



UNIVERZITET U NIŠU
GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET



Marija G. Stamenković

**RAZVOJ INTEGRATIVNOG MODELA
KONSTRUKCIJSKOG UNAPREĐENJA
POSTOJEĆIH OBJEKATA ZA PRIMENU
KONCEPTA ZELENIH KROVOVA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Niš, 2019.



UNIVERSITY OF NIŠ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND
ARCHITECTURE



Marija G. Stamenković

**THE DEVELOPMENT OF AN
INTEGRATIVE MODEL FOR
STRUCTURAL IMPROVEMENT OF
EXISTING BUILDINGS FOR GREEN ROOF
CONCEPT IMPLEMENTATION**

DOCTORAL DISSERTATION

Niš, 2019.

PODACI O DOKTORSKOJ DISERTACIJI

Mentor:	dr Dragan Kostić, vanredni profesor, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet
Naslov:	Razvoj integrativnog modela konstrukcijskog unapređenja postojećih objekata za primenu koncepta zelenih krovova
Rezime:	<p>Negativni efekti urbanizacije, kao i opšta potreba za remodelovanjem postojećih objekata, ukazuju na nužnost primene novih pristupa i ekološki podobnih koncepata iz domena arhitektonske nauke, sa ciljem unapređenja stanja u životnoj sredini. Imajući u vidu karakteristike već gusto izgrađenih urbanih sredina, zeleni krovovi su prepoznati kao jedna od značajnih mera unapređenja postojećih objekata u kontekstu remodelovanja ravnih krovova. S tim u vezi, istraživanje se bazira na proceni uticaja i podobnosti primene zelenih krovova u lokalnim okvirima, ali i na regionalnom nivou, i obuhvata analizu mogućnosti i ograničenja njihove implementacije sa konstrukcijskog aspekta, uz uvažavanje osnovnih postulata održivog razvoja. U cilju utvrđivanja opravdanosti unapređenja postojećih ravnih krovova zelenim krovnim sistemima, u odnosu na unapređenje obnovom, kreiran je integrativni model konstrukcijskog unapređenja postojećih objekata za primenu koncepta zelenih krovova. Na osnovu uspostavljenog seta kriterijuma, u okviru prve faze, utvrđuje se ispunjavanje uslova za primenu zelenih krovova na nivou urbane sredine i na nivou objekta. Jedan od ključnih kriterijuma predstavlja ispunjavanje uslova nosivosti i upotrebljivosti konstrukcije usled novog opterećenja. U slučaju da se utvrdi da je konstrukcija nedovoljne nosivosti ili da parametri upotrebljivosti nisu zadovoljeni, razmatraju se načini ojačanja nosećih elemenata. Druga faza se odnosi na višekriterijumsko odlučivanje, koje se sprovodi korišćenjem analitičkog hijerarhijskog procesa kao alata za podršku odlučivanju pri izboru optimalnog načina unapređenja krovnog sistema. Definisani metodološki postupak izlazi iz okvira do sada primenjivanih pristupa u domenu remodelovanja objekata, i obuhvata relevantne parametre iz drugih oblasti istraživanja. Sagledavanje problema na sveobuhvatan način od značaja je za unapređenje metodologije održivog projektovanja i izgradnje. Rezultati verifikacije modela ukazuju na prednosti implementacije zelenih krovova, što može da predstavlja jedan od važnih argumenata za uspostavljanje zakonske regulative u oblasti njihove primene.</p>
Naučna oblast:	Arhitektura
Naučna disciplina:	Projektovanje arhitektonskih konstrukcija
Ključne reči:	Koncept zelenih krovova, ravni krovovi, remodelovanje, armiranobetonske konstrukcije, konstrukcijski aspekt, ojačanje konstrukcije, održivost urbanih sredina, integrativni model, višekriterijumsko odlučivanje.
UDK:	692.4:712.4(043.3)

CERIF
klasifikacija:

T 240 Arhitektura, uređenje enterijera

Tip licence
Kreativne
zajednice:

CC BY-NC-ND

DATA ON DOCTORAL DISSERTATION

Doctoral Supervisor:	Dragan Kostić, Ph.D., Associate Professor, University of Niš, Faculty of Civil Engineering and Architecture
Title:	The development of an integrative model for structural improvement of existing buildings for green roof concept implementation
Abstract:	<p>The negative effects of urbanization, as well as the general need for existing building renovation, indicate the necessity of the application of new approaches and environmentally friendly concepts in the field of architecture, with the aim of protecting the environment. Considering the characteristics of the already densely built urban areas, green roofs are recognized as one of the significant measures for improving existing buildings in the context of flat roof renovation. With regard to this, the research is based on an assessment of the impact and suitability of the application of green roofs in the local context, as well as at the regional level, and includes the analysis and possibilities of their implementation from a structural aspect, while respecting the basic postulates of sustainable development. In order to determine the justifiability of the improvement of existing flat roofs with green roof systems, in relation to improvement by restoration, an integrative model for the structural improvement of existing buildings has been created for green roof concept implementation. Based on the established set of criteria, within the first phase, the fulfilment of conditions has been determined for the application of green roofs at the level of an urban area, and at the level of a building. One of the key criteria is the fulfilment of the load capacity and the usability of the structure due to new load. In the case when the structure has an insufficient load capacity, or if the usability parameters are not met, strengthening methods for supporting elements are considered. The second phase refers to multi-criteria decision-making, which is implemented using the analytical hierarchical process as a decision-support tool for the election of an optimal manner of improving the roof system. The defined methodological procedure transcends the framework of the approaches applied to date in the domain of building renovation, and includes relevant parameters from other research fields. Considering the problem in a comprehensive manner is important for the improvement of the methodology of sustainable design and construction. The results of model verification indicate the advantages of green roof implementation, which could be one of the significant arguments for setting the legislation in this area.</p>
Scientific Field:	Architecture
Scientific Discipline:	Design of architectural structures
Key Words:	Green roof concept, flat roofs, renovation, reinforced concrete structures, structural aspect, strengthening of building structures, sustainability of urban areas, integrative model, multi-criteria decision-making.
UDC:	692.4:712.4(043.3)

CERIF
Classification:

T 240 Architecture, interior design

Creative
Commons
License Type:

CC BY-NC-ND

PODACI O ČLANOVIMA KOMISIJE

1. Mentor:

dr Dragan Kostić, vanredni profesor,
Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet

2. **dr Veliborka Bogdanović**, redovni profesor,

Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet

3. **dr Miomir Vasov**, vanredni profesor,

Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet

4. **dr Srđan Glišović**, redovni profesor,

Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu

5. **dr Goran Vučković**, docent,

Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet

Datum odbrane doktorske disertacije:

Doktorsku disertaciju posvećujem svojoj porodici, bez čije podrške, pomoći i razumevanja ne bih istrajala na ovom putu. Hvala vam.

Ujedno se zahvaljujem svim prijateljima i dobronamernim ljudima koji su, na bilo koji način, doprineli uspešnom završetku rada.

Zahvalnost dugujem i mentoru i članovima komisije za profesionalnu pomoć u svim fazama izrade disertacije.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1 Predmet istraživanja	1
1.2 Ciljevi istraživanja.....	3
1.3 Hipoteze istraživanja.....	3
1.4 Naučne metode istraživanja	4
1.5 Naučni doprinos istraživanja.....	4
1.6 Struktura doktorske disertacije.....	5
2. ULOGA I ZNAČAJ PRIMENE ZELENIH KROVOVA	8
2.1 Zelene površine kao sastavni deo urbanih sredina	8
2.1.1 Otvoreni prostori pod zelenilom	10
2.1.2 Sistemi integrisanog zelenila u objektima.....	11
2.2 Pregled razvoja zelenih krovova	12
2.2.1 Razvoj zelenih krovova kroz istoriju	13
2.2.2 Savremeno shvatanje koncepta zelenih krovova.....	21
2.3 Pojmovno određenje, definicije i tipologije zelenih krovova	22
2.3.1 Pojam zelenih krovova	22
2.3.2 Definicije zelenih krovova	23
2.3.3 Tipologije zelenih krovova.....	24
2.3.3.1 Ekstenzivni zeleni krovovi	24
2.3.3.2 Intenzivni zeleni krovovi.....	27
2.3.3.3 Poluintenzivni zeleni krovovi.....	29
2.4 Karakteristike strukture zelenog krovnog sistema	29
2.4.1 Vegetacioni sloj.....	30
2.4.2 Supstrat.....	32
2.4.3 Filterski sloj.....	35
2.4.4 Drenažni sloj	35

2.4.5	Protivkorenska membrana.....	36
2.4.6	Hidroizolacioni sloj.....	37
2.5	Prednosti i ograničenja primene zelenih krovova	37
2.5.1	Prednosti primene zelenih krovova.....	37
2.5.1.1	Ekološki benefiti	38
2.5.1.2	Ekonomski benefiti	46
2.5.1.3	Socijalni benefiti	50
2.5.2	Ograničenja primene zelenih krovova	54
2.6	Novi trendovi u tehnologiji zelenih krovova	59
3.	ZAKONSKI OKVIRI I STANJE U OBLASTI PRIMENE ZELENIH KROVOVA ..	63
3.1	Strategije i politike primene zelenih krovova na nivou Evropske unije	63
3.1.1	Standardizacija zelenih krovova – <i>FLL</i> priručnik.....	69
3.1.2	Ograničenja u kreiranju opšte politike primene zelenih krovova	71
3.2	Politike i stanje u oblasti primene zelenih krovova na nacionalnim i lokalnim nivoima u Evropi.....	73
3.2.1	Politike i stanje u oblasti primene zelenih krovova u Nemačkoj	73
3.2.2	Politike i stanje u oblasti primene zelenih krovova u Švajcarskoj.....	77
3.2.3	Politike i stanje u oblasti primene zelenih krovova u Italiji.....	78
3.2.4	Politike i stanje u oblasti primene zelenih krovova u Mađarskoj	80
3.2.5	Politike i stanje u oblasti primene zelenih krovova u Francuskoj.....	81
3.3	Nacionalno zakonodavstvo i stanje u oblasti primene zelenih krovova u Republici Srbiji ..	82
3.3.1	Studija slučaja – analiza izvedenih zelenih krovova.....	84
3.4	Mogući pristupi za uvođenje zelenih krovova u nacionalno zakonodavstvo.....	86
4.	UNAPREĐENJE POSTOJEĆIH OBJEKATA REMODELOVANJEM	88
4.1	Životni ciklus objekata i građene sredine	88
4.1.1	Princip linearnog toka	88
4.1.2	Princip cikličnog toka	90
4.1.3	Princip regenerativnog dizajna.....	90
4.2	Utvrđivanje potreba za remodelovanjem objekata.....	93

4.3	Načini unapređenja postojećih objekata remodelovanjem.....	97
4.3.1	Uspostavljanje prvobitnog stanja objekata.....	97
4.3.2	Implementacija novih tehnologija i sistema.....	98
4.4	Primena zelenih krovova u kontekstu remodelovanja objekata.....	101
5.	ANALIZA NOSEĆE KONSTRUKCIJE I ELEMENATA OBLOGE RAVNIH KROVOVA POSTOJEĆIH OBEKATA ZA PRIMENU ZELENIH KROVOVA	106
5.1	Razvoj tehnologija građenja i primena konstrukcijskih sistema u kontekstu postojećeg građevinskog fonda Republike Srbije	106
5.1.1	Objekti izgrađeni u XIX i prvoj polovini XX veka.....	106
5.1.2	Objekti izgrađeni od druge polovine XX veka do kraja osamdesetih godina	107
5.1.2.1	Skeletni sistemi	110
5.1.2.2	Panelni sistemi.....	118
5.1.2.3	Prostorni ćelijasti sistemi	125
5.1.3	Objekti izgrađeni od početka devedesetih godina do danas.....	126
5.2	Utvrđivanje potencijala za primenu zelenih krovovih sistema na ravnim krovovima.....	127
5.3	Ravni krovovi.....	128
5.3.1	Tipologije, strukture i materijali ravnih krovova	129
5.3.2	Ravni krovovi i zeleni krovovi.....	135
5.4	Analiza nosivosti i upotrebljivosti konstrukcije.....	138
5.4.1	Analiza opterećenja	139
5.4.1.1	Vrste opterećenja.....	139
5.4.1.2	Novoprojektovano stanje.....	140
5.4.2	Analiza nosivosti	144
5.4.3	Analiza upotrebljivosti	147
5.4.4	Proces analize konstrukcije prema graničnim stanjima za primenu zelenog krovovog sistema.....	149
5.5	Ojačanja armiranobetonskih konstrukcija.....	150
5.5.1	Načini ojačanja	151
5.5.1.1	Povećanje preseka elemenata	151
5.5.1.2	Primena elemenata za spoljašnja ojačanja	154

5.5.1.3	Prednaprežanje	158
5.5.1.4	Preprojektovanje konstrukcije.....	158
5.5.1.5	Zamena elemenata.....	163
5.5.2	Faktori koji utiču na odabir načina ojačanja	163
5.5.3	Sistematizacija ojačanja konstrukcije	164
5.5.4	Utjecaji načina ojačanja konstrukcije na prostornu organizaciju objekta.....	169
6.	TRENDOVI I IZAZOVI U UPRAVLJANJU URBANIM SREDINAMA.....	170
6.1	Održivost i otpornost građene sredine	170
6.2	Klimatske promene i građena sredina	172
6.3	Utvrđivanje potrebe za povećanjem energetske efikasnosti postojećih objekata	174
6.3.1	Karakteristike postojećih objekata	175
6.3.2	Toplotna zaštita ravnih krovova.....	176
6.4	Potencijalni doprinos zelenih krovova postizanju održivosti i otpornosti urbanih sredina na klimatske promene	180
7.	POTENCIJAL ANALITIČKOG HIJERARHIJSKOG PROCESA KAO METODE VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE ZA PROCENU PODOBNOSTI PRIMENE ZELENIH KROVOVA.....	185
7.1	Višekriterijumska analiza.....	185
7.2	Analitički hijerarhijski proces – AHP	187
7.2.1	Prednosti primene AHP metode.....	192
7.2.2	Dileme u vezi sa primenom AHP metode.....	193
7.3	Opravdanost korišćenja AHP metode za rešavanje problema postizanja održivosti primenom zelenih krovova.....	194
8.	NOVI INTERGRATIVNI MODEL ZA PODRŠKU ODLUČIVANJU PRI ODABIRU NAČINA UNAPREĐENJA KONSTRUKCIJA RAVNIH KROVOVA POSTOJEĆIH OBJEKATA.....	197
8.1	Uloga i značaj razvoja integrativnog modela.....	197
8.2	Definisanje konceptualnih modela ravnih krovova	198
8.3	Uspostavljanje metodologije integrativnog modela.....	201
8.4	Struktura i algoritam integrativnog modela	204
8.5	Odabir i obrazloženje kriterijuma i potkriterijuma za primenu AHP metode.....	208

8.6 Softverska podrška razvoju integrativnog modela	213
9. KONKRETIZACIJA I VALORIZACIJA INTEGRATIVNOG MODELA.....	215
9.1 Odabir objekta za primenu integrativnog modela	215
9.2 Ispunjavanje uslova za sprovođenje remodelovanja ravnih krovova objekta Dom zdravlja Niš	222
9.2.1 Prikupljanje informacija na nivou grada Niša.....	222
9.2.2 Prikupljanje informacija o objektu Dom zdravlja Niš	227
9.2.2.1 Mogućnost izgradnje zelenog krova u odnosu na propise o zaštiti objekta	227
9.2.2.2 Procena trajnosti konstrukcije i objekta	227
9.2.2.3 Karakteristike postojećih ravnih krovova	228
9.2.2.4 Modelovanje unapređenih krovnih sistema.....	233
9.2.2.5 Analiza konstrukcije prema graničnim stanjima nosivosti i upotrebljivosti	243
9.2.2.6 Konačne strukture modela unapređenih krovnih sistema	248
9.3 Primena AHP metode.....	248
9.3.1 Strukturiranje problema odlučivanja u hijerarhijski model.....	248
9.3.2 Poređenje kriterijuma u parovima u odnosu na cilj odlučivanja	257
9.3.3 Poređenje potkriterijuma u parovima u odnosu na kriterijum.....	258
9.3.4 Određivanje težinskih faktora alternativa u odnosu na potkriterijume	260
9.3.5 Izbor optimalnog krovnog sistema	263
9.4 Diskusija rezultata	265
10. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA.....	267
LITERATURA	273
PRILOG 1. STUDIJA SLUČAJA – PRIMERI IZVEDENIH ZELENIH KROVOVA.....	300
PRILOG 2. REZULTATI ANALIZE KONSTRUKCIJE	312
PRILOG 3. PRORAČUNI ZA DOBIJANJE ULAZNIH PODATAKA PO IZABRANIM POTKRITERIJUMIMA ZA AHP ANALIZU	321
BIOGRAFIJA AUTORA	328

PREGLED SLIKA

Broj slike	Naziv slike	Strana
Slika 2.1	Sistemi integrisanog zelenila u objektima: a) zeleni krov, b) zelena fasada, c) zeleni zid unutar objekta	11
Slika 2.2	Starovekovne građevine sa integrisanom zelenim krovom: a) princip konstruisanja zigurata u Uru, visine 21m, izgrađenog pre više od 2000 g. pre n.e., b) struktura Visećih vrtova Vavilona, visine 23m, izgrađenih oko 500 g. pre n.e.	14
Slika 2.3	Osnova i prostorni prikaz rekonstrukcije vile Misterije u Pompeji sa vegetativnim krovom na potpornoj konstrukciji od kamena	15
Slika 2.4	Konstruktivni elementi tradicionalnog skandinavskog vegetativnog krova	16
Slika 2.5	Nemački standard za izolaciju ravnih krovova premazivanjem preklopa ter papira „drvenim cementom“ preko drvene krovne ploče	18
Slika 2.6	Krovna bašta na objektu „Derry and Toms“ u Londonu – osnova originalne krovne bašte i detalj strukture	19
Slika 2.7	Primeri modularnih sistema: a) prethodno modelovani elementi strukture, modularni blokovi od b) plastičnih materijala (Green Roof Outfitters, n.d.), c) aluminijuma, d) lakog betona	27
Slika 2.8	Struktura zelenog krova. Odnos visine sistema i primenjenih biljnih vrsta	30
Slika 2.9	Smanjenje temperature vazduha na 1 m iznad zelenig krova u različitim gradovima sveta	39
Slika 2.10	Odnos količine i oticanja padavina sa zelenog krova u jedinici vremena	40
Slika 2.11	Zeleni krovovi kao prostori za socijalne interakcije: a) Zgrada uprave gradskog okruga – ACROS Fukuoka Prefecture, Fukuoka, Japan, b) Škola umetnosti, Nanjang, Singapur, c) Gradska većnica, Toronto, Kanada	51
Slika 2.12	Stvaranje identiteta urbanih sredina primenom zelenih krovova: a) Objekti „Vertikalna Šuma“, Milano, Italija, b) Usvojeni projekat za izgradnju najvećeg zelenog krova na svetu površine 12,15 ha, Kupertino, Kalifornija	53

Broj slike	Naziv slike	Strana
Slika 2.13	Remedijacija zapuštene železničke infrastrukture (High line) u Njujorku implementacijom zelenih krovova: a) izgled pre transformacije (Nunez, 2015), b) izgled nakon izgradnje promenadnog parka	54
Slika 2.14	Prikaz recirkulacije otpadnih voda za potrebe navodnjavanja zelenog krova	61
Slika 2.15	Zeleno-plavi krov	61
Slika 3.1	Različiti nivoi aktivnosti EU koje se odnose na zelenu infrastrukturu	67
Slika 4.1	Linearni tok životnog ciklusa objekta i građene sredine	89
Slika 4.2	Ciklični tok životnog ciklusa objekta i građene sredine	90
Slika 4.3	Uporedni prikaz tokova životnih ciklusa degenerativnih i regenerativnih sistema	92
Slika 4.4	Odnos različitih pristupa projektovanju i izgradnji	93
Slika 4.5	Odnos smanjenja potrošnje energije i emisije CO ₂ u funkciji vremena za različite principe remodelovanja objekata	98
Slika 4.6	Efekti sistema/objekata baziranih na izolaciji i filtraciji	99
Slika 4.7	Primer objekta remodelovanog regenerativnim pristupom: a) postojeće stanje, b) izgled nakon remodelovanja	100
Slika 4.8	Principi remodelovanja objekata regenerativnim pristupom: a) pasivne tehnike projektovanja i izgradnje, b) nove tehnologije i sistemi, c) korišćenje obnovljivih izvora energije	101
Slika 5.1	Raščlanjivanje/komponovanje skeletne konstrukcije od linijskih elemenata	112
Slika 5.2	Različite mogućnosti primene skeletnog sistema kod višespratnih objekata	113
Slika 5.3	Elementi noseće konstrukcije IMS sistema	114
Slika 5.4	Povezivanje stuba i tavaničnih elemenata	115
Slika 5.5	Stubovi u IMS sistemu: a) gornji deo stuba sa otvorima, b) donji deo stuba sa ispuštenom armaturom, c) nastavljanje stubova	116
Slika 5.6	Tavanični element u IMS sistemu	116
Slika 5.7	Formiranje zidova za ukrućenje: a) vertikalno nastavljanje panela, b) horizontalno povezivanje panela sa stubovima	117
Slika 5.8	Fasadni sendvič paneli: a) veza sa ivičnim nosačem, b) povezivanje dva panela	118

Broj slike	Naziv slike	Strana
Slika 5.9	Noseći zidni panel sistema Rad-Balansi – izgled i preseći	120
Slika 5.10	Detalji monolitnih veza: a) vertikalni presek – veza zidnih panela sa tavanicom, b) horizontalni presek – veza zidnih panela, c) horizontalni presek – završetak zidnog panela	121
Slika 5.11	Izgled fasadnog panela sistema Rad-Balansi	121
Slika 5.12	Primeri realizovanih objekata sa ravnim krovovima u sistemu Rad-Balansi	122
Slika 5.13	Elementi noseće konstrukcije sistema Montastan: a) unutrašnji zidni panel, b) tavanični panel	122
Slika 5.14	Detalji veza nosećih elemenata: a) vertikalni presek – veza zidnih panela sa tavanicom, b) horizontalni presek – veza zidnih panela	123
Slika 5.15	Izvođenje objekta u sistemu Trudbenik	124
Slika 5.16	Fasadni panel sistema Jugomont	124
Slika 5.17	Izgradnja objekata u sistemu JU-61	125
Slika 5.18	Primeri struktura toplih ravnih krovova	130
Slika 5.19	Primeri struktura hladnih ravnih krovova	131
Slika 5.20	Primeri struktura neprohodnih toplih ravnih krovova sa primenom a) zelenog krova izvedenog na licu mesta, b) modularnog sistema	136
Slika 5.21	Primeri struktura prohodnih toplih ravnih krovova sa primenom: a) zelenog krova izvedenog na licu mesta, b) modularnog sistema	137
Slika 5.22	Primeri struktura zelenih krovova izvedenih na licu mesta i primenom modularnih blokova: a) na inverznom krovu, b) u sistemu duo krova	138
Slika 5.23	Primeri struktura hladnog krova sa primenom: a) zelenog krova izvedenog na licu mesta, b) modularnog sistema	138
Slika 5.24	Proces analize konstrukcije prema graničnim stanjima za primenu zelenog krovnog sistema	149
Slika 5.25	Uticaj pojedinih aktivnosti na vrednost i performanse objekta tokom eksploatacije	150
Slika 5.26	Postupci ojačanja ploče povećanjem preseka sa donje (a) i sa gornje strane (b), i izgledi konstrukcija u fazama izvođenja	152
Slika 5.27	Načini ojačanja greda povećanjem preseka	153
Slika 5.28	Načini ojačanja stubova povećanjem preseka	153
Slika 5.29	Postupak ojačanja zida povećanjem preseka	153

Broj slike	Naziv slike	Strana
Slika 5.30	Postupak ojačanja temelja povećanjem preseka	153
Slika 5.31	Načini ojačanja stubova povećanjem preseka čeličnom oblogom	154
Slika 5.32	Ojačanje ploča čeličnim elementima	155
Slika 5.33	Ojačanje greda čeličnim elementima	155
Slika 5.34	Ojačanje stubova čeličnim elementima	155
Slika 5.35	Ojačanje greda FRP trakama	156
Slika 5.36	Ojačanje ploča, greda i stubova FRP trakama	157
Slika 5.37	Ojačanje ploče, grede i stuba ferocementom	157
Slika 5.38	Ojačanje greda naknadnim prednaprezanjem	158
Slika 5.39	Ojačanje ploča prenošenjem opterećenja na susedne oslonce	159
Slika 5.40	Ojačanje greda prenošenjem opterećenja na susedne oslonce	159
Slika 5.41	Ojačanje greda smanjivanjem raspona	160
Slika 5.42	Ojačanje ploča izradom dopunskih oslonaca	160
Slika 5.43	Šematski prikaz načina ojačanja greda izradom dopunskih oslonaca	160
Slika 5.44	Ojačanje rigli ramovske konstrukcije izradom dopunskih elastičnih oslonaca	160
Slika 5.45	Ojačanje stubova izradom armiranobetonskih zidova	161
Slika 5.46	Ojačanje temelja izradom: a) šipova, b) bunara	161
Slika 5.47	Ojačanja konstrukcija izvođenjem ukrućenja unutar gabarita objekta	161
Slika 5.48	Ojačanja konstrukcija izvođenjem spoljašnjih ukrućenja	162
Slika 5.49	Ojačanja promenom konstrukcijskog sistema	162
Slika 5.50	Ojačanje konstrukcije zamenom elemenata	163
Slika 6.1	Uporedni prikaz dozvoljenih vrednosti koeficijenta prolaza toplote za krovne sisteme u pojedinim evropskim državama	179
Slika 7.1	Primer hijerarhijske strukture problema u AHP metodi	188
Slika 8.1	Konceptualni modeli ravnih krovova unapređenih obnovom i implementacijom zelenog krovnog sistema	200
Slika 8.2	Proces remodelovanja objekata	201
Slika 8.3	Algoritam izbora optimalnog rešenja za remodelovanje ravnog krova	206-207
Slika 9.1	Položaj Doma zdravlja u centralnoj gradskoj zoni	216
Slika 9.2	Pretežne namene površina u užem okruženju predmetne lokacije	217
Slika 9.3	Zelene površine u neposrednom okruženju: a) Doma zdravlja, b) duž saobraćajnice Bulevar Nemanjića, c) blokovsko zelenilo	218

Broj slike	Naziv slike	Strana
Slika 9.4	Osnova Doma zdravlja Niš – raspored lamela	220
Slika 9.5	Izgled Doma zdravlja Niš	221
Slika 9.6	Izgled zelenog krova sa vegetacionim slojem: a) seduma, b) perena	226
Slika 9.7	Osnova krovova – prikaz nivoa krovnih površina	229
Slika 9.8	Orijentacija i položaj Doma zdravlja u odnosu na okruženje	231
Slika 9.9	Struktura postojećih ravnih krovova	233
Slika 9.10	Struktura modela unapređenja obnovom	234
Slika 9.11	Struktura modela unapređenja implementacijom <i>Urbanscape</i> zelenog krova	236
Slika 9.12	Predlog rešenja osnove krovova primenom <i>Urbanscape</i> zelenog krovnog sistema	238
Slika 9.13	Struktura modela unapređenja implementacijom <i>Urbanscape</i> zelenog krova u okviru prohodnih terasa	239
Slika 9.14	Predlog rešenja osnove krovova primenom <i>Urbanscape</i> zelenog krovnog sistema u okviru prohodnih terasa	240
Slika 9.15	Struktura modela unapređenja implementacijom <i>Urbanscape</i> i <i>Green Decor</i> zelenih krovova u okviru prohodnih terasa	242
Slika 9.16	Predlog rešenja osnove krovova primenom <i>Urbanscape</i> i <i>Green Decor</i> zelenog krovnog sistema u okviru prohodnih terasa	243
Slika 9.17	Prostorni modeli: a) lamela III, b) lamela V	244
Slika 9.18	Hijerarhijska struktura odlučivanja za izbor optimalnog modela unapređenja krovnog sistema	249
Slika 9.19	Objekat Doma zdravlja modelovan u programu <i>DesignBuilder</i>	252
Slika 9.20	Izgled neprohodnog ekstenzivnog zelenog krova	254
Slika 9.21	Izgled ekstenzivnog zelenog krova u okviru prohodnih terasa sa distance	255
Slika 9.22	Izgled ekstenzivnog zelenog krova u okviru prohodnih terasa iz okruženja	255
Slika 9.23	Izgled intenzivnih i ekstenzivnih zelenih krovova u okviru prohodnih terasa sa distance	256
Slika 9.24	Izgled intenzivnih i ekstenzivnih zelenih krovova u okviru prohodnih terasa iz okruženja	256
Slika 9.25	Vizuelni efekat objekta pružen neograničenom broju ljudi	257

Broj slike	Naziv slike	Strana
Slika 9.26	Odnos komponenti održivog razvoja: a) Venov dijagram, b) model zavisnosti	258
Slika 9.27	Rezultati primene AHP metode	264

PREGLED TABELA

Broj tabele	Naziv tabele	Strana
Tabela 2.1	Tipologija kompletnih ekstenzivnih zelenih krovova i osnovne karakteristike	26
Tabela 2.2	Tipologija intenzivnih zelenih krovova i osnovne karakteristike	28
Tabela 2.3	Rekapitulacija opštih uporednih karakteristika ekstenzivnih i intenzivnih zelenih krovova	29
Tabela 2.4	Odnos intenziteta padavina, kapaciteta zadržavanja vode i nagiba krova	41
Tabela 2.5	Karakteristike hibridnog sistema – fotonaponski paneli i zeleni krov	60
Tabela 3.1	Politike i instrumenti zelene infrastrukture na nivou Evropske unije	65
Tabela 3.2	Vrednosti faktora površina biotopa za različite materijalizacije površina	76
Tabela 3.3	Mehanizmi politike zelenih krovova	87
Tabela 4.1	Faktori koji utiču na degradaciju građevinskih materijala i elemenata	94
Tabela 4.2	Kategorizacija objekata s obzirom na upotrebnii vek konstrukcije	95
Tabela 4.3	Nivoi aktivnosti remodelovanja objekata	95
Tabela 4.4	Pogodnost primene zelenog krovnog sistema za postizanje pojedinih ciljeva u zavisnosti od karakteristika postojećeg objekta	104
Tabela 5.1	Pregled opterećenja od zelenih krovova	141
Tabela 5.2	Pregled zapreminskih težina materijala i opterećenja od slojeva u sklopu zaštita izolacija	142
Tabela 5.3	Moguće namene i korisna opterećenja ravnih krovova	143
Tabela 5.4	Sistematizacija ojačanja konstrukcijskih sistema	166
Tabela 5.5	Sistematizacija ojačanja elemenata konstrukcije	167
Tabela 6.1	Odnos koncepata održivosti i otpornosti	171
Tabela 6.2	Uporedni pregled najvećih dozvoljenih vrednosti koeficijenta prolaza toplote za ravne krovove iznad grejanog prostora	178
Tabela 6.3	Količine sekvestriranog ugljenika u nadzemnoj biomasi ekstenzivnih zelenih krovova sa sedumskim biljkama	182
Tabela 7.1	Satijeva skala relativnog značaja	189
Tabela 7.2	Vrednosti slučajnog indeksa konzistentnosti RI	192
Tabela 9.1	Vrednosti srednjih mesečnih i godišnjih temperatura vazduha (°C) za	224

Broj tabele	Naziv tabele	Strana
	područje grada Niša	
Tabela 9.2	Vrednosti srednjih mesečnih i godišnjih količina padavina (mm) za područje grada Niša	224
Tabela 9.3	Karakteristike elemenata strukture krovnog sistema za model obnove	235
Tabela 9.4	Karakteristike elemenata strukture krovnog sistema sa ekstenzivnim zelenim krovom	237
Tabela 9.5	Karakteristike elemenata strukture prohodnih delova krovova	240
Tabela 9.6	Karakteristike elemenata strukture krovnog sistema sa intenzivnim zelenim krovom	242
Tabela 9.7	Stalno vertikalno opterećenje na krovnu ploču – postojeće stanje	244
Tabela 9.8	Stalno vertikalno opterećenje na krovnu ploču – unapređenje obnovom	244
Tabela 9.9	Stalno vertikalno opterećenje na krovnu ploču – unapređenje ekstenzivnim zelenim krovom (u zasićenom stanju)	245
Tabela 9.10	Stalno vertikalno opterećenje na krovnu ploču od prohodnih delova (staza) – unapređenje ekstenzivnim zelenim krovom u okviru prohodnih terasa	245
Tabela 9.11	Stalno vertikalno opterećenje na krovnu ploču – unapređenje intenzivnim zelenim krovom (u zasićenom stanju)	247
Tabela 9.12	Vrednosti i podaci za potkriterijume korišćeni za izbor optimalnog modela unapređenja krovnog sistema	250
Tabela 9.13	Poređenje kriterijuma u parovima u odnosu na cilj odlučivanja	258
Tabela 9.14	Poređenje potkriterijuma u parovima u okviru ekonomske grupe	259
Tabela 9.15	Poređenje potkriterijuma u parovima u okviru ekološke grupe	259
Tabela 9.16	Poređenje potkriterijuma u parovima u okviru socijalne grupe	259
Tabela 9.17	Određivanje težinskih faktora alternativa u odnosu na finansijska ulaganja za izgradnju krovnog sistema	260
Tabela 9.18	Određivanje težinskih faktora alternativa u odnosu na potrošnju energije za hlađenje objekta	260
Tabela 9.19	Određivanje težinskih faktora alternativa u odnosu na potrošnju energije za grejanje objekta	261
Tabela 9.20	Određivanje težinskih faktora alternativa u odnosu na rezultujuću emisiju CO ₂	261
Tabela 9.21	Određivanje težinskih faktora alternativa u odnosu na kapacitet	261

