистички (стохастички) модел,
- према предвиђању будућности модел комбинованог ХЕВ је неантиципаторски модел јер за израчунавање вредности променљивих стања не узимају у обзир будуће вредности улазних променљивих,
- према линеарности модел комбинованог ХЕВ је линеарни модел јер даје излазе сагласно законитостима линеарних трансформација.

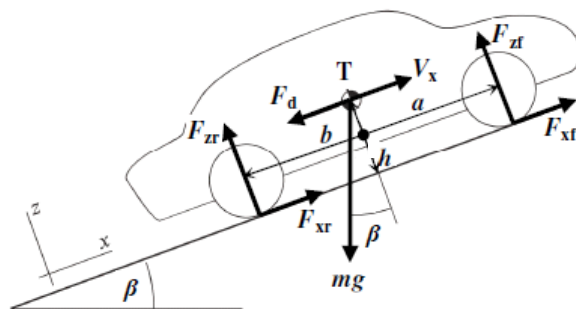




Слика 5.4: Блок дијаграм комбинованог ХЕВ

5.2.1. Моделирање динамике возила

Динамика кретања возила представља скуп свих сила и момената (спрегова) који делују на возило. Посматрамо возило које се креће по косој равни под углом нагиба  $\beta$  (слика 5.5). Осовине возила су паралелне и леже у равни паралелно са путем по којем возило се креће. Хоризонтална  $x$  оса се налази у равни осовина и нормална је на осовине возила, а  $z$  оса није паралелна гравитационој сили  $mg$  (јер је возило на косој равни) али је нормала на раван пута.



Слика 5.5: Возило на косој равни [54]

Погонска сила предњих и задњих пнеуматика ( $F_{xf}$  и  $F_{xr}$ ) покреће возило напред брзином  $V_x$ . Гравитациона сила делује у тежишту возила Т. Зависно од угла нагиба гравитациона сила вуче возило напред или назад. Отпор ваздуха ( $F_d$ ) успорава возило при кретању и ради једноставности израчунавања предпостављамо да делује у тежишту возила [58].

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \cdot \rho \cdot A \cdot V_x^2 \quad (5.1)$$

где је:

$C_d$  – коефицијент отпора ваздуха,  $N \cdot s^2 / kg \cdot m$ ;

$\rho$  – густина ваздуха ( $1,2 \text{ kg/m}^3$ );

$A$  – чеона површина попречног пресека возила,  $m^2$ ;

Са слике 5.5 можемо добити следеће једначине кретања возила:

$$\Sigma x = 0 \Rightarrow m \cdot \dot{V}_x = F_{xf} + F_{xr} - F_d - mg \cdot \sin\beta \quad (5.2)$$

$$\Sigma z = 0 \Rightarrow F_{zf} + F_{zr} = mg \cdot \cos\beta \quad (5.3)$$

$$\Sigma M = 0 \Rightarrow F_{zf} \cdot (a+b) = h \cdot (F_d - mg \cdot \sin\beta - m \cdot \dot{V}_x) + b \cdot mg \cdot \cos\beta \quad (5.4)$$

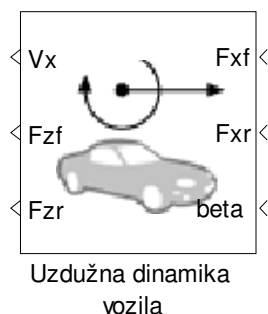
где је:

$F_{zf}$ ,  $F_{zr}$  – нормална (вертикална) сила предњих и задњих пнеуматика, N;

$a$ ,  $b$  – удаљеност тежишта од предње и задње осовине, m;

$h$  – висина тежишта (удаљеност тежишта од тла), m.

При моделирању динамике возила коришћен је блок Уздужна динамика возила (слика 5.6) из датотеке SimDriveline™ (Матлаб 7).



Слика 5.6: Блок Уздужна динамика возила

Улазни сигнали у блок Уздужна динамика возила су погонска сила предњих и задњих пнеуматика и угао нагиба, а излазни сигнали из блока су нормална сила предњих и задњих пнеуматика и брзина возила. Ови сигнали су повезани једначинама 5.2, 5.3 и 5.4. Параметре у блок дијалогу Уздужна динамика возила (маса возила  $m$ , удаљеност тежишта од предње осовине  $a$ , удаљеност тежишта од задње осовине  $b$ , висина тежишта  $h$ , чеона површина попречног пресека возила  $A$ , коефицијент отпора ваздуха  $C_d$  и почетна брзина возила  $V_{x0}$ ) задајемо користећи каталожке податке возила Тојота Приус.

### 5.2.2. Моделирање пнеуматика

Модел пнеуматика описује контакт пнеуматика са путем. Модел укључује само уздужно кретање пнеуматика, без нагиба или бочног кретања. Пнеуматик је флексибилан и у контакту је са површином пута, па је подложен проклизавању. При великим брзинама пнеуматик делује као амортизер, а при малим брзинама (када се покреће и зауставља) се понаша као деформабилни (еластични) прстен. Ефективни

динамички полупречник пнеуматика  $r_e$  је обично нешто мањи од номиналног полупречника јер се пнеуматик деформише под вертикалним оптерећењем [55].

Ако пнеуматик непроклизава, његова брзина је [58]:

$$V_x = r_e \cdot \Omega \quad (5.5)$$

где је  $\Omega$  - угаона брзина точка, rad/s

У стварности сваки пнеуматик проклизава брзином  $V_{sx} = V_x - r_e \cdot \Omega \neq 0$ . Клизање точка је

$$\kappa = -V_{sx} / |V_x| \quad (5.6)$$

За блокиран точак вредност клизања је  $\kappa = -1$ , а за идеално котрљање је  $\kappa = 0$ .

Пнеуматик је такође флексибилан и зато се деформише, па додирна тачка пнеуматика са путем се окреће различитом угаоном брзином  $\Omega'$  од точка. Клизање додирне тачке је

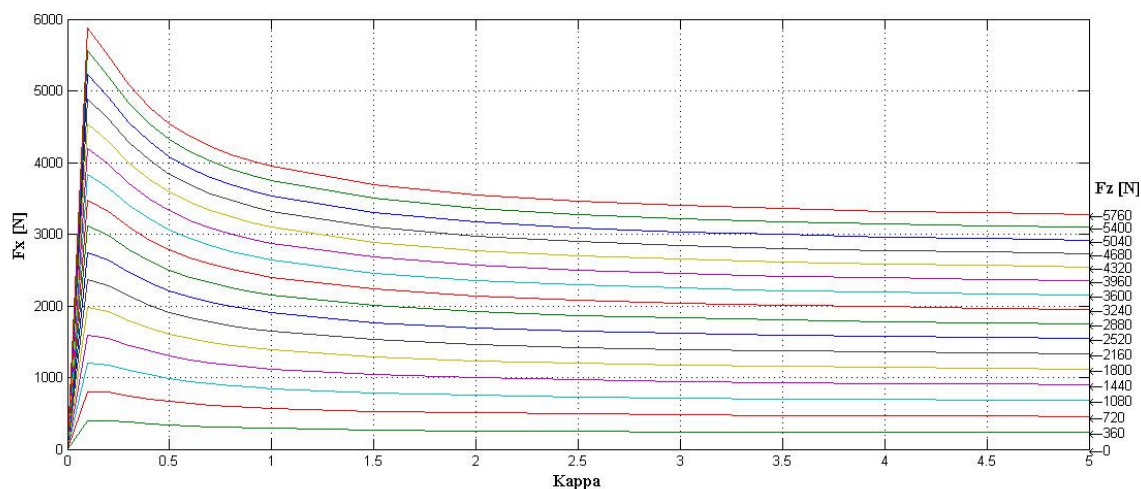
$$\kappa' = -V'_{sx} / |V_x| \quad (5.7)$$

где је брзина клизања додирне тачке  $V'_{sx} = V_x - r_e \cdot \Omega'$ , [58].

Деформација пнеуматика у једнака је разлици клизања точка и контактне тачке, па се добија једначина [58]:

$$\frac{du}{dt} = V'_{sx} - V_{sx} \quad (5.8)$$

Модел пнеуматика укључује сва могућа понашања пнеуматика од покретања до заустављања. За модел пнеуматика значајна је зависност  $F_x = f(\kappa', F_z)$  која се назива карактеристична функција пнеуматика (слика 5.7).



Слика 5.7: Карактеристична функција пнеуматика  $F_x = f(\kappa', F_z)$

У овом моделу  $u$  и  $\kappa'$  су мале вредности. Веза  $F_x$  са  $u$  и  $u$  са  $\kappa'$  је линеарна [58]:

$$F_x = C_{F_x} \cdot u = C_{F_{\kappa'}} \cdot \kappa' \quad (5.9)$$

где је уздужна крутост пнеуматика:  $C_{F_x} = \left( \frac{\partial F_x}{\partial u} \right)_{u=0}$  и  $C_{F_{\kappa'}} = \left( \frac{\partial F_x}{\partial \kappa'} \right)_{\kappa'=0}$  ;

$$u = \sigma_{\kappa} \cdot \kappa' \quad (5.10)$$

где је дужинско попуштање  $\sigma_{\kappa} = C_{F_{\kappa'}} / C_{F_x}$ .

Сада, диференцијална једначина деформације пнеуматика [58] је:

$$\frac{du}{dt} + \left( \frac{1}{\sigma_{\kappa}} \right) \cdot |V_x| \cdot u = -V_{sx} \quad (5.11)$$

Из једначина кретања за точак:

$$I_w \cdot \frac{d\Omega}{dt} = \tau_{drive} - r_e \cdot F_x \quad (5.12)$$

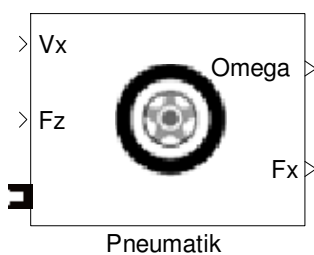
$$m \cdot \frac{dV_x}{dt} = F_x - mg \cdot \sin\beta \quad (5.13)$$

може се израчунати угаона брзина  $\Omega$  и погонска сила  $F_x$ , где је:

$I_w$  – инерција склопа точак-пнеуматик,  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ;

$\tau_{drive}$  – обртни момент на осовини точка,  $\text{N} \cdot \text{m}$ .

При моделирању пнеуматика коришћен је блок Пнеуматик (слика 5.8) из датотеке SimDriveline™.

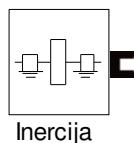


Слика 5.8: Блок Пнеуматик

Улазни сигнали у блок Пнеуматик су нормална сила пнеуматика и брзина возила, а излазни сигнали из блока су погонска сила пнеуматика и угаона брзина. Улаз преноси обртни момент са осовине точка на пнеуматик. Параметре у блок дијалогу Пнеуматика (полупречник пнеуматика  $r_e$ , нормална сила пнеуматика  $F_z$ , погонска сила  $F_x$ , клизање  $\kappa$ , дужинско попуштање  $\sigma_{\kappa}$ ) задајемо користећи каталожке податке возила Тојата Приус.

### 5.2.3. Моделирање инерције

Инерција представља ротацију крутог елемента (код динамике возила трансмисије или пнеуматика) око осе погонског вратила. При моделирању инерције коришћен је блок Инерција (слика 5.9) из библиотеке SimDriveline™.



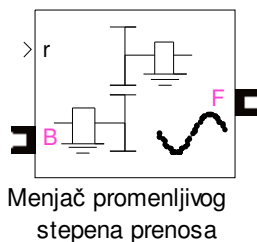
Слика 5.9: Блок Инерција

Излаз из блока Инерција може да буде повезан на В (погонско) или F (гоњено) вратило променљивог зупчастог преносника и зависно од тога ефективна инерција је:

- (стална инерција) · (променљиви преносни однос зупчаника), ако је прикључен на В порт,
- (стална инерција) / (променљиви преносни однос зупчаника), ако је прикључен на F порт.

### 5.2.4. Моделирање мењача променљивог степена преноса

Мењач променљивог степена преноса ограничава два повезана вратила, погонско В и гоњено F. При моделирању мењача променљивог степена преноса коришћен је блок Мењач променљивог степена преноса (слика 5.10) из датотеке SimDriveline™.



Слика 5.10: Блок Мењач променљивог степена преноса

Поред обртног момента вратила В ( $\tau_B$ ), улазни сигнал у блок Мењача је и  $r$  који одређује његов променљив степен преноса.

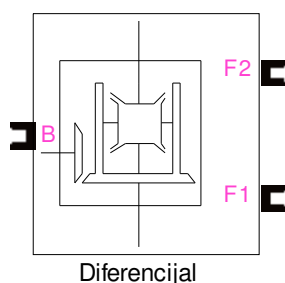
Одређивање променљивог степена преноса  $g_{FB}(t)$  је преко угаоних брзина или обртних момената два вратила [58]:

$$g_{FB}(t) = \omega_B / \omega_F = \tau_F / \tau_B \quad (5.14)$$

Задајемо у блок дијалогу Мењача променљивог степена преноса смер осе ротације F. Ако је смер осе ротације F супротан од смера осе B у блок дијалогу чекирамо понуђени израз и обрнуто. Такође, у блок дијалогу чекирамо и следећи израз, ако блок Мењач променљивог степена преноса садржи Кориолисово убрзање као улаз.

### 5.2.5. Моделирање диференцијала

Диференцијал обртно кретање око уздужне осе B дели на обртно кретање око две бочне осе F. При моделирању диференцијала коришћен је блок Диференцијал (слика 5.11) из датотеке SimDriveline™.



Слика 5.11: Блок Диференцијал

Уздужно вратило је улаз у блок Диференцијал, а излаз су два бочна вратила. Обртно кретање уздужног вратила је подељено погонским преносним односом  $g_D$  (чију вредност задајемо у блок дијалогу Диференцијал) на два бочна вратила.

Три степена слободе кретања (уздужна  $\omega_B$  и бочне  $\omega_{F1}$  и  $\omega_{F2}$ ) зависе од преносника који ограничава кретање и смањује број степени слободе на два. Један степен слободе је одређен с два бочна вратила једнаких угаоних брзина ( $\omega_{F1} = \omega_{F2}$ ) и фиксним преносним односом у односу на уздужно вратило. Други степен слободе је одређен с непомичним уздужним вратилом ( $\omega_B = 0$ ), док се бочна вратила окрећу у супротним смеровима ( $\omega_{F1} = -\omega_{F2}$ ). Уздужно (улазно/погонско) обртно кретање добијамо из кинематске везе:

$$\omega_B = (1/2) \cdot g_D \cdot (\omega_{F1} + \omega_{F2}) \quad (5.14)$$

где је  $g_D$  – погонски преносни однос.

Обртни момент бочних оса  $\tau_{F1}$  и  $\tau_{F2}$  су повезани са уздужним обртним моментом  $\tau_B$  преко једнакости снаге улаза и снаге излаза диференцијала:

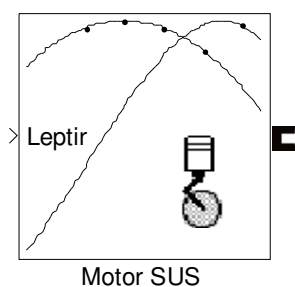
$$\omega_B \tau_B = \omega_{F1} \tau_{F1} + \omega_{F2} \tau_{F2} \quad (5.15)$$

Заменом  $\omega_B$  из једначине 5.14 у једначину 5.15, добијамо:

$$g_D \tau_B = 2(\omega_{F1} \tau_{F1} + \omega_{F2} \tau_{F2}) / (\omega_{F1} + \omega_{F2}) \quad (5.16)$$

### 5.2.6. Моделирање мотора СУС

При моделирању мотора СУС коришћен је блок Мотор СУС (слика 5.12) из датотеке SimDriveline™.



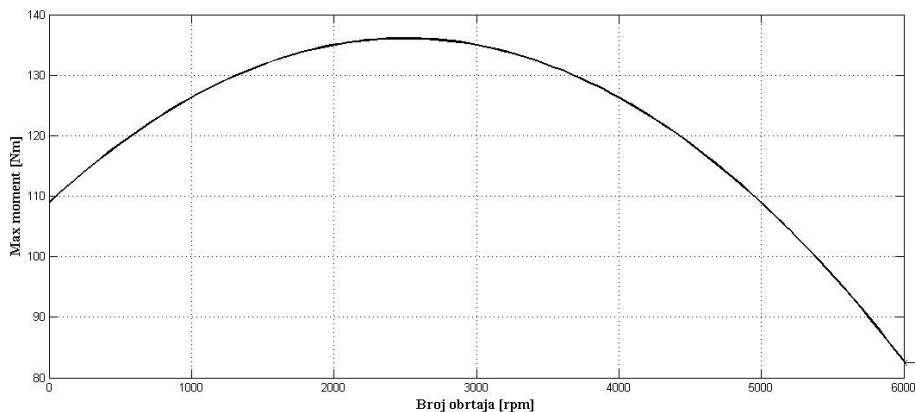
Слика 5.12: Блок Мотор СУС

Улазни сигнал у блок Мотор СУС је Лептир и он директно управља излазним обртним моментом ( $\tau$ ) који мотор ствара и индиректно управља бројем обртаја ( $\Omega$ ). Излазни сигнал из блока Мотор СУС је број обртаја мотора.

Модел мотора заснива се на вези између обртног момента и броја обртаја (слика 5.13). Зависност обртног момента од броја обртаја као и параметре (максимална снага  $P_{max}$ , број обртаја при максималној снази  $\Omega_0$  и максимална угаона брзина  $\Omega_{max}$ ) у блок дијалогу Мотора СУС ми задајемо.

Сигнал лептира  $T$  (који има вредност од 0 до 1) одређује обртни момент мотора:  $\tau = T \cdot g(\Omega)$ . Број обртаја је  $0 \leq \Omega \leq \Omega_{max}$ . Снага мотора је по дефиницији једнака производу обртног момента и броја обртаја мотора. Максималну снагу  $P_{max}$  дефинише  $\Omega_0$  тако да је  $P_{max} = P(\Omega_0)$ . Такође, дефинишемо  $w = \Omega / \Omega_0$  и  $P(\Omega) = P_{max} \cdot p(w)$  и тада је  $p(1) = 1$  и  $dp(1)/dw = 0$ .





Слика 5.13: Зависност обртног момента од броја обртаја

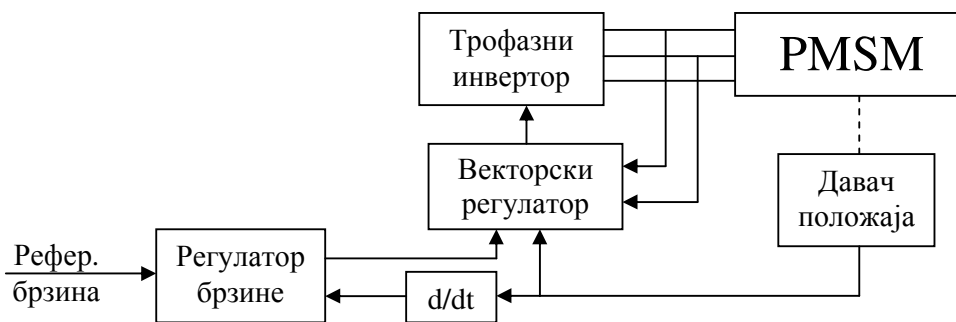
Максимални момент мотора је:

$$\tau_{\max} = g(w) = (P_{\max} / \Omega_0) \cdot [p(w) / w] \quad (5.17)$$

Урађени модел мотора СУС не обухвата процес сагоревања смеше гориво ваздух.

### 5.2.7. Моделирање погона са синхроним машином

Погон са синхроним машином се састоји од синхроне машина с перманентним магнетом (PMSM), трофазног инвертора, векторског регулатора и регулатора брзине (слика 5.14).



Слика 5.14: Шема погона са синхроним машином

Синхронна машина с перманентним магнетом може да ради као електромотор или као генератор. Начин рада одређује предзнак механичког обртног момента (позитиван за моторни и негативан за генераторски).

Синхрона машина с перманентним магнетом (за синусоидалну електромоторну силу) описана је следећим једначинама у  $d-q$  координатном систему:

$$\frac{di_d}{dt} = \frac{u_d}{L_d} - \frac{R_s}{L_d} i_d + \frac{L_q}{L_d} p \omega_r i_q \quad (5.18)$$

$$\frac{di_q}{dt} = \frac{u_q}{L_q} - \frac{R_s}{L_q} i_q + \frac{L_d}{L_q} p \omega_r i_d - \frac{\lambda}{L_q} p \omega_r \quad (5.19)$$

$$T_e = 1,5 p [\lambda i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \quad (5.20)$$

где је:

$L_q, L_d$  – индуктивност, Н;

$R_s$  – отпор статорског намотаја,  $\Omega$ ;

$i_q, i_d$  – струја, А;

$u_q, u_d$  – напон, V;

$\omega_r$  – угаона брзина ротора, rad/s;

$\lambda$  – амплитуда флукса проузрокована сталим магнетима ротора у статор фазама, Wb;

$p$  – број пари полова;

$T_e$  – електромагнетни обртни момент, N·m.

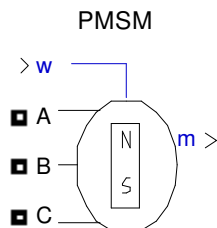
Индуктивности  $L_q$  и  $L_d$  представљају везу између фазне индуктивности и положаја ротора (услед испупчености ротора). Нпр. индуктивност између фазе  $a$  и  $b$  (фаза  $c$  је отворена) је:

$$L_{ab} = L_d + L_q + (L_d - L_q) \cdot \cos\left(2\theta_e + \frac{\pi}{3}\right) \quad (5.21)$$

где је  $\theta_e$  – положај вектора роторског флукса, rad.

За кружни ротор, нема промене у фазној индуктивности, па је  $L_d=L_q=L_{ab}/2$ . Код испупченог ротора је  $L_d = (\max L_{ab})/2$  и  $L_q = (\min L_{ab})/2$ .

При моделирању PMSM коришћен је блок Синхрона машина с перманентним магнетом (слика 5.13) из датотеке SimPowerSystems™.

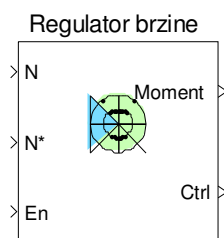


Слика 5.13: Блок Синхрона машина с перманентним магнетом

Улазни сигнал у блок Синхрона машина с перманентним магнетом је брзина машине  $w$ , а излазни сигнали су статорске струје ( $i_{sa}, i_{sb}, i_{sc}, i_{sq}, i_{sd}$ ), статорски напони ( $u_{sq}, u_{sd}$ ), логички сигнали ( $h_a, h_b, h_c$ ), брзина ротора  $w_m$ , угаони положај ротора  $\theta$  и електромагнетни обртни момент  $T_e$ .

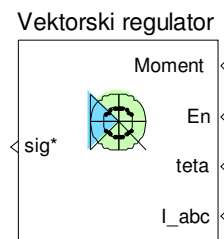
Параметре у блок дијалогу Синхрона машина с перманентним магнетом (отпор статорског намотаја  $R_s$ , индуктивност  $L_q$  и  $L_d$ , флуks, константа напона, константа момента, број пари полова  $p$ , брзина ротора  $w_m$ , угаони положај ротора  $\theta$  и струје  $i_a$  и  $i_b$ ) сами задајемо користећи каталожке податке возила Тојата Приус.

Регулатор брзине се заснива на PI регулатору, слика 5.14.



Слика 5.14: Блок Регулатор брзине

Улазни сигнали у блок Регулатор брзине су брзина ротора  $w_m$  (улаз N), сигнал који управља радом машине (улаз En) и референтни момент (улаз N\*). Излаз из овог регулатора су Момент који се користи као улазни сигнал у векторском регулатору и Ctrl (регулисани вектор) излаз који обухвата: референтни момент, грешку у брзини (разлику између референтне и тренутне брзине) и референтну брзину. У блок дијалог Регулатор брзине уносимо вредности параметара: брзине, улазне референтне брзине, пропорционалног појачања, интегралног појачања, граничне фреквенције нископропусног филтера, опсега излазног момента регулатора и времена управљања. При моделирању Векторског регулатора коришћен је блок Векторски регулатор (слика 5.15) из датотеке SimPowerSystems™.