Broj tabele	Naziv tabele	Strana
	zadržavanja vode krovnog sistema	
Tabela 9.22	Određivanje težinskih faktora alternativa u odnosu na količinu generisanog otpada	261
Tabela 9.23	Poređenje alternativa u parovima u odnosu na namenu krova	262
Tabela 9.24	Poređenje alternativa u parovima u odnosu na vizuelni doživljaj	262
Tabela 9.25	Skala vrednovanja radnog angažovanja	263
Tabela 9.26	Određivanje težinskih faktora alternativa u odnosu na radno angažovanje	263
Tabela 9.27	Izbor konačnog rešenja – optimalnog modela unapređenja krovnog sistema	265

KORIŠĆENE SKRAĆENICE

Skraćenica	Originalni naziv	Naziv na srpskom jeziku
AHP	Analytic Hierarchy Process	Analitički hijerarhijski proces
AIVEP	Associazione Italiana Verde Pensile	Italijansko udruženje za zelene krovove
BAF	Biotope area factor	Faktor površine biotopa
BDP	-	Bruto društveni proizvod
CBA	Cost-benefit analysis	Analiza troškova i koristi
CCA	Climate Change Adaptation	Adaptacija na klimatske promene
CF	Cohesion fund	Kohezioni fond
DIN	Deutsches Institut für Normung	Nemački zavod za standardizaciju
EFB	European Federation of Green Roofs and Walls	Evropska federacija zelenih krovova i zidova
EIA	Environmental Impact Assessment	Procena uticaja na životnu sredinu
ELD	Environmental Liability Directive	Direktiva o odgovornosti za životnu sredinu
ERDF	European regional development fund	Evropski fond za regionalni razvoj
ESF	European social fund	Evropski socijalni fond
EU	European Union	Evropska unija
FLL	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau	Udruženje za razvoj i istraživanje pejzaža
FRP	Fiber Reinforced Polymers	Polimeri ojačani vlaknima
GHG	Greenhouse Gasses	Gasovi sa efektom staklene bašte
GIES	Green Infrastructure and Ecosystem Services Strategy	Strategija u oblasti zelene infrastrukture i ekosistemskih koristi
GO	-	Gradska opština
GUP	-	Generalni urbanistički plan
IGRA	International Green Roof Association	Međunarodna asocijacija zelenih krovova
Institut IMS	-	Institut za ispitivanje materijala Srbije
JASPERS	Joint Assistance to Support Projects in European Regions	Inicijativa za zajedničku pomoć za podršku projektima u evropskim regionima
JEREMIE	Joint European Resources for Micro to Medium Enterprises	Inicijativa za zajedničke evropske resurse za mala i srednja preduzeća

Skraćenica	Originalni naziv	Naziv na srpskom jeziku
JESSICA	Joint European Support for Sustainable Investment in City Areas	Inicijativa za evropsku podršku za održive investicije u gradovima
LAI	Leax Area Index	Indeks lisne površine
LCA	Life Cycle Assessment	Procena životnog ciklusa
LIFE+	Financial Instrument for the Environment	Finansijski instrument za životnu sredinu
LULUCF	Land-use, land-use change and forestry	Aktivnosti koje se odnose na korišćenje i prenamenu zemljišta, i šumarstvo, u vezi sa efektima staklene bašte
MADM	Multi Attribute Decision Making	Višeatributno odlučivanje
MAHP	Multiplication Analytic Hierarchy Process	Multiplikativni analitički hijerarhijski proces
MCDM	Multi Criteria Decision Making	Višekriterijumsko odlučivanje
MSC	Mercali-Cancani-Sieberg	Merkali-Kankani-Ziberg
MODM	Multi Objective Decision Making	Višeciljno odlučivanje
NPV	Net present value	NSV - Neto sadašnja vrednost
OTÉK	Országos Településrendezési és Építési Követelmények	Mađarski nacionalni propisi za planiranje i izgradnju
PBP	Pay back period	Period povratka investicija
PE	Polyethylene	Polietilen
PGR	-	Plan generalne regulacije
PV	Photovoltaic	Fotonaponski
PVC	Polyvinylchloride	Polivinilhlorid
RHMZ	-	Republički hidrometeorološki zavod
RIE	Riduzione di Impatto Edilizio	Indikator smanjenja uticaja zgrada
RS	-	Republika Srbija
SEA	Strategic Environmental Assessment	Strateška procena uticaja na životnu sredinu
UHI	Urban Heat Island	Urbano toplotno ostrvo
UN	United Nations	Ujedinjene nacije
ZEOSZ	Zöldtető- és Zöldfalépítők Országos Szövetsége	Mađarsko nacionalno udruženje za zelene krovove

1. UVOD

1.1 Predmet istraživanja

Savremene tendencije unapređenja urbanih sredina ukazuju na nužnost primene novih pristupa u domenu arhitektonskog projektovanja i izgradnje. To se ostvaruje integrisanim projektovanjem koje se odnosi, kako na nove, tako i na postojeće urbane strukture. U cilju unapređenja objekata neophodno je primeniti interdisciplinarni pristup, koji obuhvata skup mera i aktivnosti koje se sprovode u svim fazama životnog ciklusa objekata, i podrazumeva implementaciju više oblasti istraživanja u cilju iznalaženja najpogodnijih rešenja, ne zanemarujući pri tome estetsku komponentu objekta.

Koncept zelenih krovova prepoznat je kao održiva mera unapređenja stanja u životnom okruženju, i negativni efekti poput promene mikroklimе gradova, povećane opasnosti od poplava, stvaranja buke, zagađenja vazduha, itd., mogu se ublažiti ukoliko bi se zeleni krovovi primenili u velikoj meri, tj. na nivou urbane sredine. Na nivou objekta, takođe su uočeni brojni potencijalni benefiti. Pored ekoloških prednosti, primenom zelenih krovova ostvaruju se i ekonomske dobiti, u pogledu uštede u potrošnji energije, produženog životnog veka konstrukcije, povećanja tržišne vrednosti objekata, itd. Socijalne prednosti su od posebnog značaja, i odnose se na dodatni korisni prostor (u slučaju prohodnih zelenih krovova), vizuelni doživljaj i sliku grada, kao i na unapređenje zdravstvenog stanja stanovnika.

Imajući u vidu već gusto izgrađene urbane sredine, a naročito gradska jezgra, u kojima bi efekti zelenih krovova bili najevidentniji, razmatrano je unapređenje postojećih objekata, odnosno unapređenje postojećih ravnih krovova remodelovanjem. Kako zeleni krovovi predstavljaju alternativu obnavljanju krovne konstrukcije, ustanovljena su dva načina unapređenja remodelovanjem, i to: uspostavljanje prvobitnog stanja objekta, u ovom slučaju krovnog sistema, uz ispunjavanje propisanih uslova u pogledu održivosti; i implementacija savremenih tehnologija i sistema, usled čega može doći do potrebe za ojačanjem konstrukcije.

Potencijal za primenu zelenih krovova uočen je na lokalnom, nacionalnom, kao i na regionalnom nivou, shodno činjenici da su tehnologije građenja i primena konstrukcijskih sistema u prošlosti, naročito u periodu masovne produkcije objekata svih namena koji danas čine značajan deo građevinskog fonda, uslovili izgradnju ravnih krovova. Primena zelenih krovova razmatra se kao konstrukcijsko unapređenje ravnih krovova postojećih objekata, i ostvaruje se i u pogledu rešavanja problema narušenog prvobitnog stanja objekta usled degradacije i starenja primenjenih materijala i elemenata obloge.

U cilju postizanja održivosti primenom zelenih krovova, jedan od primarnih uslova je obezbeđivanje nosivosti i upotrebljivosti konstrukcije usled novog opterećenja. Analizom

konstrukcije prema граниčnim stanjima nosivosti i upotrebljivosti utvrđuje se da li se odabrani zeleni krovni sistem može primeniti bez intervencija na konstrukciji, u suprotnom daju se predlozi načina ojačanja konstrukcije. Sistematizacija ojačanja je značajna jer bi predstavljala osnovu za uspostavljanje metodologije remodelovanja postojećih objekata, shodno činjenici da se ojačanjem konstrukcije ne postiže samo produžavanje životnog veka, već se i unapređuju performanse i povećava vrednost objekta. Kako je povećanje performansi i benefita zelenih krovova uslovljeno povećanjem opterećenja, potrebno je proceniti ciljeve i značaj zelenih krovova u kontekstu opravdanosti sprovođenja ojačanja konstrukcije za njihovu primenu.

Razmatrajući karakteristike omotača postojećih objekata iz perioda industrijskog i industrijalizovanog građenja, utvrđeno je da nisu ispunjeni uslovi funkcionalnosti, što je posledica neadekvatnog izvođenja i primene neadekvatnih materijala, nedovoljnih debljina termoizolacionih slojeva, što dovodi do prekomerne potrošnje energije za ostvarivanje toplotnog komfora, i završetka životnog veka, prevashodno, hidroizolacionog sloja. U cilju smanjenja potrošnje resursa i neobnovljivih izvora energije, a time i smanjenja produkcije gasova sa efektom staklene bašte, mogu se primeniti zeleni krovovi. Ovi sistemi predstavljaju dodatni sloj izolacije objekta, i utiču na smanjenje koncentracije CO₂, koji čini najveći udeo u gasovima sa efektom staklene bašte, i kao takvi pružaju doprinos postizanju održivosti i otpornosti urbanih sredina.

Imajući u vidu potvrde brojnih koristi koje pružaju zeleni krovovi, istraživanje se odnosi na utvrđivanje opravdanosti sprovođenja unapređenja postojećih ravnih krovova zelenim krovnim sistemima, u odnosu na unapređenje obnovom, koje je svakako očekivano. Metodološki postupak obuhvata uspostavljanje relevantnih kriterijuma za ispunjavanje uslova za primenu zelenih krovova na nivou urbane sredine i na nivou objekta, i kriterijuma u odnosu na koje se vrednuju ispitivani načini unapređenja. Na osnovu rezultata višekriterijumskog vrednovanja vrši se izbor konačnog rešenja – optimalnog načina unapređenja postojećeg krova remodelovanjem.

Predmet istraživanja doktorske disertacije odnosi se na postojeće objekte stambenog sektora i sektora javnih i komercijalnih delatnosti, kod kojih se poslednja etaža (neposredno ispod krova) koristi, odnosno za koju je potrebno obezbediti toplotni komfor. Konstrukcije predmetnih objekata su armiranobetonске, pretežno izvedene industrijalizovanim i industrijskim tehnikama građenja, sa ravnim krovovima. Istraživanje obuhvata analizu mogućnosti i ograničenja za implementaciju zelenih krovova sa konstrukcijskog aspekta, i procenu koristi sa aspekta održivosti. Predmet istraživanja bazira se na aktuelnoj problematici koja se odnosi na neospornu potrebu za remodelovanjem postojećih ravnih krovova.

U predmetnom istraživanju korišćen je termin „objekat“ koji se odnosi na objekte visokogradnje, i to na zgrade stambenog sektora i sektora javnih i komercijalnih delatnosti, iako načelno podrazumeva širi pojam, i obuhvata zgrade i inženjerske objekte. Termin „zeleni krov“ korišćen je zbog najčešće upotrebe u dosadašnjim istraživanjima (eng. *green roof*), u odnosu na termine: vegetativni krov, eko-krov, živi krov, itd.

1.2 Ciljevi istraživanja

Osnovni cilj naučnog istraživanja je razvoj integrativnog modela za primenu koncepta zelenih krovova sa stanovišta konstrukcijskog unapređenja postojećih objekata, uzimajući u obzir koristi koje se mogu ostvariti njegovom primenom na lokalnom i regionalnom nivou sa aspekta održivosti. Istraživanje obuhvata i sledeći skup potciljeva:

- Identifikovanje potrebe za sprovođenjem remodelovanja postojećih ravnih krovova;
- Sistematizacija ojačanja elemenata konstrukcije;
- Uspostavljanje metodologije remodelovanja ravnih krovova postojećih objekata za primenu koncepta zelenih krovova;
- Procena uticaja i benefita zelenih krovova sa aspekta održivosti;
- Valorizacija analiziranih modela unapređenja krovnih sistema;
- Davanje preporuka za unapređenje integrativnog pristupa održivom projektovanju i izgradnji.

1.3 Hipoteze istraživanja

U skladu sa izloženim predmetom i postavljenim ciljevima, istraživanje se zasniva na sledećim polaznim hipotezama:

- Postoji opšta potreba za unapređenjem konstrukcija ravnih krovova na osnovu zatečenog disfunkcionalnog stanja.
- Primena koncepta zelenih krovova i brojne koristi koje se pri tome ostvaruju bile bi od posebnog značaja u lokalnim okvirima i na regionalnom nivou, uzimajući u obzir neophodnost za postizanjem održivosti.

Osnovna hipoteza naučnog istraživanja odnosi se na mogućnost kreiranja primenljivog modela unapređenja krovnih sistema postojećih objekata u pogledu implementacije zelenih krovova, kao prednosti u odnosu na način unapređenja obnovom, sa utvrđenih aspekata istraživanja.

1.4 Naučne metode istraživanja

Kompleksna problematika koja je predmet istraživanja, kao i interdisciplinarni karakter, usloveli su primenu složenog naučnog aparata. Kako bi se sveobuhvatno sagledao predmet istraživanja i realizovali postavljeni ciljevi, predviđena je upotreba sledećih naučnih metoda u cilju evaluacije rezultata: analiza i sinteza, istorijska metoda, metoda opservacije, empirijska metoda, metoda modelovanja, studija slučaja, komparativna metoda, metoda vrednovanja, indukcija i dedukcija. Analizom sadržaja dostupne relevantne literature, došlo se do saznanja o značaju upotrebe koncepta zelenih krovova u urbanim sredinama na osnovu brojnih koristi koje su potvrđene istraživanjima sprovedenim u praksi. U delu istraživanja koji se odnosi na nastanak i razvoj vegetativnih sistema koji predstavljaju preteču savremenih zelenih krovova, korišćena je istorijska metoda. Na osnovu analize konstrukcijskih karakteristika objekata uočeni su potencijali za primenu navedenog pristupa na lokalnom, nacionalnom i regionalnom nivou, kao i opservacijom u lokalnim okvirima. Definisanje međuzavisnosti postupka remodelovanja nadgradnjom zelenim krovnim sistemom i konstrukcijskog aspekta, u cilju održivog projektovanja i izgradnje, izvršeno je empirijskom metodom, kroz prezentovanje iskustva i saznanja iz odgovarajućih oblasti. Metodom modelovanja kreiran je integrativni model koji se odnosi na konstrukcijsko unapređenje postojećih ravnih krovova primenom zelenih krovova. Konkretizacija integrativnog modela izvršena je na objektu u urbanoj sredini grada Niša, u okviru studije slučaja. Komparativna analiza četiri modela u okviru dva načina unapređenja postojećih krovova – obnovom i implementacijom savremenih sistema, i vrednovanje, izvršeni su korišćenjem AHP metode kao alata za višekriterijumsko odlučivanje. Na osnovu sistematizacije i interpretacije sprovedenih analiza i dobijenih rezultata pomoću induktivno-deduktivne metode, formulisane su smernice i teorijski okvir za dalja istraživanja, a zaključci i preporuke, i njihovo upoređivanje sa postavljenim hipotezama i principima održivosti predstavljaju sintezu rezultata istraživanja.

1.5 Naučni doprinos istraživanja

Naučni doprinos predmetnog istraživanja ogleda se u razvoju integrativnog modela koji se odnosi na proces remodelovanja krovne konstrukcije objekta, koji će arhitektama pružiti još jednu alternativu u domenu održivog projektovanja i izgradnje. Rezultati dobijeni konkretizacijom i valorizacijom integrativnog modela mogu poslužiti za predviđanje i procenu

koristi prilikom analize objekata sličnih karakteristika, a univerzalni pristup rešavanju problema pruža veće mogućnosti, naročito za primenu koncepta zelenih krovova na urbanom nivou, na osnovu postavljenog seta kriterijuma i potkriterijuma.

Istraživanje sprovedeno u okviru disertacije je naučno opravdano zato što se zasniva na potrebi aktuelizovanja i unapređenja arhitektonske nauke u domenu remodelovanja objekata novim ekološki podobnim tehnologijama i sistemima. U dosadašnjim studijama razmatrani su uopšteni modeli unapređenja, bez detaljnih analiza u pogledu krovne konstrukcije u vezi sa nadgradnjom zelenim krovnim sistemima u zavisnosti od konstrukcijskih, ekoloških, ekonomskih i socijalnih parametara. Utvrđivanje i analiza etapa za sprovođenje remodelovanja dovelo je do kreiranja integrativnog modela koji može doprineti ostvarivanju strategije održivog razvoja na lokalnom i regionalnom nivou, i unapređenju metodologije arhitektonskog projektovanja i izgradnje.

1.6 Struktura doktorske disertacije

Strukturu doktorske disertacije čine: uvodni deo, radna poglavlja, zaključna razmatranja, popis literature i prilozi. U skladu sa predmetom istraživanja i postavljenim ciljevima i hipotezama, utvrđena su radna poglavlja, čijom analizom se daje uvid u metodološki pristup rešavanja problema.

Prvo poglavlje predstavlja uvodni deo u okviru koga je izvršena postavka problema i opisan predmet istraživanja, definisani ciljevi i hipoteze, utvrđene naučne metode koje su našle primenu u radu, kao i naučni doprinos doktorske disertacije.

Drugo poglavlje se odnosi na utvrđivanje uloge i značaja koncepta zelenih krovova za urbane sredine, u cilju opravdanosti njihove primene za sprovođenje remodelovanja krovnih sistema. Najpre su analizirane urbane zelene površine u kontekstu uloge i značaja, i utvrđeno je da su sistemi integrisanog zelenila jedini način povećanja urbanog zelenila. Kroz pregled istorijskog razvoja vegetativnih krovova, koji su preteča savremenih zelenih krovnih sistema, analizirani su karakteristični primeri i tehnike građenja, kao i primenjeni materijali i uloge koju su imali kroz različita vremenska razdoblja i u različitim klimatskim područjima. Nakon utvrđivanja savremenog koncepta zelenih krovova, dato je pojmovno određenje, definicije i tipologije zelenih krovova. Analiza strukture zelenih krovova značajna je zbog pravilnog odabira komponenti sistema za ispunjavanje postavljenih ciljeva, imajući u vidu prednosti i ograničenja njihove primene, kao i nove trendove u tehnologiji zelenih krovova.

U okviru trećeg poglavlja analizirani su zakonski okviri i stanje u oblasti primene zelenih krovova na nivou Evropske unije, zemalja članica i gradova koji se ističu uspešnom praksom. Sprovedena analiza je od značaja jer ukazuje na mogućnosti za uvođenje zelenih krovova u

nacionalno zakonodavstvo, imajući u vidu da se primena ovog koncepta u Srbiji uglavnom zasniva na volji investitora, bazirana na postizanju estetskog kvaliteta objekta.

U četvrtom poglavlju razmatrano je o unapređenju objekata remodelovanjem. Imajući u vidu da se istraživanje odnosi na postojeće objekte, odnosno fazu eksploatacije koja je vremenski najduža tokom životnog ciklusa objekata i građene sredine, u širem smislu, najpre je ukazano na mogućnosti transformacije tehničkih sistema po ugledu na prirodne sisteme primenom koncepta regenerativnog dizajna, koji proširuje koncept i primenu održivosti. Nakon utvrđivanja potreba za remodelovanjem, definisani su načini unapređenja postojećih objekata i posebno je analiziran koncept zelenih krovova u okviru implementacije savremenih tehnologija i sistema.

Peto poglavlje odnosi se na konstrukcijski aspekt primene zelenih krovova u kontekstu postojećeg građevinskog fonda Republike Srbije. Na osnovu analize tehnologija građenja i primenjenih konstrukcijskih sistema utvrđen je potencijal za implementaciju zelenih krovova. Posebno su razmatrane konstrukcije postojećih ravnih krovova i mogućnosti primene zelenih krovova u zavisnosti od završnih/zaštitnih slojeva izolacija. Imajući u vidu da je ispunjavanje uslova nosivosti i upotrebljivosti konstrukcije jedan od primarnih preduslova prilikom remodelovanja objekata, uspostavljen je proces analize konstrukcije prema graničnim stanjima za primenu zelenih krovova. U slučaju da uslovi nosivosti i/ili upotrebljivosti nisu ispunjeni, razmatrani su načini ojačanja konstrukcije i izvršena je njihova sistematizacija u odnosu na pojedinačne elemente.

U okviru šestog poglavlja razmatrano je o globalnim problemima sa kojima se suočavaju urbane sredine, i o odgovornom planiranju, projektovanju i postupanju u cilju njihovog prevazilaženja. Na nacionalnom nivou utvrđene su potrebe za povećanjem energetske efikasnosti postojećih objekata, usled prevelike potrošnje energije za postizanje toplotnog komfora, što je u najvećoj meri posledica karakteristika termičkog omotača. Zeleni krovovi, kao ekološki podobna mera, razmatrani su za rešavanje navedenih problema, pri čemu je njihov uticaj na smanjenje emisije CO₂ posebno analiziran.

U sedmom poglavlju izložena je metodologija analitičkog hijerarhijskog provesa (AHP) kao alata za višekriterijumsko vrednovanje i analizirana je opravdanost korišćenja AHP metode za rešavanje problema postizanja održivosti primenom zelenih krovova.

U osmom poglavlju uspostavljena je metodologija integrativnog modela za podršku odlučivanju pri odabiru načina unapređenja konstrukcija ravnih krovova postojećih objekata. Najpre su utvrđeni uloga i značaj razvoja integrativnog modela i definisani su konceptualni modeli dva načina unapređenja krovovnih sistema u odnosu na stanje postojeće krovne konstrukcije. Novi integrativni model obuhvata dve faze. Prva faza se odnosi na ispunjavanje uslova za implementaciju zelenog krova, a druga na primenu AHP metode u okviru višekriterijumskog

vrednovanja, na osnovu čega se vrši izbor optimalnog rešenja za unapređenje postojećeg krovnog sistema. U okviru ovog poglavlja definisani su kriterijumi i potkriterijumi u odnosu na koje se vrednuju utvrđene alternative.

Deveto poglavlje se odnosi na konkretizaciju i valorizaciju integrativnog modela. Najpre je odabran karakterističan objekat u odnosu na postavljene kriterijume, nakon čega se pristupilo realizaciji prve faze, koja podrazumeva ispunjavanje uslova za sprovođenje remodelovanja ravnih krovova odabranog objekta primenom koncepta zelenih krovova. U prvoj fazi modelovani su unapređeni krovni sistemi, i to četiri modela u okviru dva načina unapređenja. Kada je ustanovljeno i usvojeno da su ispunjeni uslovi za primenu svih predloženih alternativa, sprovedena je višekriterijumska analiza korišćenjem AHP metode, i izvršen je izbor konačnog rešenja – optimalnog krovnog sistema.

Deseto poglavlje sadrži zaključna razmatranja koja se odnose na usklađenost rezultata sa postavljenim ciljevima i hipotezama, relevantne komentare na osnovu stečenih znanja iz predmetne oblasti, i na smernice i preporuke za dalja istraživanja.

2. ULOGA I ZNAČAJ PRIMENE ZELENIH KROVOVA

2.1 Zelene površine kao sastavni deo urbanih sredina

Povezanost prirodne i građene sredine, u okviru urbanog ekosistema, ima značajnu ulogu za njegov opstanak i funkcionisanje. Na taj način stvara se urbani sistem koji integriše potrebe društva sa potrebama integriteta prirode (Redi i dr., 2011). Analizom uticaja građene sredine na prirodno okruženje i uticaja prirodnog okruženja na građenu sredinu stvara se okvir za unapređenje urbanih ekosistema.

Prirodna sredina obezbeđuje različite vrste usluga/dobiti/koristi (eng. *ecosystem services*) koje su na raspolaganju čoveku i direktno utiču na zdravlje i kvalitet života. One se mogu svrstati u kategorije koje obuhvataju dobiti koje su na slobodnom raspolaganju, odnosno snabdevanje hranom, vodom i energijom; dobiti na koje se može uticati, a u vezi su sa upravljanjem klimom, vodnim resursima i nutrijentima; usluge podrške procesima u ekosistemu koje se odnose na formiranje zemljišta za proizvodnju, primarnu proizvodnju i kruženje nutrijenata; i socio-kulturološke dobiti koje se odnose na estetiku, rekreaciju i duhovno ispunjenje (Gómez-Baggethun & Barton, 2013; Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Uspostavljanje ravnoteže u sistemu, u pogledu obavljanja životnih procesa i funkcija u zatvorenom ciklusu obezbeđuje održivost urbanog ekosistema. Tome doprinosi postojanje, očuvanje, povećanje i unapređenje urbanog zelenila.

Nastanak i razvoj gradova kroz istoriju obeleženi su kao pobeda čovečanstva nad promenljivo i nepredvidivom prirodom (Jim, 2013). Jedan od neželjenih efekata urbanizacije upravo je otuđenost od prirode. Prvobitna naselja bila su manjeg obima i omogućavala su povezanost stanovništva sa prirodnom sredinom koja je u blizini i koja ih okružuje. Razvojem gradova i njihovim širanjem, prirodna sredina je postajala sve marginalizovanija i retka, udaljena i često zanemarivana i degradirana. U današnje vreme, sa svetskom populacijom većom od 7 milijardi stanovnika i činjenicom da više od polovine nastanjuje urbane sredine, sa tendencijom da taj broj bude i veći od 75% do 2050. godine (Gómez-Baggethun & Barton, 2013), sve je više milionskih i mega-gradova (sa populacijom od preko 10 miliona). U uslovima proširenja gradova i sve veće gustine izgrađenosti, preostaje malo i nedovoljno otvorenih prostora i površina pod zelenilom. Mogućnosti za unapređenje kvaliteta životne sredine mogu se sagledati kroz strategije za postizanje održivog razvoja i koncepta pametnog rasta, što predstavlja imperativ savremenog društva (Jim, 2013). Zelene površine danas imaju ključnu ulogu i predstavljaju jedini način rešavanja problema nastalih nekontrolisanom urbanizacijom. Sagledavanje značaja zelenila u urbanim sredinama može se ostvariti sa ekološkog, socijalnog i ekonomskog aspekta (Goode, 2006).

Posmatrano sa ekološkog stanovišta, urbano zelenilo ima pozitivan uticaj na mikroklimu urbanih sredina, zaštitu vazduha, upravljanje vodama, smanjenje buke i očuvanje biodiverziteta (Derkzen et al., 2015; Georgi & Dimitriou, 2010; Gómez-Baggethun & Barton, 2013; Goode, 2006; Jim, 2013).

Karakteristike zelenih površina koje utiču na smanjenje negativnih efekata u pogledu mikroklimе gradova su visok nivo apsorpcije sunčevog zračenja, mali toplotni kapacitet i provodljivost u odnosu na građevinske materijale objekata i urbanih otvorenih površina, smanjenje temperature vazduha usled transpiracije, smanjenje infracrvenog zračenja, smanjenje brzine vetra oko zemljišta, kao i zaštita od buke koju obezbeđuje postojanje visokog i srednjeg zelenila (Georgi & Dimitriou, 2010). U pogledu zaštite vazduha, urbana vegetacija redukuje koncentraciju ugljendioksida i oslobađa kiseonik, i značajna je za prečišćavanje vazduha zadržavanjem prašine i zagađenja iz vazduha. Površine pod zelenilom pozitivno utiču na postizanje ravnoteže u pogledu kvantiteta i kvaliteta padavina, odnosno njihovo umereno odvođenje i prečišćavanje od zagađenja. Očuvanje biodiverziteta u urbanim sredinama ima značajnu ulogu za opstanak i razvoj autohtonih vrsta, kako biljaka, tako i životinja.

Benefiti zelenih površina koji se mogu izdvojiti sa socijalnog aspekta odnose se na stvaranje mogućnosti za bavljenje sportom i rekreacijom, vizuelni doživljaj okruženja, promovisanje fizičkog zdravlja stanovnika i uticaj na psihološko blagostanje, jačanje društvenih veza usled postojanja prostora za socijalne interakcije, kao i povećanje produktivnosti i stvaranje mogućnosti za edukaciju u prirodnom okruženju (Goode, 2006; Zhou & Parves Rana, 2012). Pored individualnih koristi, grad kao celina može stvoriti regionalni identitet, obiljem zelenih površina, što povoljno utiče i na razvoj turizma (Zhou & Parves Rana, 2012).

Sa ekonomskog aspekta, zelene površine imaju značaj u povećavanju tržišne vrednosti objekata koji se nalaze u prirodnom, a time i zdravijem okruženju urbanih sredina, bilo da je reč o privatnim ili javnim otvorenim prostorima, ili zelenilu integrisanom u objektima (Conway et al., 2010; Gómez-Baggethun & Barton, 2013). Smanjenje površina pod zelenilom imalo bi uticaja u ekonomskim analizama koje se odnose na redimenzionisanje drenažnog sistema u pogledu povećanja kapaciteta, kao i na dodatne troškove za prečišćavanje vazduha i voda, smanjenje buke, redukciju ugljendioksida i ublazavanje klimatskih promena, što se inače postiže prirodnim procesima. S tim u vezi, sa ekonomskog aspekta istraživanja trebalo bi razmatrati ne samo benefite ekosistemskih usluga, već i nepovoljnosti koje bi proizvele novčana ulaganja usled dodatnog narušavanja prirodne sredine (Gómez-Baggethun & Barton, 2013).

Na osnovu pregleda koristi urbanog zelenila može se uočiti njihova međuzavisnost, kao i međuzavisnost samih aspekata istraživanja. Jedan od važnijih ciljeva savremenog društva je utvrđivanje i implementacija strategija urbanog planiranja i arhitektonskog projektovanja, koje

su u vezi sa tretmanom zelenih površina u gradskim sredinama, njihovim očuvanjem i proširenjem zarad ostvarivanja utvrđenih koristi. Imajući u vidu značaj urbanog zelenila, mogućnosti unapređenja mogu se istražiti kroz tipologije koje se odnose na otvorene prostore pod zelenilom i sisteme integrisanog zelenila u objektima. Važno je napomenuti da prilikom ove opšte podele, granica nije strogo utvrđena, iz razloga što sistemi integrisanog zelenila u nivou tla (zeleni krovovi) spadaju i u otvorene površine pod zelenilom.

2.1.1 Otvoreni prostori pod zelenilom

Otvoreni prostori pod zelenilom, koje odlikuju ekološke vrednosti, predstavljaju element prirodne ili projektovane zelene infrastrukture. Mogu biti uređene, odnosno neuređene površine, u privatnom ili javnom vlasništvu. Usled nepostojanja opšte tipologije zelenih površina, one se klasifikuju na različite načine, prema strategijama za njihovo očuvanje i unapređenje. Na osnovu položaja i geometrije, urbano zelenilo može se analizirati kroz tri osnovna entiteta: 1) zelenilo na obodu urbanih sredina – prostrani predeli slobodnog oblika, 2) zelenilo u okviru urbanih sredina u vidu koridora – linearne zelene površine, i 3) zelenilo okruženo izgrađenim prostorom – matrice (Jim, 2013). Prvi entitet čine regionalni parkovi, gradske šume i predeli oko kojih su se formirale urbane sredine usled geomorfoloških karakteristika terena. Linearne zelene površine predstavljaju drvoredi i zelene staze duž i u okviru saobraćajnica, zaštitno, odnosno razdelno zelenilo, kao i priobalni pojasevi vodenih tokova. Zelene površine okružene tj. ograničene materijalizovanim prostorom predstavljaju geometrijske površine u gradskim sredinama, izgrađene i uređene urbanističkim projektovanjem i planiranjem.

Prema jednoj od strategija očuvanja i unapređenja otvorenih prostora pod zelenilom, utvrđene su tri grupe aktivnosti koje se odnose na: 1) primenu ekoloških principa u urbanističkom projektovanju, 2) zaštitu prirode u gradu, i 3) povećavanje površina pod zelenilom (Jim, 2013).

U okviru prve grupe aktivnosti neophodno je usvojiti ekološki dizajn koji se bazira na upotrebi lokalnih biljnih vrsta, biomase i što je moguće više slobodne geometrije zelenih površina, revitalizujući na taj način gradske centre elementima iz prirodnog okruženja. Postizanje povezanosti otvorenih prostora pod zelenilom – matrica, preko linearnih zelenih površina, obezbedilo bi jedinstveno funkcionisanje prirodnog ekosistema u okviru urbanih sredina. Obogaćenje biodiverziteta odnosi se na raznovrsnost zelenila koje uključuje ukrasne i egzotične biljne vrste, što pozitivno utiče na psihološki doživljaj i sliku grada. Imajući u vidu da integrisanje prirodne sredine u gradska okruženja nije od primarnog značaja u pogledu ostvarivanja novčane dobiti, potrebno je izvršiti ekonomsku analizu procene sveobuhvatnih benefita urbanog zelenila, kako bi se ukazalo na meru indirektnih i dugoročnih benefita.

Zaštita prirode u urbanim sredinama podrazumeva očuvanje spontano razvijenih elemenata prirodne sredine pri urbanističom projektovanju, očuvanje drveća visokog kvaliteta, zaštitu drveća na gradilištima i njihovo presađivanje, kao i poboljšanje kvaliteta nege i pravovremeno delovanje.

Povećavanje zelenih površina u gradskim sredinama moguće je ostvariti sađenjem drvoreda duž saobraćajnica nižeg ranga, poboljšanjem kvaliteta zemljišta i uvođenjem permeabilnih površina materijalizacijom puteva, pešačkih staza i parking prostora.

Primenom strategija koje se odnose na otvorene prostore pod zelenilom u velikoj meri se može poboljšati kvalitet zelenih površina, ali ne i kvantitet, usled već gusto izgrađenih urbanih sredina. S tim u vezi, dalje razmatranje se odnosi na sisteme integrisanog zelenila u objektima, u kojima se vidi mogućnost povećanja urbanog zelenila, uz ostvarivanje brojnih benefita sa aspekta održivosti.

2.1.2 Sistemi integrisanog zelenila u objektima

Sistemi integrisanog zelenila u objektima predstavljaju zelene površine u okviru omotača objekata – zelene krovove i zelene zidove i fasade (sisteme vertikalnog zelenila), kao i prostore unutar objekata koji imaju važnu ulogu, kako u prostornoj organizaciji, tako i u postizanju brojnih koristi zarad unapređenja kvaliteta života u urbanim sredinama (sl. 2.1). Integrisanje zelenila u objektima predstavlja regenerativni pristup kojem se teži, ne samo zbog smanjenja negativnih uticaja na okruženje, već i zbog postizanja pozitivnih efekata, što se ispunjava postupanjem u skladu sa prirodnim procesima. Sisteme integrisanog zelenila najbolje je predvideti u fazi projektovanja zarad procena koristi koje bi se postigle njihovom primenom u odnosu na investicione troškove, odnosno cenu životnog ciklusa urbane strukture.



Slika 2.1. Sistemi integrisanog zelenila u objektima: a) zeleni krov, b) zelena fasada, c) zeleni zid unutar objekta

Imajući u vidu da se gustina izgrađenosti povećava ka gradskim jezgrima i da se prostori pod zelenilom dodatno smanjuju, usled prenamene zemljišta, jedini način postizanja ravnoteže razmatranih životnih funkcija i procesa u urbanim sredinama jeste primena sistema integrisanog zelenila u okviru postojećih objekata. Uspešnost integrisanja zelenila zavisi od karakteristika koje se odnose na visinu objekta, izloženost vetrovima, osunčanost, koja je uslovljena orijentacijom i dispozicijom u odnosu na okruženje, kao i na konstrukcijske karakteristike, odnosno proveru nosivosti i stabilnosti konstrukcije za predviđeno novo opterećenje. Implementacijom ekološki podobnih struktura se, pored utvđenih opštih koristi, obezbeđuje i konstrukcijsko unapređenje postojećih objekata, koje se odnosi na bolju izolovanost i očuvanje materijala i konstrukcijskih elemenata.

Integrisanje zelenila unutar postojećih objekata prema položaju može biti u vertikalnoj ravni, u vidu zelenih pregradnih zidova, i u horizontalnoj ravni, što bi imalo uticaja na prostornu organizaciju objekta. Što se tiče omotača objekta, primena zelenih fasada pružila bi bolje performanse u odnosu na implementaciju zelenih krovova usled uglavnom veće površine spoljašnjih zidova u odnosu na površinu krovnih ravni. Ipak, zeleni krovovi su u široj upotrebi, naročito na ravnim krovovima postojećih objekata, što je u vezi sa boljom izloženošću insolaciji krovnih površina, lakšom montažom (složenijih sistema integrisanog zelenila), niskim stepenom održavanja i manjim investicionim troškovima, i stvaranjem dodatnog korisnog otvorenog prostora pod zelenilom.

Mogućnost primene zelenih krovova, kao sistema integrisanog zelenila u cilju unapređenja performansi objekata, odnosi se prvenstveno na analizu klimatskih uslova koji utiču na njihov opstanak i razvoj uz odbabir adekvatnih biljnih vrsta, analizu postojećeg građevinskog fonda konkretne urbane sredine, u pogledu položaja objekata i konstrukcijskih karakteristika, uz procenu benefita koji bi se postigli njihovom implementacijom.

Neophodno je razvijati zeleni grad kroz stalne procese unapređivanja i razvoja sistema zelenih površina. Nekada se razmatralo o uslovima života u gradu, a danas o opstanku čoveka u urbanom okruženju i njegovom negativnom uticaju na zdravlje i kvalitet života stanovnika (Aćimović, 2011). Pored utvđenih benefita koji se postižu sa ekološkog, socijalnog i ekonomskog aspekta na nivou urbane sredine, integrisanje zelenila u objektima ima značaj i za konstrukcijsko unapređenje pojedinačnih struktura, što takođe doprinosi održivom razvoju, smanjenjem potrošnje energije usled dodatne izolacije i produžavanjem životnog veka objekata.

2.2 Pregled razvoja zelenih krovova

Upotreba vegetacije u okviru objekata jedan je od najstarijih načina gradnje širom sveta. Vegetativni krovovi predstavljaju koncept koji je rasprostranjen u mnogim kulturama i

klimatskim zonama, od praistorije do savremenog doba. Kao što se njihove tehnike izgradnje razlikuju kroz vremenska razdoblja i prostorne okvire, podjednako je raznovrsna i njihova namena i svrha. Nastanak i razvoj zelenih krovova imaju značajnu ulogu u razumevanju koncepta u savremenom društvu i utiču na stvaranje strategija u budućnosti.

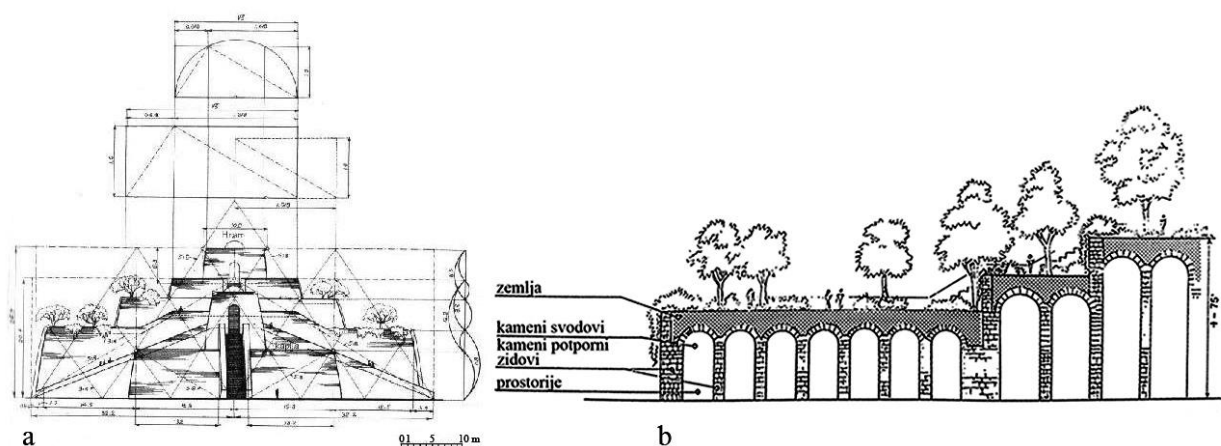
2.2.1 Razvoj zelenih krovova kroz istoriju

Iako biljni materijal ne karakteriše trajnost i očuvanje u pogledu arheoloških nalaza, veliki broj pisanih tragova i iskopina ukazuju na postojanje vegetativnih krovova i pre više od 6000 godina (Alexandri, 2006). Biljni omotač bio je zastupljen kako u tradicionalnoj arhitekturi, tako i u okviru monumentalnih građevina.

Vegetacija se prvobitno koristila za izgradnju skloništa, kuća i naselja, kao posledica klimatskih uslova podneblja i nedostatka i nedostupnosti drugih materijala gradnje (Thuring, 2015). Najstariji tip građevina bile su zemunice, objekti ukopani u tlo, prvobitno natkriveni zemljištem sa vegetacijom, a kasnije i krovnim konstrukcijama od drveta. Područja sa hladnom klimom karakterisali su krovovi sa debljim slojem zemljišta, u cilju zaštite i toplotne izolovanosti objekata. U toplim i suvim klimatskim zonama gradili su se objekti lakih konstrukcija za koje su korišćeni suvi delovi biljaka i drveća, kao što su trske, trave i lišće, kao materijali obloge, koji su bili pogodni za brzo i lako sakupljanje (Alexandri, 2006). Primeri krovova sa travom kao vegetacionim slojem ili suvom vegetacijom, jednostavnih konstrukcija, koji su vodili poreklo iz regiona severne Evrope, centralne Azije, istočne Afrike i severne i centralne Amerike, i danas se mogu naći na tim prostorima kao deo kulturnog nasleđa (Coffman, 2007; Thuring, 2015). Izgradnja i upotreba vegetativnih krovova bila je funkcionalnog karaktera (Stewart, 2015).

Prvi značajniji istorijski podaci o upotrebi vegetativnih krovova na monumentalnim građevinama vezani su za period starog veka i područje Mesopotamije. Sumerski hramovi – zigurati, predstavljali su građevine stepenaste forme, nastale izgradnjom novih hramova na postamentima i ostacima prethodnih. Građeni su od IV milenijuma pre nove ere i odlikuju se prvim vrtovima koji nisu bili u nivou tla (Alexandri, 2006). Objekti stepenaste forme, od kamena ili nepečene gline - ćerpiča, imali su na ravnim terasama vegetacioni sloj koji je činilo drveće i žbunje, u cilju ublažavanja ekstremnih klimatskih uslova (sl. 2.2a) (Grant, 2007). Najpoznatiji vegetativni krovovi – Viseći vrtovi Vavilona, izgrađeni oko 500. godine pre nove ere, uvršćeni su u sedam svetskih čuda starog sveta. Viseći vrtovi su predstavljali sistem integrisanog zelenila na stepenastoj kamenoj konstrukciji (sl. 2.2b), što je zahtevalo velike napore prilikom izgradnje, a i za održavanje. Uopšteno govoreći, vrtovi su bili značajan element kuća i palata koji se odnosio na statusni simbol (Alexandri, 2006). Uticaj arhitekture sa prostora Mesopotamije, može se kasnije uočiti u izgradnji persijskih i srednje-istočnih krovnih vrtova kroz simboliku

predstavljanja raja (Sekulić, 2013; Thuring, 2015). U pogledu strukture krovnih vrtova, prema opisu grčkog historičara Diodora Sikula iz I veka pre nove ere, preko kamenih greda iznad svodova postavljana je trska sa premazom od katrana, zatim dva reda glinenih cigala povezanih cementom, olovne ploče u funkciji hidroizolacije i sloj zemlje u debljini dovoljnoj za razvoj visokog drveća (Sekulić, 2013). Krovni vrtovi su se navodnjavali vodom iz kanala koja je dovođena pumpama.



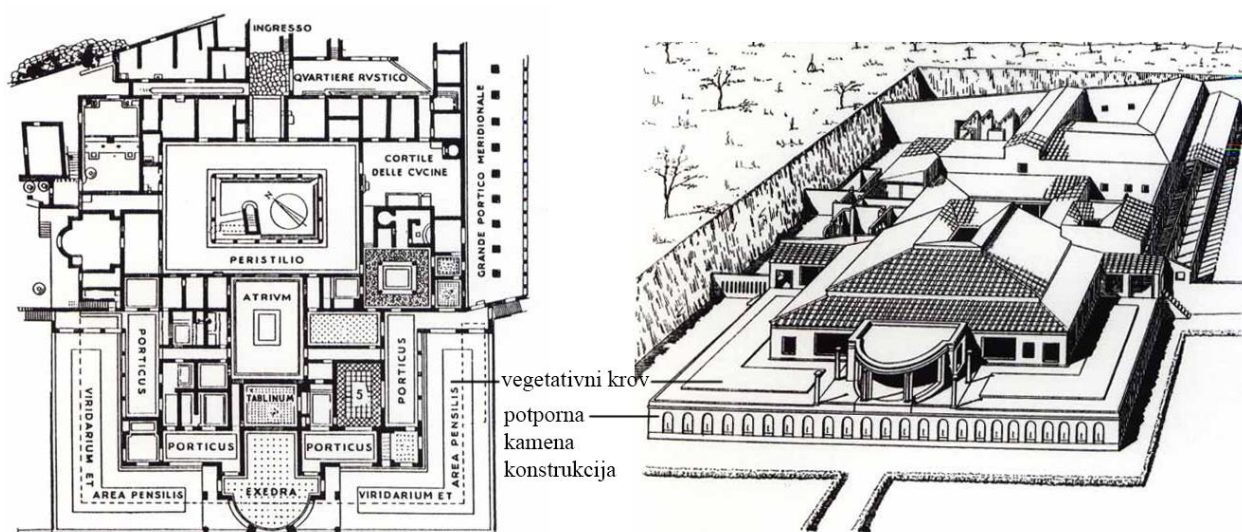
Slika 2.2. Starovekovne građevine sa integrisanom zelenim krovom: a) princip konstruisanja zigurata u Uru, visine 21m, izgrađenog pre više od 2000 g. pre n.e. (Sekulić, 2013), b) struktura Visećih vrtova Vavilona, visine 23m, izgrađenih oko 500 g. pre n.e. (Osmundson, 1999)

U bogatoj kulturi egipatske civilizacije takođe se mogu naći podaci o građenju visećih vrtova koji su bili u funkciji ličnih svetilišta (Thuring, 2015). Egipćani su prvi u istoriji koristili prostore ravnih krovova za vrtove, kao i biljne vrste van lokalnog područja, presađivanjem iz tla u posude (Sekulić, 2013). Pored vladara, koji su posedovali velike krovne vrtove, i stanovnici gusto izgrađenih razvijenih gradova gradili su krovne bašte manjeg obima i skromnijeg uređenja (Sekulić, 2013). Za izgradnju ravnih krovova objekata građanstva koristilo se drvo, asure od palminog lišća, rogoza ili trske, prekrivene glinom, dok su kod monumentalnih građevina korišćene arhitravne grede i ploče tavanica od kamena (Sekulić, 2013).

U antičkoj Grčkoj je započeto širenje kulture visećih vrtova ka zapadu. Izgradnju ravnih krovova, koji su imali ulogu za sakupljanje kišnice, a kasnije i za njihovo ozelenjavanje, uslovlila je topla i suva mediteranska klima. Strukturu ravnih krovova činila su velika debla, poredana jedna pored drugih, u funkciji greda, preko kojih su se postavljali slojevi grana, gline, trske i završni sloj gline (Sekulić, 2013). S obzirom na nedostatak materijalnih dokaza o vegetativnim krovovima i njihovom razvoju, može se zaključiti da su oni postojali na ovim područjima na osnovu njihove primene u savremenoj arhitekturi (Alexandri, 2006).

U oblikovanju i razvoju vegetativnih krovova antičkog Rima, najznačajniji uticaj je bio sa prostora antičke Grčke sa razlikom u njihovoj ulozi, koja se ovde prvenstveno odnosila na merilo

bogatstva i moći (Thuring, 2015). Najznačajniji primeri građevina sa krovnim vrtovima na prostoru Rimskog carstva su vila Mecene na Eskvilinu i vila Misterija u Pompeji (sl. 2.3), kao i monumentale građevine carskih palata od kojih su najpoznatije Hadrijanova vila u Tivoliju i Dioklecijanova palata u Splitu (Sekulić, 2013). Krovne vrtove je karakterisala njihova namena produženog boravka na otvorenom. U rimskoj kulturi, vrtovi i parkovi nisu imali značaj samo za javne objekte već i za stanovanje, pri čemu je vrt, u vidu atrijuma, postao osnovna karakteristika kuće u Pompeji (Alexandri, 2006). Zelenilo je predstavljalo i važan deo memorijalne arhitekture u okviru koje je drveće, sa simboličnom ulogom, bilo sastavni deo građevina mauzoleja (Sekulić, 2013).



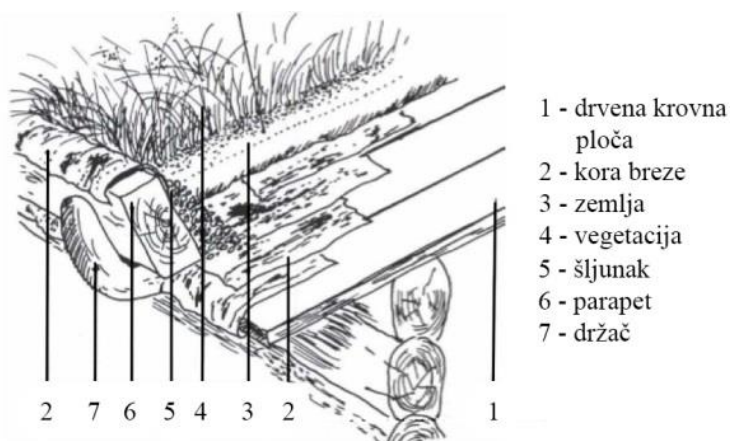
Slika 2.3. Osnova i prostorni prikaz rekonstrukcije vile Misterije u Pompeji sa vegetativnim krovom na potpornoj konstrukciji od kamena (“The Roman house: elementary conspectus”, n.d.)

Prvu polovinu srednjevekovnog perioda karakterisala je stagnacija u razvoju vegetativnih krovova usled ekonomskih i socijalnih prilika. Primer crkve Svete Teodore u Arkadiji iz ovog vremenskog razdoblja, karakterističan je zbog spontanog razvoja vegetacije na kosim krovnim ravnima kao posledica zidane tehnike građenja kamenom i zemljom koja je bila pogodna za razvoj vegetacije (Alexandri, 2006). Primena vegetativnih krovova u Vizantijskom carstvu bazirala se na antičkoj kulturi, i krovni vrt je građen na dvorovima vizantijskih careva u Konstantinopolju kao statusni simbol (Sekulić, 2013). U srednjevekovnim utvrđenim gradovima, sa gustom fizičkom strukturom nasleđenom iz prethodnog perioda, građeni su vegetativni krovovi koji su se odlikovali malim površinama, skromnijim uređenjem i položajem koji je obezbeđivao zaklonjenost (Sekulić, 2013). Sakralnu arhitekturu karakterisala je primena vegetacije na krovnim ravnima u velikoj meri, u funkciji vrtova i bašti (Osmundson, 1999).

Na teritoriji severne Evrope, i u tradicionalnoj i u monumentalnoj arhitekturi, i dalje je dominirala upotreba vegetacije na krovovima, prevashodno usled dostupnosti materijala, u

funkciji termoizolovanosti objekata (Alexandri, 2006; Sekulić, 2013). Za hidroizolacioni sloj korišćena je kora breze, koja je postavljena sa preklopom ispod sloja zemljišta (Sekulić, 2013; Thuring 2015) (sl. 2.4). Podjednako je bila zastupljena upotreba osušenih i zasađenih biljaka na krovovima objekata, koje su od praistorije do XIX veka karakterisali različiti načini građenja i vrste materijala, kao što su slama, kamen i opeka (Osmundson, 1999). Razvoj tehnika građenja uslovio je promene u konstrukciji objekata, dok se način oblaganja krovova zadržao.

U severnoj Americi u periodu srednjeg veka, građenje vegetativnih krovova postalo je privilegija elite u astečkom društvu, za razliku od njihove uloge u prethodnim periodima, koja se odnosila na bavljenje poljoprivredom i produžen boravak na otvorenom (Thuring, 2015).



Slika 2.4. Konstruktivni elementi tradicionalnog skandinavskog vegetativnog krova (Thuring, 2015)

U periodu renesanse, krovni vrtovi postaju sastavni deo arhitekture, koju odlikuje udaljavanje od gradskih zidina i približavanje prirodi (Sekulić, 2013). Glavna karakteristika formi objekata je postojanje unutrašnjeg vrta, pri čemu je krov sa vegetacijom predstavljao njegov nastavak. Akcenat je bio stavljen na socijalni aspekt koji se odnosio na vizuelni doživljaj okruženja posmatrano sa objekta, i same građevine posmatrane iz spoljašnje sredine (Alexandri, 2006). Postojanje vegetativnih krovova u funkciji vrtova i dalje je bila odlika građevina bogatog sloja stanovništva. Najznačajniji primeri renesansnih objekata nalaze se na tlu Italije. Vegetativni krovovi na vilama Mediči u Kaređi i Fiesoli, predstajali su uzor kasnije građenim krovnim vrtovima (Sekulić, 2013). Arhitektura vile u Kaređi je povezala objekat sa vrtom preko zelenila koje se prostiralo do lođa na višim spratovima i na taj način je otvorena struktura objekta ka okruženju. Vila u Fiesoli karakteristična je zbog konfiguracije terena, što je uslovilo stepanastu formu objekta natkrivenog zelenilom i integrisanog u prirodnu sredinu. Značajan primer predstavlja i vegetativni krov na tornju Guiniđi u Luki, objektu izgrađenom od opeke, čija se krovna konstrukcija odlikovala ozidanim blokovima sa debljim slojem zemljišta za razvoj drveća, koje je navodnjavano preko podzemnog irigacionog sistema (Sekulić, 2013). Materijali

korišćeni za hidroizolacioni sloj bili su olovo, bakar i katran. Vegetativni krovovi su građeni i na palatama crkvenih poglavara. U ostalim delovima Evrope bili su retko izvođeni.

U kasnijim epohama krovni vrtovi bili su široko zastupljeni kao ideja, ali je dolazilo do malog broja realizovanih struktura usled neprevazilaženja tehnike građenja kosih krovova, kao i velikih investicionih troškova koji su se odnosili na izgradnju hidroizolacije i drenažnog sistema (Sekulić, 2013). Vegetativni krovovi u baroku odlikovali su se građenjem na potkonstrukcijama u vidu terasa, prilikom čega su se kao hidroizolacioni materijali koristili bakar i olovo. Forma krovnog vrta bila je strogo geometrijska, sa dodatim elementima u vidu skulptura koje su bile karakteristične za arhitekturu baroka. Vegetativni krovovi kao statusni simbol imali su funkciju i za gajenje lokalnih i egzotičnih biljaka. Na terasama i balkonima često se nasipala zemlja za formiranje sloja vegetacije (Sekulić, 2013).

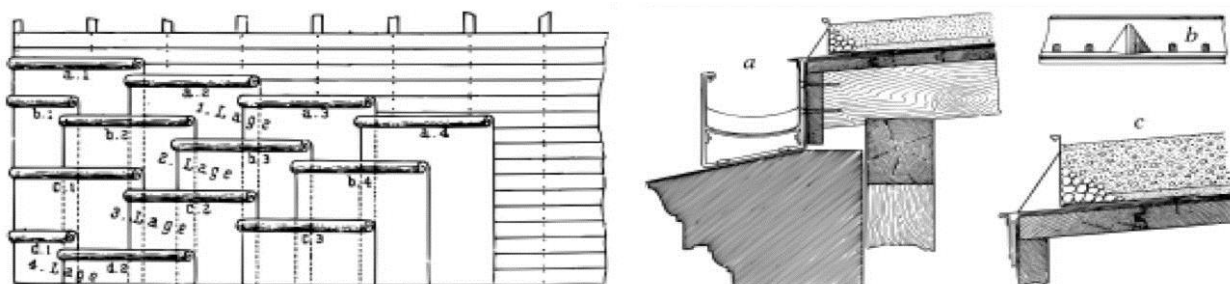
Iako je Italija u drugoj polovini XVII veka izgubila kulturnu dominaciju, u čemu je primat dobila Francuska, u Italiji su izgrađeni prvi barokni krovni vrtovi. Vila Garconi (ita. *Villa Garzoni*) u Kolodi karakterističan je primer baroknog krovnog vrta sa centralnom arhitektonskom kompozicijom od tri terase, u okviru kojih je i vegetacija bila geometrijski oblikovana. Najznačajniji primer vrta ove epohe u Francuskoj je kraljevska rezidencija Versaj, nadomak Pariza, koji je izgrađen na terasama koje su pratile konfiguraciju terena. Zelenu infrastrukturu, koja je bila u prvom planu u odnosu na palatu, čine zelene i vodene površine, kao i ukrasne pećine ispod potpornih zidova terasa, na kojima je integrisano zelenilo.

Širom Evrope građeni su vegetativni krovovi na palatama u baroknom i rokoko stilu. U Nemačkoj, u Augzburgu i Nirnbergu, bilo je ovakvih struktura na građanskim palatama, a mogle su se naći i na teritoriji Švedske i Austrije, gde su se kratko zadržale tokom ovog perioda. Izgradnja vegetativnih krovova u Rusiji vezuje se za početak XVII veka, prevashodno na krovovima i terasama građevina plemstva. Krov sa zelenilom na carskom dvoru u Kremlju smatra se prvim ruskim krovim vrtom, koji je bio karakterističan zbog svoje konstrukcije. Na masivnom kamenom svodu postavljane su olovne ploče u funkciji hidroizolacije preko katranisanih greda u kombinaciji sa korom od breze (Osmundson, 1999). Krovna konstrukcija dužine 122 m primala je veliko opterećenje od sloja zemlje, koje je podržavalo razvoj vegetacije u vidu vinove loze, voćnih kultura i žbunja, prilikom čega je bilo neophodno ojačanje konstrukcije potpornim stubovima i gredama. Palata Katarine Velike u Sankt Peterburgu odlikovala se krovim vrtom u nivou glavnog sprata. U konstrukcijskom pogledu, preko kamene tavanice postavljane su daske sa premazom od gline i prekrivene olovom, nakon čega se dodavao sloj zemlje i sadila vegetacija.

Kulturne i umetničke epohe klasicizma i romantizma podržavale su upotrebu vegetacije na ravnim krovim površinama i terasama, mada većina arhitektonskih projekata nije bila

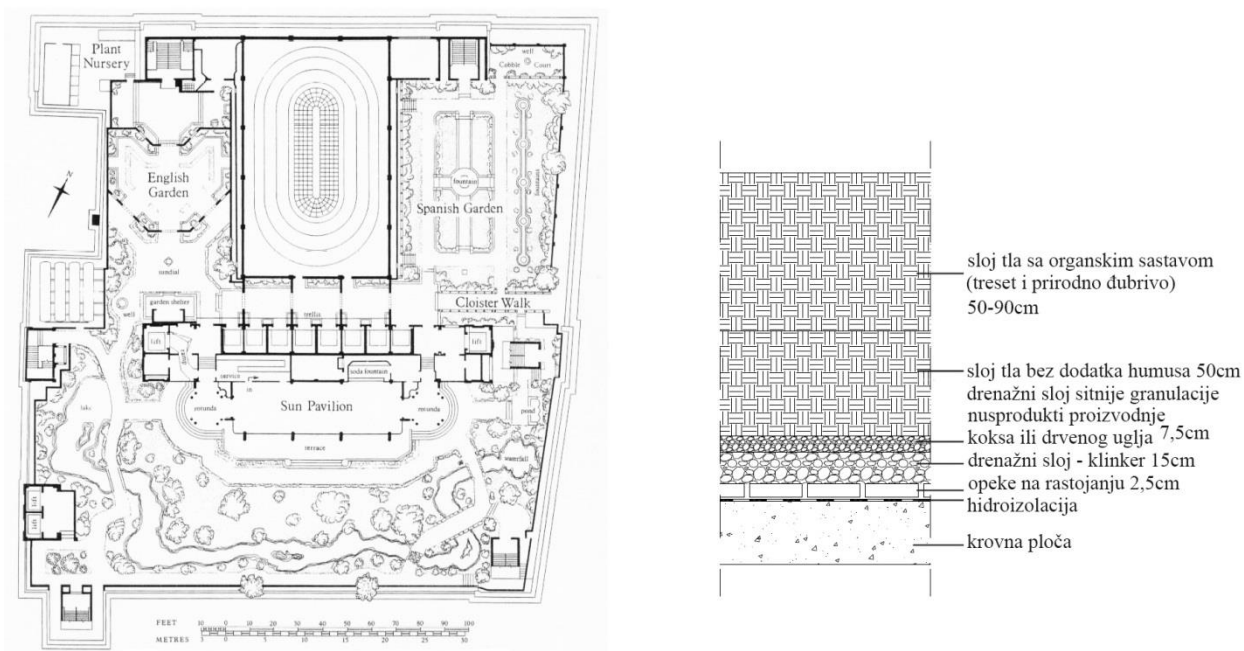
realizovana usled velikih investicionih troškova izgradnje i održavanja krovova sa drvećem, koje je bilo karakteristično u planovima u drugoj polovini XVIII i početkom XIX veka. Odnos građevine i integrisanog zelenila, naročito drveća, tada se menja. Visoko zelenilo više nije predstavljalo samo jedno od obeležja objekata, već je postalo glavni element koji je doprinosio njihovoj monumentalnosti, prilikom čega je objekat bio u funkciji zelenila izdignutog sa nivoa tla (Sekulić, 2013). Sa socijalnog aspekta, vegetativni krovovi su i dalje bili statusni simbol. Primeri rezidencija bavarskih vladara predstavljaju izvedene vegetativne krovove natkrivene konstrukcijom od gvožđa i stakla, što je bilo uslovljeno hladnijim klimatskim uslovima podneblja za opstanak i razvoj različitih biljnih vrsta u okviru zimskih bašti. Masivni krovni vrt rezidencije kralja Maksimilijana II izgrađen je na potkonstrukciji sa slojevima od bakarnih ploča kao izolacije od vlage, gvozdene šljake, zemlje i vegetacije, dok su drenažni sistem i sistem za grejanje postavljeni ispod vrta. Složenija konstrukcija krovne bašte Ludviga II, koja je sadržala i vodene površine, nije dugo opstala zbog nemogućnosti održavanja i nedostatka izolacionih slojeva. Uslov vladara koji se odnosio na pristup krovu sa istog nivoa objekta, onemogućio je povećanje debljine nepropusnog sloja i uticao je na propadanje konstrukcije.

U ovom periodu došlo je do promene i unapređenja konstrukcije vegetativnih krovova. Najpre je, sredinom XIX veka, počeo da se koristi „drveni cement“, kao inovativna ideja za izolaciju ravnih krovova (sl. 2.5). Strukturu vegetativnih krovova činili su slojevi ter papira natopljeni smolom i katranom postavljeni preko drvene podloge, zatim slojevi šljunka, peska i zemlje. Kasnije je drveni cement zamenio „vulkanski cement“, koji je u Nemačkoj doprineo ekspanziji gradnje vegetativnih krovova. Krovovi kod kojih se primenjivao vulkanski cement formirani su na sledeći način: preko daščane podloge postavljao se izolacioni sloj od vulkanskog cementa koji je činila mešavina portland cementa i vulkanskog kamenja, zatim slojevi glinastog peska i zemlje (Sekulić, 2013). Ovakve konstrukcije imale su svojstvo zaštite od širenja požara (Köhler & Poll, 2010), i usled manje debljine slojeva, u odnosu na karakteristične krovne vrtove tog perioda, a time i manje investicije, bile su dostupne širem sloju stanovništva.



Slika 2.5. Nemački standard za izolaciju ravnih krovova premazivanjem preklopa ter papira „drvenim cementom“ preko drvene krovne ploče (Thuring, 2015)

Kraj XIX i početak XX veka u severnoj Evropi i severnoj Americi obeležen je masovnom upotrebom armiranog betona i formama objekata sa ravnim krovovima. Usled činjenica da je krov trebalo da bude sa blagim nagibom, hladan i vodonepropusan, koristili su se materijali kao što su asfalt, lim i bitumen. Termoizolacija je izvođena u sloju minimalne debljine i često se postavljala sa unutrašnje strane krovne konstrukcije. Krovovi sa vegetacijom ubrzo su našli primenu na armiranobetonskim konstrukcijama u funkciji produženog enterijera, naročito javnih objekata u gradskim centrima, i imali su ulogu prostora za socijalizaciju (Alexandri, 2006; Sekulić, 2013). Na vegetativnim krovovima su se u letnjim periodima odvijali razni društveni događaji, od kojih je među prvima bio krov na Kazino teatru u Njujorku (Osmundson, 1999). Ustanovljen je termin „krovni vrt“ (eng. *roof garden*) koji počinje široko da se primenjuje za objekte pozorišta, što se ubrzo proširilo i na restorane, hotele i trgovinske objekte (Alexandri, 2006; Grant, 2007). Primer krovnog vrta na hotelu Astorija u Njujorku bio je poseban zbog njegove funkcije u zimskom periodu, kada se koristio kao klizalište (Sekulić, 2013). Na teritoriji Evrope, značajni primeri vegetativnih krovova, istovremeno i najvećih površina od više hiljada kvadratnih metara, izgrađeni između dva svetska rata, bili su na objektima „Derry and Toms“ u Londonu (sl. 2.6) i „Karstadt“ u Berlinu (Osmundson, 1999).