Слика 5.15: Блок Векторски регулатор

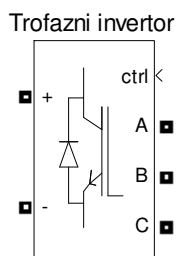
Векторски регулатор обавља трансформацију  $dq$  синхроне компоненте струје ротора у трофазне стационарне  $abc$ . Поступак трансформације се заснива на инверзној Парковој и инверзној Кларковој трансформацији. Прво се врши трансформација из синхроног  $dq$  у двофазни стационарни  $\alpha\beta$  систем помоћу инверзне Паркове трансформације:

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad (5.22)$$

Затим се врши трансформација из двофазног стационарног  $\alpha\beta$  у трофазни стационарни  $abc$  систем помоћу инверзне Кларкове трансформације:

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \frac{3}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \\ -1/2 & \sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (5.23)$$

Улазни сигнали у блок Векторски регулатор су Момент, сигнал могућности машине (улаз  $E_n$ ), угаони положај ротора  $\theta$  (улаз  $teta$ ), трофазне струје  $i_a, i_b, i_c$  (улаз  $I_{abc}$ ), а излаз из овог блока је побудни импулс (излаз  $sig^*$ ). У блок дијалог Векторски регулатор уносимо вредности параметара: број пари полова, флукс и време управљања. При моделирању Трофазног инвертора коришћен је блок Трофазни инвертор (слика 5.16) из датотеке SimPowerSystems™.



Слика 5.16: Блок Трофазни инвертор

Трофазни инвертор претвара улазни једносмерни напон у трофазни напон неопходног таласног облика. Једносмерни струјни извор DC има струјну карактеристику описану изразом:

$$I_{dc} = (P_{iz} + P_g) / V_{in} \quad (5.24)$$

где је:

$P_{iz}, P_g$  – излазна снага и снага губитака, W;

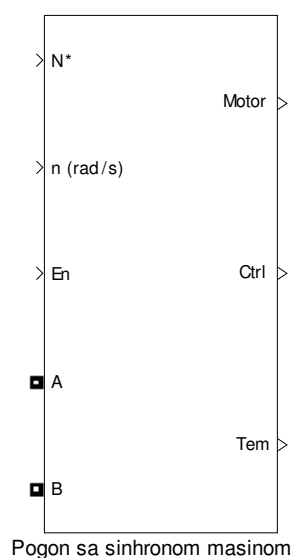
$V_{in}$  – напон, V.

Контролом тренутака укључења појединих прекидача и контролом дужине трајања њихове укључености, постижу се одговарајући таласни облици напона на излазу инвертора. Укупно постоји осам дозвољених стања прекидача. Два стања прекидача имају као резултат нулти напон на излазу инвертора. Осталих шест стања производе ненулте напоне на излазу инвертора, тако да се наизменични излазни напон састоји од дискретних вредности  $V_{in}$ , 0 и  $-V_{in}$ .

Улазни сигнали у блок Трофазни инвертор су напон  $V_{in}$  и регулисани вектор Ctrl, а излаз из овог блока су трофазне струје ( $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$ ).

У блок дијалог Трофазни инвертор уносимо вредности тражених параметара: отпора инвертора  $R_{on}$ , фреквенције извора, индуктивности  $L_q$  и  $L_d$ , флукса, отпора статорског намотаја  $R_s$  и броја пари полова  $p$ .

На основу већ моделираних блокова добијамо модел Погон са синхроним машином, слика 5.17. Код хибридних електричних возила од погона са синхроним машином користи се електромотор снаге 50 kW и генератор снаге 30 kW.

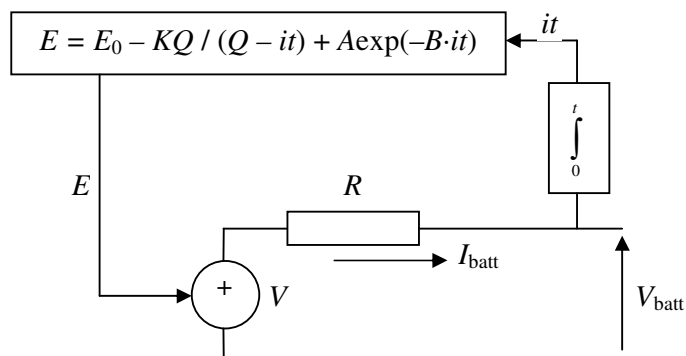


Слика 5.17: Модел Погон са синхроним машином

Улазни сигнали у блок Погон са синхроним машином су референтни момент ( $N^*$ ), обртни момент PMSM ( $n$ ), сигнал који управља радом машине ( $En$ ) и напон  $V_{in}$  (улаз А-В). Излаз из овог блока су излазни сигнали из PMSM (Motor), регулисани вектор (Ctrl) и електромагнетни момент (Tem).

5.2.8. Моделирање батерије

Електрична шема батерије, коришћена за прављење модела, приказана је на слици 5.18.



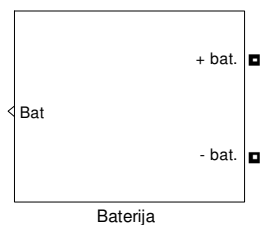
**Легенда:**  $Q$ -капацитет батерије, Ah;  $A$ -експоненцијални напон, V;  $B$ -експоненцијални капацитет, (Ah)<sup>-1</sup>;  $E$ -напон празног хода (напон без потрошача), V;  $E_0$ -константни напон, V;  $K$ -поларизациони напон, V;  $V$ -регулисан напон извора, V;  $R$ -унутрашњи отпор,  $\Omega$ ;  $I_{batt}$  –струја батерије, A;  $V_{batt}$  –напон батерије, V.

Слика 5.18: Електрична шема батерије

Један од главних фактора који утиче на перформансе батерије је стање напуњености батерије  $SOC$  и његова вредност се креће између 0 и 100% (за пуну батерију је 100%, а за празну 0%).  $SOC$  се израчунава као:

$$SOC = 100 \cdot \left( 1 - \frac{1,05 \cdot Q}{\int idt} \right) \quad (5.25)$$

На основу слике 5.18 урађен је модел Батерија (слика 5.19).



Слика 5.19: Модел Батерија

Улаз (при пуњењу батерије) или излаз (при пражњењу) у моделу Батерија су два електрична (напонска) прикључка за батерију  $V+$  и  $V-$ . Такође, излаз из овог блока је  $Bat$  (стање напуњености батерије  $SOC$ , струја батерије  $I_{batt}$ , напон батерије  $V_{batt}$ ).

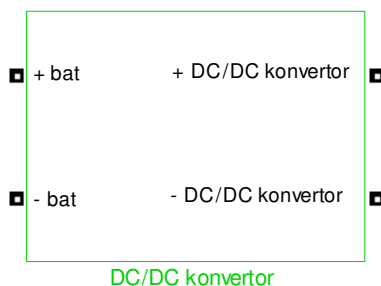
Бирамо у блок дијалогу Батерија врсту (тип) батерије и уносимо вредности параметара: номиналног напона, номиналног капацитета, почетног стања напуњености батерије и струје пражњења.

Напомињемо да је модел Батерија урађен коришћењем следећих претпоставки:

- унутрашња отпорност је сматрана константном током циклуса пуњења и пражњења (не мења се са амплитудом струје);
- параметри модела (за различите врсте батерија) су изведени из карактеристике пражњења  $SOC=f(Q)$  и претпоставља се да су исти и за пуњење;
- капацитет батерије се не мења са амплитудом струје (без Пукертовог ефекта);
- температура не утиче на понашање модела;
- самопражњење (пражњење без потрошача) батерије није разматрано у овом моделу.

#### 5.2.9. Моделирање DC/DC конвертора

Улога DC/DC конвертора је да прилагоди ниски напон са батерије (од 202 V) напону потребном за рад синхроне машине (од 500 V), помоћу PI регулатора. Модел DC/DC конвертора дат је на слици 5.20.

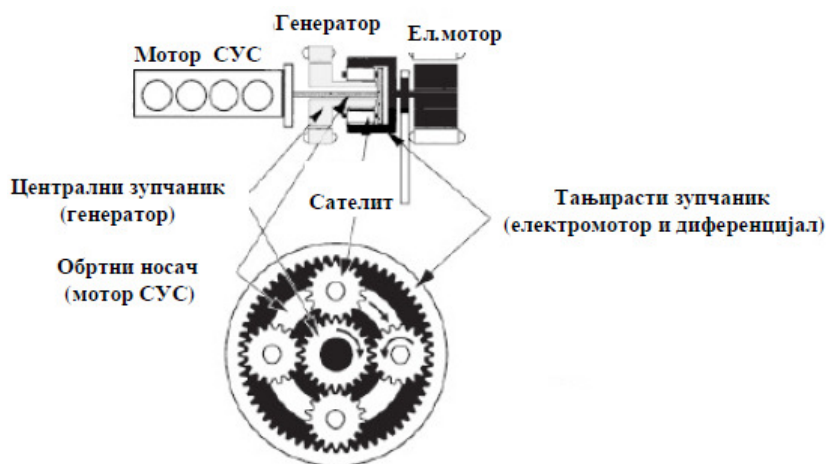


Слика 5.20: Модел DC/DC конвертора

Улазни сигнал у блок DC/DC конвертор је напон батерије  $V_{bat}$ , а излаз из овог блока је напон DC/DC конвертора  $V_{kon}$ .

5.2.10. Моделирање планетарног зупчастог преносника

Планетарни зупчasti преносник се користи за поделу излазне снаге мотора СУС између погонског вратила и генератора и такође се користи као електронски контролисани мењач (слика 5.21).



Слика 5.21: Планетарни зупчasti преносник код Тојоте Приус [54]

Планетарни зупчasti преносник код Тојоте Приус прикључује истовремено мотор СУС (преко обртног носача), генератор (преко централног зупчаника) и електромотор (преко тањирастог зупчаника), што омогућава возилу да ради као хибрид. Такође, тањирасти зупчаник је поред електромотора директно повезан са диференцијалом који покреће точкове возила. Напомињемо да овај преносник делује као стално променљив мењач (CVT), па елиминише потребу за ручним или аутоматским мењачем у возилу.

Планетарни зупчasti преносник има две кинематске и две геометријске везе, којима се ограничава његово кретање (четири степена слободe):

$$r_C \omega_C = r_S \omega_S + r_P \omega_P \quad (5.26)$$

$$r_R \omega_R = r_C \omega_C + r_P \omega_P \quad (5.27)$$

$$r_C = r_S + r_P \quad (5.28)$$

$$r_R = r_C + r_P \quad (5.29)$$

где је:

$r_S, r_P, r_C, r_R$ -полупречник централног, сателит, носач и тањирастог зупчаника, m;

$\omega_S, \omega_P, \omega_C, \omega_R$ -гаона брзина централног, сателит, носач и тањирастог зупчаника, rad/s.

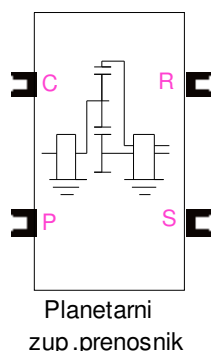


При спреси зупчаника тањирастог и централног зупчаника преносни однос је  $g_{RS}=r_R/r_S$  и његову вредност задајемо у блок дијалогу Планетарни зупчасти преносник. Такође, преносни однос је количник броја зубаца зупчаника у спреси или количник момента оса вратила зупчаника у спреси ( $g_{RS}=N_R/N_S=\tau_R/\tau_S$ ), па је кључна кинематска веза:

$$(1 + g_{RS})\omega_C = \omega_S + g_{RS}\cdot\omega_R \quad (5.30)$$

Овом кинематском везом су четири степена слободе планетарног зупчастог преносника смањена на два степена слободе.

При моделирању планетарног зупчастог преносника, коришћен је блок Планетарни зупчасти преносник (слика 5.22) из датотеке SimDriveline™.



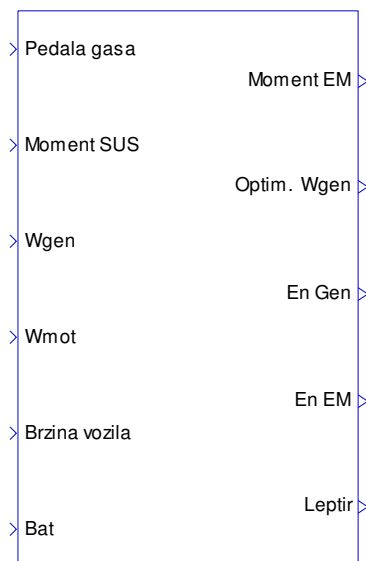
Слика 5.22: Блок Планетарни зупчасти преносник

Улазни сигнали у блок Планетарни зупчасти преносник су обртни momenti оса вратила зупчаника носач и сателит ( $\tau_C$ ,  $\tau_P$ ), а излазни сигнали из блока су обртни momenti оса вратила тањирастог и централног зупчаника ( $\tau_R$ ,  $\tau_S$ ).

#### 5.2.11. Моделирање блока управљање

Блок Управљање је најважнији блок модела ХЕВ, који управља радом осталих блокова. Улазни сигнал у блок Управљање је педала гаса којом задајемо жељено кретање возила. Такође, у овом блоку улазни сигнали (излазни сигнали из блокова модела који се доводе путем повратне спреге) су момент мотора СУС, угаона брзина генератора  $W_{gen}$ , угаона брзина електромотора  $W_{mot}$ , батеријски сигнали (напуњеност батерије  $SOC$ , струја батерије  $I_{bat}$ , напон батерије  $U_{bat}$ ) и брзина возила.

Излазни сигнали из блока Управљање су момент електромотора, оптимална угаона брзина генератора, лептир мотора СУС, сигнали који управљају радом генератора и електромотора (слика 5.23).



Слика 5.23: Блок Управљање

Блок Управљање одређује и режим рада модела ХЕВ (покретање, убрзање, нормално, кочење, пуњење). На врсту режима рада можемо утицати преко улазног сигнала Педала гаса, који ми задајемо и чија вредност у овом моделу се креће од -1 до 1.

Од положаја Прекидача у блоку Управљање зависи вредност излазних сигнала  $E_n$  Gen,  $E_n$  EM, Лептир који управљају радом (укључивање/искључивање енгл. on/off) генератора, електромотора и мотора СУС (сукцесивно).

Да би модел ХЕВ радио у режиму покретање, вредност сигнала Снага треба да је мања од 15 kW, сигнала Брзина возила мања од 20 km/h и сигнала *SOC* већа од 0,4 (40%). У режиму покретање ради само електромотор, напајан струјом из батерије. На овај режим нема директан утицај вредност улазног сигнала Педала гаса.

Услов за режим убрзање је да вредност сигнала Снага буде већа од 15 kW, улазног сигнала Педала гаса већа или једнака 0,5 (50%) и сигнала *SOC* већа од 0,4 (40%). Тада ради генератор, мотор СУС и електромотор (који се снабдева струјом из батерије).

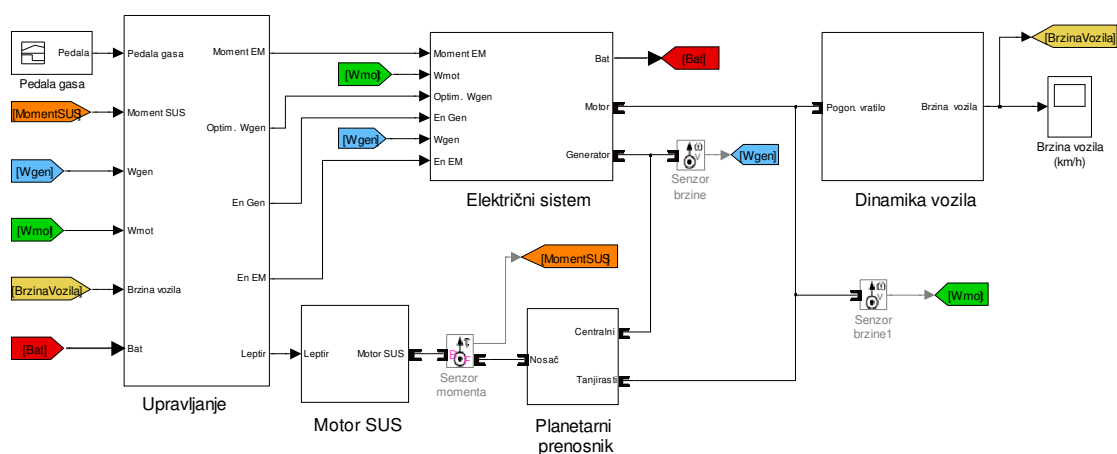
У нормалном режиму вредност сигнала Брзина возила је већа од 20 km/h, сигнала Педала гаса између 0 и 0,5 (50%). У овом режиму, као и код режима убрзање, ради генератор, мотор СУС и електромотор (који се не снабдева струјом из батерије).

Код режима кочење вредност сигнала Педала гаса је мања од нуле, а вредност  $SOC$  мора да буде мања од 0,8 (80%). Тада ради само електромотор, али у режиму генератора (пуни батерију).

Режим пуњење се активира када вредност  $SOC$  падне испод 0,4 (40%) и тада су укључени генератор и мотор СУС који пуне батерију.

### 5.3. Симулација комбинованог ХЕВ

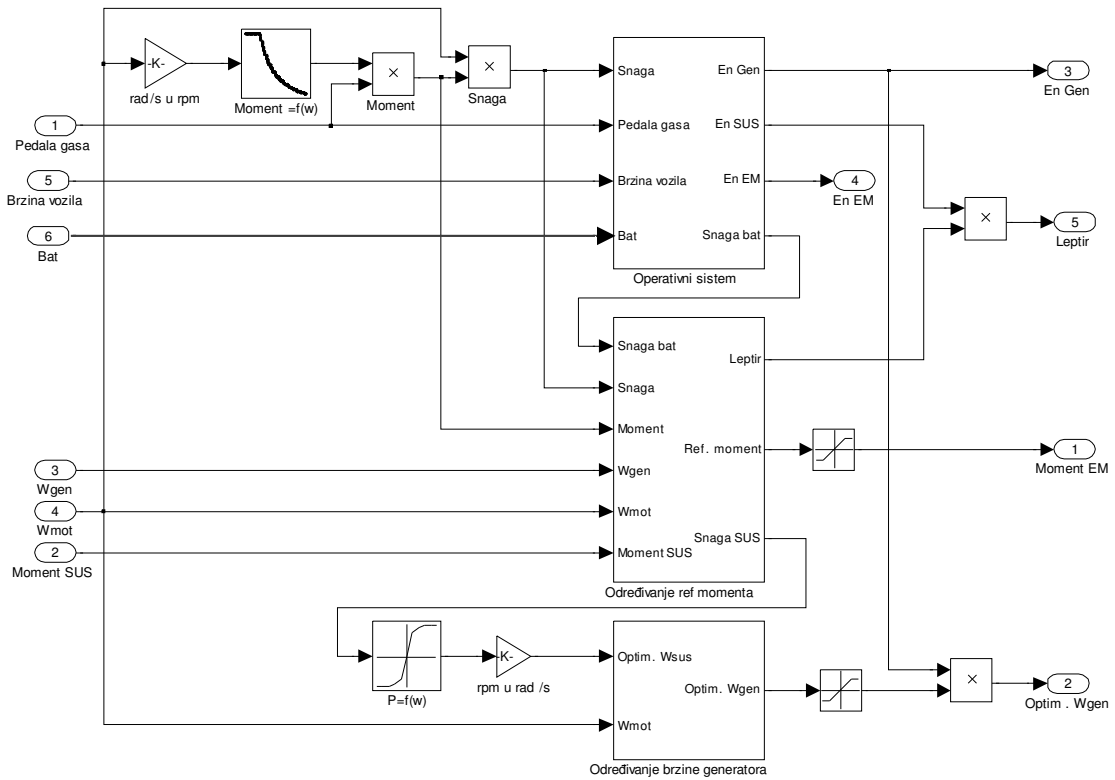
На основу шеме комбинованог ХЕВ, урађен је симулациони модел у симулинку Матлаба 7 за комбиновано ХЕВ, слично као у аутомобилима Тојота Приус (слика 5.34).



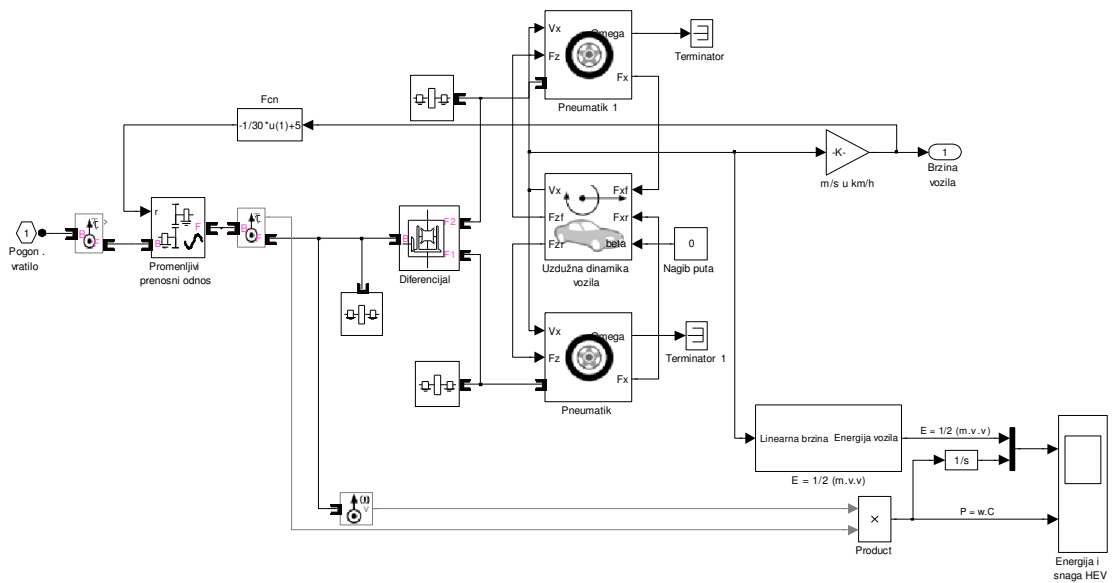
Слика 5.24: Симулациона шема комбинованог ХЕВ [73]

Улаз у овој симулационој шеми који можемо мењати и од којег зависи брзина симулираног ХЕВ је Педала гаса. Можемо такође, помоћу променљиве Нагиб пута у блоку Динамика возила симулирати различите успоне и падове пута за цео ток симулације.

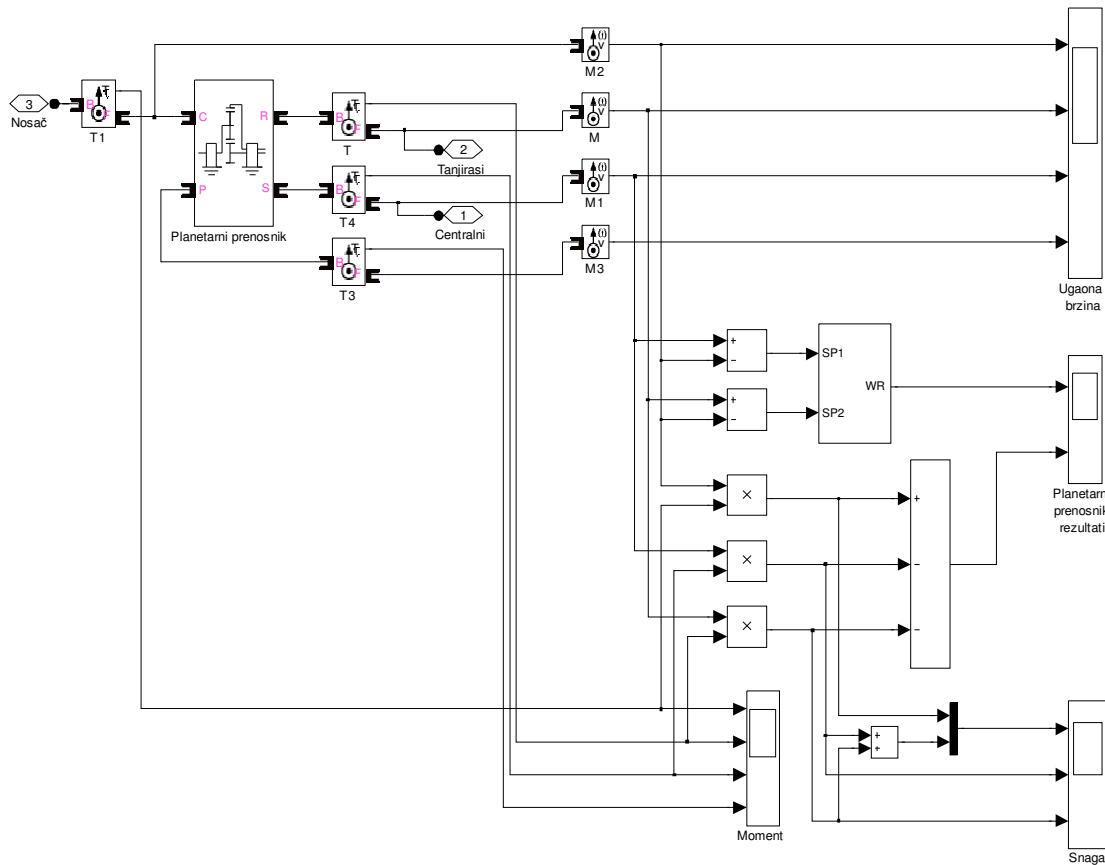
На сликама 5.25, 5.26, 5.27, 5.28 и 5.29 приказани су главни блокови симулационе шеме комбинованог ХЕВ (Управљање, Динамика возила, Планетарни преносник, Електрични систем и Мотор СУС.), чије компоненте су описане и моделиране у поглављу 5.2.