Slika 2.6. Krovna bašta na objektu „Derry and Toms“ u Londonu – osnova originalne krovne bašte i detalj strukture (Charko, 2013; Osmundson, 1999)

Ubrzo se trend ozelenjavanja krovnih površina proširio i na objekte stanovanja i poslovne objekte, tokom art deko pokreta kao simbol bogatstva i moći, u kojem je najpoznatiji primer na tlu Sjedinjenih američkih država – Rokfelerov centar u Njujorku (Osmundson, 1999). Višepatni stambeni objekti su na poslednjoj etaži često imali penthouse sa uređenim krovnom zelenilom,

što je znatno povećavalo njihovu cenu zbog neophodnosti ojačanja konstrukcije. Na jednom od takvih objekata, vlasnika kompanije „Fred French“, konstrukcija je bila ojačana sa dodatnih 40 t čelika, usled opterećenja od sloja zemlje debljine 90 cm i bakarnih ploča za izolaciju (Sekulić, 2013).

Vegetativni krovovi u sovjetskoj arhitekturi, krajem dvadesetih i početkom tridesetih godina prošlog veka, građeni su kao javni prostori rezidencijalnih objekata, što je bilo uslovljeno društvenim prilikama koje su se odnosile na socijalizaciju zemljišta, odnosno ukidanje privatne svojine i proglašavanje zemljišta javnim dobrom (Alexandri, 2006). Članovi grupe konstruktivista izveli su najpoznatije zelene krovove u Moskvi, u okviru stambenog bloka Nakromfin i petospratne zgrade sa solarijumom i ružičnjakom (Sekulić, 2013).

Sklonost ka korišćenju vegetativnih krovova izražena je i u delima najuticajnijih arhitekata XX veka – Frenk Lojd Rajta (*Frank Lloyd Wright*) i Korbizjea (*Le Corbusier*), kao i u radovima Alvara Alta (*Alvar Aalto*) (Alexandri, 2006). Korbizje je uvrstio vegetativne krovove kao jednu od pet tačaka „nove arhitekture“ u funkciji nadoknađivanja površine tla zauzetošću objekata i usporavanja oticanja atmosferskih padavina. Smatrao ih je važnim elementom funkcionalne organizacije prostora nasuprot do tada zanemarivanim, odnosno nekorišćenim ravnim krovovima (Jagarajan, 2017; Vesuviano, 2014). Zelenilo na ravnim krovovima bilo je dominantno i u arhitektonskom projektovanju individualnih objekata i na urbanističkom nivou kao sastavni deo zelene infrastrukture. Kao najpoznatiji primeri mogu se izdvojiti vila Savoj (fra. *Villa Savoye*) i manastir Turet (fra. *La Tourette*) u Francuskoj, vila Shodhan u Indiji, kao i utopijski projekat „Savremeni grad“ (eng. *Contemporary City*) (Alexandri, 2006). Nasuprot tradicionalnoj zatvorenoj formi objekata, Rajt je podržavao otvorene strukture, koristeći vegetativne krovove kao produžetak unutrašnjeg prostora, za razliku od Korbizjea, čije su zelene površine predstavljale prostor za sebe. Primeri zelenih krovova Rajtovog stvaralaštva su kuća Milard (eng. *Millard House*) u Kaliforniji, Kuća Roberta Rajta (eng. *Robert Llewellyn House*) u Merilendu, hotel Imperijal (eng. *Imperial Hotel*) u Japanu, kao i utopijski projekat predgrađa (eng. *Broadacre City*) (Alexandri, 2006). Njegovo najpoznatije delo – kuća na vodopadima (eng. *Fallingwater*) u Pensilvaniji, najbolje izražava naturalistički pristup projektovanju. Treći najuticajniji arhitekta, Alto, imao je drugačiji pristup u primeni zelenih krovova, koji se ogledao u povezivanju tradicionalne skandinavske arhitekture vegetativnih krovova sa modernizmom, što je ostvareno na vili Mairei (*Villa Mairea*) u Finskoj (Sekulić, 2013).

Zeleni krovovi su u prvoj polovini XX veka imali višestruku ulogu i značaj. Primenom u funkciji prostora za ostvarivanje društvenih kontakata na javnim objektima, načina reformisanja stambene arhitekture, statusnog simbola ili lične tendencije, krovovi sa integrisanom vegetacijom predstavljali su prostor sa sopstvenim identitetom i simbol prirode na objektima.

2.2.2 Savremeno shvatanje koncepta zelenih krovova

Savremeno shvatanje koncepta zelenih krovova odnosi se na otkrivanje i istraživanje potencijalnih koristi u pogledu rešavanja i ublažavanja negativnih efekata urbanizacije. U drugoj polovini XX veka dolazi do razdvajanja značenja pojmova ozelenjavanja krovova i krovnih vrtova, što je u vezi sa tehnologijama izgradnje i efektima primene, pri čemu zeleni krovovi prestaju da budu samo u funkciji dekorativnosti i razmatra se o njihovoj utilitarnosti. Najznačajniji uticaji za savremeno shvatanje koncepta zelenih krovova potiču iz Austrije, Nemačke i Švajcarske (Grant, 2007; Juric, 2016). Široko prihvatanje i popularnost ozelenjavanja površina objekata obeležila su dela austrijskog umetnika Hundertvasera (*Hundertwasser*), od kojih je najpoznatija kuća u Beču (nem. *Haus Wien*), sa zelenim fasadama i krovom, čiju strukturu je činila zemlja ukupne težine od 900 t i 250 biljnih vrsta. Objekat predstavlja prvi primer velikih razmera integrisanja zelenila u objektima u Evropi, koji je izgrađen sa ekološkom svešću (Alexandri, 2006; Grant, 2007).

Rano interesovanje za zelene krovove vezuje se za istraživanja benefita spontanog razvoja vegetacije na ravnim krovovima prekrivenim šljunkom (Dunnet & Kingsbury, 2008). Nemačka se smatra mestom nastanka savremenih zelenih krovova, gde su prvobitno istraživani kao zaštita krova od prekomernog i štetnog zračenja, i u funkciji protivpožarne zaštite (Pompeii II, 2010; Speak, 2013; Vesuviano, 2014). Utvrđivanjem energetske prednosti i značaja u upravljanju atmosferskim padavinama, prepoznati su ekonomski benefiti, i uticaj objekata na životnu sredinu postaje važan element u sistemu odlučivanja, pri čemu je tehnologija zelenih krovova podržana istraživanjima, dizajnom i građevinskim industrijama (Grant, 2007). Nemačko Udruženje za razvoj i istraživanje pejzaža (nem. *FLL – Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau*) osnovalo je ogranak za istraživanje zelenih krovova 1977. godine i uspostavilo direktive i standarde za njihovu primenu 1982. godine, koji su do sada imali nekoliko izdranja i dopuna (*FLL*, 2008; Grant, 2007). Mnogi instituti u Nemačkoj vršili su ispitivanja zelenih krovova, koja su se odnosila na procenu uticaja i njihovo unapređenje, što je višegodišnjim istraživanjima rezultiralo razvojem globalne industrije zelenih krovova (Peck, 2012; Thuring, 2015). To je dovelo do znanja o osnovnim principima i napretku u pogledu materijala gradnje, naročito za tehnologije supstrata (Thuring, 2015). Razvoj tehnologije zelenih krovova doprineo je stvaranju efikasnijih, praktičnijih i delotvornijih sistema. Koncept zelenih krovova u današnje vreme ima najbolje efekte primene u gusto izgrađenim sredinama u cilju postizanja održivosti, kako na urbanom nivou, tako i na nivou pojedinačnih objekata u pogledu njihovog konstrukcijskog unapređenja.

Razmatrajući ulogu i značaj zelenih krovova, kao i tehnike građenja i korišćene materijale u krovnom sistemu kroz istorijski pregled razvoja, može se uvideti njihovo kontinuirano prisustvo

na osnovu izgrađenih objekata i planova. Polazeći od njihovog nastanka koji je predstavljao nužnost primene dostupnih materijala gradnje u tradicionalnoj arhitekturi, preko statusnog simbola i odavanja počasti bogovima u monumentalnoj arhitekturi, njihove uloge socijalnih prostora na stambenim i javnim objektima, koja se bazirala na estetici, do savremenog doba u kome primena zelenih krovova opet postaje nužnost, sa ciljem postizanja mnogobrojnih koristi koje se odnose na unapređenje performansi objekata, a time i na unapređenje stanja u životnoj sredini.

2.3 Pojmovno određenje, definicije i tipologije zelenih krovova

2.3.1 Pojam zelenih krovova

Preteču savremenih zelenih krovovih sistema predstavljaju strukture sa vegetacijom čije postojanje beleži najranija istorija, od integrisanog zelenila kao omotača objekata, predviđenog ili spontano razvijenog, i upotrebe suvih delova biljaka u izgradnji i prekrivanju objekata, preko krovovih vrtova u starom veku, koji su se pored izgradnje kompletnih sistema sa hidroizolacijom i navodnjavanjem, odnosili i na postavljanje konstrukcijski nezavisnih elemenata na objektima u vidu posuda sa zemljom i biljkama. Pojam „krovnog vrta“ (eng. *roof garden*) je najstariji korišćenji termin koji se odnosi na zeleni krov, i u novijoj istoriji počeo je široko da se primenjuje od 1893. godine za vegetativne krovove i terase na javnim objektima, i u vezi je sa predviđenim/projektovanim elementima prirodne sredine na otvorenim prostorima namenjenim za boravak ljudi (Alexandri, 2006; Coffman, 2007; Grant, 2007).

Određenje pojma „zelenih krovova“ (eng. *green roofs*) odnosi se na savremeno shvatanje i istraživanje uloge i značaja integrisanja vegetacije u okviru građene sredine kao dela sekundarne konstrukcije. Prvi put se pojam zelenih krovova javlja u šire dostupnoj literaturi na engleskom jeziku u poglavlju knjige o urbanoj ekologiji Kelera (Köhler, 1990), i ubrzo nakon toga u knjizi Džonstona i Njutna (Johnston & Newton, 1993). U pogledu akademskih publikacija na engleskom jeziku, zeleni krovovi se prvi put pominju u cilju istraživanja efekata grejanja i hlađenja u radovima Imorfopula (Eumorfopoulou & Aravantinos, 1998) i Del Barija (Del Barrio, 1998), a 2003. godine počinju da se istražuju širi efekti njihove primene (Coffman, 2007). Mnogi radovi se baziraju na nemačkim studijama koje su citirane u brojnim naučnim časopisima, zbornicima konferencija i institucionalnim izveštajima. Pojmovi „eko-krova“ (eng. *ecoroof*) i „živog krova“ (eng. *living roof*) počinju da se primenjuju u radovima novijih datuma i odnose se na upotrebu zelenih krovova u cilju ostvarivanja brojnih benefita sa ekološkog aspekta istraživanja. Savremena istraživanja zelenih krovova odnose se na procene sveobuhvatnih performansi, i sa socijalnog i ekonomskog aspekta.

U pogledu pojmovnog određenja „zelenog krova“, značajno je odrediti i analizirati pojam „zeleni“ zbog njegove široke upotrebe u kontekstu održivosti. Pojam „zeleni“ se uopšteno odnosi na održivo kreirana okruženja u smislu postizanja visokih performansi u ključnim oblastima ljudskog zdravlja i očuvanja životne sredine (Juric, 2016). Upotreba „zelenog objekta“ (eng. *green building*) je u značenju objekta koji je projektovan i izgrađen na način da ima minimalni uticaj na životnu sredinu tokom svog životnog ciklusa (Juric, 2016). Pored toga što značenje pojma „zeleni“, u kontekstu zelenog krova, ukazuje na korišćenje vegetacije koja se inicijalno odnosi na zelenu boju, ovakav krov predstavlja i održiv način građenja.

2.3.2 Definicije zelenih krovova

Termin „zeleni krov“ (eng. *green roof*) najčešće je korišćen u dosadašnjim istraživanjima. Najopštija definicija zelenog krova odnosi se na „upotrebu biljaka za unapređenje performansi krova, njegovog izgleda ili u oba slučaja“ (Juric, 2016). Definisanje zelenog krova kao „vegetativnog krovnog sistema koji sadrži žive biljke preko krovne membrane“ (Juric, 2016) delimično pruža informacije o strukturi i položaju. Zeleni krov je definisan i kao „krov koji je delimično ili potpuno prekriven vegetacijom na vrhu krovne strukture koju je sagradio čovek“ (Juric, 2016) ili „otvoreni prostor prekriven vegetacijom, odvojen od tla građevinom ili nekom drugom strukturom“ (Šešlija, 2011), pri čemu se jasno ukazuje na dizajn i položaj, ali bez određenja uloge. Definicija koja ukazuje na ulogu zelenog krova se odnosi na „vegetativni krovni sistem koji pruža vizuelnu prijatnost i udobnost korišćenja, ekonomske koristi strukturi i bez negativnih ekoloških uticaja na okruženje“ (Juric, 2016). Najpotpunija definicija bi bila „otvoreni prostor pod zelenilom odvojen od tla antropogenom strukturom čijom primenom se postižu mnogobrojne koristi sa aspekta održivosti – ekološki, socijalni i ekonomski benefiti“. U funkcionalnom pogledu, zeleni krov može predstavljati prostor za sebe ili prostor u okviru organizacije objekta, kao i prostor urbanog karaktera, čineći sastavni deo zelene infrastrukture. Osnovne elemente strukture čini supstrat (podloga za razvoj biljaka) i vegetacija.

Vremenom su ustanovljeni i definisani i drugi termini koji se odnose na pojedine performanse zelenih krovova i regione u kojima se najčešće upotrebljavaju. „Braon krov“ (eng. *brown roof*) odlikuje se jednostavnijom strukturom, odnosno podlogom slabijeg kvaliteta u odnosu na zeleni krov. Nju čine šljunak ili šut u kombinaciji sa zemljom sa lokacije koja je nastanjena biljkama. Razvoj vegetacije je omogućen posredstvom vetra i ptica (Speak, 2013). Naziv je dobio po boji u periodu implementacije, tj. pre kolonizovanja podloge biljnim vrstama. Formiranjem staništa kojima se u određenoj meri obezbeđuju ekosistemske koristi, podstiče se razvoj i opstanak autohtonih i ugroženih biljnih i životinjskih vrsta, što ukazuje na ulogu braon krovova u zaštiti biodiverziteta (Francis & Lorimer, 2011). „Eko-krov“ (eng. *ecorooft*) predstavlja alternativni

naziv za zeleni ili braon krov u funkciji postizanja ekoloških benefita (Francis & Lorimer, 2011). Često se koristi u terminologiji kako bi se izbeglo shvatanje zelene boje vegetacije, koju i neke zelene biljke ne zadržavaju u toku cele godine, naročito u severnim regionima u kojima se ovaj termin najčešće upotrebljava (Wark & Wark, 2003). „Živi krov“ (eng. *living roof*) se odnosi na bilo koji krovni sistem sa vegetacijom. Predstavlja opšti naziv za krovove projektovane da podrže samoniklu ili zasađenu vegetaciju i da bi se izbegli termini „zeleni“ ili „braon“ (Francis & Lorimer, 2011). Ovaj naziv se najviše upotrebljava u Velikoj Britaniji.

Savremeno shvatanje i definisanje pojma zelenog krova ne podrazumeva neplaniran/spontan razvoj vegetacije na krovnim površinama, već to predstavlja posledice oštećenja usled neadekvatnog održavanja.

2.3.3 Tipologije zelenih krovova

Osnovna tipologija zelenih krovova zasnovana je na složenosti strukture i funkciji zelenih krovnih sistema. Utvrđene karakteristike su od važnosti pri izboru tipa zelenog krova kako na novoprojektovanim, tako i na postojećim objektima. Dva osnovna tipa zelenih krovnih sistema su ekstenzivni i intenzivni, dok se u novije vreme definišu i poluintenzivni zeleni krovovi, kao prelazna varijanta (Berardi et al., 2014; IGRA, n.d.). Nezavisno od tipa zelenog krova, u okviru tehnologije izgradnje postoje dve instalacione tehnike koje se odnose na izgradnju na licu mesta i modularno dizajnirane sisteme (Juric, 2016).


2.3.3.1 Ekstenzivni zeleni krovovi

Ekstenzivni zeleni krovovi su najkorišćeniji tip zelenih krovnih sistema. Pojavili su se sedamdesetih godina prošlog veka kao deo Zelenog pokreta (eng. *Green Movement*) i viđeni su kao mogućnost uspostavljanja ponovnog povezivanja čoveka sa prirodom (Thuring, 2015). Preteču savremenih ekstenzivnih zelenih krovova predstavljaju tradicionalni krovovi sa skandinavskog područja, na kosim ravnima prekriveni travnatom vegetacijom. U konstrukcijskom pogledu, sistem karakteriše debljina sloja supstrata do približno 150 mm, dok se ukupna visina sistema kreće u proseku od 60 mm do 200 mm (IGRA, n.d.), i vegetacioni sloj koji čini nisko zelenilo. Ekstenzivni zeleni krovovi odlikuju se težinom koja najčešće iznosi 60 kg/m² do 150 kg/m² (IGRA, n.d.), što ukazuje na široku mogućnost primene na postojećim objektima, zamenom sloja šljunka na konvencionalnim ravnim krovovima, pri čemu konstrukcijski sistem, usled novog opterećenja, najčešće ne zahteva dodatna ojačanja nosećih elemenata (Thuring, 2015). Njihova primena se ostvaruje u funkciji postizanja ekoloških benefita, i s tim u vezi ekstenzivni zeleni krovovi se uglavnom grade kao neprohodni, što ukazuje na mogućnost maksimalne pokrivenosti krovne površine. Mogu se izvoditi na ravnim

krovnim površinama i na kosim ravnima do optimalnog nagiba 45° (Optigreen, n.d.). Najčešće se primenjuju na postojećim ravnim krovovima remodelovanjem dotrajalih krovnih sistema u cilju postizanja održivosti. U prilog rasprostranjenosti upotrebe ekstenzivnih zelenih krovova govore i podaci o relativno niskim cenama instalacije, brzom i lakom izgradnji i niskim stepenom održavanja, koji se odnosi na proveru stanja, čišćenje i zalivanje par puta godišnje (Peck et al., 1999; Wilkinson et al., 2015; Wilkinson & Reed, 2009). Usled primene isključivo niskog zelenila, što je u vezi sa debljinom sloja supstrata i činjenice da su ekstenzivni zeleni krovovi najčešće neprohodni, ovi sistemi nemaju značajnu ulogu sa socijalnog aspekta istraživanja, koji se odnosi na ostvarivanje vizuelnog doživljaja i dodatnog prostora za društvene aktivnosti u funkciji produženog boravka na otvorenom. U pogledu ostvarivanja ekonomskih benefita, ekstenzivni zeleni krovovi svojom ulogom zaštite krovne membrane od spoljašnjih uticaja smanjuju mogućnosti oštećenja, odnosno popravke i zamene elemenata konstrukcije su ređe, usled čega se produžava životni vek krovnog sistema. Uloga dodatne izolacije objekta u određenoj meri utiče na smanjenje troškova usled smanjene potrošnje energije za postizanje toplotnog komfora, što pored ostvarivanja ostalih benefita povećava cenu nekretnina.

Ekstenzivni zeleni krovovi mogu se izvoditi na licu mesta i preko prethodno modelovanih modularnih elemenata. Izgradnja na licu mesta obezbeđuje veću pokrivenost krova, u okviru kompletnih sistema, kod kojih se svaki sloj posebno izvodi, ili sistema kod kojih su prethodno proizvedeni elementi koji obuhvataju više slojeva. Razvoj tehnologije zelenih krovova i industrijske proizvodnje doprineo je stvaranju sistema koji se odlikuju dodatnim smanjenjem težine, bržom i lakšom ugradnjom, ne zahtevajući pri tome visok nivo ekspertize za njihovo izvođenje. Sloj supstrata predstavljaju industrijski materijali koji obezbeđuju i unapređuju razvoj vegetacije (IGRA, n.d.; Optigreen, n.d.). Biljni materijal može se klasično saditi u sloj supstrata ili fabrički proizvoditi i pakovati u rolne, u slučaju seduma i trava, prilikom čega se biljke preko korena povezuju i spajaju sa podlogom u fazi eksploatacije. U tabeli 2.1 data je tipologija kompletnih ekstenzivnih zelenih krovnih sistema i osnovne karakteristike, prema jednom od proizvođača (Optigreen).

Tabela 2.1. Tipologija kompletnih ekstenzivnih zelenih krovova i osnovne karakteristike (Optigreen, n.d.)

Tip zelenog krova	EKONOMIČAN KROV <i>eng. ECONOMY ROOF</i>	KROV MALE TEŽINE <i>eng. LIGHTWEIGHT ROOF</i>	PRIRODNI KROV <i>eng. NATURE ROOF</i>	KROV ZA UPRAVLJANJE PADAVINAMA <i>eng. RETENTION ROOF</i>	KOS KROV <i>eng. PITCHED ROOF</i>
Težina (kg/m ²)	90-140	50	100-300	≥ 90	80-100
Visina (mm)	80	50	100-250	≥ 90	80-100
Nagib (°)	≤ 5 (≤ 9%)	≤ 5 (≤ 9%)	≤ 5 (≤ 9%)	≤ 5 (≤ 9%)	5-45 (9-100%)
Vrsta vegetacije	Sedum, lekovito bilje, trave	Mahovina, sedum	Sedum, lekovito bilje, trave	Sedum, lekovito bilje, trave	Sedum, lekovito bilje, trave
Zadržavanje vode (%)	50-60	40-50	60-70	55-80	40-60
Ekološka vrednost (1-5)	2	1	5	2-5	2
Nivo održavanja (1-5)	1	2	2	1-5	1
Faktor cene (1-5)	1	3	2	2-5	3
Izgled izvedenog zelenog krova					

Modularne sisteme čine prethodno modelovani elementi strukture zelenog krova ili posebno profilisani blokovi za postavljanje slojeva, izrađeni od različitih materijala (sl. 2.7). Najčešće je pre postavljanja blokova vegetacija zasađena u sloj supstrata, a u zavisnosti od primenjene vrste, unutar blokova se nalaze i ostali slojevi zelenog krova. Primenjuju se pretežno na ravnim krovovima i predstavljaju sisteme nezavisne od krovne konstrukcije. Kao takvi, odlikuju se lakim izvođenjem i brojnim mogućnostima u pogledu organizacije i uređenja krovova. Usled dodatne težine, što se naročito odnosi na upotrebu betonskih blokova, potrebno je ispitati konstrukcijsku nosivost i stabilnost prilikom razmatranja njihove primene na postojećim objektima. Modularne sisteme karakteriše i nizak stepen održavanja i jednostavna zemena elemenata, ali i ograničena biološka raznovrsnost.



Slika 2.7. Primeri modularnih sistema: a) prethodno modelovani elementi strukture (Urbanscape, n.d.), modularni blokovi od b) plastičnih materijala (Green Roof Outfitters, n.d.), c) aluminijuma (Green Roof Blocks, n.d.), d) lakog betona (de Mendonça et al., 2015)

2.3.3.2 Intenzivni zeleni krovovi

Primenu vegetativnih sistema, koji su preteča savremenih intenzivnih zelenih krovova, beleži najranija istorija. Intenzivni sistemi mogu se graditi na ravnim, kosim i zakrivljenim krovnim površinama manjih nagiba, i nazivaju se još i krovnim vrtovima ili krovnim baštama, što je u vezi sa primenom srednjeg i visokog zelenila. Nesmetan razvoj vegetacije zahteva sloj supstrata debljine veće od 150 mm, dok je ukupna visina sistema približno 400 mm, odnosno i do preko 1000 mm, naročito na podzemnim objektima, prilikom čega zeleni krovovi u nivou tla čine deo urbanog zelenila (IGRA, n.d.). S tim u vezi, intenzivni zeleni krovovi imaju ulogu i u arhitektonskom projektovanju objekata, a predstavljaju i značajan element urbanističkog planiranja. Težina sistema se kreće do približno 1000 kg/m^2 (IGRA, n.d.), što ukazuje na primenu konstrukcija većih nosivosti. Ograničenja u vezi sa integrisanjem intenzivnih zelenih krovnih sistema u postojećim objektima odnose se na čestu potrebu ojačanja elemenata noseće konstrukcije ili nemogućnosti primene. U prilog činjenici da su manje zastupljeni u odnosu na ekstenzivne zelene krovove govore i podaci o visokoj ceni izgradnje sistema, visokom stepenu održavanja, kao i dodatnim elementima strukture koji se odnose na irigacioni sistem, urbani mobilijar, itd. Način korišćenja prostora intenzivnog zelenog krova utiče na stepen pokrivenosti krovne površine vegetacijom. Njihov značaj se prevashodno ogleda u postizanju ekološke, ali i socijalne održivosti, u pogledu mogućnosti aktivnog korišćenja prostora, vizuelnog doživljaja i slike grada. Sa ekonomskog aspekta istraživanja, benefiti koji se ostvaruju primenom intenzivnih zelenih krovova u vezi su sa zaštitom krova od spoljašnjih uticaja, što obezbeđuje očuvanje materijala i produženje životnog veka krovne konstrukcije; uštedom energije za postizanje

toplotnog komfora; i povećanjem tržišne cene objekta. U tabeli 2.2 data je tipologija intenzivnih zelenih krovova na osnovu njihove uloge, prema jednom od proizvođača (Optigreen).

Na osnovu analize osnovnih tipova zelenih krovova, u tabeli 2.3 prikazana je rekapitulacija opštih uporednih karakteristika ovih krovnih sistema prema relevantnoj literaturi.

Tabela 2.2. Tipologija intenzivnih zelenih krovova i osnovne karakteristike (Optigreen, n.d.)




Tip zelenog krova	KROVNI VRT <i>eng. GARDEN ROOF</i>	PEJZAŽNI KROV <i>eng. LANDSCAPE ROOF</i>	KROV JAVNE NAMENE <i>eng. PUBLIC ROOF</i>
Težina (kg/m ²)	320-680	530-1300	250-1000
Visina (mm)	260-470	420-1000	120-500
Nagib (°)	≤ 5 (≤ 9%)	≤ 5 (≤ 9%)	≤ 5 (≤ 9%)
Vrsta vegetacije	Višegodišnje drvenaste biljke, trave	Višegodišnje drvenaste biljke, drveće	Višegodišnje drvenaste biljke, drveće
Zadržavanje vode (%)	70-95	95-99	-
Ekološka vrednost (1-5)	4	5	2
Nivo održavanja (1-5)	4	5	-
Faktor cene (1-5)	4	5	3-5
Izgled izvedenog zelenog krova			

Tabela 2.3. Rekapitulacija opštih uporednih karakteristika ekstenzivnih i intenzivnih zelenih krovova (modifikovano prema Berardi et al., 2014; IGRA, n.d.; Wilkinson et al., 2015; Wilkinson & Reed, 2009)

Karakteristike	EKSTENZIVNI ZELENI KROV	INTENZIVNI ZELENI KROV
Raznovrsnost vegetacije	Nisko zelenilo	Nema ograničenja - nisko, srednje i visoko zelenilo
Debljina supstrata	≤ 150 mm	≥ 150 mm
Visina zelenog krovnog sistema	60 – 200 mm	150 – 1000 mm
Težina zelenog krovnog sistema	60 – 150 kg/m ²	≥ 180kg/m ²
Konstruktivni zahtevi za primenu na postojećim objektima	Najčešće nisu potrebna dodatna ojačanja konstrukcije	Često je potrebno dodatno ojačati konstrukcijske elemente
Način izgradnje	Lak, u kratkom vremenskom roku	Teži, u dužem vremenskom roku
Stručna ekspertiza	Instalacija krovnog sistema ne zahteva stručnu ekspertizu	Instalacija krovnog sistema zahteva stručnu ekspertizu
Prohodnost	Prohodni ili neprohodni	Prohodni
Pokrivenost krovne površine	Velika	Manja
Nagib krovnih ravni	Optimalno do 45 °	Ravan krov (≤ 5°)
Investicioni troškovi izgradnje	Niski	Visoki
Održavanje	Nizak stepen održavanja	Visok stepen održavanja
Navodnjavanje	Nije neophodno	Neophodno
Ostvarivanje benefita	Prevažodno sa ekološkog i ekonomskog aspekta	Ekološki, socijalni i ekonomski aspekt

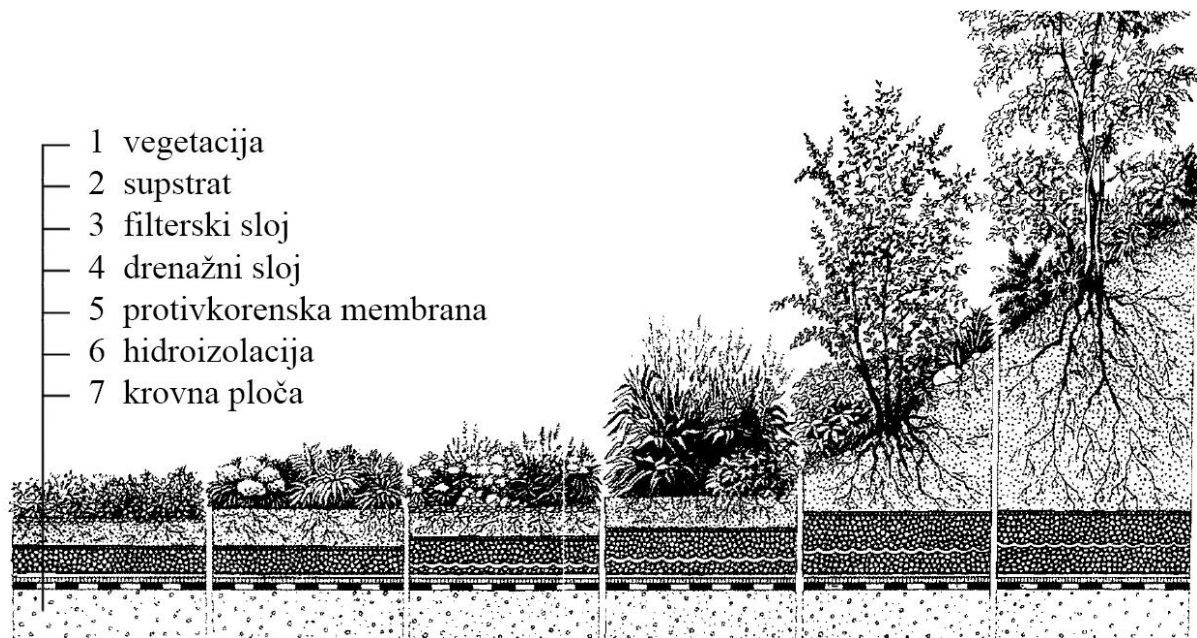
2.3.3.3 Poluintenzivni zeleni krovovi

Poluintenzivni zeleni krovovi predstavljaju kombinaciju ekstenzivnog i intenzivnog tipa zelenog krova. Predviđeni su za razvoj niskog i srednjeg zelenila, usled čega se ukupna visina sistema kreće od 120 mm do 250 mm, a težina od 120 kg/m² do 200 kg/m² (IGRA, n.d.). Poluintenzivni sistemi zahtevaju periodično navodnjavanje, čišćenje i proveru stanja. Njihova primena se ostvaruje usled veće raznovrsnosti biljnih vrsta i mogućnosti u pogledu dizajna, u odnosu na ekstenzivne zelene krovove.

2.4 Karakteristike strukture zelenog krovnog sistema

Pravilan odabir materijala i elemenata strukture doprinosi ostvarivanju postavljenih ciljeva zelenih krovova. Takođe, prilikom odabira treba uzeti u obzir i konstrukcijske karakteristike postojećih objekata, imajući u vidu da se puni efekti primene zelenih krovova postižu u već gusto izgrađenim urbanim sredinama. Analiza uloge i značaja svakog od elemenata strukture i faktora koji utiču na njihov odabir doprinosi stvaranju održivih krovnih sistema.

Opštu strukturu zelenog krovnog sistema čine vegetacioni sloj, supstrat, filterski sloj, drenažni sloj i protivkorenska membrana, a razmatra se i hidroizolacioni sloj, jer uspeh zelenih krovova zavisi od pravilnog izvođenja hidroizolacije. U zavisnosti od tipa zelenog krova, menjaju se prevashodno zahtevi u pogledu debljine supstrata, što je uslovljeno biljnim diverzitetom (sl. 2.8).



Slika 2.8. Struktura zelenog krova. Odnos visine sistema i primenjenih biljnih vrsta (Osmundson, 1999)

2.4.1 Vegetacioni sloj

Vegetacija predstavlja završni sloj zelenog krova i u kakvom stanju se nalazi biljni pokrivač direktno utiče na uspešnost izgrađenog sistema. Biljke imaju značajnu ulogu u poboljšanju kvaliteta atmosferskih padavina, prečišćavanju vazduha i termičkim performansama (Cook-Patton & Bauerle, 2012; Dvorak & Volder, 2010; Razzaghmanesh & Beecham, 2014; Vijayaraghavan & Joshi, 2014). Iako krovna konstrukcija ne predstavlja njihovo prirodno stanište i postoje izvesna ograničenja u pogledu održavanja zelenog krova, odabir odgovarajućih biljnih vrsta doprinosi unapređenju stanja u životnoj sredini i u okviru ovako stvorenog prirodnog okruženja. Sastav biljnih vrsta uslovljen je brojnim faktorima, kao što su zahtevi u pogledu dizajna, vizuelni doživljaj, klimatski uslovi, debljina supstrata, pristupačnost krovu i nivo održavanja (Speak, 2013). Podloga za razvoj vegetacije treba da se odlikuje niskim sadržajem nutrijenata u cilju sprečavanja razvoja korova. To se odnosi na upotrebu neorganskih materijala, koji u svom sastavu sadrže samo neophodnu količinu hranljivih materija, što ukazuje na njihov najveći udeo u strukturi supstrata (Vijayaraghavan, 2016).