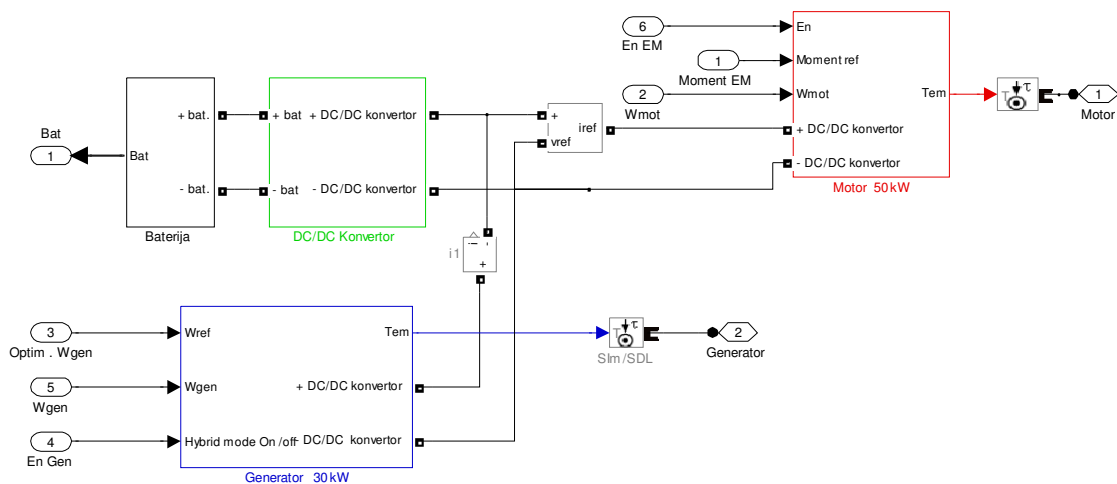
Слика 5.25: Шема блока Управљање [73]



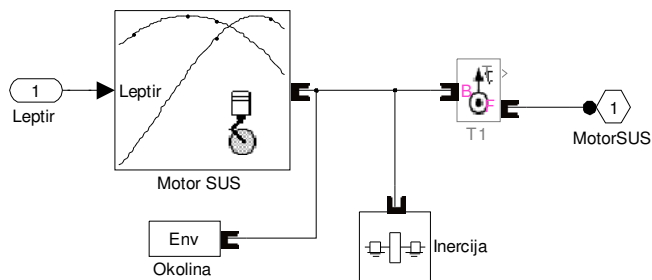
Слика 5.26: Шема блока Динамика возила [73]



Слика 5.27: Шема блока Планетарни преносник [73]



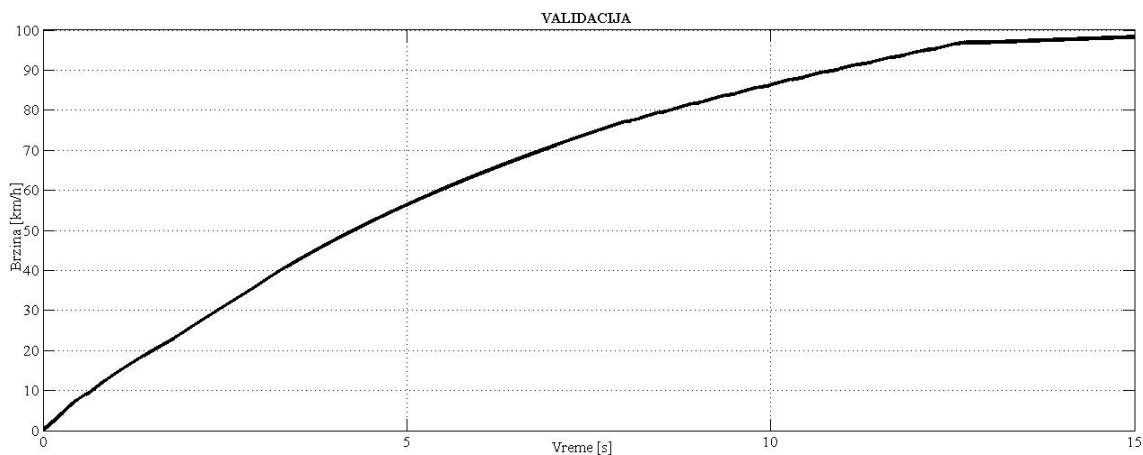
Слика 5.28: Шема блока Електрични систем [73]



Слика 5.29: Шема блока Мотор СУС [73]

### 5.3.1. Валидација симулираног ХЕВ

Валидација симулираног ХЕВ урађена је за вредност Педале гаса од 1 (максимално убрзање) током свог времена симулације и добијена је брзина симулираног ХЕВ (слика 5.30). Како није било могућности да измеримо убрзање (брзину) возила Тојота Приус при максимално притиснутој педали гаса узето је за поређење резултат из рада [74].



Слика 5.30: График брзина – време симулираног ХЕВ (за педалу гаса 1)

Експериментални резултати убрзања возила Тојота Приус из литературе [74] упоређени са симулираним резултатима убрзања ХЕВ узетим са слике 5.30, дати су у табели 5.1.

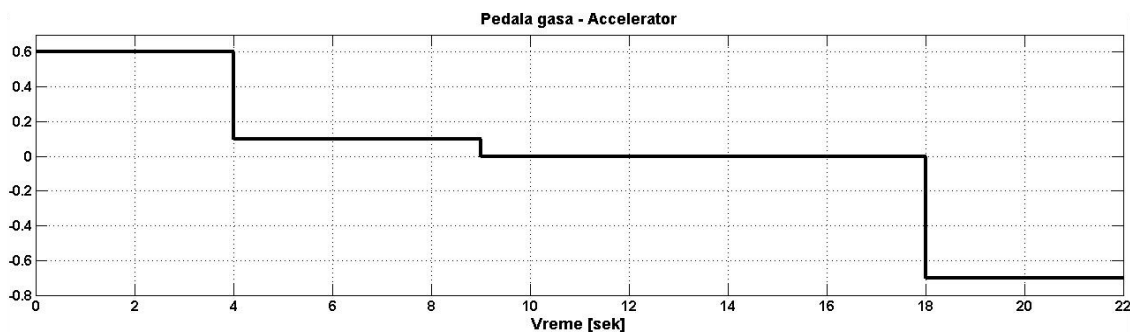
Табела 5.1: Упоредни приказ времена убрзања возила Тојота Приус

Убрзање	Време убрзања [s]	
	Експериментални резултат из литературе [74]	Симулирани резултат са слике 5.30
0 ÷ 48 km/h	4,5	4,2
0 ÷ 97 km/h	13,1	13,1
48 ÷ 89 km/h	7,0	6,6

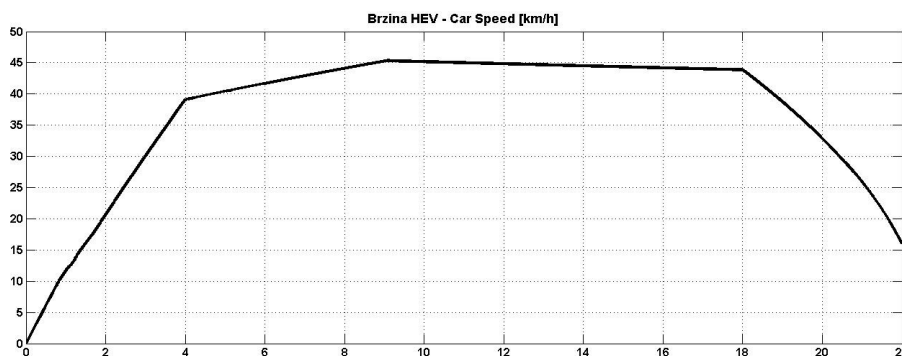
Из табеле 5.1 се види да постоје мала одступања (у дозвољеним границама) између експерименталних и симулираних вредности времена убрзања возила Тојота Приус, па можемо закључити да симулирано ХЕВ доста верно дочарава возило Тојота Приус.

### 5.3.2. Симулација комбинованог ХЕВ у урбаном подручју

Симулација комбинованог ХЕВ у урбаном подручју урађена је за Педалу гаса као на слици 5.31. При овако задатој педали гаса максимална брзина ХЕВ је 45 km/h (слика 5.32), што је задовољавајуће, јер по Закону о безбедности саобраћаја брзина возила у насељеном месту је ограничена на 50 km/h. Сви задати и добијени дијаграми су у функцији времена симулације. Време трајања ове симулације је 22 секунде, а пут је сматран равним (угао нагиба пута  $\beta=0$ ).

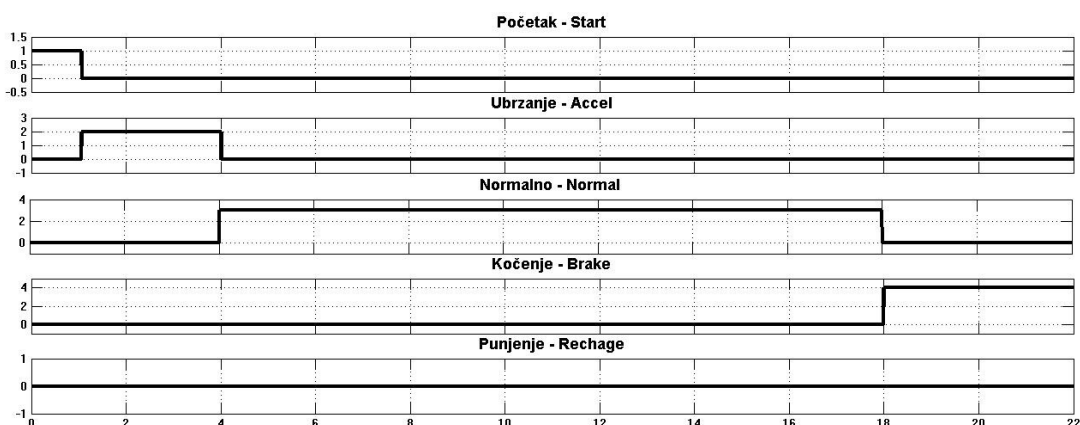


Слика 5.31: Дијаграм Педале гаса



Слика 5.32: Дијаграм брзине ХЕВ

На слици 5.33 приказани су режими рада ХЕВ за овај симулирани модел.



Слика 5.33: Дијаграм комплетног циклуса (режима) ХЕВ

Са слике 5.33 видимо да су прелазни режими ове симулације у временима:  $t_1=1,07$  s;  $t_2=4$  s,  $t_3=18$  s, па можемо детаљније описати начин рада симулираног ХЕВ у урбаном подручју.

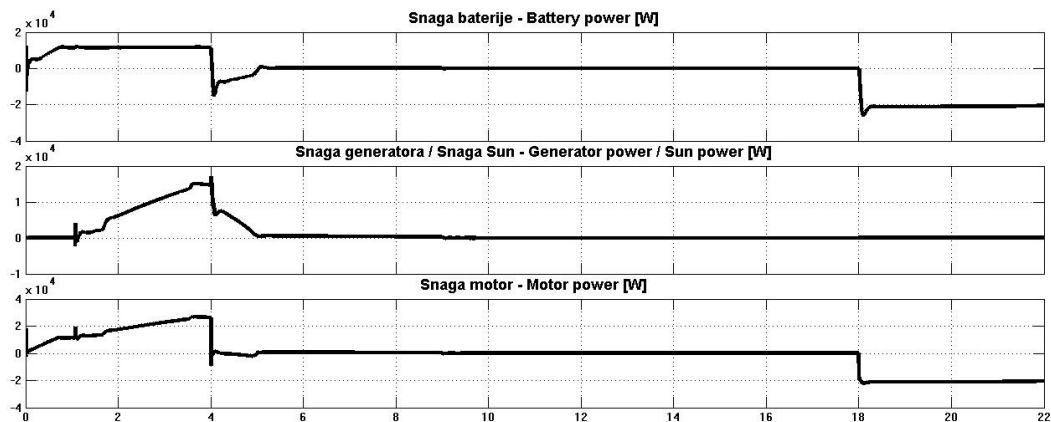
У  $t_0=0$  s, ХЕВ се покреће притиском на педалу гаса од 60% (прве четири секунде). Све док је потребна снага ХЕВ мања од 15 kW и брзина мања од 20 km/h, ХЕВ се покреће електромотором напајаним из батерије. Тада, генератор и мотор СУС су искључени (не дају снагу ХЕВ). ХЕВ је у старт режиму.

У  $t_1=1,07$  s потребна снага ХЕВ постаје већа од 15 kW, што захтева хибридни начин рада (снага ХЕВ долази из СУС мотора и електромотора који се напаја из батерије). ХЕВ је у режиму убрзања. Снага генератора тада је негативна (слика 5.34), што значи да генератор ради као мотор и обезбеђује потребну снагу за старт мотора СУС.

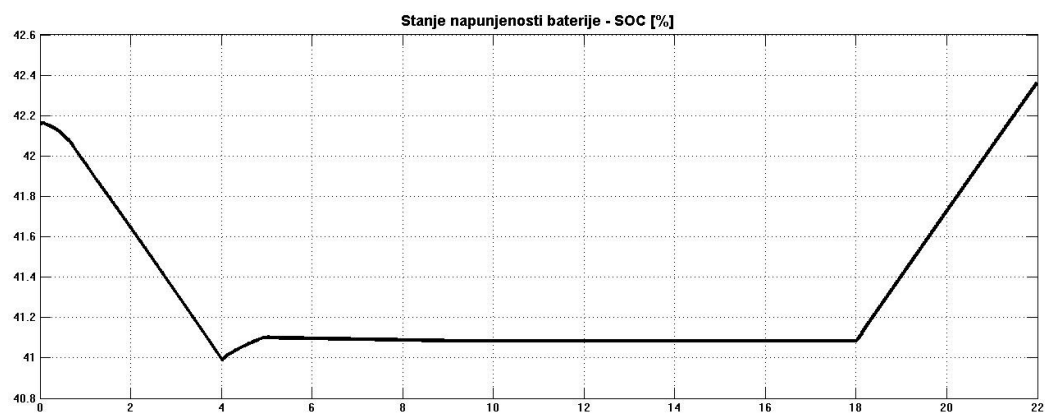


У  $t_2=4$  s, пошто је достигнута брзина ХЕВ од око 40 km/h, смањујемо притисак педале гаса на 10% наредних пет секунди, па затим скроз пустимо педалу гаса до  $t_3=18$  s (ХЕВ ради у нормалном режиму). Тада снага ХЕВ долази из СУС мотора и електромотора, као и у режиму убрзање, с том разликом што се сада електромотор напаја преко генератора а не из батерије (нема пражњења батерије – слика 5.35).

У  $t_3=18$  s па до краја симулације, ХЕВ ради у режиму кочења (кочење је задато у овој симулацији негативном вредношћу педале гаса од -70%). За четири секунде смањује се брзина ХЕВ са 44 km/h на 16 km/h, при чему нема губитка енергије. Тада су мотор СУС и генератор искључени, ради само електромотор (чија снага је негативна јер ради као генератор) који електричном енергијом насталом од кочења пуни батерију (зато је и снага батерије негативна – слика 5.34).

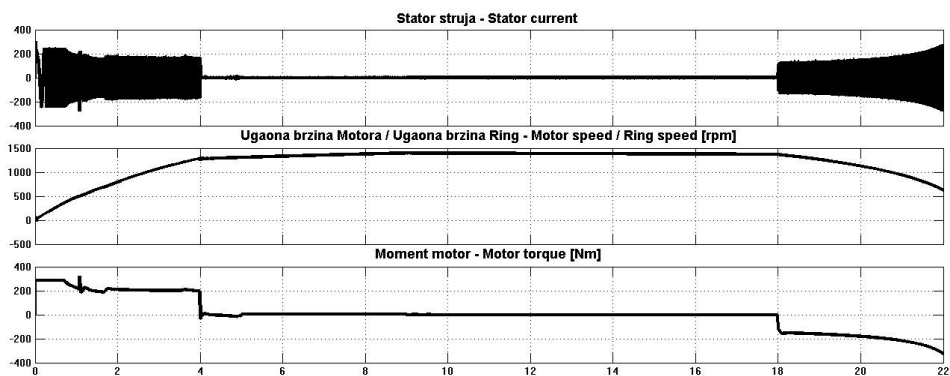


Слика 5.34: Дијаграми снаге електричних компоненти ХЕВ

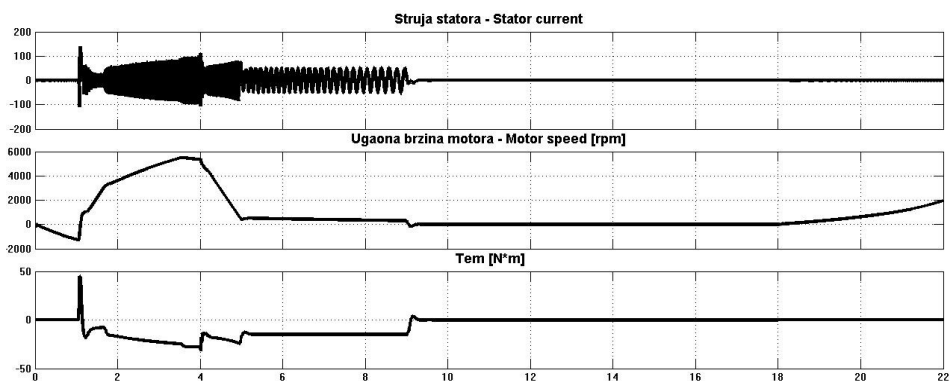


Слика 5.35: Дијаграм напуњености батерије

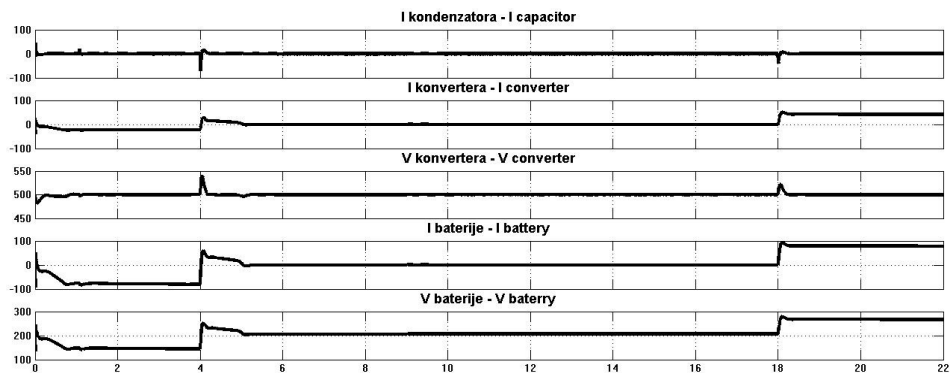
На наредним сликама дати су резултати симулације ХЕВ (тј. његових компоненти: електромотора, генератора, DC/DC конвертера, батерије, мотора СУС, трансмисије).



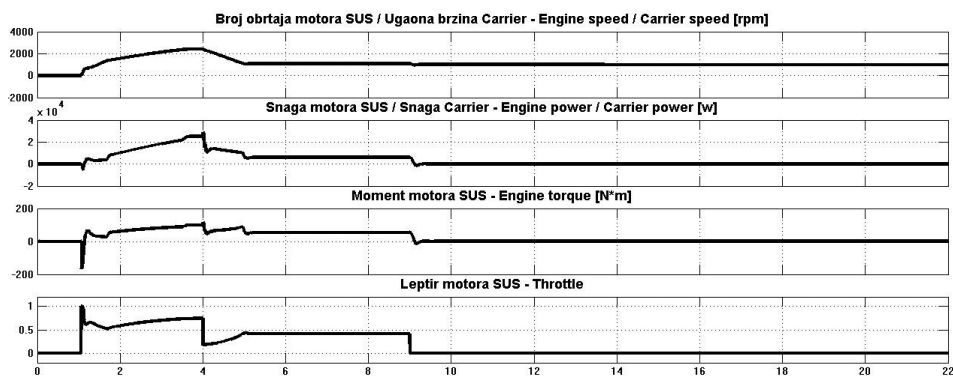
Слика 5.36: Дијаграми карактеристичних величина електромотора



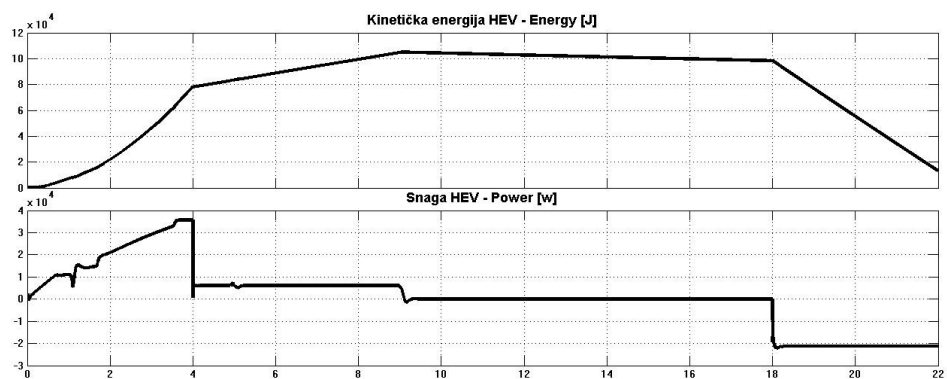
Слика 5.37: Дијаграми карактеристичних величина генератора



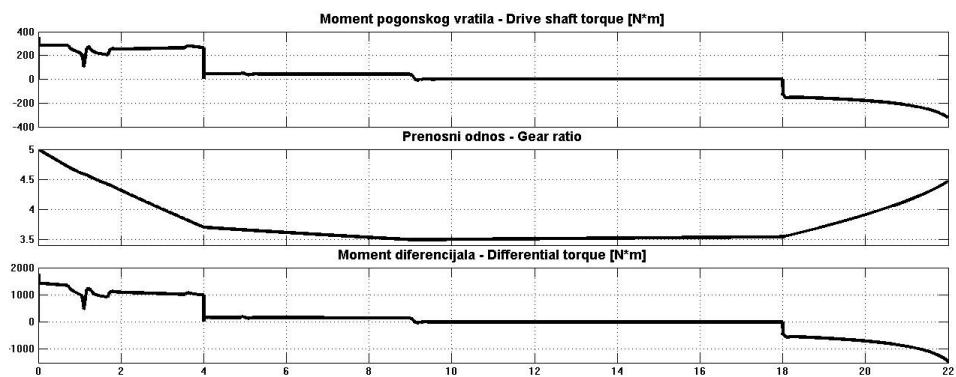
Слика 5.38: Дијаграми карактеристичних величина DC/DC конвертера и батерије



Слика 5.39: Дијаграми карактеристичних величина мотора СУС



Слика 5.40: Дијаграми енергије и снаге ХЕВ

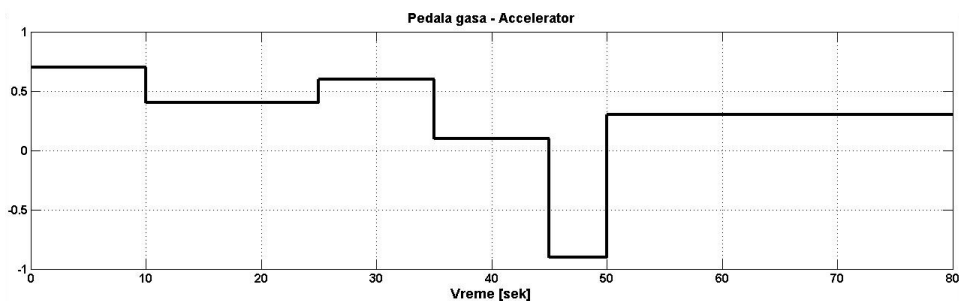


Слика 5.41: Дијаграми карактеристичних величина трансмисије ХЕВ

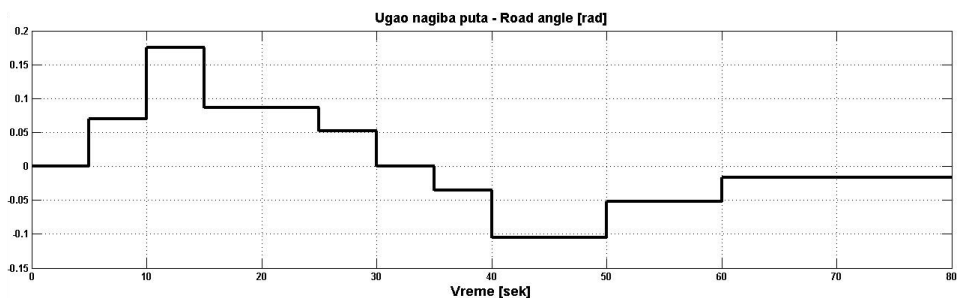
Резултати симулације овог модела верно описују возило Тојота Приус при градској вожњи. Да би смо видели понашање овог симулинк модела при већим брзинама, биће симулирана вожња на отвореном путу са различитим нагибима пута (поглавље 5.3.3.).