Uzimajući u obzir uslove okruženja, osobine koje bi trebalo da karakterišu primenjene biljne vrste odnose se na sposobnost opstanka u sušnim uslovima, minimalno korišćenje nutrijenata, dobru pokrivenost podloge, nizak stepen održavanja, brzo umnožavanje, kratak i mek korenski sistem i sposobnost fitoremedijacije u kontekstu održivosti (Vijayaraghavan, 2016).

S obzirom na najrasprostranjeniju upotrebu ekstenzivnih zelenih krovnih sistema, a time i niskog zelenila, koje je takođe sastavni deo i intenzivnih zelenih krovova, najviše je istraživan ovaj tip vegetacije. Na osnovu brojnih studija sprovedenih širom sveta, došlo se do zaključka da su biljne vrste sukulenata najpogodnije za zelene krovne sisteme (Cook-Patton & Bauerle, 2012; Dvorak & Volder, 2010; Gabrych et al., 2016). Biljke sočnog tkiva stabljike i lišća imaju sposobnost zadržavanja vode i opstanka u sušnim uslovima, od četiri meseca do dve godine (Vijayaraghavan, 2016). Najpoznatiji sukulenti su sedumi, koji ne zahtevaju veliku debljinu supstrata za opstanak i razvoj. Kratak i mek koren ne ugrožava stanje nižih slojeva, dok se brzim umnožavanjem obezbeđuje potpuna pokrivenost (Getter & Rowe, 2008). Ovaj kriterijum je od posebnog značaja pri odabiru biljnih vrsta iz razloga što supstrat ne bi trebalo da bude izložen direktnom sunčevom zračenju i jakim vetrovima. Dobra pokrivenost podloge usporava razvoj korova, kao i eroziju, u slučaju primene na kosim krovnim površinama.

Najbolje performanse zelenog krova ostvaruju se primenom domaćih/lokalnih biljnih vrsta, koje su već adaptirane na okruženje i lokalne klimatske uslove (Speak, 2013; Vijayaraghavan, 2016). Pojedina istraživanja ukazuju na prednosti upotrebe raznovrsnih biljaka, od kojih pojedine vrste nisu svojstvene lokalnom ekosistemu, u cilju povećanja efekta hlađenja sredine, suzbijanja invanzivnih korova i zadržavanja vode. Sa druge strane, sprovedene studije potvrđuju smanjenje efikasnosti zelenih krovova, odnosno ekoloških benefita, i ističu da se prevelikom raznovrsnošću biljaka, prevashodno ostvaruje estetska vrednost zelenog krova (Vijayaraghavan, 2016). Oprečni rezultati u istraživanjima ukazuju na potrebu sprovođenja studija slučaja primene različitih biljnih vrsta u uslovima lokalnog okruženja, kako bi se na najbolji način izvršila njihova selekcija.

Vegetacioni sloj ima važnu ulogu u poboljšanju stanja u životnoj sredini sa aspekta zaštite vazduha. Značajno povećanje površina pod zelenilom u gradskim centrima, koje se može ostvariti primenom zelenih krovova, uticalo bi na smanjenje koncentracije CO₂, što je u direktnoj vezi sa ublažavanjem efekata staklene bašte. Smanjenje temperature okolnog vazduha u letnjim mesecima, usled hlađenja koje obezbeđuje biljni materijal, pozitivno utiče na efekat urbanih toplotnih ostrva (*eng. UHI – Urban Heat Island*), a time u određenoj meri i na klimatske promene.

Proces fitoremedijacije, odnosno uklanjanja zagađujućih supstanci iz okruženja, biljke sprovode i iz vode, apsorbovanjem rastvorenih zagađivača, i iz vazduha, apsorbovanjem gasovitih

zagađivača. Jedno od istraživanja u vezi sa smanjenjem zagađenja primenom zelenih krovova, pokazalo je da listopadno drveće uklanja više zagađenja u odnosu na srednje i nisko zelenilo (Yang et al., 2008).

Vegetacioni sloj predstavlja najvažniji element strukture zelenog krova, pored supstrata koji obezbeđuje njegov opstanak i razvoj, i s tim u vezi, neophodno je izvršiti selekciju biljnih vrsta u skladu sa uslovima okruženja i dostupnosti nutrijenata, kao i na osnovu željenih performansi vegetacije.

2.4.2 Supstrat

Odabir odgovarajućih komponenti supstrata predstavlja osnovni uslov za opstanak i razvoj vegetacije u zelenom krovnom sistemu. Benefiti koji se ostvaruju primenom zelenih krovova, i u direktnoj su vezi sa svojstvima supstrata, odnose se na unapređenje kvaliteta voda, usporavanje odvođenja padavina, termičke performanse i zvučnu izolaciju (Vijayaraghavan, 2016). Fizički i hemijski sastav supstrata zavisi od niza promenljivih faktora, u koje spadaju specifične potrebe odabrane vegetacije, dostupnost komponenti, dozvoljena debljina i težina sloja, primenjeni drenažni i irigacioni sistem, stepen održavanja, itd.

Sloj supstrata se po fizičkom i hemijskom sastavu razlikuje od zemljišta što je uslovljeno njegovim okruženjem – na krovnim ravnima, i zahtevanim performansama zelenog krova. Najveći udeo u sastavu supstrata trebalo bi da čini smeša više komponenti lakih mineralnih agregata, kao što su: plavac, ekspanzirani škriljac, ekspanzirana glina, vulkanska stena, perlit pena, itd., kao i minerali koji nastaju kao nusprodukti pri iskopavanju ruda i uglja (Sekulić, 2013). Najrasprostranjeniji su u upotrebi komercijalni supstrati, spravljani korišćenjem lokalno dostupnih materijala, namenjeni razvoju određenih biljnih vrsta, prilagođeni lokalnim klimatskim uslovima i očekivanom stepenu održavanja. S tim u vezi, njihovo korišćenje u drugim geografskim oblastima, u uslovima okruženja koji nisu slični njihovom mestu proizvodnje, ne može ispuniti zahtevane performanse. Iz tog razloga se predlaže upotreba lokalnih reciklabilnih materijala, što bi smanjilo troškove proizvodnje supstrata i podržalo koncept održivosti (Nagase & Dunnett, 2011). Primena zemljišta nije preporučljiva zbog karakteristika koje se odnose na slabo zadržavanje vode i provetravanje, veliku težinu, tj. opterećenje, održavanje razvoja korova, izražen proces luženja i slabu kompaktnost (Xiao et al., 2014).

Uspešno spravljena smeša komponenti koje čine supstrat trebalo bi da se odlikuje malom specifičnom gustom, smanjenom sposobnošću luženja i visokim kapacitetom sorpcije, minimalnim sadržajem organskog materijala, sposobnošću zadržavanja vode, poroznošću materijala i dobrim provetravanjem, visokom hidrauličkom provodljivošću, fizičkom i

hemijskom stabilnošću, dobrom povezanošću sa biljnim materijalom i podržavanjem raznovrsnosti vegetacije (Vijayaraghavan, 2016).

U pogledu obezbeđivanja konstrukcijske nosivosti i stabilnosti objekata primenom koncepta zelenih krovova, veoma je važna karakteristika supstrata koja se odnosi na specifičnu gustinu sloja u suvom i zasićenom stanju. S tim u vezi, postoje izvesna ograničenja integrisanja zelenih krovnih sistema na postojećim objektima, naročito na starijim građevinama, usled poteškoća ili nemogućnosti provere nosivosti konstrukcije. Mala specifična gustina se obezbeđuje upotrebom neorganskih recikliranih materijala male gustine, sa preporučenim udelom u sastavu supstrata većim od 80%, što bi znatno uticalo na smanjenje težine zelenog krova (Sekulić, 2013; Vijayaraghavan, 2016). To je potvrđeno uporednom analizom perlita i zemljišta, u kojoj je zabeležena 9,4 puta manja specifična gustina perlita u odnosu na zemljište (Vijayaraghavan & Raja, 2014). Upotreba organskog materijala nepovoljno utiče na težinu supstrata u zasićenom stanju, usled čega može biti povećana i do pet puta (Vijayaraghavan & Raja, 2014).

Sloj supstrata je uopšteno dizajniran da sadrži nutrijente potrebne za razvoj vegetacije. Uzevši u obzir da veći udeo organskih materija nepovoljno utiče na težinu supstrata i izražen proces luženja, što se direktno odnosi na smanjenje stabilnosti sloja i narušavanje kvaliteta atmosferskih padavina koje se odводе sa zelenog krova, sa druge strane njihovo prisustvo u većoj meri unapređuje razvoj biljaka i obezbeđuje neophodnu vlažnost sredine (Nagase & Dunnett, 2011; Rowe, 2011; Van Seters et al., 2009). Razmatranjem o najpogodnijem udelu organskog sadržaja u sastavu supstrata, na osnovu sprovedenih istraživanja (Nagase & Dunnett, 2011; Vijayaraghavan, 2016), došlo se do zaključka da prisustvo organskih materija treba svesti na minimum, odnosno na udeo koji je neophodan za održavanje vegetacije. Prema nemačkim direktivama Udruženja za razvoj i istraživanje pejzaža (FLL), preporučuje se udeo organskih materija od 4% do 8% za ekstenzivne zelene krovove, i od 6% do 12% za intenzivne sisteme, po jedinici zapremine (Vijayaraghavan, 2016).

Kapacitet sorpcije je osobina supstrata koja direktno utiče na kvalitet atmosferskih padavina koje se odводе sa zelenog krova. Usled velikog udela neorganskih materija, kapacitet sorpcije je ograničen. Njegovo povećanje uslovljeno je povećanjem organskog sadržaja. Sprovedene studije ukazuju da je primenom ekspaniranog perlita, najčešće korišćenog materijala sa najvećim udelom u sastavu supstrata, ostvaren 8,6 mg/g i 13,4 mg/g kapacitet sorpcije u pogledu jona bakra (Cu) i olova (Pb) (Sarı et al., 2007), dok su rezultati upotrebe plavca samo 3,5 mg/g i 1,6 mg/g za jone bakra (Cu) i hroma (Cr) (Yavuz et al., 2008). Nasuprot tome, primena organskog materijala, kao na primer osušenih ostataka lišća, drveta ili komposta, doprinosi uklanjanju zagađivača od 72,5 mg/g olova i 22,8 mg/g bakra (Jang et al., 2005). Organski sadržaj takođe pozitivno utiče na strukturu supstrata čineći je kompaktnom. Za sveobuhvatno sagledavanje

uloge biomaterijala u sastavu supstrata, neophodno je obaviti dodatna istraživanja za podobnost razvoja različitih biljaka i dugoročni uticaj na kvalitet supstrata i voda koje se odvede sa zelenih krovnih površina.

Sposobnost zadržavanja vode, odnosno kapacitet skladištenja, od suštinske je važnosti za opstanak biljaka u sušnim uslovima i za usporavanje odvođenja padavina tokom olujnih vremenskih prilika. Supstrat koji obezbeđuje visok nivo zadržavanja vode omogućava veću raznovrsnost vegetacije u odnosu na najprimenjivnije sukulente. Nemačko udruženje FLL preporučuje da kapacitet zadržavanja vode bude veći od 20% za ekstenzivne zelene krovove (Vijayaraghavan, 2016). Povećanje zapremine supstrata, debljine i organskog sadržaja povećava kapacitet zadržavanja vode, ali se time menjaju ostale važne karakteristike. Novija istraživanja ukazuju da upotreba aditiva može doprineti povećanju kapaciteta zadržavanja vode (Vijayaraghavan, 2016).

Dobra aeracija i karakteristike protoka vazduha i vode kroz sloj supstrata nisu ključne samo za razvoj vegetacije, već i za zaštitu krovne konstrukcije od mehaničkih oštećenja, koja mogu nastati usled prokišnjavanja i od prekomerne težine zelenog krovnog sistema kao posledice opterećenja od zadržane vode. Ova svojstva zavise od poroznosti strukture i hidrauličke provodljivosti, za koje su preporučene vrednosti poroznosti veće od 10% i hidrauličke provodljivosti veće od 3600 mm/h, prema nemačkim direktivama (Vijayaraghavan, 2016). Krupna granulacija strukture supstrata utiče na unapređenje aeracije i hidrauličke provodljivosti, što potvrđuje istraživanje primene čestica usitnjene opeke, veličine 4 – 10 mm, čiji rezultati beleže poroznost supstrata od 28,3% i hidrauličku provodljivost od 14200 mm/h (Vijayaraghavan, & Raja, 2014). Neorganski sadržaj povoljno utiče na navedene karakteristike, dok prisustvo sitnih organskih čestica umanjuje performanse supstrata, a time i zelenog krova.

Supstrat bi trebalo dizajnirati tako da ostane stabilan pri nepovoljnim vremenskim uslovima, koji se odnose na ekstremne padavine i dominantne vetrove. Uzimajući u obzir da najveći udeo u sastavu supstrata čine neorganski materijali male težine, može doći do izvesnih problema u vezi sa njegovom stabilnošću. Tome u prilog govori podatak o karakteristici perlita da pluta u vodi, i pri padavinama većeg intenziteta ovaj materijal isplivava na površinu sloja. U takvom položaju je suvi perlit podložan raspršivanju pod uticajem vetrova, što se negativno odražava na stabilnost supstrata i zagađenje vazduha (Vijayaraghavan, 2016). Ovi podaci ukazuju na pažljiv pristup u odabiru materijala i potrebu za dodatnim istraživanjima o osetljivosti supstrata na eroziju vetra i velike količine padavina.

U pogledu svojstva supstrata da podrži veliku raznovrsnost biljaka uz dobru povezanost dva sloja, sprovedeno je nekoliko studija. Došlo se do zaključka da supstrat sačinjen od mešavine ekspaniranog škriljca, peska i treseta omogućava opstanak i razvoj 25 vrsta sukulenata (Rowe

et al., 2012), kao i da je primena komercijalnog supstrata „ZinCo“ pogodna za biljne vrste seduma, livadskog bilja i trava (Dunnett et al., 2008).

Ispunjavanje svih zadatah uslova prilikom dizajna sloja supstrata je obiman zadatak jer unapređenje pojedinih karakteristika direktno utiče na smanjenje performansi drugih. Iz tog razloga je neophodno izvršiti njihovu optimizaciju kroz kontinuirano istraživanje, sa ciljem dugoročnog uspeha zelenih krovova.

Ukoliko postoji potreba za irigacionim sistemom, što je uslovljeno tipologijom zelenog krova i klimatskim uslovima okruženja, on se postavlja iznad ili u okviru sloja supstrata (Berardi et al., 2014).

2.4.3 Filterski sloj

Filterski sloj ima položaj između podloge za razvoj vegetacije i drenažnog sloja, sa ulogom sprečavanja prodora finih čestica supstrata u drenažni sloj, a time i njegovog začepjenja. Filterski sloj koji se primenjuje za zelene krovne sisteme najčešće čine geotekstili izrađeni od sintetičkih materijala, i mogu biti tkani ili netkani. Osnovne karakteristike odnose se na malu težinu, veliku zateznu čvrstoću, otpornost na hemijske uticaje i štetna zračenja, dobra mehanička i hidraulička svojstva, jednostavno rukovanje i laku ugradnju.

Primena geotekstila težine 200 – 500 g/m² u strukturi zelenih krovova ukazuje da filterski sloj ne doprinosi značajno ukupnoj težini sistema. Velikom zateznom čvrstoćom obezbeđuje se prihvatanje opterećanja od viših slojeva, čiji je udeo najveći u težini zelenog krova. Pore u strukturi omogućavaju dobru vodopropustljivost, a filterski sloj se odlikuje i velikim kapacitetom zadržavanja vode, što doprinosi održavanju neophodne vlažnosti sredine i smanjenju potrebe za navodnjavanjem, stvarajući na taj način pasivni irigacioni sistem (Wark & Wark, 2003). Korišćenje netkanog geotekstila ukazuje na mogućnost apsorbovanja vode do 1,5 l/m² (Wong & Jim, 2014). Uporednom analizom zelenih krovnih sistema sa i bez geotekstila, zabeleženo je zadržavanje vode od preko 300% njegovom upotrebom (Vijayaraghavan, 2016). Filterski sloj ima i ulogu protivkorenske membrane za biljke sa mekim i kratkim korenskim sistemom.

2.4.4 Drenažni sloj

Drenažni sloj je od suštinske važnosti za uspeh zelenih krovova. On obezbeđuje optimalni balans između vazduha i vode u krovnom sistemu. Uzimajući u obzir da razvoj biljaka zavisi od stanja supstrata, za koji se zahteva da bude provetren i nezasićen, drenažni sloj ima ulogu u uklanjanju viška vode, obezbeđujući na taj način aerobne uslove podloge. Svojstva drenažnog sloja ogledaju se i u zaštiti hidroizolacije i unapređenju termičkih performansi zelenog krova (Vijayaraghavan, 2016).

U sistemu zelenih krovova najčešće su u upotrebi dve vrste drenažnog sloja: modularni paneli i granulisani materijali. Drenažni modularni paneli su izrađeni od plastičnih materijala velike čvrstoće, kao što su polietilen ili polistiren, sa rezervoarima za skladištenje vode, dizajnirani tako da odvede višak vode preko otvora u sloju. Granulisani materijali koji se primenjuju za drenažni sloj su ekspanzirana glina, ekspanzirani škriljac, usitnjena opeka, grubi šljunak i komadi kamena. Odlikuju se velikom poroznošću, a time i izvesnim kapacitetom zadržavanja vode. Odabir pogodnog drenažnog sloja zavisi od više faktora koji se odnose na tip zelenog krova, klimatske uslove, konstrukcijske zahteve, vrstu vegetacije, površinu zelenog krova i finansijsku vrednost.

U strukturi ekstenzivnih zelenih krovova primenjuju se obe vrste drenažnih slojeva. Granulisani materijali predstavljaju osnovni drenažni sistem koji je često dovoljan za ispunjenje zahteva na manjim površinama zelenih krovova, izgrađenim najčešće na stambenim objektima (Vijayaraghavan, 2016). U novije vreme sprovedena su istraživanja upotrebe alternativnih materijala u svojstvu drenažnog sloja, pri čemu je potvrđeno uspešno korišćenje reciklirane gume (Pérez et al., 2012a). Iako su granulisani materijali rasprostranjeniji i dostupniji u odnosu na modularne panele, postoje ograničenja u njihovoj primeni, koja se odnose na mogućnost upotrebe samo na ravnim krovovima, do 5° nagiba, i otežanu ugradnju.

Primena drenažnih modularnih panela obezbeđuje zadržavanje veće količine vode u posebno profilisanim rezervoarima. Skladištenje vode u drenažnom sloju negativno utiče na dodatno povećanje težine krovnog sistema, dok se prednosti primene ogledaju u zaštiti hidroizolacionog sloja i smanjenju potrebe za irigacijom usled naknadnog korišćenja skladištene vode za opstanak i razvoj vegetacije. Mogu se uspešno primenjivati na većim površinama ravnih i kosih krovova. Odlikuju se velikom čvrstoćom, fleksibilnošću prilikom transporta u rolnama, malom težinom, lakom instalacijom, trajnošću i niskom cenom (Bianchini & Hewage, 2012a). Zadržavanje vode se kreće od 2 l/m² kod komercijalnih drenažnih modula (Vijayaraghavan & Joshi, 2014).

S obzirom na činjenicu da su intenzivni zeleni krovovi dizajnirani da prime veće opterećenje u odnosu na ekstenzivne sisteme, drenažni sloj mora biti čvršći, teži i jednostavniji. Najčešće se za intenzivne krovove koristi šljunak u debljini sloja većoj od 4 cm (Bianchini & Hewage, 2012a).

2.4.5 Protivkorenska membrana

Protivkorenska membrana se postavlja ispod drenažnog sloja, sa ulogom zaštite hidroizolacije od mogućih oštećenja usled prodora korenskog sistema. Upotreba protivkorenske membrane je neophodna za intenzivne zelene krovove, dok je kod ekstenzivnih sistema opciono rešenje, zbog primene vegetacije sa mekim i kratkim korenskim sistemom. Na tržištu su dostupne dve komercijalne vrste protivkorenskih membrana – fizičke i hemijske (Bianchini & Hewage, 2012a;

Vijayaraghavan, 2016). Fizičke membrane čini tanak sloj, približne debljine 0,05 cm, plastičnih materijala velike čvrstoće, dok su hemijske izrađene od metala, najčešće na bazi bakra.

2.4.6 Hidroizolacioni sloj

Hidroizolacioni sloj je značajan ne samo za uspešnu izgradnju i eksploataciju zelenog krova, već i za stabilnost konstrukcijskog sistema objekta. Iako hidroizolacija nije sastavni deo zelenog krova, njeno pravilno izvođenje predstavlja preduslov za sprečavanje curenja krova, a time i oštećenja konstrukcijskih elemenata objekta. Ukoliko bi došlo do curenja, smatralo bi se da zeleni krov nije dobro izveden. Usled neophodnosti prisustva vode u supstratu i drenažnom sloju, vlažnost sredine je konstantno visoka, što povećava mogućnost propuštanja kroz niže slojeve. Svako oštećenje hidroizolacionog sloja negativno se odražava na zeleni krovni sistem, čiji svi slojevi moraju biti uklonjeni kako bi se lociralo mesto oštećenja (Vijayaraghavan, 2016).

Vrste hidroizolacija koje se mogu primeniti ispod zelenog krova su membrane na bazi premaza, jednoslojne krovne folije, modifikovane bitumenske folije i termoplastične membrane (Vijayaraghavan, 2016). Izbor odgovarajućeg hidroizolacionog sloja zavisi od tipa zelenog krova, cene, dostupnosti i očekivane trajnosti.

2.5 Prednosti i ograničenja primene zelenih krovova

Kako bi se sprovela uspešna implementacija zelenih krovova na novoprojektovanim ili postojećim objektima, neophodno je utvrditi opšte koristi koje se ostvaruju njihovom primenom, kao i ograničenja koja se javljaju u dosadašnjoj praksi. Analiza potencijalnih benefita i ograničenja, uz preporuke za njihovo uspešno prevazilaženje, značajna je za vrednovanje zelenih krovnih sistema, odnosno stvaranje okvira za procene mogućnosti primene na konkretnim objektima u uslovima njihovog okruženja, u skladu sa zahtevanim performansama.

2.5.1 Prednosti primene zelenih krovova

Prednosti primene zelenih krovova u odnosu na tradicionalne krovne sisteme, mogu se sagledati kroz ostvarivanje brojnih benefita, sa opštim ciljem postizanja održivosti. Nepostojanje univerzalne klasifikacije prednosti zelenih krovova u okviru različitih aspekata istraživanja posledica je njihove međuzavisnosti, koja se odnosi na istraživanje istih efekata sa različitih aspekata. Najveći broj autora bavio se istraživanjem ekoloških benefita (Berardi et al., 2014; Bianchini & Hewage, 2012a; Nurmi et al., 2013; Speak, 2013; Thuring, 2015; Vijayaraghavan, 2016). Drugi autori su u svojim studijama klasifikovali osnovne prednosti kao ekološke, ekonomske i socijalne (Borchers, 2015; Henderson, 2003; Sekulić, 2013; Shafique et al., 2018);

socijalne, ekološke, tehničke i finansijske (Goode, 2006); ekološke, ekonomske, estetske i socijalne (Garcia, 2014); ili kao ekološke, estetske i ekonomske (Dunnett & Kingsbury, 2008). Na osnovu dostupnih relevantnih publikacija, utvrđeni su najznačajniji aspekti istraživanja – ekološki, ekonomski i socijalni, kao osnovne komponente održivosti.

2.5.1.1 Ekološki benefiti

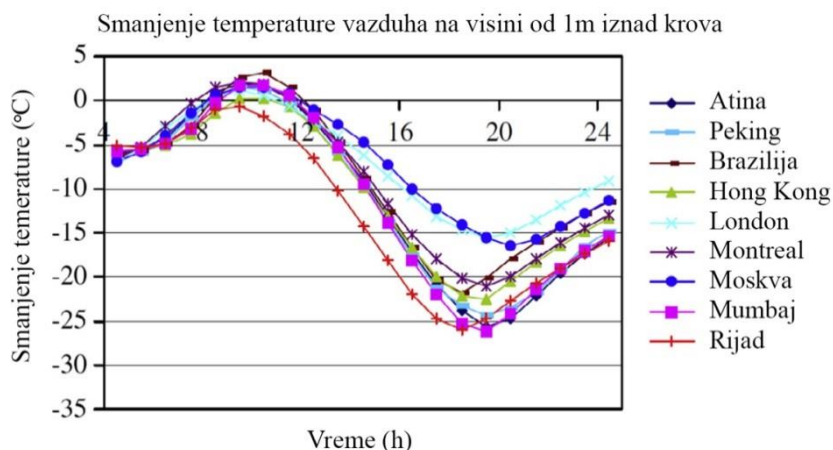
Ekološki benefiti zelenih krovova ogledaju se u unapređenju stanja u životnoj sredini, koja je u velikoj meri degradirana kao posledica procesa urbanizacije. Najznačajnije prednosti zelenih krovova odnose se na ublažavanje efekta urbanih toplotnih ostrva, upravljanje atmosferskim padavinama, poboljšanje kvaliteta vazduha, zaštitu od buke, korišćenje recikliranih materijala i povećanje urbanog biodiverziteta.

Ublažavanje efekta urbanih toplotnih ostrva

Ublažavanje efekta urbanih toplotnih ostrva (eng. *Urban Heat Island – UHI*) odnosi se na smanjenje temperature vazduha u gradskim jezgrima, koja može biti viša i do 7°C u odnosu na prigradska naselja u letnjim mesecima (Goode, 2006). Povećanje temperature negativno se odražava na kvalitet vazduha i voda, stvarajući pritisak na ekosistem i utičući na klimatske promene. Ovaj efekat predstavlja posledicu materijalizacije građene sredine, čije su vrednosti albeda veoma niske. One se kreću u rasponu od 0,1 do 0,2 za bitumen, katran i šljunak, dok su za zelene krovove vrednosti od 0,7 do 0,85 (Berardi et al., 2014). Sposobnost zelenih krovova da doprinesu smanjenju temperature vazduha ogleda se u vršenju procesa evapotranspiracije. Stvaranje senki i odavanje vlage uspešno utiče na kontrolu temperature. Sprovedena istraživanja pokazuju da znatno povećanje površina pod zelenim krovovima može smanjiti temperaturu vazduha od 0,3 do 3°C (Santamouris, 2014). Procenjuje se da bi ozelenjavanje 50% krovova na teritoriji Njujorka smanjilo temperaturnu razliku između gradskog jezgra i predgrađa za 0,8°C (Bianchini & Hewage, 2012a), dok bi povećanje od 10% urbanog zelenila u Mančesteru, što bi se ostvarilo izgradnjom zelenih krovova, sprečilo povećanje temperature za predviđena 4°C u narednih 80 godina (Berardi et al., 2014). Najveći uticaj zelenih krovova ostvaruje se u predelima sa toplom i suvom klimom, što je prikazano rezultatima istraživanja na slici 2.9.

Značajan parametar za uspešnost zelenih krovova u pogledu ublažavanja efekta urbanih toplotnih ostrva je geometrijska konfiguracija grada, koja se u ovom slučaju odnosi na dostupnost krovnih površina pod zelenilom direktnom sunčevom zračenju. Na primeru Hong Konga, grada velike gustine izgrađenosti, sprovedeno je istraživanje koje ukazuje na nedostupnost direktnog sunčevog zračenja polovini krovova posmatrane oblasti, u periodu zima – proleće, dok je 5,8%

krovnih površina gotovo uvek u senci (Wong & Lau, 2013), što ukazuje da ozelenjavanje tih krovova ne bi imalo uticaja u ublažavanju efekta toplotnih ostrva.



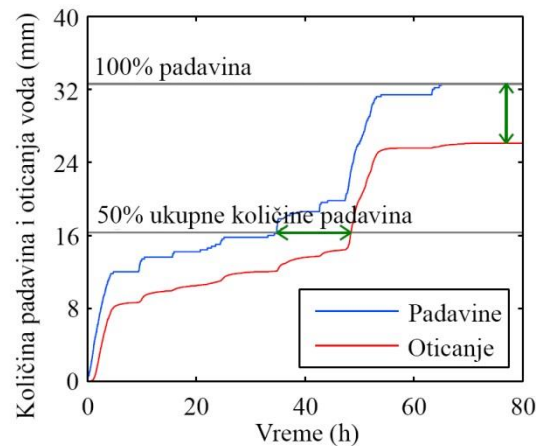
Slika 2.9. Smanjenje temperature vazduha na 1 m iznad zelenig krova u različitim gradovima sveta (Berardi et al., 2014)

U novije vreme analiziraju se različiti intenziteti sunčevog zračenja za merenje oslobađanja latentne toplote, kao parametra za smanjenje temperature vazduha primenom zelenih krovova (Berardi et al., 2014). Jedan od rezultata istraživanja ukazuje da bi zeleni krov izložen maksimalnom intenzitetu sunčevog zračenja od 900 W/m^2 oslobodio $300 - 400 \text{ W/m}^2$ latentne toplote (Takebayashi & Moriyama, 2007). U drugoj studiji su zeleni krovovi u suvom i vlažnom stanju izloženi istom intenzitetu sunčevog zračenja, što je dovelo do oslobađanja 110 W/m^2 , odnosno 230 W/m^2 latentne toplote (Lazzarin et al., 2005). Grupa autora (Feng et al., 2010) koja je proučavala ekstenzivne zelene krovove došla je do rezultata oslobađanja 600 W/m^2 latentne toplote, a prilikom uticaja različite vrste vegetacije, istraživanja su pokazala da pri intenzitetu sunčevog zračenja od 1000 W/m^2 žbunje oslobađa 150 W/m^2 , a trava 100 W/m^2 latentne toplote. Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da zeleni krovovi značajno doprinose oslobađanju latentne toplote, dok sa druge strane varijacije u rezultatima istraživanja, kojima su u proseku zabeležena smanjenja ambijentalne temperature vazduha od 2°C , ukazuju na potrebu za daljim istraživanjima kako bi se dodatno unapredile performanse zelenih krovova u ovoj oblasti.

Upravljanje atmosferskim padavinama

Jedan od značajnijih ekoloških benefita primene zelenih krovova predstavlja upravljanje atmosferskim padavinama. Ulogom prirodnog filtera, zeleni krovovi utiču na kvalitet, ali i na kvantitet padavina koje se odvođe sa krovnih površina. U pogledu povoljnog uticaja na kvantitet atmosferskih voda, zeleni krovovi imaju sposobnost zadržavanja i usporavanja odvođenja

padavina naročito za vreme olujnih vremenskih uslova, prilikom čega se smanjuje mogućnost od poplava. Od ukupne količine padavina koja dospe na zeleni krov, deo zadržavaju biljke, najveći deo apsorbuje supstrat do zasićenja, dok se preostala količina propušta kroz filterski sloj i zadržava u drenažno-akumulacionom elementu, a višak otiče sa zelenog krova. Zadržana količina vode koristi se za razvoj vegetacije i procesom evapotranspiracije vraća u atmosferu. Kapacitet zadržavanja i vreme odlaganja oticanja padavina sa zelenog krova prikazani su na slici 2.10.



Slika 2.10. Odnos količine i oticanja padavina sa zelenog krova u jedinici vremena (Vesuviano, 2014)

Kapacitet zadržavanja vode zelenog krova zavisi od više faktora, kao što su: vrsta i debljina supstrata, vrsta drenažnog elementa i kapacitet skladištenja, vrsta biljnog pokrivača i pokrivenost, intenzitet padavina i vreme prethodnog sušnog perioda, i nagib krova (Vijayaraghavan, 2016). Supstrat ima najznačajniju ulogu u zadržavanju padavina, što je u vezi sa karakteristikama materijala koje se odnose na obezbeđivanje vlažnosti sredine i veliki kapacitet zadržavanja vode (Graceson et al., 2013; Vijayaraghavan & Joshi, 2014). U pogledu tipologije zelenih krovova, zabeleženo je zadržavanje vode od 15% do 83% za ekstenzivne, i od 60% do 95% za intenzivne zelene krovne sisteme (Wang et al., 2017). Značaj drenažnog sloja potvrđen je uporednom analizom zelenih krovova sa i bez drenažnog sistema, čiji rezultati ukazuju na zadržavanje vode od 57% za krov bez, i 71,7% za krov sa drenažnim sistemom (Kikuchi & Koshimizu, 2013). Uloga biljnog materijala u smanjenju oticanja padavina zavisi od kapaciteta prihvatanja vode, zadržavanja i transpiracije. Od najčešće korišćenih biljaka za ekstenzivne zelene krovove, najveće smanjenje oticanja vode zabeleženo je upotrebom trava, nešto manje upotrebom livadskog bilja, a najmanje korišćenjem seduma (Nagase & Dunnett, 2012). Iako je utvđeno da oticanje padavina dodatno smanjuju biljne vrste sa izraženom transpiracijom u odnosu na sukulente, sedumi se u kratkom vremenskom roku mogu osloboditi

dostupne vode i doprineti povećanju kapaciteta zadržavanja do 40% (Vijayaraghavan, 2016). Uticaj intenziteta padavina i nagiba krova na kapacitet zadržavanja vode prikazan je u tabeli 2.4.