### 5.3.3. Симулација комбинованог ХЕВ при вожњи на отвореном путу

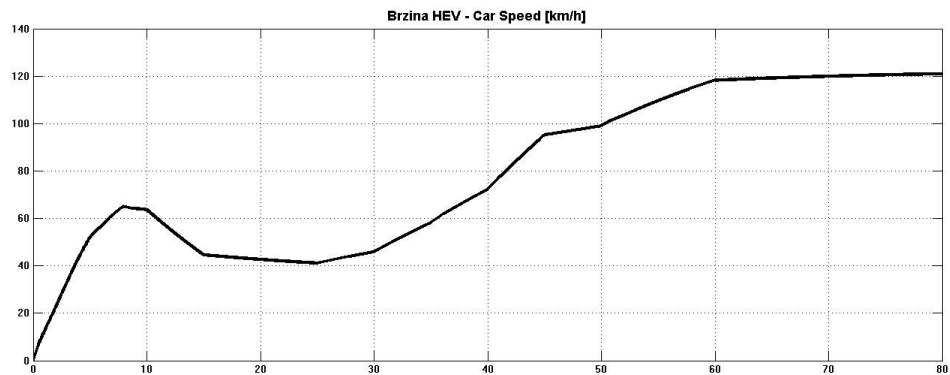
Симулација комбинованог ХЕВ при вожњи на отвореном путу урађена је за Педалу гаса као на слици 5.42 и за Угао нагиба пута дат на слици 5.43. При овако задатом улазу максимална брзина ХЕВ је 120 km/h (слика 5.44), што одговара вожњи на аутопуту. Сви задати и добијени дијаграми су у функцији времена симулације, а време трајања ове симулације је 80 секунди.



Слика 5.42: Дијаграм педале гаса

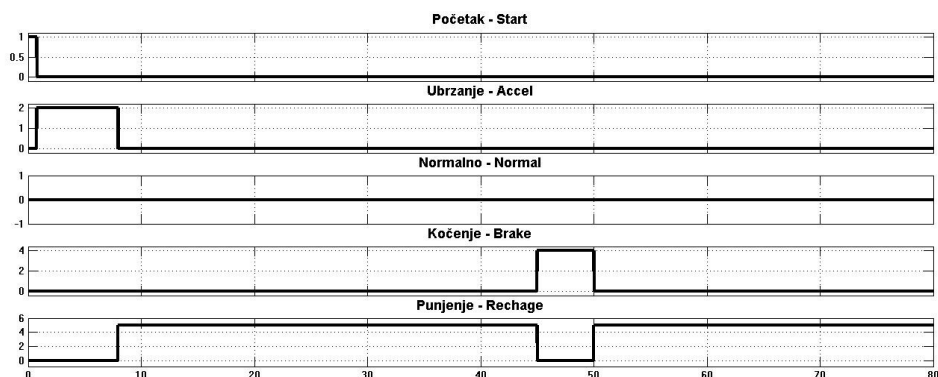


Слика 5.43: Дијаграм угла нагиба пута



Слика 5.44: Дијаграм брзине ХЕВ

На слици 5.45 приказани су режими рада ХЕВ при вожњи на отвореном путу.

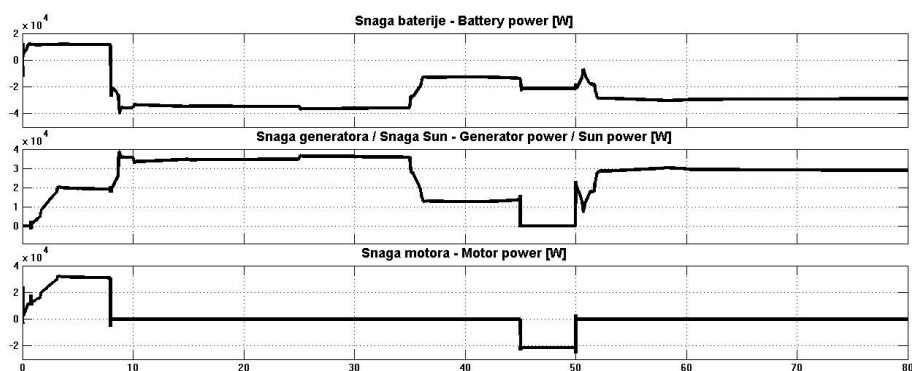


Слика 5.45: Дијаграм комплетног циклуса (режима) ХЕВ

Са слике 5.45 видимо да су прелазни режими ове симулације у временима:  $t_1=0,77$  s;  $t_2=8$  s,  $t_3=45$  s,  $t_4=50$  s, па можемо детаљније описати начин рада симулираног ХЕВ при вожњи на отвореном путу.

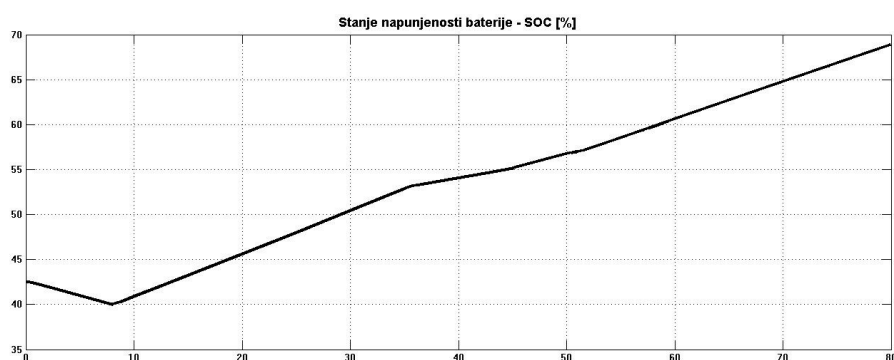
У  $t_0=0$  s, ХЕВ се покреће притиском на педалу гаса од 70% (првих десет секунди). Све док је потребна снага ХЕВ мања од 15 kW и брзина мања од 20 km/h, ХЕВ се покреће електромотором напајаним из батерије. Тада, генератор и мотор СУС су искључени (не дају снагу ХЕВ). Тада је ХЕВ у старт режиму.

У  $t_1=0,77$  s потребна снага ХЕВ постаје већа од 15 kW, што захтева хибридни начин рада (снага ХЕВ долази из СУС мотора и електромотора који се напаја из батерије). ХЕВ је у режиму убрзања. Снага генератора тада је негативна (слика 5.46), што значи да генератор ради као мотор и обезбеђује потребну снагу за старт мотора СУС. Угао нагиба пута за првих пет секунди је 0 rad.



Слика 5.46: Дијаграми снаге електричних компоненти ХЕВ

У  $t_2=8$  s стање напуњености батерије постаје мање од 40% (на почетку симулације је било 42,52%, слика 5.47), па батерију треба напунити и ХЕВ ради у режиму пуњења. Тада електромотор не ради, а снага мотора СУС се дели између диференцијала (који покреће точкове) и генератора (који пуни батерију). Са слике 5.46 видимо да је у овом режиму, снага батерије негативна, што значи да батерија прима неку снагу из мотора СУС, преко генератора, и пуни се за време кретања ХЕВ. Од пете до тридесете секунде симулирано је кретање ХЕВ по успону са различитим углом нагиба пута, па због тога смањујемо притисак на педалу гаса на 40% (јер тако снижавамо и степен преноса) како би ХЕВ савладао симулирани успон.



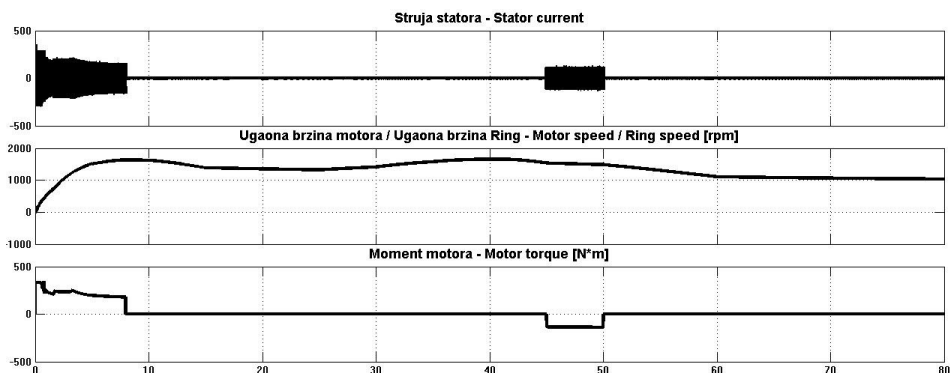
Слика 5.47: Дијаграм напуњености батерије

У  $t_3=45$  s симулирано је регенеративно кочење, ХЕВ ради у режиму кочења (кочење је задато у овој симулацији негативном вредношћу педале гаса од -90%). Како је од 35-те секунде па до краја симулације симулирано кретање ХЕВ на низбрдици са различитим углом нагиба пута, кочењем у трајању од пет секунди се не смањује брзина кретања ХЕВ, већ је само заустављен њен нагли раст (брзина је повећана за око 5 km/h). Тада су мотор СУС и генератор искључени, ради само електромотор (чија снага је негативна јер ради као генератор) који електричном енергијом насталом од кочења пуни батерију (зато је и снага батерије негативна – слика 5.46).

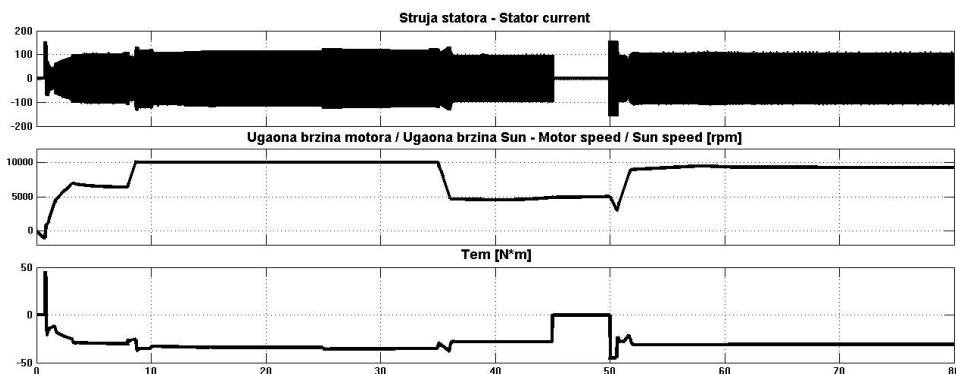
У  $t_4=50$  s наставља се пуњење батерије струјом из генератора (све до краја симулације), јер тренутна напуњеност батерије је око 57% (мања од 80% - пуне напуњености батерије<sup>6</sup>), па ХЕВ ради у режиму пуњења. Тада електромотор не ради, а снага мотора СУС се дели између диференцијала (који покреће точкове) и генератора (који пуни

<sup>6</sup> Батерија се не пуни никад до 100% напуњености да не би дошло до њеног оштећења (зато се у овој симулацији под пуном напуњеношћу батерије сматра напуњеност од 80%).

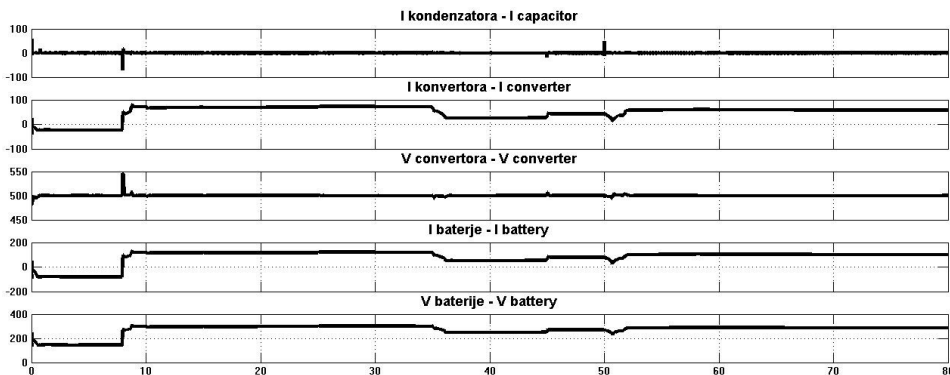
батерију). Педала гаса се до краја симулације држи константно на 30% и остварује се брзина од 120 km/h (која је константна од 60-те секунде па све до краја симулације). На наредним сликама дати су карактеристични резултати симулације ХЕВ (тј. његових компоненти: електромотора, генератора, DC/DC конвертора, батерије, мотора СУС, трансмисије).



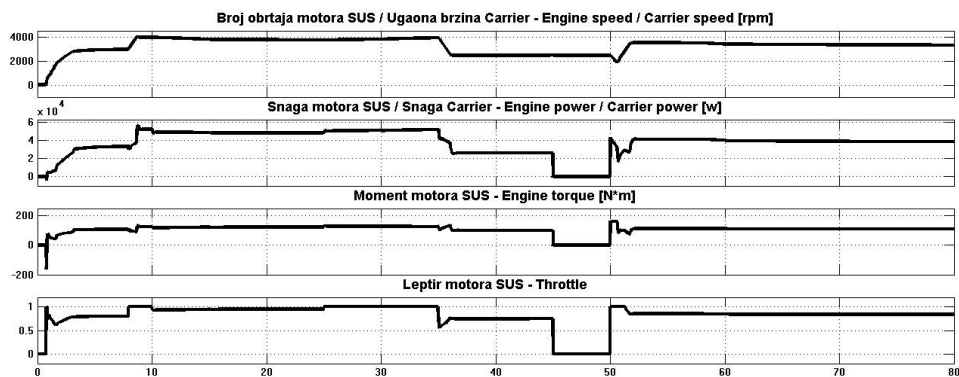
Слика 5.48: Дијаграми карактеристичних величина електромотора



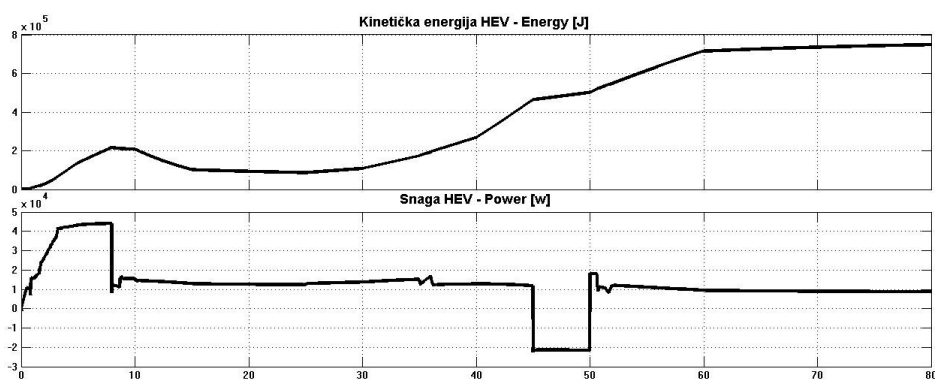
Слика 5.49: Дијаграми карактеристичних величина генератора



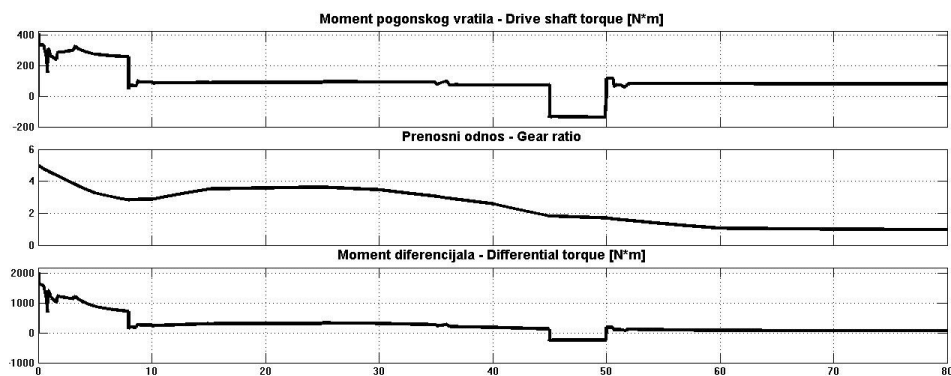
Слика 5.50: Дијаграми карактеристичних величина DC/DC конвертора и батерије



Слика 5.51: Дијаграми карактеристичних величина мотора СУС



Слика 5.52: Дијаграми енергије и снаге ХЕВ



Слика 5.53: Дијаграми карактеристичних величина трансмисије ХЕВ

Симулација ХЕВ пружа могућност праћења излазних параметара (брзине, снаге, броја обртаја, стања напуњености...) зависно од промене улазних параметара (педале гаса и угла нагиба пута). Ова могућност симулације ХЕВ посебно је значајна у Србији, јер су лабораторијска испитивања тешко изводљива због њихове мале заступљености.



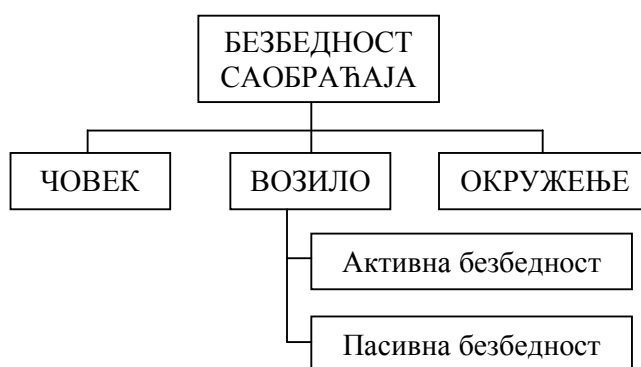
## 6. БЕЗБЕДНОСНИ РИЗИЦИ ПРИМЕНЕ ВОЗИЛА НА АЛТЕРНАТИВНИ ПОГОН

Безбедност саобраћаја је један од највећих проблема у свим друштвеним заједницама, у свим земљама света. Годишње 1,3 милиона људи погине а 50 милиона буде теже и лакше повређено у саобраћајним незгодама на путевима широм света. У Србији стање је аларманто, јер према подацима Министарства унутрашњих послова у 2012. години у саобраћајним незгодама погинуло је 968 људи, тешко повређено 5.318 а лакше повређено 16.891.

Велики број погинулих, трајно онеспобољених и тешко повређених људи, као и огромне материјалне штете, захтевају да се безбедност саобраћаја суштински и значајно повећа, односно да се осмишљено предузимају мере које ће обезбедити:

- одговарајуће понашање возача и других учесника у саобраћају,
- висок квалитет возила и
- висок квалитет путева и саобраћајне инфраструктуре.

На слици 6.1 дата је шема поделе безбедности саобраћаја са посебним освртом на безбедност возила.



Слика 6.1: Структура безбедности саобраћаја [59]

Свака земља заинтересована за благостање својих грађана озбиљно размишља о нивоу безбедности возила која они користе. Нажалост на питање шта је то безбедно возило не постоји за сада јединствен одговор, иако је највећи број земаља (па и наша) потписник

Бечке конвенције о минималним условима техничке исправности возила ради међусобног признавања прегледа техничке исправности.

Када се ради о возилима на алтернативни погон, неопходно је обезбедити висок квалитет тих возила у погледу свих за безбедност саобраћаја важних перформанси, како активне (безбедност вожње, условна безбедност, безбедност опажања, безбедност управљања...) тако и пасивне безбедности (деформационо понашање каросерије, спољни облик каросерије, браници, јачина путног простора, систем за задржавање путника, систем за управљање, могућност избављења путника, заштита од пожара...), а затим и у погледу техничке исправности и својстава поузданости, односно вероватноће исправног рада и адекватног реаговања у критичним ситуацијама. Да би се то остварило неопходно је постојање адекватне техничке регулативе.

Техничка регулатива којом се прописују захтеви које треба да задовоље возила да би учествовала у јавном саобраћају уређују се у начелу на два нивоа [60]:

- Први ниво чине захтеви у погледу опремљености возила и оних перформанси чија се испуњеност може релативно лако и брзо проверавати, уз помоћ једноставних мерних уређаја и инсталација,
- Други ниво чине захтеви који се односе на конструкцијске особине и перформансе возила за чије је одређивање, односно проверу потребно знатно више времена и често веома сложене мерне и опитне инсталације.

Испуњење захтева на првом нивоу проверава се, по правилу, на сваком појединачном возилу редовним или ванредним прегледима, на лицу места или у одговарајућим станицама за техничке прегледе.

Ови захтеви обухватају, пре свега:

- Основне перформансе возила са становишта активне безбедности (кочне карактеристике, светлосни уређаји, пнеуматици, систем за управљање, итд.),
- Опремљеност возила уређајима и опремом значајном за безбедност саобраћаја (сигурносни појасеви, тахогаф, итд.),
- Обавезу редовне провере техничке исправности, односно обављања редовних прегледа.

Прописи са захтевима другог нивоа се односе на разне врсте хомологације, одобравање типа возила, атестирање и друге врсте испитивања која се обављају на узорку једног одређеног типа возила који се серијски производи. При томе се подразумева, односно

предпоставља, да су сва возила тог типа једнака, односно саобразна испитиваном узорку (што се у одређеним случајевима повремено и проверава). Прописи на овом нивоу су значајно шири од регулативе на првом нивоу, обухватајући и низ перформанси возила са становишта пасивне безбедности (чврстоћа каросерије, обликовање и уређење спољњих површина и унутрашњости возила и друго), а такође и са становишта утицаја на околину (састав издувних гасова, ниво буке, радио сметње...). Хомологацијска и друга слична испитивања спроводе се према посебним упутствима, прописима и правилима, и то уз помоћ обично сложених опитних и мерних инсталација. Овај део техничке регулативе је највећим делом уређен на међународном нивоу. За нашу земљу су у том погледу најважнији правилници Економске комисије ОУН за Европу, односно тзв. ЕСЕ Правилници, а затим и одговарајућа регулатива Европске заједнице, односно ЕЕС Директиве. На развоју ових Правилника и Директива ради се већ низ година тако да данас већ има више стотина ових прописа. Један део ЕСЕ регулативе је сходно одговарајућим међудржавним уговорима (о узајамном признавању хомологација) укључен и у наше позитивне прописе, те се примењује и у нашој земљи.

Међутим, настојања да наша земља постане равноправни члан Европске уније изискује нужност да се укупна техничка регулатива Европске уније пренесе и у наше законодавство. То представља изузетно велики и сложен задатак. Још већи проблеми ће се свакако јавити у вези са спровођењем и задовољењем ових, веома софистицираних прописа.