Tabela 2.4. Odnos intenziteta padavina, kapaciteta zadržavanja vode i nagiba krova (Vijayaraghavan, 2016)

Intenzitet padavina (mm/min)	Kapacitet zadržavanja vode (%)		
	Nagib krova od 2°	Nagib krova od 8°	Nagib krova od 14°
0,4	62	43	39
0,8	54	30	21

Uopšteno, može se istaći da zeleni krovovi poboljšavaju kvalitet voda jer ubalžavaju kisele kiše apsorbovanjem zagađenja. Sprovedene studije ipak ukazuju na različite efekte zelenih krovova prilikom razmatranja kvaliteta padavina. Filtriranjem kišnice može doći i do njenog prečišćavanja i do zagađenja, u čemu najznačajniju ulogu ima sloj supstrata (Vijayaraghavan, 2016). Supstrat, kao filter razmene jona nutrijenata i metala, prilikom njihove veće koncentracije u kišnici deluje smanjenjem koncentracije u vodi koja otiče sa krova, dok se pri manjem sadržaju nutrijenata i metala u kišnici, u odnosu na supstrat, povećava njihovo prisustvo u višku vode koja se odvodi sa krova. Analizu čine složenijom procesi u toku eksploatacije zelenog krova, koji se odnose na: smanjenje nutrijenata, usled njihovog korišćenja od strane biljaka, i fertilizaciju supstrata kojom se povećava njihova koncentracija. Da bi se sveobuhvatno sagledao uticaj zelenih krovova na kvalitet voda, neophodno je razmotriti sve faktore u koje spadaju: vrsta supstrata i njegove karakteristike, vrsta vegetacije, intenzitet padavina, lokalni izvori zagađenja, tip zelenog krova, stepen održavanja i fertilizacija, starost zelenog krova, fizičke i hemijske karakteristike zagađujućih materija i vrsta drenaže (Vijayaraghavan, 2016).

Na osnovu studije sprovedene na ekstenzivnom zelenom krovu u pogledu kvaliteta atmosferskih voda, došlo se do zaključka da su koncentracije većine zagađivača smanjene u odnosu na uporedni konvencionalan krov (Van Seters et al., 2009). Slična uporedna analiza izvršena je i na intenzivnom zelenom krovu, prilikom čega je zabeleženo smanjenje koncentracije olova, cinka, kadmijuma i bakra u vodi koja otiče sa intenzivnog zelenog krova (Berardi et al., 2014). Nasuprot istraživanjima koja ukazuju na unapređenje kvaliteta atmosferskih voda primenom zelenih krovova (Rowe, 2011), pojedini autori su utvrdili veću koncentraciju nutrijenata i metala, odnosno umereno zagađenje u padavinama koje se odvede sa zelenog krova u odnosu na uzorak kišnice ili vode sa uporednog krova (Berndtsson et al., 2006; Moran et al., 2003; Vijayaraghavan et al., 2012). Razlike i suprotnosti u rezultatima istraživanja posledica su različitih sastava supstrata, starosti zelenog krova i stepena održavanja. Novoizgrađeni zeleni krovovi ne mogu pružiti relevantne rezultate u pogledu kvaliteta atmosferskih padavina iz razloga što se u zreom

zelenom krovu, tj. krovu koji je već izvesno vreme u eksploataciji, očekuje spiranje zagađenja sa krovnog sistema usled stalnih padavina i bioloških procesa.

Dalja istraživanja uloge zelenih krovova u upravljanju vodama su neophodna, kako bi se obezbedila doslednost u izvedenim zaključcima. Implementacijom u velikoj meri, zeleni krovovi bi postali važan deo urbane infrastrukture u pogledu uticaja na klimu i hidrološke procese prečišćavanja vode i regulacije erozije.

Poboljšanje kvaliteta vazduha

Zeleni krovovi, kao čista i praktična tehnologija prečišćavanja vazduha, bez negativnih efekata po životnu sredinu, predstavljaju najpogodniju meru za rešavanje problema povišenog nivoa zagađenja štetnih po ljudsko zdravlje. Biljke imaju sposobnost da smanje zagađenje vazduha direktno i indirektno, odnosno apsorbovanjem gasova preko stoma, zadržavanjem čestica na lišću i razlaganjem pojedinih organskih jedinjenja; i modifikovanjem mikroklimе (Rowe, 2011; Yang et al., 2008). Izmene mikroklimе moguće je postići smanjenjem temperature krovnih površina stvaranjem senki i procesom transpiracije, što dovodi do efekta hlađenja, čime se smanjuju fotohemijske reakcije koje stvaraju zagađenja u atmosferi, kao što je ozon (Rowe, 2011). Smanjenjem utroška energije za postizanje toplotnog komfora, usled izolacionih svojstava zelenih krovova, dolazi do smanjenja emisija zagađenja iz elektrana, što direktno utiče i na ublažavanje efekta urbanih toplotnih ostrva.

Značajna uloga zelenih krovova odnosi se i na smanjenje koncentracije CO₂, čiji je nivo znatno povišen u urbanim jezgrima. Autori koji su sprovedeli istraživanje o uticaju zelenih krovova na koncentraciju CO₂, zaključili su da u sunčanim vremenskim uslovima zeleni krov može redukovati koncentraciju CO₂ u okruženju za 2% (Li et al., 2010). Performanse zelenog krova su uslovljene stanjem biljnog materijala, pozicijom zelenog krova i protokom vazduha.

U urbanim sredinama, drveće najviše doprinosi smanjenju zagađenja vazduha (Berardi et al., 2014; Rowe, 2011). Uzimajući u obzir malo slobodnog prostora za sađenje drveća ili formiranje urbanih šuma, krovovi, koje čine 40 – 50% nepropusnih površina, pružaju mogućnost povećanja urbanog zelenila implementacijom zelenih krovnih sistema (Dunnett & Kingsbury, 2008). Procenjuje se da bi 2000 m² nekošene trave na zelenom krovu uklonilo do 4000 g čestica zagađenja godišnje (Rowe, 2011). Istraživanja sprovedena u Detroitu ukazuju na uklanjanje 889 t/god NO₂, što čini 0,5% ukupne emisije, ukoliko bi se integrisali ekstenzivni zeleni krovovi u okviru 20% industrijskih i komercijalnih objekata (Clark et al., 2005). Smanjenje od 37% SO₂ i 21% HNO₂ zabeleženo je iznad zelenog krova u Singapuru (Tan & Sia, 2005).

U pogledu odabira biljnih vrsta za unapređenje performansi zelenih krovova u prečišćavanju vazduha, potvrđena je prednost zimzelenih biljaka u odnosu na listopadne, usled činjenice da se

smanjenje zagađujućih čestica, O₃, azotnih i sumpornih oksida (NO_x i NO_x) odvija samo u aktivnom stanju biljaka (Rowe, 2011). Analizama pojedinačnih vrsta, došlo se do zaključka da sedumi najmanje doprinose prečišćavanju, što ukazuje da ne predstavljaju najbolji izbor ukoliko je smanjenje zagađenja vazduha primarni cilj zelenih krovova. To potvrđuje istraživanje sposobnosti seduma, trave i drveća za apsorbovanje NO₂ na godišnjem nivou. Sedumi smanjuju koncentraciju za 0,03 kg/m², trave za 1,03 kg/m², a drveće za 1,18 kg/m² (Rowe, 2011). Menjanje sastava supstrata, povećavanjem organskog udela, gustine i debljine sloja, utiče na povećanje apsorbovanja azotovih zagađujućih jedinjenja (Rowe, 2011).

Visoko i srednje zelenilo, u okviru intenzivnih zelenih krovova, ima veću sposobnost uklanjanja zagađenja iz vazduha u odnosu na nisko zelenilo ekstenzivnih zelenih krovova, usled većeg indeksa lisne površine. Ipak, ne može se zanemariti uloga ekstenzivnih zelenih krovova, koji se uspešno mogu implementirati u gradskim sredinama usled pristupačne cene, male težine i lakog izvođenja. Istraživanje sprovedeno za Čikago, sa procenom ozelenjavanja svih krovnih površina intenzivnim zelenim krovovima doprinelo bi smanjenju 2046,89 t zagađujućih materija, ali bi cena njihove izgradnje iznosila 35,2 milijarde \$ (Yang et al., 2008). Studija o efektivnosti ekstenzivnih zelenih krovova u smanjenju zagađenja vazduha, koja se odnosi na ekvivalenatan učinak drveta srednje veličine i 19 m² ekstenzivnog zelenog krova, čije sađenje, odnosno izgradnja ima cenu 400 \$ i 3059 \$ (Yang et al., 2008), ukazuje na znatna finansijska ulaganja za izgradnju ekstenzivnih zelenih krovova. Međutim, sa druge strane, oni predstavljaju jedinu meru kojom se postojeći ekološki uslovi u gradskom okruženju mogu unaprediti.

Zaštita od buke

Zaštita od buke predstavlja još jednu od prednosti primene zelenih krovova u urbanim sredinama. Visoki nivoi buke često su problem u prostorima okruženim visokim zgradama, duž saobraćajnica i u neposrednoj blizini industrijskih zona i aerodroma. Kako su konvencionalni krovovi tvrde površine, implementacija zelenih krovova povoljno bi uticala na zaštitu od buke zbog karakteristika slojeva vegetacije i supstrata. U istraživanju koje to potvrđuje došlo se do rezultata da su gubici prenosa zvuka kroz zeleni krov veći u odnosu na uporedni krov za 10 – 20 dB (Connelly & Hodgson, 2013). Intenzitet zvuka se smanjuje usled izolacionih svojstava zelenog krova, kao i apsorbovanjem zvučnih talasa koji se iznad njega prelamaju (Van Renterghem & Botteldooren, 2011). Efikasnost zvučne zaštite u velikoj meri zavisi od vrste vegetacije i gustine pokrivenosti, sastava i debljine sloja supstrata, zvučne frekvencije i položaja zelenog krova.

Vegetacioni sloj pokazuje bolje performanse na visokim frekvencijama, što se dodatno unapređuje višeslojnom i gušćom pokrivenošću (Sekulić, 2013). Supstrat ima značajniju ulogu u

zvučnoj izolaciji i efikasniji je na nižim frekvencijama. U poređnom analizom ekstenzivnih zelenih krovova debljina supstrata 75 mm i 150 mm, utvrđeno je da smanjenje intenziteta zvuka kroz zeleni krov manje debljine supstrata, pri različitim frekvencijama, ne pokazuje doslednost u rezultatima, dok su za krov debljine supstrata 150 mm zabeležena smanjenja od 5 dB do 13 dB, pri niskim i srednjim frekvencijama (50 – 2000 Hz), i manje od 6 dB pri visokim frekvencijama (Connelly & Hodgson, 2008). Uticaj debljine supstrata na unapređenje zvučne zaštite istražen je u poređnom analizom ekstenzivnih i intenzivnih zelenih krovova (Van Renterghem & Botteldooren, 2008). Rezultati ukazuju na efikasnost ekstenzivnih zelenih krovova, debljine supstrata 15 – 20 cm, dok u slučaju intenzivnih zelenih krovova, debljine supstrata veće od 20 cm, nisu zabeležena dalja unapređenja.

U pogledu položaja zelenog krova, performanse su izraženije ukoliko se primenjuju na objektima manje spratnosti usled direktne izloženosti izvorima buke (Rowe, 2011). Mnoga istraživanja ukazuju na značajno smanjenje buke zelenih krovova izgrađenih u nivou tla, odnosno u nivou saobraćajnica (Connelly & Hodgson, 2011; Yang, 2013; Yang et al., 2012).

Ukoliko je zaštita od buke primarni cilj zelenih krovova, neophodno je izvršiti dalja istraživanja uzimajući u obzir odnos širine i visine urbanih kanjona, nivo apsorpcije fasadnih elemenata, difuznu refleksiju i karakteristike objekata u pogledu prelamanja zvučnih talasa (Van Renterghem & Botteldooren, 2008). Nivo buke koji dopire unutar objekata sa zelenim krovovima zavisi i od izolacije fasade, nivoa zvučnog pritiska iz spoljašnje sredine, i činjenice da li su prozori otvoreni ili zatvoreni (Rowe, 2011).

Korišćenje recikliranih materijala

Korišćenje recikliranih materijala u proizvodnji zelenih krovova dodatno doprinosi zaštiti životne sredine. Iako se smatraju održivim sistemima gradnje, proizvodnja materijala zastupljenih u sastavu elemenata strukture zelenih krovova je visoko zagađujuća (Bianchini & Hewage, 2012a). Istraživanja novijeg datuma pokazuju da se smanjenje negativnih efekata može postići korišćenjem alternativnih, recikliranih materijala, i potvrđuju prednosti njihove primene. Zagađenja životne sredine mogu se izraziti preko utroška energije i emisije štetnih gasova tokom životnog ciklusa građene sredine. Zeleni krovovi u fazi eksploatacije svojim performansama nadoknađuju štetne efekte proizvodnje.

Uzimajući u obzir faktore koji utiču na efikasnost supstrata, kao i preporuke za njegov dizajn, u pogledu korišćenja lokalnih materijala gradnje, razmatra se i korišćenje recikliranih otpadnih materijala i nusprodukata iz livnica ili spalionica (Rowe, 2011). Ove komponente mogu se uspešno primeniti za sloj supstrata, uz proveru koncentracije zagađenja. Na primeru pepela sakupljenog sa dna kotla potvrđen je sadržaj teških metala (Rowe, 2011). Ukoliko se utvrdi

prisustvo zagađenja, treba razmotriti mogućnost njihovog spiranja pre upotrebe materijala za proizvodnju supstrata. Biljke mogu uspešno ukloniti zagađujuće materije, procesom fitoremedijacije, i sprečiti njihovo odvođenje u efluent. Dodatak aktivnog uglja takođe može filtrirati zagađenja (Rowe, 2011).

Izuzev supstrata, sastavni deo ostalih slojeva strukture zelenog krova uglavnom čine polimerni materijali. U širokoj su upotrebi usled karakteristika koje se odnose na malu težinu, trajnost, otpornost na koroziju, izolaciona svojstva, nisku cenu, sposobnost oblikovanja i mogućnost ponovne upotrebe i recikliranja (Sperling, 2005). U pogledu emisija gasova NO₂, SO₂ i O₃ i čestica PM₁₀ u procesu proizvodnje recikliranih i nerecikliranih polimera, došlo se do zaključka o prednosti primene recikliranih materijala, čijom se upotrebom oslobađa 2,8 puta manje zagađenja (Bianchini & Hewage, 2012a). Procena je da se zagađenje koje se oslobodi u vazduhu prilikom procesa proizvodnje polimera može neutralisati, usled sposobnosti zelenih krovova da ih razgrađuju, tokom perioda od 13 godina (Berardi et al., 2014).

Istraživanje upotrebe granulisanog materijala od reciklirane gume za drenažni sloj zelenih krovova pokazuje veliku uštedu u energiji pri procesu proizvodnje, u poređenju sa korišćenjem komercijalnih materijala (Pérez et al., 2012b). Šira upotreba reciklirane gume predstavljala bi rešenje i za problem odlaganja otpadnih guma.

Dosadašnja istraživanja koja se odnose na analize životnog ciklusa zelenih krovova ukazuju na manji udeo zagađenja prilikom proizvodnje ekstenzivnih zelenih, u odnosu na intenzivne sisteme. Sa druge strane, intenzivni zeleni krovovi podržavaju razvoj visokog zelenila, a time imaju i veću sposobnost redukcije toksičnih materija. Zagađenja koja nastaju prilikom procesa proizvodnje komponenti strukture uopšteno su uravnotežena ostvarivanjem dugoročnih brojnih koristi zelenih krovova.

Povećanje urbanog biodiverziteta

Povećanje urbanog biodiverziteta je značajan benefit zelenih krovova u cilju obezbeđivanja ekosistemskih koristi. Njihov vitalni tok je zasnovan na izvesnom minimalnom broju različitih vrsta organizama, koje čine biodiverzitet, čime je njegova vrednost kao takva beskonačna (Nurmi et al., 2013). Vrednost biodiverziteta se ne može proceniti, ali je moguće odrediti vrednost promene jednog stanja u drugo. Promene u biodiverzitetu, naročito u urbanim sredinama, imaju negativne efekte i mogu dovesti do izumiranja pojedinih vrsta organizama, što bi moglo da naruši osnovne procese u ekosistemu. Izgradnjom objekata i infrastrukture uklanjaju se staništa i degradira prirodna sredina što se odražava na smanjenje biodiverziteta. Jedina mera koja obezbeđuje opstanak i povećanje raznovrsnosti biljnih i životinjskih vrsta u gusto izgrađenim sredinama je integrisanje zelenila u objektima, naročito zelenih krovova. Intenzivni

zeleni krovovi pružaju mogućnost veće raznovrsnosti, ali je njihova primena u velikoj meri ograničena, uzevši u obzir cenu izgradnje, težinu sistema i konstrukcijske karakteristike postojećih objekata, i visok stepen održavanja. Sa druge strane, ekonomske i tehničke prednosti izgradnje ekstenzivnih zelenih krovova utiču na njihovu širu primenu. S obzirom na činjenicu da je većina ekstenzivnih zelenih krovova neprohodna, njihovom implementacijom se sprečava narušavanje staništa. Ovo utiče na razmatranje uloge ekstenzivnih zelenih krovova u postizanju ravnoteže između građene i prirodne sredine, što se odnosi na mogućnost prilagođavanja urbanih struktura povećanju biodiverziteta, ne eksploatišući ga u svrhu okupljanja (Speak, 2013). Usled male debljine supstrata i ograničenog broja biljnih vrsta, benefiti ekstenzivnih zelenih krovova ogledaju se u podržavanju široke raznovrsnosti mikroorganizama, insekata, paukova, drugih malih organizama i ptica (Nurmi et al., 2013). U istraživanju sprovedenom na 17 zelenih krovova u Bazelu, zabeležene su 254 vrste buba i 78 vrsta paukova, od kojih su 18% navedene kao retke i ugrožene (Speak, 2013). Studija koja ukazuje na povećanje biodiverziteta u kratkom vremenskom periodu odnosi se na pronalaženje 29 vrsta insekata i 9 vrsta paukova, na dve godine starom zelenom krovu u Mičigenu (Speak, 2013). U lancu ishrane značajni su beskičmenjaci, koji nastanjuju zelene krovove predstavljajući hranu za ptice i slepe miševе (Baumann, 2006). U Velikoj Britaniji zeleni krovovi predstavljaju značajan potencijal kao stanište za retku vrstu ptica Crne crvenorepke (Speak, 2013). Sa druge strane, mala debljina supstrata ukazuje na nepovoljne uslove za opstanak glista, koje nemaju mogućnost da se povuku u hladnije slojeve tokom vrelog i sušnog letnjeg perioda (Speak, 2013).

Značaj zelenih krovova u urbanim ekosistemima ogleda se u stvaranju novih veza u matrici staništa, čime se olakšava kretanje i širenje divljih životinjskih vrsta (Goode, 2006). Da bi se postigao uspeh zelenih krovova u pogledu povećanja biodiverziteta, predlaže se razmatranje dve komponente razdaljina – vertikalne, koja se odnosi na visinu objekata, i horizontalne, koja predstavlja udaljenje zelenog krova od prirodnih staništa (Blank et al., 2017). Manje distance idu u prilog ostvarivanju jačih veza, što se unapređuje i širokom primenom zelenih krovova. Prirodna okruženja u vidu zelenih krovova mogu da povećaju urbani biodiverzitet, ali ne i da zamene prirodu kao funkcionalno stanište (Speak, 2013).

2.5.1.2 Ekonomski benefiti

Ekonomski benefiti odnose se na procenu finansijskih dobiti primenom zelenih krovova. Oni se mogu ostvariti na nivou urbane sredine i na nivou objekta. Ekonomski benefiti koji se ostvaruju na nivou urbane sredine u vezi su sa prednostima primene koncepta zelenih krovova u odnosu na primenu drugih mera u smanjenju troškova za prečišćavanje vazduha i voda, redimenzionisanje kanalizacionog sistema, zvučnu zaštitu, itd. Najznačajniji ekonomski benefiti na nivou objekta

odnose se na uštedu u potrošnji energije za ostvarivanje toplotnog komfora, produžen životni vek krovne konstrukcije i povećanje tržišne vrednosti (Berardi et al., 2014; Bianchini & Hewage, 2012b; Perini et al., 2016). Analiza ekonomskih parametara je od koristi za podsticanje ulaganja u izgradnju zelenih krovnih sistema, naročito na postojećim objektima u gusto izgrađenim urbanim sredinama.

Ušteta u potrošnji energije

Značajna korist koja se ostvaruje primenom zelenih krovova je ušteta u potrošnji energije. Unapređenje termičkih performansi posledica je stvaranja senki nad krovnom membranom i sprečavanja direktnog sunčevog zračenja, bolje izolacije i veće termalne mase krovnog sistema (Saadatian et al., 2013). U kojoj meri se može smanjiti potrošnja energije za hlađenje objekta leti i zagrevanje zimi, zavisi od klimatskih uslova, karakteristika objekta i primenjenog tipa zelenog krovnog sistema. U pogledu klimatskih uslova, rezultati sprovedenih istraživanja ukazuju na ostvarenje uštede energije primenom zelenih krovova u svim klimatskim zonama (Berardi et al., 2014). Zeleni krovovi u većoj meri doprinose smanjenju potrošnje energije u područjima sa toplom klimom, odnosno značajnija je njihova uloga u stvaranju efekta hlađenja u letnjem periodu. To je u direktnoj vezi sa ostvarenim smanjenjem temperature krovne membrane ispod zelenog krova do 20°C u odnosu na uporedni konvencionalni krov (Getter et al., 2011). Na sposobnost zelenih krovova da u velikoj meri reflektuju i apsorbuju sunčevo zračenje, ukazuje studija u kojoj su zabeležene vrednosti od 27% odbijanja, 60% apsorbovanja i 13% propuštanja sunčevog zračenja kroz sloj supstrata (Vijayaraghavan, 2016). Sadržaj vlage supstrata znatno utiče na termičke performanse zelenog krova. Istraživanja ukazuju na linearnu zavisnost povećanja toplotne provodljivosti supstrata i sadržaja vode (Ouldboukhitine et al., 2012; Perini & Rosasco, 2016; Pianella et al., 2016). Utvrđeno je da se vrednosti toplotne provodljivosti supstrata u odnosu na procenat zasićenja kreću od 0,05 W/mK do 0,7 W/mK (Ouldboukhitine et al., 2012). Zeleni krovovi znatno manje doprinose uštedi energije u hladnim klimatskim uslovima, odnosno u zimskom periodu. To potvrđeno istraživanjem u oblasti koja se odlikuje toplim letima i hladnim zimama, gde je zabeleženo smanjenje protoka toplote kroz omotač objekta u proseku za 13% u zimskom i 167% u letnjem periodu (Getter et al., 2011). Pored pozitivnih efekata (Liu & Baskaran, 2003; Tang & Qu, 2016; Zhao & Srebric, 2012), pojedina istraživanja pokazuju da zeleni krovovi nemaju uticaja u smanjenju utroška energije za zagrevanje objekata (Vijayaraghavan, 2016) ili utiču na povećanu potrošnju (Jim & Tsang, 2011; Lanham, 2007). Na osnovu ovakvih rezultata dolazi se do zaključka da je neophodno sprovesti istraživanja u lokalnim klimatskim uslovima u cilju procene termičkih performansi zelenog krova.

Karakteristike objekata imaju značajnu ulogu za uštedu energije primenom zelenih krovova. Zeleni krovovi imaju veći potencijal implementacijom na neizolovanim objektima (Berardi et al., 2014; Perini & Rosasco, 2016). Smanjenje utroška energije, koje je zabeleženo istraživanjem sprovedenim u oblasti mediteranske klime, kreće se do 2% kod izolovanih i od 37% do 48% kod neizolovanih objekata, uz smanjenje unutrašnje temperature do 4°C (Niachou et al., 2001). Spratnost direktno utiče na termičke performanse objekta sa zelenim krovom. Uzimajući u obzir da zeleni krov ima najveći značaj u smanjenju utroška energije na poslednjoj etaži, odnosno u prostoru neposredno ispod zelenog krova, koji je i najviše izložen spoljašnjim uticajima, može se zaključiti da objekti niže spratnosti ostvaruju veću uštedu u potrošnji energije celokupnog sistema. Primenom ekstenzivnog zelenog krova na prizemnom objektu ostvareno je smanjenje potrošnje energije predviđene za hlađenje, za 25% (Nurmi et al., 2013). U drugom istraživanju izvršena je procena godišnje potrošnje za hlađenje objekta sa 4 etaže, koja iznosi 9031 €, od čega 4846 € za poslednju etažu (Perini & Rosasco, 2016). Navedeni podaci ukazuju na značajan udeo prostora ispod zelenog krova, u odnosu na ostale etaže, u potrošnji energije za postizanje toplotnog komfora.

U pogledu tipologije, primenom intenzivnih zelenih krovova ostvaruju se veće uštede energije usled veće debljine sloja supstrata, a time i veće termalne mase, u odnosu na ekstenzivne zelene krovove. Na osnovu većeg broja istraživanja utvrđeno je da se ostvaruje ušteda u potrošnji energije za hlađenje objekta za 5 – 10% primenom ekstenzivnih, a 10 – 15% primenom intenzivnih zelenih krovova (Perini & Rosasco, 2016). Uticaj primenjenih biljnih vrsta na termičke performanse zelenog krova istražen je na primerima ekstenzivnih zelenih krovova u različitim klimatskim zonama (Ascione et al., 2013). Rezultati ukazuju na značajnije smanjenje potrošnje energije za hlađenje objekata, primenom visoke trave u odnosu na vrste seduma, u oba regiona. Visoka trava smanjuje potrošnju energije za 8,2%, odnosno za 8,5%, u poređenju sa biljkama seduma. Ušteda u potrošnji energije za hlađenje se povećava primenom biljaka veće visine, i veće površine listova i gustine pokrivenosti (Getter et al., 2011; Sailor et al., 2012) što se izražava indeksom lisne površine (eng. *Leaf Area Index - LAI*). Na taj način moguće je ostvariti smanjenje potrošnje energije do 60% primenom zelenih krovova u odnosu na objekat sa konvencionalnim krovom (Olivieri et al., 2013).

Zeleni krovovi u funkciji dodatne izolacije, direktno utiču na unapređenje termičkih performansi objekata, odnosno na uštedu u potrošnji energije, a time indirektno na poboljšanje mikroklimе u urbanim sredinama. To se takođe može izraziti preko finansijske dobiti u korist primene zelenih krovova u odnosu na sprovođenje drugih mera u regulisanju mikroklimе gradova.

Produžen životni vek krovne konstrukcije

Primenom zelenog krovnog sistema obezbeđuje se produžen životni vek krovne konstrukcije. Ekonomski benefiti ogledaju se u smanjenju troškova za održavanje, popravke i zamene krovnih elemenata zahvaljujući njegovoj zaštitnoj ulozi. Slojevi zelenog krova umanjuju mogućnosti oštećenja krovne membrane koja nastaju usled UV zračenja, kiselih kiša, leda, zagađenja vazduha i dnevnih promena temperature (Perini & Rosasco, 2016; Rowe, 2011). Velike dnevne temperaturne razlike u letnjim mesecima dovode do širenja i skupljanja krovnih membrana na konvencionalnim krovovima, što doprinosi njihovom propadanju. U poređnom analizom konvencionalnog i zelenog krova, pri maksimalnom sunčevom zračenju u toku dana, zabeležene su temperature membrana od 70°C i 25°C, što potvrđuje zaštitnu ulogu zelenog krova i obezbeđuje trajnost krovne membrane (Rowe, 2011). S obzirom na činjenicu da je životni vek konvencionalnog krova približno 20 godina, procenjuje se da bi životni vek zelenog krova bio 40 – 55 godina (Berardi et al., 2014; Bianchini & Hewage, 2012b; Perini & Rosasco, 2016; Rowe, 2011). Ova procena se bazira prvenstveno na empirijskim dokazima, uzimajući u obzir da su savremeni zeleni krovovi relativno nova praksa. Istraživanje sprovedeno u Monte Karlu, koje se odnosi na uporednu analizu krovnih sistema pre i nakon implementacije zelenog krova, ukazuje na duplo veću finansijsku dobit primenom zelenog krova, usled pretpostavljenog dvostruko dužeg životnog veka (Bianchini & Hewage, 2012b). Procenjeno je da se novčana sredstva za redovnu obnovu konvencionalnog krova, koja bi trebalo da se obavlja na 20 godina, mogu uložiti za izgradnju zelenog krova, koji će trajati duže od 40 godina. Uzimajući u obzir životni vek ekstenzivnog i intenzivnog zelenog krova od 50 godina i uporednog krova od 30 godina, u drugom istraživanju je, usled smanjenja troškova održavanja, procenjena finansijska dobit u prvoj godini od 13.894 € za ekstenzivni, odnosno 13.246 € za intenzivni zeleni krov (Perini & Rosasco, 2016).

Povećanje tržišne vrednosti objekata sa zelenim krovovima

Povećanje tržišne vrednosti objekata primenom zelenih krovova može se ostvariti u urbanim sredinama, imajući u vidu da prirodna okruženja doprinose povećanju cena nekretnina (Bianchini & Hewage, 2012b; Conway et al., 2010). Iako zeleni krovovi ne mogu u potpunosti da zamene prirodne predele, njihova primena je od velikog značaja u gusto izgrađenim urbanim sredinama usled nedovoljne površine pod zelenilom. Unapređenje stanja u životnoj sredini poboljšanjem kvaliteta vazduha, zaštitom od buke, stvaranjem dodatnog korisnog prostora, itd., obezbeđuje implementacija zelenih krovova na nefunkcionalnim ravnim krovovima. Istraživanje sprovedeno za teritoriju grada Njujorka potvrđuje veću vrednost objekata sa integrisanim zelenim krovovima u proseku za 16,2% (Ichihara & Cohen, 2011). Tip zelenog

krovnog sistema ima značajnu ulogu prilikom formiranja cena na tržištu, i istraživanja ukazuju da implementacija ekstenzivnih zelenih krovova povećava finansijsku vrednost objekata za 2 – 5%, a intenzivnih zelenih krovova za 10 – 20% (Bianchini & Hewage, 2012b). Namena zelenog krova takođe utiče na tržišnu vrednost nekretnina. Prema istraživanju intenzivnih zelenih krovova, utvrđeno je da rekreativni prostori povećavaju cenu objekata za 20%, a proizvodni zeleni krovovi, odnosno urbane farme za 7% (Tomalty et al., 2010).

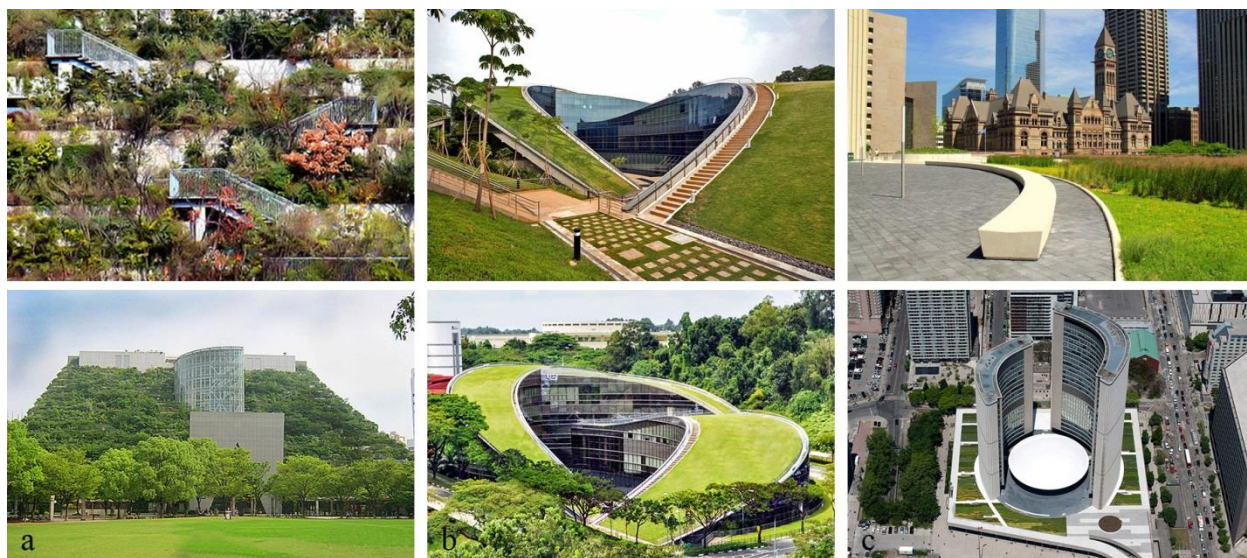
Prilikom procene uticaja implementacije zelenih krovova na povećanje vrednosti objekata, potrebno je uzeti u obzir stanje na lokalnom tržištu nekretnina u okviru različitih gradskih zona i karakteristike objekata koje se odnose na potencijalni doprinos zelenih krovova. Na osnovu studije o utvrđivanju karakteristika objekta koje utiču na tržišnu vrednost, prepoznate su tri relevantne za integrisano zelenilo (Perini & Rosasco, 2016). One se odnose na estetiku objekta, nivo buke i zagađenja vazduha, i postojanje zelenila u njegovom neposrednom okruženju. Uzimajući u obzir osam gradskih zona, rezultati istraživanja ukazuju da integrisano zelenilo doprinosi povećanju tržišne vrednosti objekta od 3,8% u poluperifernom urbanom pojasu do 8,2% u istorijskom jezgru, u pogledu estetike objekta; povećanje od 0,3% u istorijskom jezgru do 12,7% u poluperifernoj zoni, vezano za prisustvo zagađenja; i povećanje od 0,8% u perifernoj zoni do 3,5% u poluperifernoj oblasti u pogledu postojanja i dostupnosti zelenila u okruženju. Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da procena vrednosti objekta sa integrisanim zelenim krovom predstavlja složenu analizu kojom treba obuhvatiti veliki broj relevantnih parametara. Postizanje ove koristi značajno je za ulaganje u izgradnju zelenih krovova, a opravdanost viših cena nekretnina ogleda se u činjenici da nakon perioda predviđenog za povratak investicionih ulaganja, na osnovu kvantitativnog vrednovanja ostalih benefita, objekti sa zelenim krovovima u toku dalje eksploatacije obezbeđuju ekonomske dobiti.

2.5.1.3 Socijalni benefiti

Doprinos zelenih krovova, sa socijalnog aspekta, ogleda se u razvoju fizičkih aktivnosti stanovnika i njihovoj socijalizaciji (za prohodne krovove), poboljšanju vizuelnog doživljaja i slike grada, i unapređenju zdravstvenog stanja stanovnika. Socijalni benefiti zelenih krovova najmanje su zastupljeni u dosadašnjim istraživanjima, u odnosu na ekološke i ekonomske, što je posledica kvalitativnih pokazatelja njihovih vrednosti. Implementacija, prevashodno, intenzivnih zelenih krovovnih sistema omogućava ostvarivanje socijalnih benefita, usled činjenice da se grade kao prohodni krovovi, vizuelno su dostupni širem okruženju i sa izraženijim su efektima na zdravlje stanovnika u odnosu na ekstenzivne zelene krovne sisteme.

Dodatni prostor za rekreaciju i socijalnu interakciju

Izgradnjom intenzivnih zelenih krovova obezbedio bi se dodatni prostor za rekreaciju i socijalnu interakciju. Uzimajući u obzir da su intenzivni sistemi po karakteristikama slični parkovima, oni mogu imati ovu namenu ukoliko su dostupni javnom korišćenju (sl. 2.11) (Bianchini & Hewage, 2012b).



Slika 2.11. Zeleni krovovi kao prostori za socijalne interakcije: a) Zgrada uprave gradskog okruga – ACROS Fukuoka Prefecture, Fukuoka, Japan (“ACROS Fukuoka”, 2011; Yoneda, 2011), b) Škola umetnosti, Nanjang, Singapur (Sessa, 2015; “Walakable green roofs”, 2014), c) Gradska većnica, Toronto, Kanada (Harris, n.d.; “Nathan Philips Square”, n.d.)

Stvaranjem otvorenog prostora za rekreaciju, u okviru prirodnog okruženja, unapređuju se fizičke aktivnosti stanovnika i jačaju socijalni kontakti. U istraživanju koje potvrđuje uticaj urbanog zelenila na povećanje nivoa fizičke aktivnosti, ukazano je na neophodnost njegovog postojanja usled činjenice da je 60% populacije fizički neaktivno, što predstavlja glavni rizik po zdravlje (Goode, 2006). Urbano zelenilo pruža različite mogućnosti korišćenja prostora, koje se mogu odnositi i na zelene krovove, kao što su ostvarivanje veze sa prirodom na dnevnom nivou, vežbanje i bavljenje sportom, relaksacija, društvena okupljanja, itd. Efektivno korišćenje urbanog zelenila obezbeđuje se ukoliko je njegova udaljenost do 2 km (Goode, 2006). S obzirom na činjenicu da se socijalne interakcije obavljaju češće u prirodnim okruženjima i da osećaj zajedništva jača učestalim korišćenjem otvorenih prostora pod zelenilom (Kearney, 2006), intenzivni zeleni krovovi predstavljaju potencijal za njihovo ostvarivanje u gradskim jezgrima. Uspех zelenih krovova u ispunjavanju socijalnih potreba zavisi od više faktora koji se odnose na stepen prirodnosti zelenog krova, biodiverzitet i održavanje, što utiče na atraktivnost prostora i privlačenje korisnika (Zhou & Parves Rana, 2012). Prevažilaženje prepreka u pogledu očuvanja postojećih zelenih površina, kao i velikih investicionih troškova izgradnje intenzivnih zelenih

krovova, može se postići boljim razumevanjem njihovog značaja, prvenstveno kao prostora za obavljanje fizičkih aktivnosti, kroz kvantitativnu ocenu vrednosti, odnosno kroz ekonomsku analizu opravdanosti njihovog postojanja (Goode, 2006). Na osnovu istraživanja sprovedenog u Torontu, utvrđeni su prosečni investicioni troškovi transformisanja braunfield lokacija u parkove, koji iznose 20 \$/m². Imajući u vidu da intenzivni zeleni krovovi ne obezbeđuju isti nivo koristi kao gradski parkovi, procenjeno je da bi njihovom implementacijom došlo do uštede od 30% do 70% vrednosti preuređenja zapuštenih površina u parkove (Bianchini & Hewage, 2012b).

Vizuelni doživljaj i slika grada

Vizuelni doživljaj i slika grada odnose se na estetsku komponentu objekata i urbane sredine. Od mnogobrojnih održivih mera unapređenja objekata, jedino zeleni krovovi, pored sistema vertikalnog ozelenjavanja, imaju vizuelni uticaj (Jungels et al., 2013). U cilju rasprostranjenosti upotrebe zelenih krovova potrebno je obezbediti vidljivost, što se postiže izgradnjom, uglavnom, intenzivnih krovnih sistema sa visokim zelenilom. Vizuelni doživljaj je od suštinske važnosti za njihovu široku primenu u projektovanju objekata. Brojna istraživanja ukazuju na pozitivan efekat urbanog zelenila na psihološko blagostanje stanovnika, imajući u vidu da prisustvo vegetacije pruža raznovrsnost u doživljaju boja, oblika, tekstura i zvuka (MacKerron & Mourato, 2013; Miler et al., 2015). U gusto izgrađenim urbanim sredinama, zeleni krovovi mogu imati uticaj na ublažavanje stresa i mentalnog zamora, povećanje pažnje i produktivnosti, ostvarivanje zadovoljstva, unapređenje edukativnih procesa, itd. (Al Horr et al., 2016; Wang et al., 2014; Woo et al., 2009; Zhou & Parves Rana, 2012). Pored ostvarivanja socijalnih benefita koji se odnose na pojedinačne građevine sa integriranim zelenim krovovima, urbana sredina može stvoriti identitet implementacijom vegetativnih sistema na postojećim objektima ukoliko se ovi sistemi primene u velikoj meri. Na slici 2.12 prikazani su primeri objekata sa integriranim zelenilom koji su stvorili, odnosno koji će stvoriti identitet u svom okruženju. Estetska komponenta zelenih krovova često se izostavlja u analizama benefita zbog nepostojanja adekvatnih kvantitativnih mera vrednovanja (Bianchini & Hewage, 2012b; Nurmi et al., 2013). Problemi koji nastaju odnose se na: neodređenost dobrog estetskog kvaliteta, čiji se koncept menja tokom vremena i varira između različitih kultura, ali i unutar istih društvenih zajednica; nepostojanje mogućnosti procene vrednosti jednog predela nezavisno od njegovog okruženja; i različito opredeljenje stanovnika u pogledu značaja pojedinih karakteristika njihovog životnog i radnog prostora (Nurmi et al., 2013). Za procenu estetske koristi pejzaža moguće je primeniti „Metodu utvrđivanja preferencija“ (Nurmi et al., 2013; Wise et al., 2010). Navedena metoda podrazumeva anketno istraživanje koje obuhvata pitanja voljnosti pojedinaca da plate dodatne troškove za isti životni prostor u različitim okruženjima. Zaključeno je da voljnost ispitanika da

plate više može predstavljati vrednost estetike. Rezultati primene ove metode, u okviru studije koja se odnosi na procenu estetske koristi pejzaža, ukazuju na povećanje cena objekata u blizini parkova za 6%, odnosno za 8% ukoliko stambena jedinica ima orijentaciju ka zelenim površinama (Bianchini & Hewage, 2012b). Na osnovu ovih rezultata sprovedeno je istraživanje procene benefita intenzivnih zelenih krovova, koje ukazuje da bi njihovom izgradnjom cena objekata mogla da bude veća za 5% do 8% (Bianchini & Hewage, 2012b).



Slika 2.12. Stvaranje identiteta urbanih sredina primenom zelenih krovova: a) Objekti „Vertikalna Šuma“ (ita. *Bosco Verticale*), Milano, Italija (“The incredible vertical forest”, 2016), b) Usvojeni projekat za izgradnju najvećeg zelenog krova na svetu površine 12,15 ha, Kupertino, Kalifornija (Prince, 2015)

Unapređenje zdravstvenog stanja stanovnika

Unapređenje zdravstvenog stanja stanovnika direktno zavisi od obezbeđivanja ekosistemskih koristi, što se u velikoj meri postiže postojanjem otvorenih površina pod zelenilom. Utvrđeno je da zeleni krovovi mogu podstaći fizičku aktivnost i socijalnu interakciju, i pozitivno uticati na psihološko blagostanje stanovnika. Istraživanja ukazuju da zelenilo ima povoljan uticaj na sprečavanje razvoja mnogobrojnih bolesti i obezbeđuje produžen životni vek (Zhou & Parves Rana, 2012). Sprovedene studije potvrđuju da prisustvo zelenila u bolničkom okruženju ubrzava oporavak pacijenata, naročito ukoliko ostvaruju vizuelni kontakt sa prirodnom sredinom (Nurmi et al., 2013; Wang et al., 2014).

Uzimajući u obzir da zdravlje predstavlja „stanje potpunog fizičkog, mentalnog i socijalnog blagostanja, a ne samo odsustvo bolesti ili onesposobljenosti“ (Zhou & Parves Rana, 2012), neophodno je obezbediti sve uslove za poboljšanje stanja u životnoj sredini, što u velikoj meri zavisi od unapređenja zelene infrastrukture. Obezbeđen pristup zelenim površinama, uz sve pogodnosti koje se ostvaruju u pogledu zaštite i poboljšanja zdravstvenog stanja, ne mora uvek da bude prednost, i u velikoj meri zavisi od karakteristika urbanih područja i strukture stanovništva u pogledu rase, etničke i klasne pripadnosti (Wolch et al., 2014). Rasne i etničke manjine, kao i građani nižeg ekonomskog statusa naseljavaju uglavnom područja sa manje

profitabilnim funkcijama koja se odlikuju narušenim kvalitetom životne sredine. U cilju unapređenja postojećeg stanja, vrše se ulaganja u promenu fizičkih karakteristika degradiranih područja, što dovodi do povećanja njihove tržišne vrednosti, usled čega dolazi do raseljavanja inicijalnog stanovništva. Ovaj proces se naziva „džentrifikacija“ i podrazumeva postizanje negativnih socijalnih efekata, ostvarivanjem, u ovom slučaju, ekoloških benefita. Jedan od primera džentrifikacije, u pogledu primene zelenih krovova, odnosi se na transformaciju zapuštene železničke infrastrukture – „Visoka linija“ (eng. *“High line”*) u promenadni park na području grada Njujorka (Wolch et al., 2014) (sl. 2.13). Unapređenje ekoloških uslova dovelo je do povećanja životnog standarda, zbog čega je postojeće stanovništvo istisnuto usled ekonomskih i socijalnih pritisaka. Proces džentrifikacije, kao posledica remedijacije, može se ublažiti primenom strategije „Samo ozeleniti dovoljno“ (eng. *“Just green enough”*) (Curran & Hamilton, 2012; Wolch et al., 2014). Ova strategija odnosi se na pažljivo balansirani postupak unapređenja zelene infrastrukture kako bi se postigli ekološki benefiti i ostvarilo poboljšanje zdravstvenog stanja stanovnika, a sa druge strane izbegao nepovoljan socijalni razvoj područja. To ukazuje na sprovođenje kompleksne analize prilikom razmatranja primene zelenih krovova u cilju postizanja socijalne održivosti.



Slika 2.13. Remedijacija zapuštene železničke infrastrukture (*High line*) u Njujorku implementacijom zelenih krovova: a) izgled pre transformacije (Nunez, 2015), b) izgled nakon izgradnje promenadnog parka (*“Elevated thinking”*, 2014)

2.5.2 Ograničenja primene zelenih krovova

Iako su prednosti zelenih krovova podržane brojnim primerima iz prakse i naučnim studijama, kao i razvijenim i široko raspoloživim tehnologijama, javljaju se izvesna ograničenja u njihovoj primeni, koja su najviše izražena u zemljama u razvoju. Prepreke u prihvatanju i implementiranju koncepta zelenih krovova u najvećoj meri se odnose na neupućenost javnosti i kreatora politika u vezi sa dugoročnim koristima njihove primene. Pored ograničenja razmatranih sa socijalnog stanovišta, neophodno je uzeti u obzir i ekonomske, tehničke i

ekološke prepreke. Analiza ograničenja, uz davanje preporuka za njihovo prevazilaženje, imala bi značajnu ulogu u promociji koncepta zelenih krovova i njihovoj široj upotrebi.

Ekonomska ograničenja

Ekonomska ograničenja primene zelenih krovova odnose se na znatno veće investicione troškove sistema u pogledu izgradnje, održavanja i krajnjeg odlaganja komponenti, u odnosu na konvencionalne krovne sisteme. Ova prepreka može se prevazići kroz analizu troškova i koristi (eng. *cost-benefit analysis* - CBA), uzimajući u obzir sve potencijalne koristi primene zelenih krovova na nivou objekta i na nivou urbane sredine.

Najistaknutiji ograničavajući faktor prihvatanja i primene zelenih krovova predstavljaju cena integrisanja sistema u objekat. Uzimajući u obzir remodelovanje krovnih konstrukcija, investicione troškove izgradnje obuhvata cena uklanjanja postojećeg krovnog sistema, cena zelenog krova i ugradnje. Na osnovu sprovedenih istraživanja procenjuje se da troškovi izgradnje ekstenzivnih zelenih krovova mogu biti i do tri puta veći u odnosu na tradicionalne krovne sisteme (Juric, 2016). Ukupna cena zavisi od više faktora, kao što su tip zelenog krova, lokacija/država, angažovanje ekspertize, radne snage i opreme. Analizom cene implementacije standardnog ekstenzivnog zelenog krova u različitim zemljama, došlo se do podataka da je cena u Kanadi tri puta veća u odnosu na cenu istog krova u Indiji (Bianchini & Hewage, 2012a). U vezi sa intenzivnim zelenim krovnom sistemom, dodatni troškovi izgradnje uključuju angažovanje pejzažnih arhitekata (Juric, 2016). Pored velikih investicija za izgradnju zelenog krova, dodatni troškovi se osvaruju i u fazi eksploatacije održavanjem krovnog sistema i na kraju životnog ciklusa krajnjim odlaganjem. Složenost procene povratka investicija ogleda se u neophodnosti kvantifikovanja svih potencijalnih benefita na nivou objekta i na nivou građene sredine. Upravo iz tog razloga, analiza dosadašnjih istraživanja ukazuje na oprečne rezultate. U studiji sprovedenoj u Mičigenu, koja se odnosi na primenu ekstenzivnog zelenog krova, procenjeno je da se povratak investicija ostvaruje u periodu od 11 godina, uzimajući u obzir nisku cenu implementacije uz visok nivo postizanja ekoloških benefita (Vijayaraghavan, 2016). Utvrđivanjem većih investicionih troškova zelenog krova za 27% u odnosu na konvencionalni krov u Vašingtonu, uz procenu ostvarivanja benefita tokom 40 godina, proračunata neto sadašnja vrednost – NSV (eng. *net present value* – NPV) zelenog krova je oko 25% viša u odnosu na konvencionalni krov (Niu et al., 2010). Analizom životnog ciklusa zelenog krova u trajanju od 60 godina, uz ostvarivanje benefita produženog životnog veka krova, uštede energije i smanjenja takse za odvođenje padavina, procenjeno je da zeleni krov i dalje ima veću cenu za 7% od tradicionalnog krova (Vijayaraghavan, 2016). Sprovedenjem CBA analize životnog ciklusa ekstenzivnog zelenog krova u pogledu ostvarivanja benefita sa aspekta upravljanja atmosferskim

padavinama, autori su utvrdili veću cenu zelenog krova u odnosu na uporedni krov za 10 – 15% NSV (Carter & Keeler, 2008). Prikazani rezultati istraživanja ukazuju na sagledavanje samo pojedinih benefita u konkretnim uslovima okruženja, na osnovu kojih se ne može proceniti ukupna vrednost zelenih krovova, odnosno vreme povratka investicija (eng. *pay-back period - PBP*). Značajni benefiti zelenih krovova iskazuju se kvalitativnim vrednostima, a pojedine benefite ostvarene sa ekološkog aspekta, poput smanjenja efekta urbanih toplotnih ostrva, smanjenja buke, poboljšanja kvaliteta vazduha, itd. teško je kvantifikovati, i s tim u vezi proceniti finansijske koristi koje bi imali vlasnici objekata. Neophodno je opravdati velika finansijska ulaganja u izgradnju zelenih krovova zato što ona imaju značajnu ulogu u procesu odlučivanja. Na osnovu velikog broja potencijalnih benefita zelenih krovova, može se izvesti opšti zaključak da oni imaju veću vrednost od potencijalnih gubitaka, i da je izvestan povratak investicija u njihovu izgradnju, u kraćem ili dužem vremenskom periodu (Vijayaraghavan, 2016).

Održavanje zelenih krovova takođe može predstavljati ograničenje u njihovoj primeni. Za uspostavljanje i uspešnost zelenog krova najznačajnija je prva godina, u kojoj se zahteva najviši nivo održavanja. Troškovi održavanja odnose se na: potrebe za navodnjavanjem, naročito intenzivnih zelenih krovova, ali i u eksploataciji ekstenzivnih sistema tokom sušnih perioda; povremeno đubrenje, koje dovodi do razvoja korova što zahteva redovnu kontrolu stanja; i obnovu, tj. sadnju vegetacije na mestima na kojima je oštećen biljni materijal (Juric, 2016; Vijayaraghavan, 2016). Smanjenje intervala navodnjavanja može se postići odabirom vegetacije koji se svodi na par vrsta sukulenata (Vijayaraghavan, 2016). Ograničena raznovrsnost, s druge strane, nepovoljno utiče na estetsku komponentu zelenog krova. Češća fertilizacija podstiče neželjen razvoj vegetacije, dok nizak nivo nutrijenata ugrožava njen opstanak. U cilju smanjenja troškova održavanja, preporučuje se odgovarajući balans komponenti u strukturi supstrata ili kontrolisana fertilizacija uz redovnu proveru stanja zelenog krova (Emilsson et al., 2007). Nivo održavanja uopšteno zavisi od tipa zelenog krova. Relativno jednostavniji zahtevi u pogledu ekstenzivnog zelenog krovnog sistema odnose se na proveru stanja biljaka, uklanjanje korova i proveru drenaže. Preporučuje se provera stanja najmanje tri puta godišnje u toku prve dve godine od uspostavljanja ekstenzivnog zelenog krova, što se u daljem periodu smanjuje na dva puta godišnje (Juric, 2016). Složenost strukture intenzivnog zelenog krova uslovljava detaljnije zahvate u pogledu održavanja. Diverzitet biljaka i irigacioni sistem imaju najvećeg uticaja na povećanje stepena održavanja, a time i na dodatne troškove (Juric, 2016). Održavanje podrazumeva i uklanjanje osušenih delova biljaka i viška organskog sadržaja iz supstrata. Neophodna je provera stanja najmanje četiri puta godišnje, naročito u prolećnoj i jesenjoj sezoni koje predstavljaju najpogodnije periode za razvoj korova. Preporuke za smanjenje razvoja

krova u zelenom krovnom sistemu odnose se na sprečavanje izloženosti supstrata direktnom sunčevom zračenju, što se postiže dobrom pokrivenošću koju obezbeđuju sedumi ili visoka trava; visokim nivoom diverziteta; i uklanjanjem starih biljaka pre sejanja, koje su fiziološki zrele, odnosno sposobne da klijaju (Nagase et al., 2013).

Odlaganje komponenti zelenog krova na kraju životnog ciklusa zahteva kompleksnu analizu u pogledu ljudskih i energetskih resursa, cene i uticaja na životnu sredinu. Iako je u mnogim studijama primenjena CBA analiza životnog ciklusa za procenu ukupne cene zelenog krovnog sistema, nijedna od njih ne uzima u obzir cenu odlaganja zelenog krova (Vijayaraghavan, 2016). Faza odlaganja uopšteno podrazumeva demontiranje zelenog krovnog sistema i transport do deponija. U pogledu smanjenja negativnih uticaja na okruženje i smanjenja troškova odlaganja, preporučuje se reciklaža ili ponovna upotreba komponenti zelenog krova, od kojih se vegetacija može koristiti kao kompost ili odložiti kao biorazgradivi otpad. Sloj supstrata se takođe može uspešno koristiti u druge svrhe, dok se za plastične materijale u okviru drenažnog i filterskog sloja preporučuje tretman (Vijayaraghavan, 2016). Procena udela finansijskih ulaganja za fazu odlaganja zelenog krova u odnosu na ukupnu cenu, sprovedena je u okviru istraživanja najčešće korišćenih komponenti na području Italije. Rezultati ukazuju da cena odlaganja zelenog krova čini samo 4,6% ukupne cene životnog ciklusa, dok troškovi izgradnje čine 36,1% i održavanja 59,3% (Peri et al., 2012).

Tehnička ograničenja

Tehnička ograničenja za implementaciju zelenih krovova odnose se na smanjenja njihovih performansi usled primene neadekvatnog dizajna za konkretne klimatske uslove i nemogućnost izgradnje zelenih krovova u odnosu na karakteristike objekata, u pogledu lokacije i opterećenja konstrukcije. Iako se zeleni krovovi uspešno primenjuju u urbanim sredinama u svim klimatskim zonama (Berardi et al., 2014), na njihovu efikasnost utiče specifičan dizajn koji nema iste efekte primene u različitim klimatskim područjima, što treba razmotriti prilikom određivanja prioritarnih uloga zelenih krovova. Lokacijski uslovi objekta, koje je neophodno ispuniti za uspešnu primenu zelenog krova, odnose se na orijentaciju krova, kojom se obezbeđuje izloženost krovnih površina sunčevom zračenju, i izbegavanje stvaranja senki nad krovom od objekata u neposrednom okruženju, koje bi stvorile uslove celodnevnog senčenja krova ili njegovih delova na kojima je planirana izgradnja zelenog krovnog sistema. Nepovoljna orijentacija krova i stvaranje senki ograničavaju mogućnosti uređenja krovnih površina ili u potpunosti onemogućavaju primenu zelenih krovnih sistema, što treba analizirati kao preduslov za njihovo projektovanje.

Uzimajući u obzir značaj primene zelenih krovova na postojećim objektima u urbanim sredinama, važan ograničavajući faktor predstavlja dodatno opterećenje konstrukcije. Ukupnoj težini zelenog krova najviše doprinosi sloj supstrata u zasićenom stanju. U zavisnosti od tipologije zelenog krova, težina sistema se kreće u granicama od oko 50 do 1300 kg/m² (Optigreen, n.d.), što može predstavljati značajno dodatno opterećenje i ograničiti primenu naročito na starijim objektima, usled nemogućnosti provere njihove nosivosti (Castleton et al., 2010). Ekstenzivni zeleni krovovi se uspešno mogu primeniti na postojećim objektima zbog relativno male težine koja ne ugrožava konstrukcijsku nosivost i stabilnost. U prilog tome govore podaci da se najčešće grade kao neprohodni i da se rasterećenje konstrukcije može ostvariti uklanjanjem završnog sloja preko krovne membrane. S obzirom činjenicu da završni sloj, u funkciji zaštite hidroizolacije, najčešće čine krovne ploče, koje su prosečne težine 160 – 220 kg/m², ili šljunak, težine 90 – 150 kg/m², zaključuje se da u oba slučaja može biti zamenjen ekstenzivnim zelenim krovnim sistemom bez dodatnog opterećenja konstrukcije (Castleton et al., 2010). U pogledu primene intenzivnih zelenih krovova na postojećim objektima, veoma često je potrebno dodatno ojačanje nosećih elemenata konstrukcija, što utiče na povećanje investicionih troškova, a u nekim slučajevima, posebno kod starih objekata, nije moguće primeniti ovaj krovni sistem.

Socijalna ograničenja

Socijalna ograničenja se odnose na lične percepcije stanovnika nerazvijenih zemalja i zemalja u razvoju, i njihovo prevazilaženje ima najveći značaj za prihvatanje koncepta zelenih krovova i široku primenu. Na osnovu sprovedenih istraživanja utvrđeno je nekoliko ključnih socijalnih ograničenja (Juric, 2016; Peck et al., 1999). Primarnu prepreku predstavlja nedostatak znanja i svesti od strane javnosti, graditelja, kreatora politika, stručnjaka iz oblasti dizajna i istraživača, što može biti uzrok pogrešnog razumevanja i neprihvatanja koncepta zelenih krovova. Ograničenje primene zelenih krovova ogleda se i u nedostatku finansijskih podsticaja koji bi podržali njihovu izgradnju u urbanim sredinama uprkos ostvarenju brojnih socijalnih koristi. Ekonomske prepreke u pogledu različitih vrsta finansijskih ulaganja, koja obuhvataju troškove izgradnje, održavanja i odlaganja, odnosno ukupnu cenu životnog ciklusa zelenog krova, dovode do nerazumevanja o direktnim i dugoročnim ekonomskim benefitima, što je u suprotnosti sa preferencijama donosioca odluka za investiranje u kratkoročne koristi zarad ostvarivanja trenutnih finansijskih dobiti. Nedostatak lokalnih istraživanja i konkretnih naučnih potvrda u vezi sa tehničkim karakteristikama odgovarajućih zelenih krovnih sistema, u pogledu klimatskih uslova, lokacije i vegetacije, predstavlja rizik za ulaganje jer može dovesti do neuspeha zelenih krovova. Neznanje o pogodnim komponentama strukture zelenog krova u konkretnim uslovima

okruženja posledica je sprovođenja studija u samo tridesetak zemalja, prevashodno u Evropi i SAD-u (Blank et al., 2013). Iako su istraživanja o prednostima primene zelenih krovova uticala na proširenje znanja, bolje razumevanje i unapređenje dizajna u nekoliko poslednjih decenija, navedena socijalna ograničenja mogu se prevazići u najvećoj meri kroz procese obrazovanja i informisanja (Juric, 2016).

Ekološka ograničenja


Ekološka ograničenja primene zelenih krovova odnose se na korišćenje materijala koji u procesu proizvodnje stvaraju veliku količinu ugrađene energije. To se prevashodno odnosi na polimerne materijale, koji uopšteno čine sastavni deo svih elemenata strukture zelenog krova, izuzev supstrata i vegetacionog sloja. Njihova primena je opravdana usled karakteristika koje se odnose na malu težinu, trajnost i otpornost na ekstremne uslove okruženja. Na osnovu istraživanja primene recikliranih materijala u okviru ostvarivanja ekoloških benefita, utvrđeno je da polimerne materijale karakteriše mogućnost ponovne upotrebe i reciklabilnost, što u značajnoj meri smanjuje negativne uticaje na životnu sredinu (Bianchini & Hewage, 2012a). U cilju prevazilaženja ekoloških ograničenja i postizanja održivosti, istražuju se alternativni materijali koji bi mogli uspešno da zamene polimere u tehnologiji zelenih krovova (Pérez et al., 2012b).

2.6 Novi trendovi u tehnologiji zelenih krovova

Brojnim sprovedenim studijama potvrđene su višestruke koristi implementacije zelenih krovova. Težnja za unapređenjem njihovih performansi ostvaruje se istraživanjima novih alternativnih primena u poslednjih nekoliko godina. Jednu od mogućnosti predstavlja hibridni sistem fotonaponskih panela (eng. *photovoltaic panels – PV panels*) i zelenih krovova, koji pored toga što obezbeđuje ostvarivanje benefita zelenih krovova, poboljšava efikasnost solarnih panela (Lamnatou & Chemisana, 2015) (tabela 2.5). Efikasnost PV panela zavisi od njihove temperature koja je uslovljena temperaturom okruženja (Kaiser et al., 2014). Uzimajući u obzir da se bolje performanse ostvaruju u „hladnijoj“ sredini, može se zaključiti da su zeleni krovovi bolje rešenje za instaliranje solarnih panela u odnosu na konvencionalne krovove, usled sposobnosti rashlađivanja okolne sredine vršenjem procesa evapotranspiracije u letnjim mesecima. Sa druge strane, PV paneli delimičnim senčenjem zelenih krovova pozitivno utiču na smanjenje visokog nivoa evaporacije u vrelim letnjim danima, naročito u klimatskim oblastima koje karakteriše visoka vlažnost (Vijayaraghavan, 2016). Rezultati istraživanja sprovedenog u Španiji, koje se odnosi na utvrđivanje efikasnosti hibridnog sistema primenom različitih biljnih materijala, ukazuju na unapređenje performansi primenom gazanije za 1,29% i primenom seduma za 3,33%, u odnosu na instalaciju panela na konvencionalnom krovu (Chemisana & Lamnatou, 2014).

Studija koja takođe potvrđuje efikasnost PV panela na zelenom krovu u poređenju sa slobodnostojećim sistemom, pokazuje povećanje proizvodnje električne energije za 8,3%, na teritoriji Hong Konga (Hui & Chan, 2011). S obzirom na razvijenost i široku primenu PV tehnologije u pojedinim zemljama, zeleni krovovi u okviru hibridnog sistema dodatno unapređuju performanse objekata. Za sveobuhvatnije sagledavanje značaja primene hibridnog sistema, neophodno je sprovesti istraživanja koja se odnose na uticaj primene različitih vrsta vegetacije na efikasnost PV panela, efekte u različitim klimatskim zonama, uzimajući u obzir tehnička ograničenja u pogledu dodatnog opterećenja objekta novim sistemom i ukupnu cenu životnog ciklusa kroz ostvarene benefite.

Tabela 2.5. Karakteristike hibridnog sistema – fotonaponski paneli i zeleni krov (Optigreen, n.d.)

Karakteristike	Vrednost	Izgled izvedenog sistema
Težina (kg/m ²)	120-140	
Visina (mm)	≥ 80	
Nagib (°)	≤ 3 (≤ 5%)	
Vrsta vegetacije	Sedum	
Zadržavanje vode (%)	55	
Ekološka vrednost (1-5)	2	
Nivo održavanja (1-5)	1	
Faktor cene (1-5)	5	

U cilju postizanja održivosti, istražuje se korišćenje sive vode za navodnjavanje zelenih krovova (Van Mechelen et al., 2015). Sivu vodu predstavlja otpadna voda iz domaćinstva, koja se uz odgovarajući nivo prečišćavanja može ponovo upotrebiti za održavanje zelenih krovova. Uzimajući u obzir da siva voda čini 65% – 90% generisanih komunalnih otpadnih voda (Katukiza et al., 2014), značajno je istražiti mogućnosti njene primene kroz proces recirkulacije. Na taj način mogu se ispuniti zahtevi za navodnjavanjem, što bi uticalo na veću raznovrsnost vegetacije u odnosu na pretežnu primenu sukulenata, koji opstaju u sušnim uslovima. Prisustvo nutrijenata u sivoj vodi utiče na smanjenje potreba za đubrenjem. Usled postojanja veoma malog broja sprovedenih studija, rezultati primene nisu pokazali pozitivne efekte. Istraživanjem upotrebe sive vode na zelenim krovovima, čije vegetacione slojeve čine biljke zimzelen i ljulj, utvrđeno je smanjenje toplotne otpornosti za 30% i fiziološka oslabiljenost, naročito zimzelena. U drugoj studiji, koja se odnosi na kratkoročno ispitivanje efekata sive vode na zelene krovove, rezultati pokazuju smanjenje nivoa organskog zagađenja nakon propuštanja vode kroz sloj supstrata, što ukazuje na ulogu zelenih krovova kao prečistača otpadnih voda iz domaćinstva (Vijayaraghavan, 2016). Autori su ipak izrazili sumnju u efikasnost korišćenja sive vode za opstanak vegetacije. S obzirom da njen sadržaj varira u zavisnosti od nepoznatih faktora i aktivnosti, postoje poteškoće u uopštavanju efekata. Jedan od načina smanjenja negativnog

uticaja sive vode na razvoj biljaka je sakupljanje u rezervoarima i tretiranje peskom ili biofilterom sa aktivnim muljem pre korišćenja za navodnjavanje (Vijayaraghavan, 2016).

Značajna uloga zelenih krovova ogleda se u zadržavanju atmosferskih padavina, u okviru slojeva krovnog sistema, i usporavanju njenog oticanja. Nasuprot oticanju u kanalizacionu mrežu, višak vode se može upotrebiti za opstanak i razvoj zelenog krova kroz proces recirkulacije (sl. 2.14). Skladišteni višak vode sa zelenog krova može se takođe uspešno koristiti za aktivnosti van objekata, kao što je navodnjavanje urbanog zelenila. Filtriranjem i blagim tretiranjem atmosferske vode se mogu upotrebiti za druge nepijaće svrhe.