Нужно је да се истакне да сви прописи из оквира техничке регулативе, и на једном и на другом нивоу, садрже или, по правилу, треба да садрже, следеће основне елементе [60]:

- захтеване перформансе (најмањи кочни коефицијент, највиши садржај оксида азота, итд.),
- начин провере, односно методологију испитивања, укључујући и захтеве у погледу простора, околине и других елемената важних за спровођење мерења, провере или испитивања,
- мерне уређаје, инструменте и инсталације за проверу, односно за испитивање, потребну тачност ових уређаја и начин и рокове провере тачности (баждарења),
- потребне квалификације, радно искуство и друге важне карактеристике лица која обављају ове провере или испитивања.

Дакле, прописи из овог широког домена техничке регулативе не утврђују само какве перформансе треба да има и које захтеве треба да испуни возило, већ одређују и како то треба да се проверава, односно испитује, којим методама, помоћу којих мерних уређаја и инсталација, као и то ко има право да обавља ове послове, које услове треба да испуњава одговарајући центар за испитивање или лабораторија.

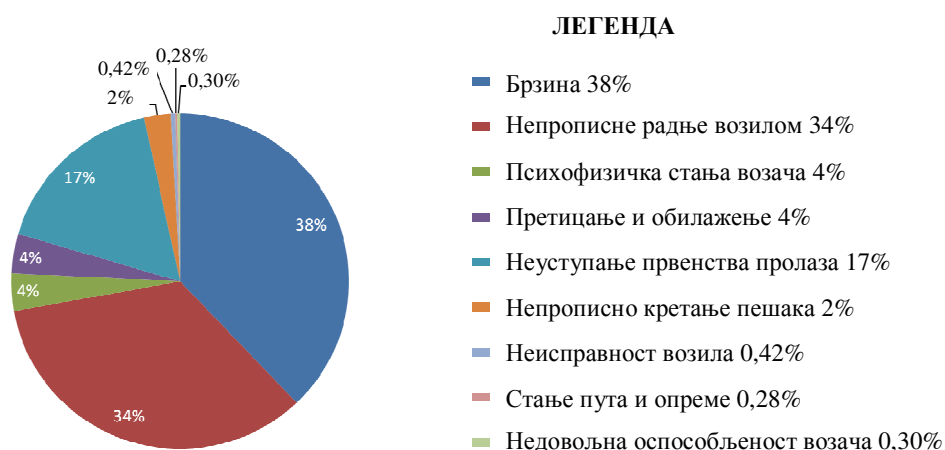
Из овог сасвим оквирног и сажетог приказа лако се долази до закључка да су прописи из оквира техничке регулативе изванредно сложени и да је испуњавање свих захтева који се данас постављају пред алтернативна возила веома тежак задатак.

С тим у вези могу да се поставе два битна питања:

1. Да ли има смисла тако детаљно разрађена техничка регулатива којом се утврђују потребни захтеви квалитета возила у јавном саобраћају, а посебно да ли има смисла улагати тако велика средства у развој одговарајуће мерне опреме, уређаја и лабораторија, као и улагање великих средстава за спровођење самих испитивања и провере квалитета, када се добро зна да је у свим земљама света возило узрочник саобраћајних удеса у само неколико процената, просечно око 3 до 5%, од укупног броја удеса?
2. Да ли овако детаљно нормирање и прописивање свих за безбедност важних карактеристика и особина возила не утиче негативно на развој возила на алтернативни погон, односно на бржу примену резултата нових технологија и нових конструкција, које могу бити од интереса за развој аутомобилизма, па и за повећање безбедности саобраћаја?

Ако се говори о степену утицаја на безбедност саобраћаја постојеће, обимне и детаљно разрађене техничке регулативе, може се тврдити да је возило тако ретко узрок саобраћајних удеса баш зато што су захтеви квалитета детаљно разрађени и прецизни и што се проверама квалитета возила поклања велика пажња. Чињеница је, међутим, да је и у статистикама од пре 30 и више година, када практично нису ни постојала хомологацијска и слична испитивања и када се у многим земљама нису редовно обављали чак ни технички прегледи, возило и тада веома ретко било узрочник саобраћајних удеса, такође на нивоу од неколико процената. Дакле, ако се пође од тога, могло би се тврдити да овако детаљна и све сложенија техничка регулатива није, бар досада, значајније допринела већој безбедности саобраћаја.

Такође у Србији, као и у свету, моторна возила без обзира на њихову велику старост (већу од 16 година) веома су ретко узрок саобраћајних удеса (мање од 0,5%). На слици 6.2 дати су основни узроци саобраћајних незгода у Србији, у 2012. години, према подацима Министарства унутрашњих послова Владе Србије.



Слика 6.2: Основни узроци саобраћајних незгода у Србији, у 2012. години

Међутим, иако је возило веома ретко непосредни узрочник саобраћајних незгода није тешко да се закључи да је постојећа, детаљно разрађена техничка регулатива у суштини потребна и корисна. Она одражава интензиван технолошки развој у овој области и уређује сва питања везана за возило као фактор безбедности саобраћаја на нивоу данашњих знања и технолошких могућности. Због бројности и сложености ових питања неминовно је да ови прописи буду обимни, да утврђују велики број појединачних захтева и да се формулишу у облику докумената који имају различито правно дејство и који намећу различите одговорности.

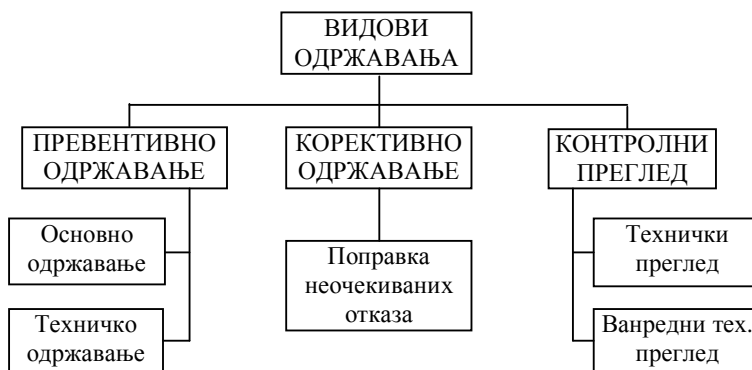
Треба напоменути да се можда у разради појединих захтева у неким детаљима отишло и прешироко, можда су неки прописи непотребно детаљни и нерационални, али неспорно је да је у целини гледајући постојећа техничка регулатива свакако веома потребна и значајна са становишта утицаја на безбедност саобраћаја и заштиту околине.

Што се тиче одговора на друго питање, сасвим је логично да техничка регулатива мора да прати развој возила. Возила су се послењих деценија толико променила да возила

данас, такоређи, не личе на конструкције од пре само десетак година. У том смислу су и данашњи прописи знатно шири, уређују и карактеристике и особине возила о којима се раније није ни размишљало. Пошто се возила и даље убрзано развијају, постоји стална потреба да се и одговарајући технички захтеви стално усавршавају и шире. Отуда на развоју техничке регулативе непрестано раде одговарајући стручни тимови у многим земљама, посебно најразвијенијим, а затим и групе експерата у оквиру ЕСЕ ОУН, Европске комисије и других међународних организација.

Међутим, и поред настојања да техничка регулатива прати развој возила на алтернативни погон, дешава се понекад да одређени прописи спутавају или бар одлажу увођење нових техничких и технолошких решења. Иако то није чест случај, законодавци и стручни тимови који раде на развоју техничке регулативе о овоме морају да воде рачуна.

Када је реч о одржавању возила, полазимо од шеме одржавања возила, слика 6.3.



Слика 6.3: Структура система одржавања моторних возила, [29]

Улога и значај превентивног одржавања се најбоље схватају ако се зна да су Марфијеви закони нашли најширу примену код експлоатације возила. То значи да се отказ појављује у најгоре могуће време, односно када нам је возило најпотребније, и траје од неколико часова до неколико дана. Најбоље је ако се кроз превентивне активности, тј. првенствено прегледом стања – техничком дијагностиком возила, региструје потенцијални проблем и у погодно време интервенише и спречи појава отказа.

Код корективног одржавања се експлоатација возила врши до појаве отказа, а без претходних прегледа и праћења стања возила. Задатак корективног одржавања је да

возило из стања „у отказу“ доведе у стање „у раду“. Елемент који је при томе отказао поправља се или замењује новим.

Контролни прегледи код возила – технички преглед обавља се обавезно једном годишње при регистрацији возила, јер је то законска обавеза.

У овом раду, при разматрању безбедности и одржавања возила на алтернативни погон, посебна пажња биће посвећена компонентама алтернативних возила које се разликују од конвенционалних. Остали аспекти безбедности и одржавања возила на алтернативни погон су исти као код конвенцијалних возила и неће бити разматрани.

### **6.1. Безбедносни ризици примене возила на алтернативна горива**

Безбедност примене алкохолних горива (етанола и метанола) и биодизела је слична као код употребе бензина. То се огледа у чињеници да ова горива као и бензин на возилу се складиште у резервоарима у течном стању и да стварају лакозапаљиве паре при абијенталним условима примене.

За разлику од бензина, чист метанол гори безбојним пламеном који се не може видети при дневној светлости и може представљати опасност у случају несреће како за путнике, тако и за ватрогасце. Овај проблем се решава додавањем бензина у смешу, па код М85 смеше је елиминисана ова опасност. Метанол за разлику од етанола и биодизела је изузетно отрован, па количине од око 110 грама, ако се узму, могу бити смртоносне. Мања количина метанола може изазвати слепило или проћи кроз кожу и проузроковати неуролошка оштећења.

Одржавање возила са погоном на алкохолна горива и биодизел је слично као код возила на бензин, стом разиком што су алкохолна горива и биодизел агресивнији на цеви за гориво и заптивке, па о томе треба водити рачуна (користити погодан материјал) како не би дошло до пропуштања цеви и цурења ових горива. Напомињемо да са аспекта одржавања, поготово код примене биодизела, веома је важно да се користи биодизел прописаног квалитета (EN 14214) како не би дошло до оштећења или уништења дизел мотора.

Што се тиче безбедности примене LPG на возилима постоје предрасуде и веровања да је LPG веома опасно гориво. Тачно је да је ризичнија и отежана манипулација,

дистрибуција и ускладиштење LPG у односу на дизел гориво и бензин. Све то захтева познавање основних карактеристика мешавине пропана и бутана и стриктну примену мера безбедности. Применом тих мера у потпуности се отклања ризик, јер је радни притисак у резервоару у нормалним околностима мало виши од притиска у бојлеру за топлу воду.

Резервоари за LPG су израђени од челичног лима дебљине 3÷4 mm и имају врло круту конструкцију, па практично представљају додатно ојачање возила при судару. У том погледу резервоари за LPG су знатно безбеднији у односу на стандардне резервоаре за бензин. Резервоари се пуне гасом до 80% своје запремине. Преосталих 20% запремине представља неопходну резерву за случај ширења гаса на повишеним спољним температурама. И ако је притисак гаса у резервоару око 10 bara, сви резервоари се обавезно атестирају на притисак гаса од 30 bara. Резервоари који се користе у LPG возилима обавезно на себи морају имати одговарајућу плочицу којом се потврђује да је извршено атестирање. На резервоару се обавезно налази сигурносни вентил који испушта гас из резервоара ван возила, када притисак у резервоару премаши дозвољени ниво. Проток гаса кроз овај вентил је ограничен. У случају пожара, када се резервоар са LPG загрева, неће доћи до експлозије, већ ће гас постепено истицати, за разлику од резервоара за бензин који врло лако експлодира на повишеним температурама услед присуства паре бензина. Када се резервоар са LPG испразни, треба водити рачуна да увек извесна количина гаса заостаје у резервоару и зато обавезно треба затворити вентил резервоара, како не би дошло до дифузије ваздуха у резервоар и појаве експлозије.

Рок важења уверења о исправности LPG инсталације се у Србији, поштујући законске норме, везује за рок важења атеста резервоара (10 година). Иако је резервоар један од најодговорнијих елемената LPG инсталације, занемаривање осталих елемената опреме, чија поузданост може бити нарушена неадекватним одржавањем возила или неким другим узроком, наводи на закључак о увођењу периодичних прегледа опреме који би спречили хаварије на возилу у времену важности уверења. Зато што хитније треба законски регулисати периодичне прегледе уграђене опреме и те прегледе треба везати за годишњи технички преглед исправности возила.

Експлозија LPG је могућа само при концентрацији гаса од 2 до 9% релативног запреминског простора, што је практично немогуће постићи на отвореном простору где



се аутомобил креће. Ако се оштети цевовод за бензин, ово веома испарљиво и запаљиво гориво несметано истиче за разлику од LPG, јер постоје уграђени вентили сигурности који ће спречити истицање гаса у случају оштећења цевовода од резервоара до мотора. Такође, цурење LPG може се лако запазити и по кондензацији влаге на инсталацији у близини места цурења. До ове појаве долази услед наглог испаравања течног гаса, при чему се од околине одузима топлота, па се околни ваздух хлади, услед чега долази до кондензације водене паре. Посебно треба бити опрезан да LPG не дође у додир са кожом јер ће, услед интензивног испаравања на кожи, локално проузроковати промрзLINE.

Треба напоменути да експлозивна смеша LPG и ваздуха може се створити у малом затвореном простору у који се паркирају возила која користе ово гориво (посебно у подземним гаражама). Ова опасност успешно се одстрањује са само два отвора за природну вентилацију у доњем делу надземних гаража или уградњом електровентила новије генерације који ће спречити губитак гаса када се мотор искључи.

1987. године је постигнут договор на нивоу УН, у оквиру међународног Споразума о хомологацији возила, опреме и делова (Споразум из 1958. године), да ступи на снагу ЕСЕ Правилник бр. 67 који прописује хомологацију опреме на возилима која користе LPG и хомологацију возила у односу на уградњу такве опреме. Де факто овим су били постављени први безбедоносни захтеви код моторних возила која користе LPG у свом погонском систему.

Данас, уградњу система за погон на LPG треба да врше стручни и овлашћени сервиси. Захтеве које треба да испуне уређаји за погон возила на LPG са становишта безбедности дати су у ЕСЕ Правилнику бр. 67/01 и ЕСЕ Правилнику бр. 115.

Тачан назив ЕСЕ Правилника бр. 67/01 је једнообразни прописи о хомологацији:

- специфичне опреме моторних возила са погоном на LPG,
- возила опремљених са специфичном опремом за погон на LPG у погледу уградње те опреме.

ЕСЕ Правилник бр. 115 даје једнообразне прописе о хомологацији специфичних LPG заменљивих система који се уграђују у возила за коришћење LPG у погонском систему. У Србији се одговорним послом испитивања појединачно производних возила, односно возила на којима су извршене преправке (у шта спада и испитивање возила са погоном на LPG), бави шест организација:

- Машински факултет Београд,
- Факултет техничких наука Нови Сад,
- Машински факултет Крагујевац,
- Машински факултет Ниш,
- Институт нуклеарних наука Винча,
- АМСС Центар за моторна возила Београд.

Технологија којом су до сада вршена испитивања на жалост није била јединствена, али у међулабораторијској сарадњи треба да се разради јединствена методологија испитивања. Поштујући смернице ЕСЕ Правилника бр. 67/01, овлашћене лабораторије које се баве испитивањем возила би требало у најскорије време да усагласе јединствену процедуру испитивања возила са погоном на LPG, а све то у циљу остваривања истоветних техничких услова за издавање уверења код свих организација.

Правилност уградње као и исправност и поузданост опреме LPG инсталација која се уграђује на возилима у нашој земљи још увек није задовољавајућа. Охрабрује чињеница да се у последње време у Србији појављују сервиси (сервиси који су углавном ослоњени на најпознатије светске произвођаче опреме за LPG инсталације) који својим евидентним квалитетом уградње значајно доприносе подизању нивоа поузданости возила са погоном на LPG. Такође, порекло LPG опреме на српском тржишту је јако дискутабилно. Нелегалан увоз (опрема без потребне пратеће документације) као и постојање опреме сумњивог порекла (фалсификата) је знатно допринело оваквој ситуацији.

Као доказ тренутног стања уграђене LPG опреме у возилима у Србији, даћемо резултате испитивања 530 возила које је урадила лабораторија АМСС - Центра за моторна возила. Ова анализа показује да 58% возила је без примедби на уградњу или опрему (па су добила уверење), док је за преосталих 42% возила била бар једна примедба која је захтевала обавезну исправку.

Уочене неисправности су:

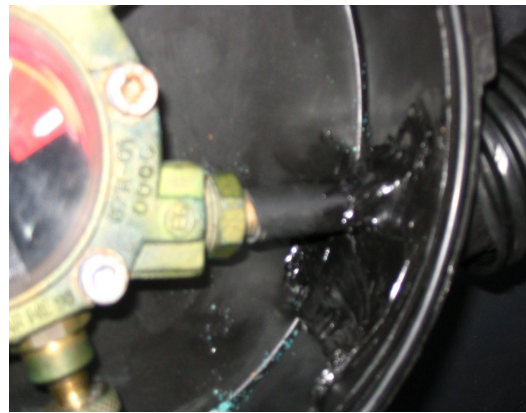
- резервоар нема хомологацију код 3 возила,
- неадекватно учвршћење резервоара код 51 возила,
- истицање LPG у зони резервоара код 3 возила,
- мултивентил нема хомологацију код 1 возила,
- угао уградње мултивентила неисправан код 30 возила,

- не постоји мерење количине LPG код 1 возила,
- неисправности арматуре мултивентила код 12 возила,
- неисправно изведена вентилација код 60 возила,
- неисправно положене или учвршћене цеви код 68 возила,
- неодговарајуће цеви LPG ниског притиска код 23 возила,
- неисправна црева за расхладну течност код 8 возила,
- неисправна монтажа неког од елемената код 86 возила,
- истицање гаса у простор мотора код 26 возила.

Неке од наведених неисправности су приказане на наредним сликама (слике од 6.4 до 6.9).



Слика 6.4: Угао мултивентила није 30°



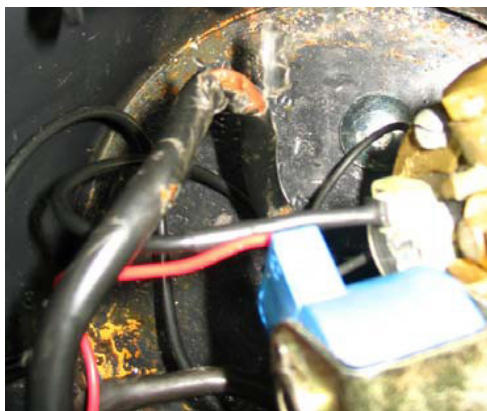
Слика 6.5: Пролаз за вентилацију затворен



Слика 6.6: Нема вентилације мултивентила



Слика 6.7: Цев близу издувне гране



Слика 6.8: Механички оштећена цев при мотажи



Слика 6.9: Већи пречник црева од прикључка што доводи до истецања LPG

Код примене CNG са аспекта безбедности постоји још већа бојазност потенцијалних корисника него код примене LPG. Разлог лежи у чињеници да је CNG увек у гасовитом стању и под већим притиском се складишти у резервоарима.

Разлога за панику при примени CNG не треба да има, јер резервоари су израђени од веома чврстог материјала и заштићени су сигурносним вентилима и другим сигурносним уређајима. Такође, резервоари пролазе велики број строгих тестова као што су отпорност на ватру, ударце, механичка оштећења итд.

CNG је безбеднији од традиционалних течних горива као што су бензин и дизел из више разлога:

- У случају цурења горива, CNG ће се брзо распршити навише, док се течна горива накупљају на земљи стварајући потенцијалну опасност од пожара,
- CNG има много вишу температуру паљења од течних горива ( $580^{\circ}\text{C}$  наспрам  $220^{\circ}\text{C}$  код бензина), па је зато много мањи број потенцијалних извора паљења у случају цурења гаса,
- CNG има узан опсег запаљивости и није токсичан,
- Процес допуњавања CNG на дистрибутивној пумпи је веома безбедан зато што је цео систем херметичан, чиме се спречава било какво цурење или просипање CNG.

Уградња система за погон на CNG треба да врше стручни и овлашћени сервиси. Захтеве које треба да испуне уређаји за погон возила на CNG са становишта безбедности дати су у ЕСЕ Правилнику бр. 110 и ЕСЕ Правилнику бр. 115.

Назив ЕСЕ Правилника бр. 110 је једнообразни прописи о хомологацији:

- специфичне опреме моторних возила са погоном на CNG,
- возила у погледу уградње специфичне опреме хомологованог типа за погон на CNG.

ЕСЕ Правилник бр. 115 даје једнообразне прописе о хомологацији специфичних CNG заменљивих система који се уграђују у возила за коришћење CNG у погонском систему. Напомињемо да потребно одржавање возила на CNG је слично као и код возила на LPG.

## **6.2. Безбедносни ризици примене возила на електрични погон**

У овом раду од возила на електрични погон, посматраћемо безбедност и одржавање ЕВ/ХЕВ, јер су она доживела своју експлоатацију док су остала возила у фази развоја и испитивања. Електричне машине (електромотор и генератор) ЕВ/ХЕВ у току експлоатације раде у екстремним условима. Када је реч о безбедности и одржавању ЕВ/ХЕВ екстремни услови могу да доведу до низа проблема и ризичних ситуација, као и до скраћења животног века ових возила.

Нарочити проблеми могу да се очекују услед екстремних температура при којима се возило користи, као и од продора страних тела и влаге у унутрашњост електричне машине. Свакако треба поменути могућност прегревања електричне машине у случају експлоатације на великим надморским висинама (због слабијег хлађења), штетно дејство соли и других хемикалија, вибрација и сл. За ХЕВ је значајно поменути и заштиту од пожара којој треба посветити посебну пажњу због постојања електричне машине и бензина. Због свега овога је тешко говорити о општим показатељима безбедности и одржавања ЕВ/ХЕВ јер се услови експлоатације могу значајно разликовати.

Како Саобраћајне несреће ХЕВ пред спасиоце стављају и нове изазове. Електрична компонента хибридног возила ради на 500 V што је око двапут више од струје „из зида“ или око четири пута више од 12-волтног акумулатора. Приликом тешке несреће и гужвања ХЕВ долази до опасности од појаве високог напона на металним деловима аутомобила. тврди Крис Петерсон из Тојоте за њихов Приус „Високог напона на

каросерији не би смело бити, али не могу гарантовати да је немогуће да у случају несреће он тамо доспе”. Због властите безбедности, америчким ватрогасцима достављена су детаљна техничка упутства како да се понашају при рашчишћавању олупина хибридног аутомобила. Напомињемо да, ватрогасци најчешће немају времена проћи сва безбедоносна испитивања и процедуре, па се у случају вађења путника заробљених у олупини ХЕВ, настрадалима приступа резањем крова, а ХЕВ се проглашава предметом под напоном.



Слика 6.10: Спашавање повређених из хибридног возила

Разлике у начину одржавања и експлоатације нарочито постоје између ЕВ и возила са мотором СУС. Хибридна возила имају у свом саставу и електромотор па на први поглед може да изгледа теже одржавати такво возило од класичног.

Електрични мотори се углавном израђују са кугличним лежајевима који не захтевају систем за подмазивање. То је један подсистем мање у односу на класичне аутомобиле. Ово је нарочито значајно јер се ради о подсистему који захтева непрестану пажњу при одржавању.

Доста је чест случај да се електрични вучни мотор хлади водом. Ово значи да се при експлоатацији и одржавању мора водити рачуна о том подсистему као и код класичних возила. Пумпа система за хлађење као и остали помоћни уређаји у ЕВ се покрећу електромотором што не захтева неко нарочито одржавање, за разлику од каишастих преносника снаге (ремења) које се примењује код класичних аутомобила.

Периодично одржавање ЕВ се своди на проверу течности у систему за хлађење и заптивености тог система. Осим овога, код ЕВ чији се погон напаја из класичних оловних акумулатора неопходно је водити рачуна о нивоу електролита у ћелијама и стању контаката. Само праћење електричног стања ћелија се обавља уз помоћ рачунара

и не представља нарочито оптерећење. Одржавање акумулатора је занемарљивог обима код класичних возила.

Одржавање и експлоатација ХЕВ подразумевају обављање свих радњи које су потребне при одржавању мотора СУС (замене уља, ремења, свећица, филтера...), али и одржавање акумулатора. Када се не би посматрале и остале компоненте возила, ХЕВ би са аспекта одржавања и експлоатације била врло неповољна. Међутим, ХЕВ захваљујући могућности рекуперативног кочења значајно смањују оптерећење кочница тако да се трошкови и активности у вези са њиховим одржавањем драстично смањују. Нпр. на ХЕВ после пређених 85.000 km истрошеност кочионих облога износила свега 30%. Ово значи да би оригиналне облоге могле да трају и преко 280.000 km што се изједначава са животним веком возила (сличне уштеде на одржавању хибридних аутобуса остварује и Metropolitan Transit Authorities из Њујорка). Осим овога уштеда се остварује и на основу тога што не постоји механички преносник који је подложен отказу и који је неопходно одржавати.

Узимајући у обзир и то да су саме електричне машине које се користе за ЕВ/ХЕВ изузетно једноставне и да се на њима троше једино лежајеви, укупан утисак је да су ова возила неупоредиво повољнија за одржавање од класичних.

## 7. ЕКОНОМСКИ РИЗИК ПРИМЕНЕ ВОЗИЛА НА АЛТЕРНАТИВНИ ПОГОН (КОСТ-БЕНЕФИТ АНАЛИЗА)

У теоријском кост-бенефит моделу за примену алтернативног погона код возила, нас у основи занима добробит потрошача, односно њихова корист од примене овог погона. Друштвена корист од примене возила на алтернативни погон зависи од употребе тих возила у градским срединама, као и од квалитета животне средине где се ова возила употребљавају. Из тог разлога људи су вољни да жртвују потрошњу, у извесној мери, како би побољшали квалитет животне средине, а пошто је квалитет животне средине повезан са емисијама, они су такође вољни да плате за редукацију емисије.

Као што је то најчешће случај, занемарићемо могуће утицаје од продаје возила са алтернативним погоном на опште благостање људи, не зато што сматрамо да она сама по себи нису битна, већ зато што се верује да су она прилично мала (релативно сиромашни људи у сваком случају не могу да приуште куповину нових возила).

Теоријски кост-бенефит модел за случај увођења већег броја возила на алтернативни погон у градовима Србије, дат је у табели 7.1.

Табела 7.1: Теоријски кост-бенефит модел

Друштвени трошкови	Друштвене користи
1) повећани издаци за инфраструктуру	1) смањење загађења ваздуха
2) смањење потрошачког (тржишног) вишка	2) смањење издатака за здравствену заштиту
	3) смањење трошкова оштећења флоре и фауне
	4) повећање комфора становања у већим градовима
	5) пораст потрошачког (тржишног) вишка.

У овом поглављу ми ћемо се посебно скоцентрисати на возила на алтернативна горива (LPG, CNG и биодизела) и возила на електрични погон (ЕВ и ХЕВ), јер је већа вероватноћа да ће ова возила (од свих других возила на алтернативни погон) бити у блиској будућности најзаступљенија у српском транспортном сектору.

У кост-бенефит анализи користимо цену бензина, дизела, LPG, CNG и електричне енергије која је важила у Србији у мају 2014. године, а због нестабилности курса



динара и лакшег поређења те цене су претворене у € по тада важећем средњем курсу (1 € = 115,5 RSD) и износиле су: бензин и дизел 1,3 €/l, LPG 0,8 €/l, CNG 0,4 €/m<sup>3</sup> (0,9 €/kg) и електрична енергија (просечна цена, јер иста варира зависно зоне потрошње, тарифе виша/нижа и трошкова за ангажовану снагу) 0,1 €/kWh. Такође, у овој кост-бенефит анализи претпостављамо да је очекивани животни век за сва возила 15 година.

## **7.1. Кост-бенефит анализа за возила на алтернативна горива**

Кост-бенефит анализа за возила на алтернативна горива изведена је да би смо показали економску корист од примене алтернативних горива (LPG, CNG и биодизела) у транспортном сектору Србије. Разматрана је и израчуната новчана добит за потрошаче при коришћењу возила на алтернативна горива у поређењу са сличним конвенционалним возилима. Напомињемо да су неке компоненте у овој кост-бенефит анализи изостављење, као што је нпр. еколошка корист од примене алтернативних горива и трошкови инфраструктуре, па није посматрана укупна друштвена корист од примене возила на алтернативна горива већ само индивидуална (потрошачка) корист.

### **7.1.1. Кост-бенефит анализа за LPG/CNG возила**

Уградња инсталације за погон возила на LPG у Србији кошта између 230 и 500 €. Цена инсталације зависи првенствено од врсте система за напајање мотора горивом који се користи на конкретном возилу у оригиналном решењу, као и од радне запремине мотора. Најјефтинија је уградња инсталације на возила опремљеним карбураторским мотором, а најскупља је уградња на возила са савременим системима за убризгавање горива.

Зависно од тога колико литара горива возило троши на 100 km, може се оквирно закључити да се уградња инсталације за погон на LPG код возила са карбураторским системом исплати после 10.000 пређених километара. Код возила опремљених савременим системима за убризгавање горива прелазак на погон LPG је нешто скупљи и исплати се после око 25.000 пређених километара.

Што се тиче возила са погоном на CNG, она су скупља за 15÷20% од еквивалентних конвенционалних возила, што није велика ставка узимајући у обзир користи. Цена CNG по m<sup>3</sup> је у односу на цену класичних течних горива око 3,5÷4 пута мања. Узимајући у обзир да 1 литар класичних течних горива одговара 1,1÷1,3 m<sup>3</sup> природног гаса, економска оправданост примене CNG је очигледна.

У табелама 7.2 и 7.3 дат је упоредни приказ конвенционалног, LPG и CNG возила, као и разлика у цени LPG/CNG и конвенционалног возила.

Табела 7.2: Упоредне техничке карактеристике и разлике у цени путничких возила

Карактеристике возила	Бензинска возила	LPG возила	CNG возила
Тежина возила, kg	1.290	1.310	1.330
Коефицијент отпора ваздуха	0,28	0,28	0,28
Коефицијет котрљања	0,008	0,008	0,008
Трансмисија	петостепена	петостепена	петостепена
Осовинско растојање	3,73	3,73	3,73
Потрошња горива на 100 km	6,8 l	8,7 l	4,3 kg***
Разлика у цени LPG/CNG и бензинског возила, €	основа	CW*	230
		EFI**	500
			2.320

\* карбураторски систем за убризгавање горива,

\*\* електронски системим за убризгавање горива,

\*\*\* пуњење се врши на пумпама.

Табела 7.3: Упоредне техничке карактеристике и разлика у цени аутобуса

Карактеристике аутобуса	Дизел аутобус	LPG аутобус	CNG аутобус
Укупна тежина, тона	17	17,06	17,08
Нето тежина, тона	12,2	12,2	12,2
Потрошња горива на 100 km	29 l	37,2 l	36,7 m <sup>3</sup> *
Разлика у цени LPG/CNG и дизел аутобуса, €	основа	1.260	24.890

\* пуњење се врши у гаражи ЈП из гасоводне мреже

Из табела 7.2 и 7.3 видимо да је тежина LPG/CNG возила незнатно већа (за тежину уграђеног инсталационог LPG/CNG уређаја) од тежине конвенционалног возила.

Потрошачки вишак за путничка LPG/CNG возила упоређењу са бензинским (за просечну возну раздаљину од 15.000 km годишње) и потрошачки вишак за LPG/CNG аутобусе упоређењу са дизел аутобусима (за просечну возну раздаљину од 30.000 km годишње), дат је у табели 7.4.

Табела 7.4: Потрошачки вишак за LPG/CNG возила, у €

Врста возила		Снижење трошкова због мање потрошње горива	Разлика у цени	Потрошачки вишак
LPG путн. возило	CW	$(6,8 \cdot 1,3 - 8,7 \cdot 0,8) \cdot 150 \cdot 15 = 4.230$	-230	4.000
	EFI		-500	3.730
CNG путнич. возило		$(6,8 \cdot 1,3 - 4,3 \cdot 0,9) \cdot 150 \cdot 15 = 11.182$	-2.320	8.862
LPG аутобус		$(29 \cdot 1,3 - 37,2 \cdot 0,8) \cdot 300 \cdot 15 = 37.485$	-1.260	36.225
CNG аутобус		$(29 \cdot 1,3 - 36,7 \cdot 0,4) \cdot 300 \cdot 15 = 105.345$	-24.890	80.455

Из табеле 7.4 види се да су LPG/CNG путничка возила профитабилна за потрошаче, а да су посебно профитабилни LPG/CNG аутобуси. Такође, доста су профитабилнија возила на CNG од возила на LPG.

#### 7.1.2. Кост-бенефит анализа за возила на биодизел

У укупним трошковима производње биодизела, најзначајнији су трошкови улазне сировине, који у зависности од коришћене сировине (уљана репица, сунцокрет, соја) чине 55÷65% укупних трошкова. Преостали део укупних трошкова чине трошкови прераде зрна у сирово уље и трошкови трансестерификације биљног уља у биодизел (табела 7.5). Вредност прихода оствареног продајом нуспроизвода (уљана сачма, глицерол, ђубриво), одузима се од укупних трошкова производње, па тиме умањује цену коштања биодизела. Приходи остварени продајом нуспроизвода умањују цену коштања биодизела за 20÷25%.

Имајући у виду садржај уља у зрну уљарица (сунцокрет 40%; уљана репица 36%; соја 17%), за производњу једне тоне биодизела потребно је прерадити 2,21 t сунцокрета, 2,46 t уљане репице или 4,92 t соје. У табели 7.5 дати су фактори цене коштања биодизела у погону капацитета 10.000 t/god.

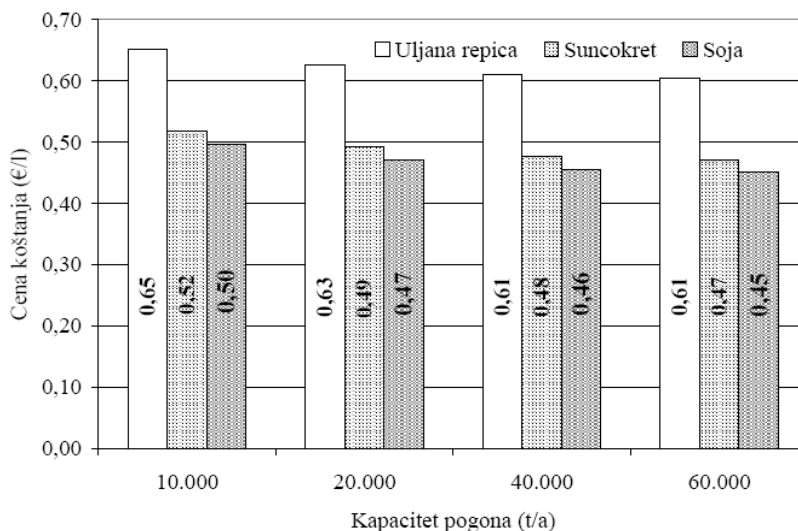
Табела 7.5: Цена коштања биодизела у погону капацитета 10.000 t/god. у €/l биодизела

Показатељи	Врста сировине		
	Соја	Сунцокрет	Уљана репица
Трошкови прераде зрна у уље, $T_P$	0,335	0,180	0,198
Трошкови трансестерификације, $T_T$	0,130	0,130	0,130
Укупни трошкови прераде, $T_U=T_P+T_T$	<b>0,465</b>	<b>0,310</b>	<b>0,328</b>
Приходи од сачме, $P_S$	0,911	0,164	0,154
Приходи од глицерина, $P_G$	0,015	0,015	0,015
Приходи од нуспроизвода, $P_N=P_S+P_G$	<b>0,926</b>	<b>0,179</b>	<b>0,169</b>
<b><math>K=T_U - P_N</math></b>	<b>-0,461</b>	<b>0,131</b>	<b>0,159</b>
Трошкови улазне сировине, $T_S$	<b>4,92</b>	<b>2,21</b>	<b>2,46</b>
Цена коштања биодизела, $C_B$	$T_{S_{so}} \cdot C_{so} + K_{so}$	$T_{S_{su}} \cdot C_{su} + K_{su}$	$T_{S_{ur}} \cdot C_{ur} + K_{ur}$

\*  $C_{so}$ ,  $C_{su}$ ,  $C_{ur}$  – цена соје, сунцокрета и уљане репице у €/kg

При просечним откупним ценама уљарица у 2013. (уљана репица: 200 €/t, соја: 195 €/t, сунцокрет: 175 €/t), израчуната цена коштања биодизела у погону годишњег капацитета 10.000 t биодизела, износи 0,50 €/l за соју, 0,52 €/l за сунцокрет и 0,65 €/l за уљану репицу.

Такође, израчуната је цена коштања биодизела за различите врсте сировина и различите годишње капацитете производње (слика 7.1). Резултати анализе показују да производња биодизела на бази сојиног зрна остварује најповољније економске резултате. Такође, без обзира на врсту сировине која се користи, уочљив је пад у јединичној цени коштања биодизела са растом производног капацитета, што је последица пада фиксних трошкова по јединици биодизела са повећањем обима производње.



Слика 7.1: Цена коштања биодизела у зависности од врсте сировине и капацитета погона

Поред цене коштања, други битан фактор који одређује профитабилност производње биодизела у Србији је цена дизел горива. Искуство европских земаља показује, да се биодизел може продати једино ако је његова малопродајна цена нижа од цене фосилног дизела.

Без обзира на врсту сировине која се користи, цена коштања биодизела је у Србији 2013. године у свим случајевима била већа од цене коштања минералног дизела. По овоме би се могло закључити да биодизел не може бити конкурентан минералном дизелу на домаћем тржишту течних горива. Ипак, анализа малопродајне цене фосилног дизел горива указује на значај државних мера – пореске и акцизне политике, на формирање продајне цене горива. У структури малопродајне цене фосилног дизел горива фабричка цена учествује са 49%, док остатак чини рабат са 10% који се исплаћује дистрибутерима горива, акциза са 21% и порез на додатну вредност од 20%. Дакле, управо у области државне пореске политике, се налазе највеће резерве за повећање конкурентности биодизела. Наиме, у случају примене пуне акцизе на цену биодизела, малопродајна цена једног литра биодизела, била би за 8,95 € центи већа од малопродајне цене минералног дизела. Са друге стране, у случају потпуног ослобађања биодизела од акцизе, малопродајна цена биодизела би била нижа за 15,05 € центи по литру од цене дизел горива. Дакле, потпуно ослобађање биодизела од акцизе би осигурало конкурентност биодизела на домаћем тржишту.

## 7.2. Кост-бенефит анализа за возила на електрични погон

Кост-бенефит анализа у овом подпоглављу изведена је за случај увођења електричних и хибридних возила са новом и побољшаном технологијом. Напомињемо да су неке компоненте трошкова у овој кост-бенефит анализи врло неизвесне, као што су нпр. неопходна одговарајућа улагања у инфраструктуру. Позитивни приход у кост-бенефит анализи је неопходан, али не и довољан услов за примену електричних и хибридних возила. За потпуну анализу примене електричних и хибридних возила неопходно је узети у обзир и њихове перформансе (техничке карактеристике ових возила).

### 7.2.1. Обрада трошкова за различита возила

На основу рада Duler [65] дајемо трошкове за различита моторна возила. За акумулаторска електрична возила за две различите снаге акумулатора, карактеристике су представљене у табели 7.6, где основу за поређење чини мало бензинско возило.

Табела 7.6: Техничке карактеристике и разлика у цени за акумулаторско електрично возило (мање и веће снаге акумулатора) упоређено са бензинским возилом

Карактеристике акумулаторских електричних возила	За мању снагу акумулатора	За већу снагу акумулатора
Тежина возила, kg	830	1.720
Коефицијент отпора ваздуха	0,28	0,28
Коефицијент котрљања	0,008	0.008
Снага мотора, kW	41,5	81
Тежина акумулатора, kg	225	775
Снага акумулатора, kWh	16,9	58
Време пуњења акумулатора, h	4	6
Потрошња струје на 100 km, kWh	44,8	65,4
Разлика у цени електричног и бензинског возила, €	14.180	26.420

Из табеле 7.6 видимо да се тежина и цена електричних возила драстично повећавају са повећањем снаге акумулатора. Такође, треба приметити да је време пуњења ових возила велико јер струја пуњења временом опада како се акумулатор пуни и на крају скоро потпуно нестаје.

Претпостављамо да ће се у будућности хибридна бензинска возила продавати широм света у значајној количини. Слаби хибрид је мање напредан тип хибридног возила који се увек покреће бензинским мотором, док јаки хибрид (нпр. Тојота Приус) има нешто већи акумулатор и може се возити као чисто акумулаторско електрично возило на краћим раздаљинама при малим брзинама.

Табела 7.7 представља техничке карактеристике и цене за хибридна путничка возила упоређењу са бензинским. Разматрамо два типа хибридних путничких возила и то слаба и јака.

Табела 7.7: Упоредне техничке карактеристике за бензинска, слаба и јака хибридна возила и разлике у цени, [65]

Карактеристике возила	Бензинска возила	Слаб хибрид	Јак хибрид
Тежина возила, kg	1.290	1.320	1.340
Испитна тежина, kg	1.418	1.475	1.475
Коефицијент отпора ваздуха	0,28	0,28	0,28
Коефицијет котрљања	0,008	0,008	0,008
Тип мотора	2,5L I-4	1,8L I-4	1,6L I-4
Снага мотора, kW	112	90	70
Електромотор, kW	нема	12	30
Вентили	4 s VVT	4 s VVT	4 s VVT
Трансмисија	петостепена	петостепена	електрична CVT
Осовинско растојање	3,73	3,27	3,27
Потрошња горива, l/100 km	6,8	5,1	4,3
Акумулатор	-	1 kWh, 12 kW	2,5 kWh, 30 kW
Разлика у цени хибридног и бензинског возила, €	основа	3.800	5.560

Из табеле 7.7 видимо да је код бензинских возила направљен знатан технолошки напредак током предходних година. Упркос томе, хибридна путничка возила не губе на значају, првенствено због мање потрошње горива, па на њиховом усавршавању раде водеће светске аутомобилске индустрије.

Табела 7.8 представља карактеристике и цене за хибридне дизел камионе упоређене са конвенционалним камионима.

Разматрамо два типа хибридних дизел камиона:

- хибридни дизел камион-слаб, који је тип камиона који се никад не пуни струјом из мреже и
- хибридни дизел камион-јак, који је тип камиона који се може пунити из мреже и који се може користити као чисто акумулаторско електрично возило за краће раздаљине.

Табела 7.8: Упоредне техничке карактеристике за конвенционалне, слабе и јаке хибридне камионе и разлика у цени, [65]

Карактеристике камиона	Дизел камион	Хибридни дизел камион (слаб)	Хибридни дизел камион (јак)
Бруто тежина, тона	12	12	12
Корисна носивост, тона	6,5	6,5	6,2
Снага мотора, kW	165	125	125
Тип мотора	6L I-6 дизел	4L I-4 дизел	4L I-4 дизел
Електромотор, kW	нема	40	125
Генератор, kW	нема	нема	90
Акумулатор	нема	6 kWh, 40 kW	12 kWh, 80 kW
Домет на електропогон	нема	нема	12 до 15 km
Потрошња горива, l/100 km	28	22,5	20,2
Разлика у цени хибридног и дизел камиона, €	основа	7.575	28.270

Табела 7.9 представља карактеристике и цене за хибридне дизел аутобусе (слабе и јаке) упоређењу са конвенционалним дизел аутобусима.



Табела 7.9: Упоредне техничке карактеристике за конвенционалне, слабе и јаке хибридне аутобусе и разлика у цени, [65]

Карактеристике аутобуса	Дизел аутобус	Хибридни аутобус слаб хибрид	Хибридни аутобус јак хибрид
Укупна тежина, тона	17	17	17
Нето тежина, тона	12,2	12,2	12,2
Снага мотора, kW	170	130	130
Тип мотора	6L I-6 дизел	4L I-4 дизел	4L I-4 дизел
Електромотор, kW	нема	40	130
Генератор, kW	нема	нема	90
Акумулатор	нема	7 kWh, 40 kW	14 kWh, 80 kW
Домет на електропогон	нема	нема	15 до 20 km
Потрошња горива, l/100 km	29	23,5	21
Разлика у цени хибридног и дизел аутобуса, €	основа	7.665	28.890

### 7.2.2. Трошкови инфраструктуре

Трошкови инфраструктуре би могли бити важни, нарочито кад те трошкове треба да покрије мала количина електричних возила. Употреба акумулаторских електричних возила захтеваће улагања у инфраструктуру која вероватно неће подразумевати улагање у главну струјну мрежу већ уместо тога, биле би потребне инвестиције за пуњење акумулаторских електричних возила.

У овом раду, анализирана су два типа пуњења конвенционално (споро) пуњење (код куће) и брзо пуњење (једна станица на 40 возила, смештена у центру града). Просечни трошкови за инфраструктуру за споро пуњење процењују се на 82 € по возилу, а трошкови за брзо пуњење процењују се на 855 € по возилу, па друга могућност испада веома скупа иако ниво услуге очигледно расте. Треба такође приметити да је чак и брзо пуњење спорије од пуњења бензином, и може трајати чак неких пола сата. Ако су, рецимо, у реду испред вас два возила, то ће очигледно однети много времена.

### 7.2.3. Емисиони фактори

За емисионе факторе бензинских возила користимо податке из рада Сударевић [40]. То су процењени просечни фактори емисије током животног века возила базирани на многобројним изворима, укључујући постојеће и планиране будуће стандарде емисија у ЕУ. Фактори као што је повећање емисије са повећањем старости возила и хладно стартовање су такође укључени.

Емисиони фактори су логично већи у урбаном него у неурбаном саобраћају (емисија  $\text{NO}_x$  1,5 пута већа а емисија  $\text{VOC}$  5 пута већа). Претпостављамо да се за просечно возило 30% саобраћаја обавља у урбаном подручју. Такође, претпостављамо да су емисиони фактори за хибридна бензинска возила 50% емисионих фактора возила на бензин (осим за  $\text{CO}_2$  чија је емисија око 75% емисије возила на бензин).

У табели 7.10 дати су емисиони фактори за различита возила.

Табела 7.10: Емисиони фактори за различита возила, [40]

Врста возила	$\text{VOC}$ , g/km	$\text{NO}_x$ , g/km	Честице, mg/km
Бензинска возила	0,38	0,08	5
Слаба хибридна возила	0,19	0,04	2,6
Јака хибридна возила	0,1	0,02	1,3
Дизел камиони,	0,3	4,9	100
Дизел аутобуси	0,32	5,1	100

Како електрична акумулаторска возила имају нулту емисију при употреби, важно питање је до каквих ће еколошких последица доћи у смислу емисије коју ће додатни kWh електричне енергије да произведу (енергија потребна за погон електричних возила), а не целокупна тренутно произведена електрична енергија.

Производња електричне енергије се може сврстати у три групе:

- чиста нефосилна производња – електрична енергија произведена из „зелених извора“ (нпр. енергије воде, сунчеве енергије, енергије ветра и сл.),
- чиста фосилна производња – електрична енергија произведена од фосилних горива (најчешће природног гаса),

- фосилна производња – електрична енергија произведена од фосилних горива (најчешће угља).

Закључујемо да фосилна производња електричне енергије је најзаступљенија у Србији, јер највећи део произведене електричне енергије је из термоелектране Никола Тесла у Обреновцу, која користи угаљ за производњу, па ћемо ову чињеницу користити у даљој анализи еколошких трошкова.

Такође је важно запазити да не постоје само директни спољни трошкови од производње струје. Чак и кад би се сва струја производила искључиво из такозваних „зелених извора“, јасно је да постоје други спољни трошкови као што је зрачење, могуће несреће и бука.

#### 7.2.4. Еколошки трошкови

Тешко је добити вредности еколошких трошкова које покривају све релевантне аспекте и очигледна је неопходност увођења поједностављујућих претпоставки. За процењене вредности еколошких трошкова у Србији коришћене су вредности Министарства за заштиту животне средине и просторно планирање Владе Србије које су одређене на бази увећаних здравствених трошкова од аерозагађења и дати су у табели 7.11.

Табела 7.11: Еколошки трошкови у Србији по килограму емисије у €

Врста емисије	Трошкови по килограму емисије
VOC	3
NO <sub>x</sub>	7
Честице	620

Многе међународне процене еколошких трошкова су истог реда величина као вредности из табеле 7.11, нпр. Greene [71] и Maddison [70], што потврђује тачност датих претпоставки. Ипак, можда је тренутно најобимнија студија о дејству емисије на здравље људи, студија Cubbin [69] чији део резултата дајемо у табели 7.12.

Табела 7.12: Здравствени трошкови по килограму емисије возила у САД 2008. у €, [69]

		VOC	NOx	Честице
САД	Низак	0,11	1,18	9,85
	Висок	1,27	17,47	135,17
Урбана зона	Низак	0,15	1,71	13,88
	Висок	1,61	23,58	189,42
Лосанђелес	Низак	0,57	6,65	59,4
	Висок	4,79	79,28	644,95

Видимо да су здравствени трошкови у Србији (табела 7.11) за VOC и честице већи од истих трошкова у САД-у (приближавају се „високим“ вредностима у Лосанђелесу, табела 7.12), што је последица велике старости возила у Србији и великог броја возила са карбуратором.

Треба напоменути да здравствени трошкови за NOx нису последица директног утицаја NOx на здравље људи, већ се јављају због секундарних честица (нитрата) који се формирају услед емисије NOx. Може се претпоставити и могућност да ће други пратећи еколошки и здравствени ризици од емисије моторних возила бити идентификовани у будућности, што ће само по себи подразумевати веће будуће еколошке вредности возила на електрични и хибридни погон.

Како се у Србији већи део струје (додатни kWh за електрична акумулаторска возила) производи од угља, то су у табели 7.13 дати еколошки трошкови производње те струје.

Табела 7.13: Еколошки трошкови производње струје од угља у Србији, €/ kWh, [11]

SO <sub>2</sub>	NOx	Честице	CO	Озон	Укупно
3,606	6,128	0,423	0,008	2,442	12,607

#### 7.2.5. Трошкови буке

Бука у великим градовима стварају у највећој мери моторна возила и она узрокује повећане здравствене издатке (оштећење слуха, раздражљивост, напетост...) и смањује

комфор становања. Нажалост, веома мало се ради на процењивању спољашње буке по километру за различита возила, под различитим околностима. Ипак, знамо да су електрична и хибридна возила мање бучна од бензинских и дизел возила, и игнорисање те чињенице би очигледно утицало на резултат у кост-бенефит анализи.

Како би смо имали једноставну меру трошкова спољашње буке по пређеном километру, узимамо резултате Maddison [70] као полазну основу. Они представљају грубе процене вредности буке од 0,6 €/100 km за конвенционална возила и 6 €/100 km за дизел камионе. Очигледно из истих разлога, још мање се зна о трошковима спољашње буке за возила на електрични погон.

Ипак, уз коришћење одговарајућих претпоставки, у табели 7.14 дајемо вредности трошкова спољашње буке за различита возила.

Табела 7.14: Претпостављени трошкови спољашње буке за различита возила, €/100 km

Врста возила	Трошкови буке
Бензинско или дизел путничко возило	0,6
Акумулаторско електрично возило	0,1
Хибридна акумулаторска возила	0,2
Хибридна бензинска возила (слаб и јак)	0,4
Дизел камион	6
Хибридни дизел камион (слаб и јак)	3
Дизел аутобус	6
Хибридни аутобус (слаб и јак)	3

Понекад се расправља о томе да ли постоје негативни пратећи ефекти ових тихих возила, пошто би било теже чути их, па би самим тим и безбедност била погоршана. Са друге стране, такође би се могло расправљати о томе да ли бука отежава концентрацију и комуникацију са другим људима и децом, па би се стога безбедност могла побољшати смањивањем нивоа буке. У недостатку јасних доказа о овом питању ми претпостављамо да је нето ефекат нула, тј. не укључујемо никакве могуће индиректне ефекте на безбедност.

7.2.6. Спремност потрошача за плаћање возила на електрични погон

Један важан део могућности и ефеката примене електричног погона код моторних возила је максимална спремност потрошача да плате та возила, и одговарајућа дејства на финансијско стање потрошача. Постоји неколико битних разлика између возила на електрични погон и бензинских/дизел возила, и те разлике ће наравно утицати на спремност потрошача да плате возила на електрични погон. Један начин да се процене последице на финансијско стање потрошача било би директно вредновање карактеристика, као што су убрзање, безбедност и време пуњења. Друга опција је да се процени цена возила на електрични погон са ценом бензинских/дизел возила (у већини случајева цена бензинских/дизел возила је нижа од цене возила на електрични погон).

У овом раду претпостављамо једнаке трошкове за поправку и одржавање бензинских и акумулаторских електричних возила. Иако се може тврдити да су акумулаторска електрична возила мање технички компликовани па стога подразумевају ниже пратеће трошкове, ипак постоји много веће искуство мајстора у поправљању бензинских возила што ће се вероватно одразити на трошкове одржавања, као и велики трошкови замењивања акумулатора током животног века акумулаторског електричног возила. Због тога претпоставка о једнаким трошковима одржавања за акумулаторска електрична и бензинска возила, делује врло оптимистички.

Потрошачки вишак за путничка возила на електрични погон упоређењу са бензинским за просечну возну раздаљину од 15.000 километара годишње, дат је у табели 7.15.

Табела 7.15: Потрошачки вишак за путничка возила на електрични погон, у €

Врста путничког возила	Снижење трошкова због мање потрошње горива	Разлика у цени	Потрошач. вишак
Електрично возило са малим акумулатором	$(6,8 \cdot 1,3 - 44,8 \cdot 0,1) \cdot 150 \cdot 15 = 9.810$	-14.180	-4.370*
Електрично возило са великим акумулатором	$(6,8 \cdot 1,3 - 65,4 \cdot 0,1) \cdot 150 \cdot 15 = 5.175$	-26.420	-21.245*
Хибридно слабо возило	$(6,8 - 5,1) \cdot 1,3 \cdot 150 \cdot 15 = 4.972$	-3.800	1.172
Хибридно јако возило	$(6,8 - 4,3) \cdot 1,3 \cdot 150 \cdot 15 = 7.312$	-5.560	1.752

\* губитак за потрошаче

И поред претпоставке о једнаким трошковима одржавања за бензинска и акумулаторска електрична возила, као што се види из табеле 7.15, постоји губитак за потрошаче при примени акумулаторских електричних возила, јер новчана разлика потрошње бензина и електричне енергије упоређена са разликом у цени коштања ових возила је негативна. Хибридна путничка возила, са друге стране, су много повољнија за потрошаче од акумулаторских електричних возила. Сва хибридна путничка возила дата у табели 7.15 имају потрошачки вишак (добит за потрошаче) јер новчана разлика у потрошњи горива бензинских и хибридних путничких возила је већа од разлике у цени коштања истих.

Код хибридних камиона и аутобуса, потрошачки вишак у односу на конвенционалне камионе и аутобусе, за просечну возну раздаљину од 30.000 километара годишње, дат је у табели 7.16.

Табела 7.16: Потрошачки вишак за дизел неконвенционална возила, у €

Врста дизел возила	Снижење трошкова због мање потрошње горива	Разлика у цени	Потрошач. вишак
Хибридни камион (слаб)	$(28 - 22,5) \cdot 1,3 \cdot 300 \cdot 15 = 32.175$	-7.575	24.600
Хибридни камион (јак)	$(28 - 20,2) \cdot 1,3 \cdot 300 \cdot 15 = 45.630$	-28.270	17.360
Хибридни аутобус (слаб)	$(29 - 23,5) \cdot 1,3 \cdot 300 \cdot 15 = 32.175$	-7.665	24.510
Хибридни аутобус (јак)	$(29 - 21) \cdot 1,3 \cdot 300 \cdot 15 = 46.800$	-28.890	17.910

Из табеле 7.16 видимо да постоји потрошачки вишак при примени свих хибридних камиона и аутобуса, а да је посебно велика уштеда за потрошаче код слабих хибридних камиона и слабих хибридних аутобуса у односу на конвенционалне камионе и аутобусе.

#### 7.2.7. Еколошки трошкови по јединици растојања

Везано за претходно наведену дискусију, можемо да израчунамо еколошке трошкове, за пређених 100 km, за различите типове возила као и еколошку корист од замене конвенционалних возила електричним.

У табелама 7.17 дати су еколошки трошкови и еколошка корист од замене бензинског путничког возила возилом на електрични погон.

Табела 7.17: Еколошка корист од замене бензинског путничког возила возилом на електрични погон, у €/100 km, [69]

	Бензинско путничко возило	ЕВ са малим акумул.	ЕВ са великим акумул.	Хибридно слабо возило	Хибридно јак возило
Локални еколошки трошкови	0,18	-	-	0,07	0,03
Регионални еколошки трошкови	0,08	0,05	0,04	0,02	0,01
Ниска вредност CO <sub>2</sub>	0,59	0,17	0,16	0,52	0,45
Висока вредност CO <sub>2</sub>	2,34	0,67	0,66	2,05	1,77
Бука возила	0,6	0,1	0,1	0,4	0,4
<b>Укупни еколошки трошкови за ниски CO<sub>2</sub></b>	<b>1,45</b>	<b>0,32</b>	<b>0,3</b>	<b>1,01</b>	<b>0,89</b>
<b>Укупни еколошки трошкови за високи CO<sub>2</sub></b>	<b>3,2</b>	<b>0,82</b>	<b>0,8</b>	<b>2,54</b>	<b>2,21</b>
<b>Еколошка корист од замене бензинског возила за ниски CO<sub>2</sub></b>	<b>основа</b>	<b>1,13</b>	<b>1,15</b>	<b>0,44</b>	<b>0,56</b>
<b>Еколошка корист од замене бензинског возила за високи CO<sub>2</sub></b>	<b>основа</b>	<b>2,38</b>	<b>2,4</b>	<b>0,66</b>	<b>0,99</b>

Из табеле 7.17 се види да данас акумулаторска електрична возила имају мање еколошке трошкове од бензинских возила, што је и очекивано. Чак су трошкови CO<sub>2</sub> за акумулаторска електрична возила увек у суштини нижи него за путничка возила на бензин, без обзира на фосилну производњу струје. То је последица чињенице да је енергетска ефикасност за акумулаторска електрична возила више него дуплирана и да су регионални еколошки трошкови од производње струје мали. У врло екстремном



случају где производња струје не изазива никакве спољне трошкове, еколошки трошкови за акумулаторска електрична возила би били наравно нула.

У последњих 10 година дошло је до драстичног смањења трошкова емисије за конвенционалне дизел камионе. Међутим, локални еколошки трошкови, нарочито у већим градовима, су од суштнског значаја, највећим делом због емисије честица, али и због буке. Дизел возила имају веће пратеће еколошке трошкове него бензинска. Та разлика постоји највећим делом због веће емисије честица, која се сматра најзначајнијом са аспекта људског здравља.

У табелама 7.18 дати су еколошки трошкови и еколошка корист од замене дизел камиона хибридним дизел камионом.

Табела 7.18: Еколошка корист од замене дизел камиона хибридним дизел камионом у €/100 km, [69]

	Дизел камион	Хибридни слаб дизел камион	Хибридни јак дизел камион
Локални еколошки трошкови	5,28	2,23	2,2
Регионални еколошки трошкови	1,37	0,58	0,59
Ниска вредност CO <sub>2</sub>	2,82	1,86	1,75
Висока вредност CO <sub>2</sub>	11,14	7,36	6,85
Бука возила	6	3	3
<b>Укупни еколошки трошкови за ниски CO<sub>2</sub></b>	<b>15,47</b>	<b>7,67</b>	<b>7,54</b>
<b>Укупни еколошки трошкови за високи CO<sub>2</sub></b>	<b>23,79</b>	<b>13,17</b>	<b>12,64</b>
Еколошка корист од замене дизел камиона за ниски CO <sub>2</sub>	основа	7,8	10,62
Еколошка корист од замене дизел камиона за високи CO <sub>2</sub>	основа	7,93	11,15

Табелама 7.19 даје еколошке трошкове и еколошку корист од замене дизел аутобуса хибридним дизел аутобусом.

Табела 7.19: Еколошка корист од замене дизел аутобуса  
хибридним аутобусом у €/100 km, [69]

	Дизел аутобус	Хибридни слаб дизел аутобус	Хибридни јак дизел аутобус
Локални еколошки трошкови	5,28	2,23	2,18
Регионални еколошки трошкови	1,37	0,58	0,56
Ниска вредност CO <sub>2</sub>	2,83	1,88	1,82
Висока вредност CO <sub>2</sub>	11,15	7,38	6,92
Бука возила	6	3	3
<b>Укупни еколошки трошкови за ниски CO<sub>2</sub></b>	<b>15,48</b>	<b>7,69</b>	<b>7,56</b>
<b>Укупни еколошки трошкови за високи CO<sub>2</sub></b>	<b>23,8</b>	<b>13,19</b>	<b>12,66</b>
<b>Еколошка корист од замене дизел камиона за ниски CO<sub>2</sub></b>	<b>основа</b>	<b>7,79</b>	<b>10,61</b>
<b>Еколошка корист од замене дизел камиона за високи CO<sub>2</sub></b>	<b>основа</b>	<b>7,92</b>	<b>11,14</b>

Из табела 7.17, 7.18 и 7.19 видимо да еколошки трошкови се драстично повећавају са већим вредностима угљен-диоксида (CO<sub>2</sub>), па ефекат стаклене баште доминира еколошким трошковима.

#### 7.2.8. Потпуна кост-бенефит анализа

Потпуна кост-бенефит анализа обухвата еколошки ефекат примене електричних возила, потрошачки вишак/губитак и трошкове инфраструктуре.

Табела 7.20 приказује друштвени приход од замене бензинског возила акумулаторским електричним возилом у Србији 2014. године.

Табела 7.20: Друштвени приход од замене бензинског возила електричним возилом, €

<b>Електрично возило са малим акумулатором</b>			
		Низак CO <sub>2</sub>	Висок CO <sub>2</sub>
Еколошке користи		$1,13 \cdot 150 \cdot 15 = 2.542$	$2,38 \cdot 150 \cdot 15 = 5.355$
Потрошачки губитак		- 4.370	- 4.370
Трошкови инфраструктуре	Без брзог пуњења	- 82	- 82
	Са брзим пуњењем	- 855	- 855
<b>Укупно</b>	Без брзог пуњења	<b>- 1.909</b>	<b>903</b>
	Са брзим пуњењем	<b>- 2.682</b>	<b>130</b>
<b>Електрично возило са великим акумулатором</b>			
		Низак CO <sub>2</sub>	Висок CO <sub>2</sub>
Еколошке користи		$1,15 \cdot 150 \cdot 15 = 2.587$	$2,40 \cdot 150 \cdot 15 = 5.400$
Потрошачки губитак		- 21.245	- 21.245
Трошкови инфраструктуре	Без брзог пуњења	- 82	- 82
	Са брзим пуњењем	- 855	- 855
<b>Укупно</b>	Без брзог пуњења	<b>- 18.739</b>	<b>- 15.927</b>
	Са брзим пуњењем	<b>- 19.512</b>	<b>- 16.700</b>

Из табеле 7.20 видимо да су акумулаторска електрична возила веома друштвено непрофитабилна. Такође, можемо видети да брзо пуњење делује веома скупо и чини велики део друштвеног дефицита. Из табеле 7.20, можемо закључити да је увођење и примена акумулаторским електричних возила сада друштвено непрофитабилна.

Хибридна возила много више обећавају и друштвени приход од замене бензинског возила хибридном возилом у Србији 2014. године дат је у табелама 7.21 и 7.22.

Табела 7.21: Друштвени приход од замене бензинског возила славим хибридном, €

	Низак CO <sub>2</sub>	Висок CO <sub>2</sub>
Еколошке користи	$0,44 \cdot 150 \cdot 15 = 990$	$0,66 \cdot 150 \cdot 15 = 1.485$
Потрошачки вишак	969	969
<b>Укупно</b>	<b>1.959</b>	<b>2.454</b>

Табела 7.22: Друштвени приход од замене бензинског возила јаким хибридним, €

	Низак CO <sub>2</sub>	Висок CO <sub>2</sub>
Еколошке користи	$0,56 \cdot 150 \cdot 15 = 1.260$	$0,99 \cdot 150 \cdot 15 = 2.228$
Потрошачки вишак	1.172	1.172
<b>Укупно</b>	<b>2.432</b>	<b>3.400</b>

Видимо да оба типа, слабо хибридно бензинско возило (табела 7.21) које се никада неће возити као чисто акумулаторско електрично возило и јако хибридно бензинско возило (табела 7.22) су друштвено профитабилна.

У табелама 7.23 и 7.24 дат је друштвени приход од замене конвенционалних камиона хибридним камионима, а у табелама 7.25 и 7.26 дат је друштвени приход од замене конвенционалних аутобуса хибридним аутобусима.

Табела 7.23: Друштвени приход од замене дизел камиона славим хибридним, €

	Низак CO <sub>2</sub>	Висок CO <sub>2</sub>
Еколошке користи	$7,8 \cdot 300 \cdot 15 = 35.100$	$10,62 \cdot 300 \cdot 15 = 47.790$
Потрошачки вишак	24.600	24.600
<b>Укупно</b>	<b>59.700</b>	<b>72.390</b>

Табела 7.24: Друштвени приход од замене дизел камиона јаким хибридним, €

	Низак CO <sub>2</sub>	Висок CO <sub>2</sub>
Еколошке користи	$7,93 \cdot 300 \cdot 15 = 35.685$	$11,15 \cdot 300 \cdot 15 = 50.175$
Потрошачки вишак	17.360	17.360
<b>Укупно</b>	<b>53.045</b>	<b>67.535</b>

Табела 7.25: Друштвени приход од замене дизел аутобуса славим хибридним, €

	Низак CO <sub>2</sub>	Висок CO <sub>2</sub>
Еколошке користи	$7,79 \cdot 300 \cdot 15 = 35.055$	$10,61 \cdot 300 \cdot 15 = 47.745$
Потрошачки вишак	24.510	24.510
<b>Укупно</b>	<b>59.565</b>	<b>72.255</b>

Табела 7.26: Друштвени приход од замене дизел аутобуса јаким хибридним, €

	Низак CO <sub>2</sub>	Висок CO <sub>2</sub>
Еколошке користи	$7,92 \cdot 300 \cdot 15 = 35.640$	$11,14 \cdot 300 \cdot 15 = 50.130$
Потрошачки вишак	17.910	17.910
<b>Укупно</b>	<b>53.550</b>	<b>68.040</b>

Из табела 7.23, 7.24, 7.25 и 7.26 видимо да су хибридни камиони и аутобуси профитабилни и за потрошаче и за друштво. Такође, упркос већим еколошким користима јаким хибридних возила (који су везани за локална и регионална загађења), слаба хибридна возила су друштвено профитабилнија.

Неопходан, али не и довољан услов за профитабилност возила на електрични погон у кост-бенефит анализи је да друштвени приход буде позитиван. За потпуну анализу примене електричних и хибридних возила неопходно је узети у обзир и њихове перформансе. Овом анализом нису узети у обзир порески приходи/губици од увођења возила на електрични погон. Такође, у претходној анализи су дати резултати и за ниску и за високу вредност емисије CO<sub>2</sub> како би поређење било комплетно.

Из претходних табела, полазећи од бројних поједностављујућих претпоставки, закључујемо да увођење возила на електрични погон није препоручљиво за акумулаторска електрична путничка возила. Очигледно, када би дошло до великог технолошког пробоја у производњи акумулатора, то би знатно побољшало перформансе акумулаторских електричних возила и снизило цену возила, па тада сигурно не би смо могли да одбацимо акумулаторска електрична возила.

За разлику од акумулаторских електричних возила, увођење хибридних путничких возила показало се профитабилно. Такође је показано да увођење градских хибридних дизел камионе и аутобуса, који би заменили конвенционалне дизел камионе и аутобусе, заиста делује профитабилно. Видели смо да такво увођење ствара тржишни вишак, јер мања потрошња горива хибридних дизел камиона и аутобуса надокнађује њихову већу цену коштања.

## 8. ЗАКЉУЧАК

У овом раду је презентирана веома комплексна проблематика алтернативних погона моторних возила сажета у циљу утврђивања актуелног стања и дефинисања могућих праваца даљег развоја. Од обиља података о овој теми, који стоје на располагању, изложени су само они који су у функцији постављеног циља овог рада. Отуда није било могуће посветити подједнаку пажњу свим питањима значајним за ову област.

У раду је показано да би алтернативно гориво било прихваћено као комерцијално гориво за погон мотора СУС неопходно је да задовољи неколико кључних захтева:

- да гориво потиче из обновљивог извора (сировине),
- да је извор горива (сировина), релативно лако доступна за експлоатацију,
- да карактеристике горива одговарају захтеваним карактеристикама горива намењеним за погон мотора СУС,
- да је поступак прераде горива релативно једноставан и јефтин,
- да је манипулација и складиштење горивом безбедно, једноставно и јефтино,
- да је гориво постојано при складиштењу
- да са еколошког аспекта задовољи законске регулативе које се постављају пред моторе СУС,
- да је алтернативно гориво компатибилно са моторним уљем и осталим мазивима која се користе на возилу (не сме значајније да смањује време замене уља),
- да примена алтернативног горива не смањује радни век мотора, нити смањује поузданост појединих моторских система и мотора као целине,
- да је цена алтернативног горива мања или бар иста као цена фосилног горива.

Показано је да електрични погони моторних возила морају да испуне одређене услове да би постали конкурентни за масовну употребу, а пре свега: конкурентна цена, поузданост и трајност система, минимално и лако одржавање, лако и брзо пуњење, аутономија од најмање 250 km са једним пуњењем, безбедност при употреби, итд.

Из обраде теме овог рада намеће се закључак да моторна возила на алтернативни погон имају мању емисију загађујућих супстанци у односу на коришћење конвенционалних бензинских/дизел возила. Дакле, коришћењем алтернативних погона моторних возила

долази до емисије загађујућих супстанци, али у много мањој мери него код употребе конвенционалних моторних возила. Такође, потреба за смањење емисија полутана (угљен-диоксида) представља једну од главних одредница развоја моторних возила у непосредној будућности, јер Европска Комисија намерава да од 2015. године произвођачима моторних возила уведе таксу од 95 € за сваки грам емисије угљен-диоксида преко 120 g/km.

У овом раду је лабораторијско испитивање (мерење упоредне снаге на точковима возила погоњених LPG и бензином) и израчунавање величина урађено је у потпуности у складу с системом квалитета ISO 9000. Предности оваквог испитивања огледа се у:

- избегавању грубе грешке при прерачунавању очитаних величина током прикупљања података, чиме се значајно смањује мерна несигурност,
- смањењу броја потребних људи укључених у испитивање,
- пружању додатне гаранције да су испитивања и израчунавање карактеристичних величина спроведена коректно.

Урађено је моделирање комбиновано хибридног електричног возила (ХЕВ), слично као у возилима Тојота Приус. У раду су дати резултати симулација ХЕВ за два режима вожње: градска вожња и вожња на отвореном путу. Ове симулације пружају могућност праћења излазних параметара ХЕВ (брзине, снаге, броја обртаја, стања напуњености...) зависно од промене улазних параметара (педале гаса и угла нагиба пута). Такође, урађена је валидација симулираног ХЕВ из које се види да симулирано ХЕВ доста верно дочарава возило Тојота Приус. При моделирању и симулацији комбинованог ХЕВ коришћен је програмски пакет Матлаб 7 и његов Симулинк.

Један од циљева овог рада је био да мало расветли суштинско питање да ли је препоручљиво увођење алтернативних погона моторних возила у већем обиму од онога што се данас ради у Србији и колики су ризици таквог подухвата (кост-бенефит анализа). Полазећи од бројних поједностављујућих претпоставки, закључујемо да то није препоручљиво за акумулаторска електрична путничка возила. Очигледно, када би дошло до великог технолошког пробоја у производњи акумулатора, то би знатно побољшало перформансе акумулаторских електричних возила (смањило цену возила) и тада сигурно не би смо могли да одбацимо акумулаторска електрична возила. За разлику од акумулаторских електричних возила, увођење хибридних путничких возила показало се профитабилно. Такође је показано да увођење градских хибридних

камиона и аутобуса, који би заменили конвенционалне дизел камионе и аутобусе је профитабилно.

Када су у питању алтернативна горива за погон возила, добијени резултати коств-бенефит анализе показују да примена биодизела није исплатива за потрошаче, без одрицања државе од акциза (што је тренутно у Србији, због мањка новца у буџету, готово неизводљиво). С друге стране, примена течног нафтног гаса у српском транспортном сектору је профитабилана за потрошаче, а посебно је профитабилан погон возила на природни гас. Због тога погон возила на течни нафтни гас задњих година у Србији доживљава наглу експанзију, док је примена погон на природни гас (иако је профитабилнији), због лоше инфраструктуре (малог броја пумпних станица) у Србији, тренутно у застоју.

Као што је показано, могућности замене конвенционалних возила алтернативним су велике. Избор најповољнијих алтернатива, међутим, није једноставан и као што смо видели он зависи од низа чинилаца, као што су сировинска база, производни капацитети, измене на возилима и утицаји на њихове перформансе, системи снабдевања возила горивом, законска и фискална регулатива, итд. У свету, у оквиру флоте постојећих возила на алтернативни погон највише има хибридних електричних возила, као и моторна возила која користе течни нафтни гас, природни гас, биодизел, етанол, итд., док примена водоника код возила је још у фази развоја и испитивања. Оквирни преглед чинилаца који утичу на примену алтернативних погона у транспортном сектору Србије показују да се у циљу интензивирања њиховог коришћења посебна пажња треба да усмери пре свега на:

- упознавање свих позваних и потенцијално непосредно заинтересованих са стварним проблемима обезбеђења енергената за моторна возила и разлозима примене алтернативних погона, у овом тренутку и у ближој перспективи,
- утврђивање глобалних стратешких опредељења државних органа у смислу дефинисања ефикасне енергетске и саобраћајне политике, са становишта расположивости горива и заштите животне средине, а посебно у циљу већег увођења течног нафтног гаса за погон моторних возила. При томе треба имати у виду да би стимулисање коришћења течног нафтног гаса у возилима у нашој земљи требало у одређеној мери да се схвати и као припрема за прелаз на



примену природног гаса, а касније и водоника, у времену када то буде изводљиво,

- широко упознавање јавности са разлозима и очекиваним ефектима примене алтернативних погона, са безбедносним својствима појединих погона и ефектима који се остварују на корисничком и општем плану.

У Србији укупан удео потрошње алтернативних у односу на фосилна горива још увек је занемарљив. Ситуација у овој области код нас, с обзиром на тренутно економско стање, не може тако скоро бити да се промени. Будући развој у овој области, у Србији, није могуће дефинисати само статистичком обрадом постојећих података и чињеница. Проблем је комплексан јер на њега имају утицаја фактори и појаве који се често не могу обухватити научном анализом. Ако се међутим за основ разматрања узме возило у светлу развоја будућих прописа о токсичности издувних гасова и економичности потрошње горива, онда се може закључити да у Србији хибридни погон возила и возила погоњена на течни нафтни гас, природни гас и биодизел имају у будућности највећу перспективу коришћења.

Постоје такође питања о којима треба размишљати, и која су ипак важна са аспекта добробити друштва. На пример, континуитет технолошке путање је очигледно суштински феномен у историји развоја возила, посебно мотора. Заиста, ако би са сваком постојећом технологијом почињали од нуле, делује невероватно да би таква компликована технологија као што је мотор СУС уопште и била узета у обзир као разумна опција. И поред тога, постоји доста знања везаног за алтернативни погон пошто се не зна које ће технологије у аутомобилској индустрији преживети и развити се у току неколико следећих деценија. С друге пак стране, високе цене фосилних горива, омогућују исплативост улагања у нове технологије које смањују емисију издувних гасова моторних возила, а то је свакако алтернативни погон моторних возила. У будућности ће алтернативни погон моторних возила сигурно играти значајнију улогу у аутоиндустрији. Најзначајнији светски произвођачи моторних возила још увек крију потенцијал нове технологије, јер желе да и даље експлоатишу постојеће резерве нафте, као и да до максимума искористе уложене милијарде долара у развој СУС мотора. До тада ће се алтернативни погон моторних возила и даље развијати, али ће обични корисници добијати прилику да уживају „на кашичицу” у свим погодностима које доноси нова технологија.

## 9. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Чворовић З.: *Управљање ризицима у животној средини*, Задужбина Андрејевић, Београд, 2005.
- [2] Марјановић З., Брзаковић Р., Јоксимовић В.: *Еколошки разлози за примену алтернативних горива*, Фестивал квалитета, Крагујевац, Зборник радова, 2008.,
- [3] Ходолич Ј., Бадида М., Мајерник М., Шебо Д.: *Машињство у инжењерству заштите животне средине*, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2003.
- [4] Интерресорна група: *Стратегија локалног одрживог развоја*, Стална конференција градова и општина, Зобнатица, 2005.
- [5] Михајлов А.: *Одрживи развој и животна средина ка Европи у 95 + корака*, Привредна комора Србије и „Амбасадори животне средине“, Београд, 2005.
- [6] Михајлов А.: *Стратегија ЕУ о одрживом развоју и политика ЕУ у области животне средине – изазови за стратегију развоја локалне заједнице*, Фонд центар за демократију, Београд, 2006.
- [7] Министарство за заштиту природних богатстава и животне средине Републике Србије: *Пројекат развоја прописа о заштити животне средине*, ИПРС: европска искуства, Београд, 2003.
- [8] Рикаловић Г.: *Економика природних ресурса-неки значајни аспекти*, Библиотека Др Ђорђе Наташевић, Инђија, 2008.
- [9] Светска Банка: *Преглед сектора животне средине (превод)*, Република Србија-министарство за заштиту природних богатстава, Београд, 2003.
- [10] Авлијаш С: *Може ли Кјото протокол допринети већој енергетској ефикасности у Србији?*, Семинар „Како применити прописе о интегрисаном спречавању и контроли загађивања животне средине“, Београд, 2010.
- [11] Башић Ђ., Накомчић Б.: *Заштита животне средине и енергетски извори*, Летња школа „Нафта и нафтни загањивачи“, ТЕМПУС, Котор, 2005.
- [12] Чрњар М.: *Економија и заштита околиша*, Школска књига, Загреб, 2007.
- [13] Ђукановић М.: *Еколошки изазов*, Елит, Београд, 2008.
- [14] Вукићевић М.: *Економија животне средине*, НИС Нафтагас, Нови Сад, 2004.
- [15] ISO Central Secretariat: *ISO Strategic Plan 2005-2010*, ISO, 2004.

- [16] Ђорђевић М.: *Развој модела за избор пнеуматика са техничког, енергетског и еколошког аспекта*, ЦИМСИ, Крагујевац, 2007.
- [17] *Закон о заштити животне средине* („Сл. гласник РС“ бр. 135/04)
- [18] Марјановић З., Радоњић Д., Брзаковић Р.: *Стање и перспектива примене алтернативних горива у друмском саобраћају Србије*, Фестивал квалитета, Крагујевац, 2010.
- [19] Јоксимовић В., Стевановић М., Марјановић З.: *Биогорива – предности и недостаци употребе*, Фестивал квалитета, Крагујевац, 2008.
- [20] JUS ISO 14001; 14004; 14010; 14011; 14012; *Системи управљања заштитом животне средине*, Савезни завод за стандардизацију, Београд, 1998.
- [21] Министарство за заштиту животне средине и просторно планирање: *Приказ стања животне средине у Србији 2006. године*, Београд, 2007.
- [22] Министарство за науку, технологије и развој Владе Републике Србије: *Национални програм енергетске ефикасности-Стратегија и приоритети*, Београд, 2004.
- [23] Марјановић З., Брзаковић Р., Јоксимовић В.: *Етанол у моторима СУС – предности и недостаци употребе*, Фестивал квалитета, Крагујевац, 2009.
- [24] Марјановић З., Брзаковић Р.: *Развој технологије водоника*, Савремене технологије за одрживи развој градова, Бања Лука, 2008.
- [25] *Нацрт НЕАП*, Министарство животне средине Србије, Београд, 2009.
- [26] Радоњић Д., Ракић В, Спасојевић С.: *Специфичности примене гасовитих горива за погон мотора СУС*, часопис Застава број 42, Крагујевац, 2006.
- [27] Радоњић Д.: *Стање и перспективе примене алтернативних горива за погон моторних возила*, Зборник радова, Београд, 2005.
- [28] Berg Christoph: *World Fuel Ethanol Analysis and Outlook*, Немачка, 2004.
- [29] Марјановић З.: *Ризик примене асинхроног мотора код возила и мере управљања ризиком са техничког, економског и еколошког аспекта*, магистрска теза, ЦИМСИ, Крагујевац, 2007.
- [30] Радојевић Н.: *Развој дизел мотора са аспекта економичности и заштите животне средине и могућности примене алтернативних горива*, Саветовање „Рационално газдовање енергијом у широкој потрошњи“, Београд, 2003.
- [31] Крстић Д., Поповић Г.: *Емисија издувних гасова при експлоатацији возила*, ЦИМСИ, Крагујевац, 2005.

- [32] Hamelinc C.: *Outlook for advanced biofuels*, PhD Thesis, Utrecht University, Utrecht, Netherlands, 2004.
- [33] Марјановић З., Брзаковић Р.: *Електрична возила на соларни погон – предности и недостаци употребе*, Фестивал квалитета, Крагујевац, 2010.,
- [34] Institute for Prospective Technological Studies: *Techno-economic analysis of biodiesel production in the EU*, Пољопривредни факултет, Нови Сад, 2009.
- [35] Митровић Ј., Јанковић В.: Предин С.: *Биодизел – еколошки значајан и енергетски обновљив извор енергије*, Victoria Group, Нови Сад, 2008.
- [36] Тимотејев Ф.: *Биодизел алтернативно и еколошко течено гориво*, Нови Сад, 2005.
- [37] Фурман Т., Бркић М.: *Биодизел – производња и кориштење*, Нови Сад, 2001.
- [38] Грђан И.: *Технолошки процес производње биодизела*, 28. Хрватско савјетовање технолога сушења и складиштења, Тракошћан, 2008.
- [39] Federal Register, *Part II, Department of Energy*, САД, 1999.
- [40] Сударевић Д., Козић А.: *Утицај алтернативних горива у моторима СУС на очување животне средине*, Фестивал квалитета, Крагујевац, 2005.
- [41] Penn Specialty Chemicals, Inc.: *Material Safety Data Sheet 2-Methyltetrahydrofuran*, Мемфис, САД, 1999.
- [42] Barbir, F.: *Uloga vodika u sastavima korišćenja obnovljivih izvora energije*, Међународни форум о обновљивим изворима енергије, Dubrovnik, 2006.
- [43] Мојовић Л., Пејин Д., Лазић М. и сарадници.: *Производња биоетанола за гориво – Стање и перспективе*, Монографија, Нови Сад, 2007.
- [44] Фурман Т. и сарадници, *Биодизел алтернативно и еколошко течено гориво*, Монографија, Пољопривредни факултет, Нови Сад, 2005.
- [45] Стојиљковић Д. и сарадници, *Алтернативна горива за погон мотора СУС у 21 веку*, Студија, Машински факултет Београд, 2007.
- [46] Fukuda H.: *Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils*, Journal of Bioscience and Bioengineering, Vol. 92, No. 5, 2005.
- [47] САТ плус (Ревија о саобраћају, аутомобилизму и туризму) број 163, *Биодизел у Србији*, Београд, 2007.
- [48] Марјановић З., Радоњић Д., Брзаковић Р.: *Примена биодизела код возила у Србији, Заштита и здравље на раду заштита животне средине*, Бања Лука, 2009.
- [49] Ekelund M.: *Target 2020*, Gas Vehicle Report, 2009.

- [50] Марјановић З., Брзаковић Р., Пантелић Миљинковић З., *Biogas, LPG, Methanol and Ethanol as the Vehicle Fuels*, МВМ Конференција, Крагујевац, 2010.
- [51] Јанковић А.: Моделирање и анализа система, скрипта, Универзитет у Крагујевцу ЦИМСИ, Крагујевац, 2005.
- [52] Раденковић Б., Станојевић М., Марковић А.: *Рачунарска симулација*, Факултет организационих наука, Београд, 2006.
- [53] Chao C.: *Optimal Gear Ratio Design for a Gearbox used in Hybrid Vehicles*, Master thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2005.
- [54] Su-Ming F. B.: *Modeling and Simulation of A Hybrid Electric Vehicle Using MATLAB/Simulink*, Master thesis, University of Waterloo, Ontario, Canada, 2007.
- [55] Maddala R.: *Modeling of Hybrid Electric Vehicle Batteries*, Tech University, Texas, 2003.
- [56] Cross W. P.: *System modeling and energy management strategy development for series hybrid vehicles*, Master thesis, Institute of Technology, Georgia, 2008.
- [57] Strandh P.: *Combustion Engine Models for Hybrid Vehicle System Development*, Master thesis, Institute of Technology, Lund, 2002.
- [58] *MATLAB Documentation – Version 7*, The Math Works Inc, Natick, 2006.
- [59] Тодоровић Ј.: *Позитивно друштвено окружење за безбедан саобраћај*, Зборник саветовања „Саобраћај за нови миленијум“, Теслић, 2003.
- [60] Марјановић З., Брзаковић Р.: *Безбедност возила на алтернативна горива*, Фестивал квалитета, Крагујевац, 2011.
- [61] Тодоровић Ј.: *Системски прилаз безбедности саобраћаја*, Зборник семинара PREVING, Аранђеловац, 2003.
- [62] Марјановић З., Брзаковић Р.: *Безбедност и одржавање возила на електрични погон*, Фестивал квалитета, Крагујевац, 2011.
- [63] Киш, Ф.: *Оцена економске оправданости производње биодизел горива од уљарица у Србији*, Магистарска теза, Пољопривредни факултет, Нови Сад, 2006.
- [64] Марјановић З., Јанковић А., Јеремић Б.: *The cost-benefit analysis of electric and hybrid vehicles in the Serbian transport sector*, часопис МВМ, Крагујевац., 2009.
- [65] Duleep: *Background Memo to KFB on Electric Vehicle Cost Estimates*, 2010.
- [66] Јантзен Ј., Пешић, Р.: *Assessment of the Economic Value of Environmental Degradation in Serbia*, EAR&DHV, 2004.

- [67] Ewing G., Sarigollu E.: *Car fuel-type choice under travel demand management and economic incentives*, Transportation Research, 2008.
- [68] Ahlvik P., Laveskog A.: *Emissions faktorer for fordon drivna med biodrivmedel*, Универзитет у Стохолму, Шведска, 2006.
- [69] McCubbin D., Deluchi M.: *The Health Costs of Motor-vehicle Related Air Pollution*, Journal of Transport Economics and Policy, 2008.
- [70] Maddison D., Pearce D., Litman T.: *The True Cost of Road Transport*, Blueprint 5, CSERGE, Лондон, 2006.
- [71] Greene L., Jones W.: *The Full Costs and Benefits of Transportation*, Heidelberg, 2007.
- [72] Harrop P., Harrop G.: *Electric Vehicles are Profitable: Where, Why, What, Next?*, Footnote publications, Hampshire, UK, 2005.
- [73] Радоњић Д., Марјановић З., Брзаковић Р.: *Modeling and simulation of a complex hybrid electrical vehicle*, TTEM journal, Vol.8, No.4, Сарајево БиХ, 2013.
- [74] Francfort J., Slezak L.: *Electric and Hybrid Vehicle Testing*, Society of Automotive Engineers, USA, 2002.
- [75] Пешић Р., Веиновић С., Петковић С.: *Опрема МВМ*, Бања Лука, 2008.
- [76] Министарство енергетике, развоја и заштите животне средине: *Извештај о стању животне средине у Републици Србији за 2011.*, Београд, 2012.
- [77] Теофиловић Г.: *Био-дизел као гориво за моторе СУС*, дипломски рад, Машински факултет, Крагујевац, 2008.
- [78] Институт Саобраћајног факултета: *Одређивање количина емитованих гасовитих загађујућих материја пореклом од друмског саобраћаја применом COPERT IV модела Европске агенције за животну средину*, Београд, 2012.
- [79] Kazimi: *Valuing Alternative – Fuel Vehicles in Southern California*, American Economic Review, USA, 2007.
- [80] Hahn R. W.: *Choosing among Fuels and Technologies for Cleaning Up the Air*, Journal of Policy Analysis and Management, 2005.
- [81] Wang M. Q.: *Mobile source emission control cost-effectiveness: Issues, uncertainties and results*, Transportation Research, 2005.
- [82] Glaser A. M., Denhardt B. R.: *Економска и еколошка схватања и политика локалног развоја*, Државни универзитет Вичита и Делаваер, САД, 2007.

- [83] Вукашиновић Р., Јакшић Д.: *Редуција издувних гасова моторних возила*, зборник радова ВТШСС Урошевац, Звечан, 2012.
- [84] Пејак М.: *Утицај стабилизације CO<sub>2</sub> на промене средњег климатског стања применом програма MAGICC*, дипломски рад, Природно-математички факултет, Нови Сад, 2007.
- [85] Главатовић Б.: *Основи геонаука*, уџбеник, Грађевински факултет, Подгорица, 2005.
- [86] Петровић Ј.: *Увод у хидрологију*, скрипта, Грађевински факултет, Београд, 2001.
- [87] Dominici F., Burnett R.T.: *Risk models for particulate air pollution*, J Toxicol Environ Health A 66: 1883-1889, 2003.
- [88] Katsouyanni K., Touloumi G., Samoli E., et al: *Confounding and effect modification in the short-time effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA-2 project*, Epidemiology, Vol.12:521÷531, 2001.
- [89] Analitis A, Katsouyanni K, Dimakopoulou K, et al: *Short-term effects of ambient particles on cardiovascular and respiratory mortality*, Epidemiology, Vol.17:230÷233, 2006.
- [90] Момчиловић В.: *Хибридна возила*, скрипта, Саобраћајни факултет, Београд, 2007.
- [91] Раткајец М.: *Ауто: возња & одржавање*; Вартекс Тискара, Вараждин, 2009.
- [92] Раца Д.: *Савремене електричне машине за примену у хибридним и електричним возилима*, магистарски рад, Нови Сад, 2001.
- [93] Папић В.: *Транспортна средства и одржавање*, монографија, Београд, 2007.

**Коришћене интернет адресе:**

[www.hidmet.sr.gov.rs/latin/kvalitetvazduha/srbija.php/](http://www.hidmet.sr.gov.rs/latin/kvalitetvazduha/srbija.php/)

[www.nis.rs](http://www.nis.rs)

[www.ecn.nl](http://www.ecn.nl)

[www.iae.org](http://www.iae.org)

[www.iso14000.com](http://www.iso14000.com)

[www.14000.org](http://www.14000.org)

[www.ecology.or.jp](http://www.ecology.or.jp)

[www.ekoforum.org.rs](http://www.ekoforum.org.rs)

[www.balkanenergy.com](http://www.balkanenergy.com)

<http://webrzs.statserb.sr.gov.rs>

[www.iso.org/iso/en/aboutiso/introduction/index.html](http://www.iso.org/iso/en/aboutiso/introduction/index.html)

[www.quality.co.uk/iso14000.htm](http://www.quality.co.uk/iso14000.htm)

[www.tisi.go.th/14000/14000-1.htm](http://www.tisi.go.th/14000/14000-1.htm)

[www.ekoserb.sr.gov.rs](http://www.ekoserb.sr.gov.rs)

[www.mntr.sr.gov.rs/mntr](http://www.mntr.sr.gov.rs/mntr)

[www.amss.org.rs](http://www.amss.org.rs)

[www.tc207.org](http://www.tc207.org)

<http://www.fuelcells.org/info/charts/h2fuelingstations.pdf>

<http://www.pvresources.com/en/top50pv.php>

<http://www.stuartenergy.com>

<http://www.unep.org>

<http://unfccc.int>

<http://www.unfccc.de>

<http://www.ghgprotocol.org>

<http://www.pewclimate.org>

<http://www.ieta.org>

<http://dwworld.de/dw/article/0,,2553721,00.html>

[http://www.toyota.hr/innovation/technology/safety/prius\\_ncap\\_2004.aspx](http://www.toyota.hr/innovation/technology/safety/prius_ncap_2004.aspx)

[http://www.toyotaadria.com/hr/pdf/katalozi\\_vozila/katalog\\_prius.pdf](http://www.toyotaadria.com/hr/pdf/katalozi_vozila/katalog_prius.pdf)

<http://www.toyota.co.rs>

<http://www.vrelegume.rs>



## 10. БИОГРАФИЈА АУТОРА

Аутор Зоран Марјановић, рођен је 27. мај 1974. године у Крагујевцу. Основну и Средњу техничку школу завршио је у Крагујевцу. На Машинском факултету у Крагујевцу одбранио је Дипломски рад под називом „Магнетострикциони давачи силе“ и стекао стручни назив дипломирани инжењер машинства, 2001. године.

Последипломске студије Центра за интердисциплинарне и мултидисциплинарне студије и истраживања Универзитета у Крагујевцу уписао је школске 2003/04. године. Магистарску тезу под називом „Ризик примене асинхроног мотора код возила и мере управљања ризиком са техничког, економског и еколошког аспекта“ одбранио је 2007. године и стекао академско звање магистар наука за менаџмент новим технологијама.

У својој досадашњој радној биографији има 11 (једанаест) година радног стажа. Радио је 2003. године CAD/CAM пројектовање у програмима Pro/ENGINEER и Auto/CAD у Застава Алатима-Крагујевац на позицији инжењер конструктор. У 2004. години радио је у Застава аутомобилима-ПЦ Пресерај као инжењер одржавања процеса производње (великих преса). Од 2005. до 2007. године радио је послове испитивања механике и каросерије возила у Застава аутомобили-Дирекцији развоја аутомобила, на позицији опитни инжењер, где је стекао искуства у мерењима аналогно-дигиталних величина и обучен је да користи стручне софтвере за мерење и дијагностику возила као што су CATMAN, VC 100, итд. У Застава аутомобилима-Дирекцији развоја аутомобила био је истраживач сарадник у периоду од 2007. до 2011. године и учествовао на бројним конференцијама и семинарима. Сада је запослен у Градској управи за послове локалне самоуправе и опште управе града Крагујевца-Секретаријату за инспекцијске послове.

Од страних језика служи се Француским и Енглеским. Користи рачунарске програме: MS Office, Windows, Auto/CAD, Pro/ENGINEER, Matlab, Oringi и интернет технологије. Аутор је 55 научних радова на домаћим и међународним конференцијама, као и једног научног рада у домаћем и једног у SCI часопису.



Прилог 1.

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Изјављујем да је докторска дисертација, под насловом

ИСТРАЖИВАЊЕ АЛТЕРНАТИВНИХ ПОГОНА  
МОТОРНИХ ВОЗИЛА

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација, ни у целини, ни у деловима, није била предложена за добијање било које дипломе, према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права, нити злоупотребио/ла интелектуалну својину других лица.

У Нишу, 18.11.2014.

Аутор дисертације: Зоран Марјановић

Потпис докторанда:

Зоран Марјановић



---

Прилог 2.

ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ  
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Име и презиме аутора: Зоран Марјановић

Студијски програм: ИНЖЕЊЕРСТВО ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

Наслов рада: ИСТРАЖИВАЊЕ АЛТЕРНАТИВНИХ ПОГОНА МОТОРНИХ ВОЗИЛА

Ментор: Др Миомир Раос, ванр. проф.

Изјављујем да је штампана верзија моје докторске дисертације истоветна електронској верзији, коју сам предао/ла за уношење у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци, који су у вези са 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, 18. 11. 2014.

Аутор дисертације: Зоран Марјановић

Потпис докторанда:

Зоран Марјановић



Прилог 3.

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Никола Тесла“ да, у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, унесе моју докторску дисертацију, под насловом:

ИСТРАЖИВАЊЕ АЛТЕРНАТИВНИХ ПОГОНА  
МОТОРНИХ ВОЗИЛА

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату, 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

Ауторство – некомерцијално

3. Ауторство – некомерцијално – без прераде

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима

5. Ауторство – без прераде

6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да подвучете само једну од шест понуђених лиценци; кратак опис лиценци је у наставку текста).

У Нишу, 18.11.2014.

Аутор дисертације: Зоран Марјановић

Потпис докторанда:

Зорановић