Slika 2.14. Prikaz recirkulacije otpadnih voda za potrebe navodnjavanja zelenog krova (Vijayaraghavan, 2016)

Unapređenje ekoloških performansi zelenog krova moguće je postići skladištenjem atmosferskih padavina u sistemu „zeleno-plavog krova“ (eng. *green blue roof*). Koreanski institut (KICT) modifikovao je klasičnu formu zelenog krova tako što je uveden novi sloj – rezervoar, čime je znatno povećan kapacitet zadržavanja vode (sl. 2.15) (Shafique et al., 2018). Osnovna uloga zeleno-plavog krova je zaštita od poplava, a voda iz rezervoara može se koristiti za održavanje zelenih površina i za potrebe domaćinstva. Ovakvi krovni sistemi predviđeni su za izgradnju na novim objektima, imajući u vidu značajnu težinu, odnosno opterećenje noseće konstrukcije, koja bi neosporno zahtevala ojačanje za postojeće objekte.



Slika 2.15. Zeleno-plavi krov (Shafique et al., 2018)

U uslovima sve većeg broja stanovnika u gradovima, a time i većih potreba za hranom, velikih površina urbanih sredina i udaljene proizvodnje, ravni krovovi su prepoznati kao prostori na kojima je moguće formirati urbane farme. Iako proizvodni zeleni krovovi nisu nova ideja, za razliku od struktura koje su postojale u prošlosti, a koje su se odnosile na privatne površine imućnih vlasnika na kojima su se biljne kulture gajile u okviru sistema sa većom debljinom sloja zemljišta, odnosno većeg opterećenja, poslednjih godina se istraživanja baziraju na ekstenzivnim zelenim krovnim sistemima koji bi imali namenu za urbanu agrikulturu. Razlog tome je iskorišćenje ravnih krovova postojećih objekata i neugrožavanje nosivosti i stabilnosti konstrukcija. Proizvodni zeleni krovovi zahtevaju posebnu smešu supstrata za gajenje određenih kultura u pogledu udela organskih materija, kao i specifične zahteve za održavanje koji podrazumevaju postojanje irigacionih sistema. Sprovedena istraživanja (Specht et al., 2014; Van Tuijl et al., 2018; Walters & Stoelzle Midden, 2018) ukazuju na uspeh ekstenzivnih zelenih krovova u funkciji urbanih farmi, a time i na potencijal za primenu na postojećim objektima.

Zahtevi u pogledu tehnologije zelenih krovova, koji se odnose na pojednostavljenje dizajna i praktičnost, doprineli su razvoju modularnih zelenih krovnih sistema. Moduli izgrađeni od polimernih materijala visoke čvrstoće sadrže element za skladištenje vode i, u najvećem broju slučajeva, predhodno instalirane slojeve supstrata i vegetacije. Ovakav sistem, nezavisan od strukture objekta, omogućava lako integrisanje u okviru i novih i postojećih građevina. Fleksibilnost modularnih zelenih krovova olakšava popravke krova i zamene oštećenih elemenata, i obezbeđuje raznovrsnost u uređenju krovnih površina različitim rasporedom modula, kao i korišćenje na drugim objektima. Prilikom razmatranja primene modularnih zelenih krovova, prevashodno treba uzeti u obzir cenu sistema, mogućnost implementacije na postojećim objektima u pogledu nosivosti konstrukcije, i odlaganje modula na kraju životnog ciklusa, usled negativnih efekata polimernih materijala na životnu sredinu. Sprovedenjem CBA analize mogu se proceniti koristi primene modularnih sistema.

Naučne studije na temu zelenih krovova su relativno novijeg datuma i ukazuju na istraživanja pojedinih zemalja. Rasprostranjenost primene direktno zavisi od naučnih potvrda, i s tim u vezi je neophodno da što više zemalja sprovede istraživanja na lokalnom nivou, usled specifičnih karakteristika okruženja, kao i potreba i željenih performansi zelenih krovova. Pozitivni rezultati doprinose kreiranju strategija za sistemski pristup ozelenjavanja krovnih površina i unapređenju tehnologija zelenih krovova kroz multidisciplinarna istraživanja.

3. ZAKONSKI OKVIRI I STANJE U OBLASTI PRIMENE ZELENIH KROVOVA

3.1 Strategije i politike primene zelenih krovova na nivou Evropske unije

Dinamika razvoja društva i posledična degradacija životne sredine donose mnoge očekivane i neočekivane promene koje se moraju uzeti u obzir kako bi se obezbedio održivi razvoj. S tim u vezi, nameće se neophodnost aktivnijeg pristupa, planiranja i prilagođavanja zakonske osnove, ne samo u cilju kreiranja mera unapređenja stanja u životnoj sredini već i zbog njihove implementacije u praksi. Uzimajući u obzir rezultate mnogobrojnih istraživanja i potvrđenih koristi koje se ostvaruju primenom zelenih krovova, ovaj značajan koncept je neophodno obuhvatiti mnogim oblastima zakonodavstva. Zeleni krovovi, kao deo šire politike zaštite životne sredine, mogu prevashodno naći uporište u zakonima koji se odnose na zaštitu prirode i izgradnju, kroz obavezu ozelenjavanja objekata koja bi bila sastavni deo urbanističkih uslova (Sekulić, 2013). Zeleni krovovi predstavljaju jednu od mera unapređenja stanja u životnoj sredini koja uglavnom nije obavezujućeg, već savetodavnog karaktera. U okviru legislative Evropske unije (EU), ključna oblast koja obuhvata primenu koncepta zelenih krovova je Zelena infrastruktura (eng. *Green Infrastructure*) (European Commission, 2016b).

Zelena infrastruktura se definiše kao strateški isplanirana mreža prirodnih i ostalih područja sa odgovarajućim ekološkim svojstvima, uređenih i održavanih za pružanje širokog spektra ekosistemskih usluga (European Commission, 2013a). Zelena infrastruktura, dakle, predstavlja mrežu zdravih ekosistema koja služi interesima i ljudi i prirode (European Commission, 2016a). Ona osigurava da se kvalitet ekosistema održava ili obnavlja i da prirodna područja ostaju povezana. Tako su benefiti koje obezbeđuje priroda, kao što su čist vazduh i voda, zaštita od poplava, smanjenje emisije CO₂, zdravlje i blagostanje, raspoloživi građanima. U isto vreme, biljne i životinjske vrste opstaju i razvijaju se u svojim prirodnim staništima. Uzimajući u obzir da zelena infrastruktura, kao multifunkcionalni resurs, obezbeđuje brojne ekološke, ekonomske i socijalne koristi, podsticanje ulaganja u ovu oblast bi doprinelo pogodnijim i trajnijim rešenjima u odnosu na rezultate koji se postižu konvencionalnim građevinskim metodama („Zelena infrastruktura“, 2013).

Sastavni elementi zelene infrastrukture su biofizičko okruženje, projekti, planiranje i alati (European Commission, 2013b). Fizička obeležja koja doprinose zelenoj infrastrukturi su raznovrsna, specifična za svaku lokaciju, u međuzavisnosti su i funkcionišu na različitim nivoima, u odnosu na koje se određuju i nivoi nadležnosti u upravljanju. Lokalni nivo zelene infrastrukture čine elementi kao što su: parkovi sa značajnom biološkom raznovrsnošću, vrtovi, zeleni krovovi, ribnjaci, potoci, šume, živice, livade, obnovljene braunfield lokacije, obalne peščane dine, itd. Povezujućim elementima se smatraju prelazi za divlje životinje – zeleni

mostovi, i prelazi za ribe na vodenim tokovima. Primere fizičkih elemenata zelene infrastrukture na regionalnom ili nacionalnom nivou čine: velika zaštićena prirodna područja, velika jezera, rečni slivovi, šume visoke prirodne vrednosti, prostrani pašnjaci, područja poljoprivrede niskog intenziteta, veliki sistemi dina, obalne lagune, itd. U nadležnost Evropske unije spadaju prekogranični elementi kao što su međunarodni rečni slivovi, šume i planinski venci (European Commission, 2013b). Projekti predstavljaju zahvate čija je svrha očuvanje, poboljšanje ili obnavljanje prirode, prirodnih funkcija i procesa zarad osiguranja ekosistemskih koristi (European Commission, 2013b). U okviru Evropske unije postoje stotine projekata zelene infrastrukture, od kojih mnogi nisu nužno označeni kao zelena infrastruktura. Planiranje podrazumeva integrisanje očuvanja, poboljšanja i obnavljanja prirode, prirodnih funkcija i procesa u prostorno planiranje i teritorijalni razvoj, i održivo pružanje pripadajućih koristi društvenoj zajednici (European Commission, 2013b). Uzimajući u obzir činjenicu da ni zelena infrastruktura, ni bilo koji drugi pristup ne mogu istovremeno proizvesti maksimalne koristi u svim domenima, neophodno je pažljivo proceniti kompromise. Međutim, uključivanje zelene infrastrukture u procese planiranja omogućava procenu svih važnih pitanja i donošenje odluka sa ciljem obezbeđivanja što značajnijih koristi. To je naročito važno u slučaju sveobuhvatnih višegodišnjih strategija i planova. Alate čine metodologije i tehnike koje pomažu razumevanju vrednosti koristi koje priroda pruža društvu i podržavaju pokretanje ulaganja potrebnih za održavanje i povećavanje prirodnog kapitala (European Commission, 2013b).

Zelena infrastruktura je obuhvaćena brojnim politikama Evropske unije. Zeleni krovovi kao deo urbane zelene infrastrukture mogli bi biti od značaja za područja politika prikazanih u tabeli 3.1 (European Commission, 2013b).

Pored navedenih nadležnosti na nivou Evropske unije, potrebno je ojačati nacionalne, regionalne i lokalne uloge i odgovornosti za unapređenje razvoja zelene infrastrukture. Nacionalne vlasti imaju ključnu ulogu u razvoju strateškog konteksta i vizije za zelenu infrastrukturu, u zavisnosti od podele nadležnosti unutar država članica. Napredak se može postići davanjem jasnih smernica i uputstava regionalnim i lokalnim vlastima o tome kako planirati i upravljati zelenom infrastrukturom korišćenjem nacionalnog okvira politike, kako bi se istakla potreba da regionalne i lokalne vlasti razmotre građenje zelene infrastrukture tokom planiranja i u politikama lokalnog razvoja. Nacionalne vlasti bi takođe imale značajnu ulogu u prikupljanju i širenju informacija o zelenoj infrastrukturi na regionalnom nivou, naročito u vezi sa dobrom praksom projektovanja, izradom karata, procenom, nabavkom i razvojem. U većini evropskih zemalja, regionalne ili lokalne vlasti su nadležne za odluke o prostornom planiranju. Neophodna je saradnja različitih grana uprave, kao što su zaštita životne sredine, planiranje, poljoprivreda, socijalno staranje, finansije, itd. Usled bliskih veza sa lokalnim stanovništvom, preduzetnicima i

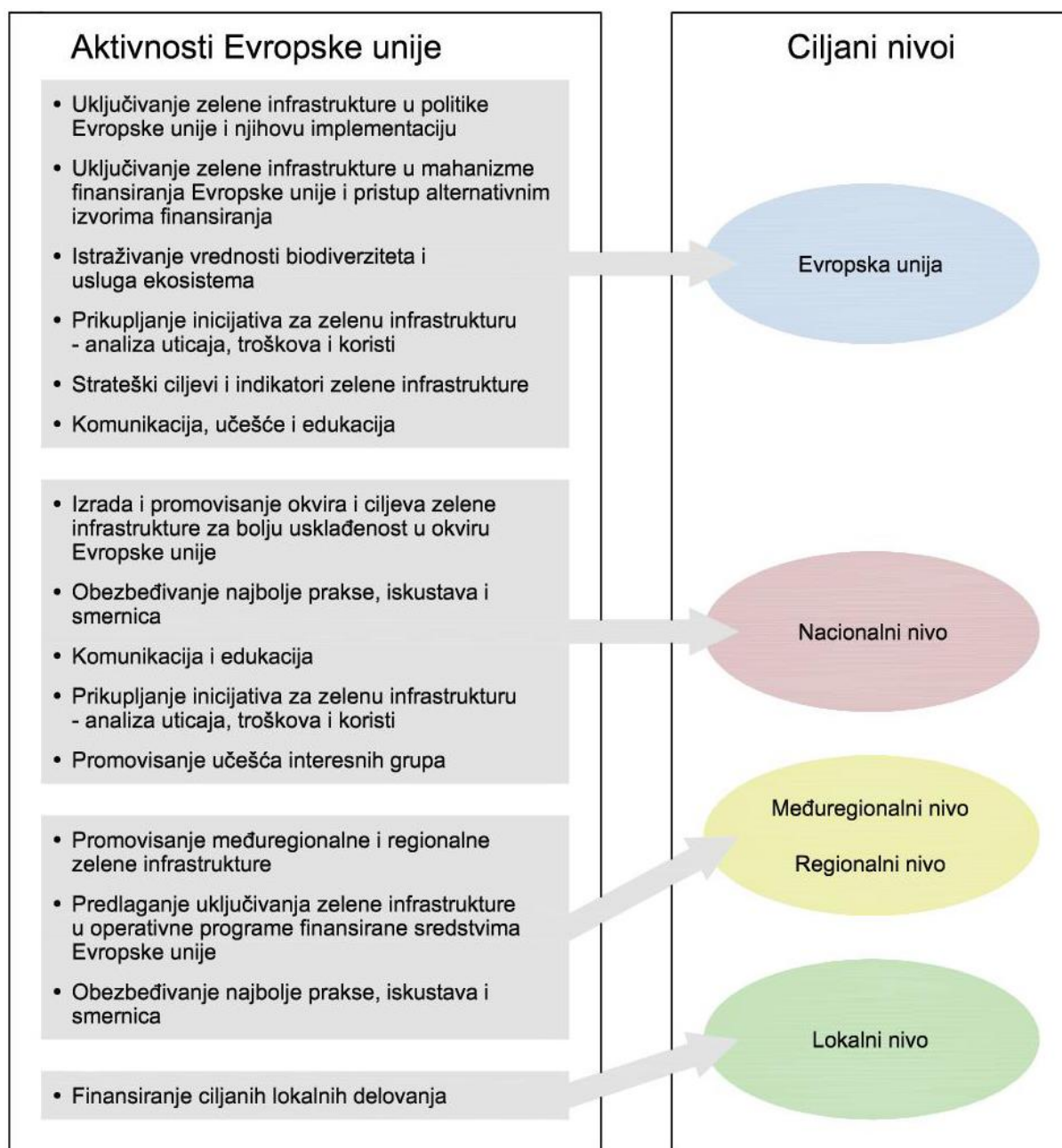
drugim zainteresovanim stranama, lokalne vlasti su u položaju da poboljšaju komunikaciju i pospeše učešće ovih subjekata u donošenju odluka. Regionalne i lokalne vlasti bi trebalo posmatrati kao vodeću strukturu za izradu glavnih planova zelene infrastrukture uključujući procenu stanja, položaj, rizike, ograničenja, prioritete, mogućnosti i regionalne (geografske, ekološke, socijalne, političke, ekonomske, itd.) faktore.

Tabela 3.1. Politike i instrumenti zelene infrastrukture na nivou Evropske unije (European Commission, 2013b)

Područje politike	Politike i instrumenti EU razmatrani za zelenu infrastrukturu	Moguće mere
EU 2020	Strategija EU 2020 Vodeća inicijativa Unija inovacija Vodeća inicijativa za efikasno korišćenje resursa u okviru strategije EU 2020/Plan za Evropu efikasnih resursa	Slanje političkih signala preko Komisije Detaljno izveštavanje o doprinosu zelene infrastrukture ekološkim inovacijama Detaljno izveštavanje o doprinosu zelene infrastrukture efikasnom korišćenju resursa (naročito zemljišta i ekosistema)
Strategija u oblasti zaštite životne sredine	Sedmi akcioni program za životnu sredinu	Uključivanje zelene infrastrukture u integrisane strategije i planove sa akcentom na koristi po zdravlje
Biodiverzitet i priroda	Strategija biodiverziteta EU 2020 Direktiva o pticama Direktiva o staništima Uredba o programu LIFE+	Razvoj i implementacija svih ciljeva Primena člana 3. Primena člana 10. Finansiranje projekata zelene infrastrukture
Politike u oblasti voda	Direktiva o poplavama Politika EU o suši Plan EU o vodama	Bolje ekološke mogućnosti za upravljanje poplavama Korišćenje rešenja zelene infrastrukture za stvaranje otpornosti na suše Prirodne mere za zadržavanje vode
Politike u oblasti zemljišta	Tematska strategija zaštite tla Predlog Direktive o uspostavljanju okvira za zaštitu tla	Izrada smernica o zaštiti zemljišta Integrisano planiranje u oblasti zemljišta

Područje politike	Politike i instrumenti EU razmatrani za zelenu infrastrukturu	Moguće mere
Politike u oblasti klimatskih promena	Strategija EU za adaptaciju na klimatske promene Plan smanjenja emisija ugljendioksida 2050	Izrada smernica o zelenoj infrastrukturi za adaptaciju na klimatske promene LULUCF
Kohezijska politika, uključujući teritorijalnu koheziju i inovativno finansiranje	Regionalna kohezijska politika Tehnička pomoć za pripremu velikih projekata (JASPERS) i inovativno finansiranje (JESSICA, JEREMIE, itd.)	Uključivanje zelene infrastrukture u fondove ERDF, CF i ESF Korišćenje inovativnog finansiranja za velike projekte zelene infrastrukture
Energija	Energetska politika	Urbana zelena infrastruktura kao primer za energetske efikasnost zgrada
Procena uticaja, sprečavanje štete i remedijacija	Direktive o Proceni uticaja na životnu sredinu (EIA) Direktiva o strateškoj proceni uticaja na životnu sredinu (SEA) Direktiva o odgovornosti za životnu sredinu (ELD)	Sprovođenje revizije Direktive EIA Izrada smernica o uključivanju biodiverziteta i klimatskih promena u direktive EIA i SEA Procena zelene infrastrukture kao elementa remedijacije
Prostorno planiranje	Evropska perspektiva prostornog razvoja Teritorijalni program Evropske unije 2020 Strategija za urbanu sredinu	Promovisanje zelene infrastrukture na svim teritorijalnim nivoima Korišćenje zelene infrastrukture pri integrisanom prostornom planiranju Promovisanje rešenja urbane i suburbane zelene infrastrukture
Životna sredina i zdravlje	Akcioni plan za životnu sredinu i zdravlje 2004-2010.	Korišćenje zelene infrastrukture za koristi po zdravlje, naročito u gradskim područjima
Istraživanje	Politike u oblasti istraživanja/Horizontal 2020, okvirni program za istraživanja i inovacije	Finansiranje istraživačkih projekata koji se odnose na zelenu infrastrukturu
Međunarodna saradnja	Međunarodna razvojna saradnja EU	Podrška za razvojna rešenja zasnovana na zelenoj infrastrukturi
Reakcije na opasnost	Politika smanjenja rizika od katastrofa	Korišćenje zelene infrastrukture za smanjenje rizika zasnovanog na ekosistemima

Uspostavljanje i održavanje zelene infrastrukture nije moguće bez potpunog i posvećenog angažovanja zainteresovanih strana, odnosno vlasnika resursa, nevladinih organizacija i građanstva. Oni moraju da uvide koje prednosti zelena infrastruktura može doneti njihovoj imovini, resursima i ekonomskim aktivnostima poboljšanjem kvaliteta donošenja odluka, podsticanjem osećaja vlasništva i podizanjem nivoa svesti. Ranim uključivanjem u odluke o planiranju mogu se izbeći sukobi i kašnjenja u daljim fazama procesa. Podršku za komunikaciju i izgradnju kapaciteta neophodno je obezbediti na svim nivoima (European Commission, 2013b). Na slici 3.1 prikazani su različiti nivoi aktivnosti Evropske unije koje se odnose na zelenu infrastrukturu (European Commission, 2013b).



Slika 3.1. Različiti nivoi aktivnosti EU koje se odnose na zelenu infrastrukturu (European Commission, 2013b)

Zeleni krovovi, kao sastavni deo urbane zelene infrastrukture, podržani su od strane brojnih udruženja koja promovišu i podstiču prihvatanje ovog koncepta u svojim zemljama. Najznačajnija područja politika koje se odnose na zelene krovove su u vezi sa klimatskim promenama, ekosistemskim koristima i nedostatkom zelenih površina u okviru građene sredine (European Commission, 2016b). Za centralnu bazu podataka, Evropska komisija predlaže Evropsku federaciju zelenih krovova i zidova – EFB (eng. *European Federation of Green Roofs and Walls*) kao relevantnu za korišćenje među državama članicama (European Commission, 2016b). U okviru ove platforme bi stručnjacima iz odgovarajućih oblasti bilo omogućeno da na jednom mestu pronađu neophodne podatke i uputstva, a takođe bi se i krajnjim korisnicima obezbedila šira slika o zelenoj infrastrukturi i značaju implementacije prirodnih elemenata u građenu sredinu.

Evropska federacija zelenih krovova i zidova je asocijacija koju čini 14 nacionalnih udruženja. Osnovana je 1997. godine sa sedištem u Beču, i danas broji preko 350 malih i srednjih preduzeća koja se bave proizvodnjom, snabdevanjem i izgradnjom zelenih krovova i zidova širom Evrope (EFB, 2015). Sva udruženja imaju istaknute članove sa univerziteta i iz gradskih uprava, iz oblasti planiranja i arhitekture. Usklađenost aktivnosti federacije sa agendama Evropske unije odnosi se na Strategiju u oblasti zelene infrastrukture i ekosistemskih usluga – GIES (eng. *Green Infrastructure and Ecosystem Services Strategy*), adaptaciju na klimatske promene – CCA (eng. *Climate Change Adaptation*), smanjenje emisije CO₂, zdravlje i dobrobit građana, kao i ekonomski rast (EFB, 2015).

Iako se GIES strategija direktno odnosi na obezbeđivanje biološke raznovrsnosti u okviru Evropske unije, njen fokus se implicitno povezuje sa agendom iz oblasti održivosti (EFB, 2015). Članovima federacije date su smernice za obezbeđivanje i očuvanje biološke raznovrsnosti, naročito u urbanim sredinama, pri čemu su Velika Britanija i Švajcarska razvile posebne politike na nivou pojedinih gradova za ekološke kompenzacije u okviru standarda za zelene krovove. Tehnologije koje podržava federacija pomažu u pružanju mnogobrojnih ekosistemskih koristi na nivou objekata i na nivou gradova u celini. Neke od njih su posebno relevantne za druga područja politika u nadležnosti Evropske komisije (EFB, 2015).

Integrirano zelenilo u objektima, kao sastavni deo urbane zelene infrastrukture, naročito je značajno za rešavanje problema vezanih za klimatske promene. Ključni problemi na koje se primena zelenih krovova i zidova odnosi su retencija vode nastale usled obilnih padavina i prekomerno zagrevanje usled čega dolazi do pojave efekta urbanih toplotnih ostrva. Grad Beč, na primer, nastoji da pri kreiranju politika iz ovih oblasti budu obuhvaćene intervencije ozelenjavanja objekata u cilju ublažavanja navedenih negativnih efekata. Adaptacija na klimatske promene predstavlja ključnu strategiju Evropske unije u okviru agende koja se odnosi

na ovu oblast. EFB ističe da će zelena infrastruktura kao sastavni deo građene sredine postati značajan element u stvaranju otpornosti gradova na klimatske promene (EFB, 2015).

Imajući u vidu doprinos zelenih krovova redukciji utroška energije za postizanje toplotnog komfora, naročito u letnjem periodu, ovaj koncept ima veliki potencijal za smanjenje emisije CO₂, kako usled redukovanog utroška energije, tako i usled sekvestracije od strane biljnih vrsta. Projekat „Biosolarni krov“ (eng. *Biosolar roof project*) finansiran od strane Evropske unije, ima za cilj promovisanje koncepta zelenih krovova i upotrebu solarne energije (EFB, 2015). Cilj projekta je ne samo smanjenje emisije CO₂, već i obezbeđivanje biološke raznovrsnosti posebnim odabirom biljnih vrsta i odgovarajućim ekološkim pristupima. Dalji razvoj industrije i tehnologije zelenih krovova svakako će doprineti ispunjavanju ovih ciljeva kroz inovacije i implementacije inovativnih rešenja (EFB, 2015).

Ozelenjavanje gradova korišćenjem tehnologija zelenih krovova i zidova će u budućnosti predstavljati zahtev koji će se odnositi ne samo na novoizgrađene, već i na postojeće objekte. U mnogim evropskim gradovima su pokrenute inicijative za integrisanje zelenila u objektima sa ciljem stvaranja zdravijeg životnog okruženja. U ovom pogledu ističu se Pariz, Kopenhagen i Berlin (EFB, 2015).

Značajan pokazatelj uspešnosti sprovođenja politika u vezi sa ozelenjavanjem omotača objekata je stanje na tržištu proizvoda i usluga iz ovog domena, odnosno ekonomski rast u ovom sektoru. Procena globalnog tržišta zelenih krovova i zidova za 2017. godinu je oko 6,8 milijardi € (EFB, 2015). Evropa kao lider nastoji da unapređuje tehnologije razvojem novih proizvoda i usluga na brzo rastućem tržištu. To potvrđuju prevashodno nemačke kompanije zelenih krovova koje su vodeće u svetu. Finansijska podrška Evropske unije za naučno-istraživačke i inovacione projekte dodatno bi doprinela održavanju leaderske pozicije u ovim tehnologijama na globalnom tržištu. Uspešna implementacija zelenih krovova kroz strategije i politike zasnovana je na ispunjavanju zahteva koji se odnose na odgovarajuće propise i standarde.

3.1.1 Standardizacija zelenih krovova – FLL priručnik

Standardizacija zelenih krovova posebno je značajna za stvaranje opšte polazne osnove za obezbeđivanje visokog kvaliteta proizvoda, odnosno dugoročnih očekivanih performansi. Propisi i standardi za zelene krovove izrađuju se na osnovu rezultata dugogodišnjih istraživanja, podataka od proizvođača i dobavljača materijala, uz primenu opšte prihvaćenih definicija, zahteva i metoda testiranja (Philippi, 2005). Imajući u vidu iskustvo evropskih zemalja u pogledu zelenih krovova, naročito Nemačke koja razvija i usavršava primenu ovog koncepta već 40 godina, evropski standardi se smatraju najpotpunijim i imaju najširu primenu u svetu (Dvorak, 2011). To se prevashodno odnosi na *Priručnik za planiranje, izgradnju i održavanje zelenih*

krovova (eng. *Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing – Green Roofing Guideline*) nemačkog Udruženja za razvoj i istraživanje pejzaža – FLL. Višedecenijska istraživanja i iskustva u primeni zelenih krovova u Nemačkoj rezultirala su kreiranjem priručnika koji prati tehnički i tehnološki razvoj, i koji je usaglašen sa standardima Nemačkog nacionalnog zavoda za standardizaciju – DIN (nem. *Deutsches Institut für Normung*) i drugim regulativama, i postavlja standarde koji se odnose na objekte i konstrukcije (Sekulić, 2013). S tim u vezi, Priručnik je do sada imao nekoliko izdanja i prevoda na engleski jezik, zaključno sa izdanjem iz 2008. godine, što ga čini široko dostupnim (FLL, 2008).

Iako bi propise i standarde u vezi sa zelenim krovovima trebalo izraditi na lokalnom i nacionalnom nivou, uzimajući u obzir specifičnosti konkretne lokacije i lokalne klimatske uslove, FLL priručnik predstavlja kvalitetnu osnovu za nacionalnu regulativu zato što je globalan u pristupu i potencira usaglašavanje sa lokalnim uslovima primene. Njegov značaj je potvrđen implementacijom širom sveta, uključujući Austriju, Švajcarsku, Mađarsku, Veliku Britaniju, Italiju, Severnu Ameriku, Japan, itd. („Greater London Authority“, 2008).

FLL priručnik obuhvata sve aspekte zelenih krovova i namenjen je različitim interesnim grupama, u koje spadaju ljubitelji prirode i zelenih krovova, proizvođači, arhitekta, građevinski inženjeri i naučni istraživači. Korisnicima koji žele da se informišu i upoznaju sa konceptom zelenih krovova, dostupne su definicije o različitim tipovima zelenih krovovih sistema i informacije o odgovarajućim biljnim vrstama. Za procenu uspešnosti implementacije zelenog krova u konkretnim uslovima okruženja, date su smernice u vezi sa utvrđivanjem pogodnosti konkretne lokacije. Korišćenje kontrolne liste smanjuje mogućnost grešaka i neuspeha, usled utvrđenih faktora koji se odnose na klimatske i vremenske uslove, konstrukciju i planiranje (Philippi, 2005). Razmatranje benefita zelenih krovova olakšano je pregledom funkcija i efekata sa aspekata urbanističkog planiranja, ekologije i ekonomije. Navedene funkcije i efekti takođe se mogu koristiti i u kontekstu propisa o proceni uticaja na životnu sredinu. Poglavlja „Zahtevi koji se odnose na izgradnju i materijale“ i „Tehnički zahtevi za krovne konstrukcije“ pružaju uvid arhitektama u to šta sve treba uzeti u obzir prilikom razmatranja izgradnje zelenog krova. U delu „Zahtevi za izgradnju zelenih površina“, pružene su definicije elemenata strukture praćene listom faktora koje je neophodno razmotriti prilikom određivanja sastava supstrata i dimenzionisanja drenažnog sistema. Imajući u vidu značaj supstrata kao podrške za razvoj vegetacije, procena kvaliteta mešavine komponenti obezbeđena je detaljnim zahtevima i referentnim vrednostima za različite tipove zelenih krovova. U okviru priručnika, korisnicima je omogućeno i da se detaljno informišu o zahtevima koji se odnose na fizička i hemijska svojstva elemenata strukture. U pogledu vegetacionog sloja, date su preporuke u vezi sa setvom semena, sađenjem biljaka i orezivanjem, kao i zahtevi za njihovo održavanje, međutim, konkretne biljne

vrste nisu određene. Razmatranje zelenih krovova sa naučno-istraživačkog aspekta omogućeno je korišćenjem grafikona koji pokazuju koja su svojstva relevantna za različite metode testiranja, kao i zahtevane referentne vrednosti za različita svojstva zelenih krovova. Definisane svojstava i referentnih vrednosti, uzimajući u obzir tačan opis metoda testiranja i postupaka, obezbeđuje visok stepen upotrebljivosti i rezultate koji se mogu upoređivati. Građevinskim inženjerima su dostupne referentne vrednosti za projektovana opterećenja, koja su navedena za sve različite vrste drenažnih materijala, supstrata i vegetacije. Referentne vrednosti za kapacitete zadržavanja vode na godišnjem nivou takođe su dostupne u priručniku, i one zavise od visine zelenog krovnog sistema i vrste primenjene vegetacije. Informacije značajne za proizvođače protivkorenskih membrana date su u cilju sprečavanja oštećenja konstrukcije korenskim sistemom. Neophodnost ispunjavanja zahteva u pogledu karakteristika materijala ogleda se u mogućnosti korišćenja samo FLL sertifikovanih membrana na tržištu zelenih krovova u Nemačkoj (Philippi, 2005).

Pri upotrebi *FLL* priručnika, treba imati u vidu da obezbeđivanje smernica ne umanjuje odgovornost korisnika za lične postupke u implementaciji zelenih krovovih sistema (*FLL*, 2008). Mogućnost široke primene *FLL* priručnika ogleda se u tome što, uprkos razvijenoj industriji zelenih krovova u Nemačkoj i mnogobrojnim sertifikovanim elementima strukture, nazivi proizvoda i izvori materijala nisu naznačeni. Nasuprot tome, grupe i vrste materijala, detaljan opis njihove specifikacije, kao i zahtevi u pogledu performansi, dati su za različite tipove zelenih krovova. Kao važan izvor ekspertize za očekivane performanse u standardnim uslovima, priručnik ne obuhvata posebne slučajeve za koje se mogu zahtevati dodatne ili restriktivne mere. Ipak, prateći zahteve, mogu se izbeći mnogi potencijalni izvori neuspeha. *FLL* priručnik predstavlja važan instrument politika implementacije zelenih krovova, naročito za projektovanje i izgradnju odgovarajućeg sistema.

3.1.2 Ograničenja u kreiranju opšte politike primene zelenih krovova

Kreiranje opšte politike primene zelenih krovova bilo bi od značaja za lakšu implementaciju u zakonske okvire podržane od strane viših nivoa vlasti. Politika bi trebalo da bude sveobuhvatna u pogledu tipova zelenih krovova i potencijalnih benefita i da omogući opštu primenu koncepta. Ipak, složenost procesa koji dovodi do implementacije ukazuje na ograničenja u ostvarivanju te mogućnosti.

Imajući u vidu prevashodno lokalni nivo nadležnosti za zelene krovove kao elementa urbane zelene infrastrukture, politika koja se odnosi na njihovu primenu trebalo bi da bude jedinstvena, primerena lokalnim klimatskim uslovima, političkom delovanju, ekološkim uslovima, resursima, itd. (Shiah, 2011). Uspešnost kreiranja politike zelenih krovova manifestuje se stupanjem na

snagu propisa u vezi sa implementacijom ovog koncepta na lokalnom ili nacionalnom nivou. Propisi bi omogućili budući razvoj primene zelenih krovova, i odnosili bi se ne samo na novoizgrađene, već i na postojeće objekte (Kazmierczak & Carter, 2010). Prvi korak u kreiranju politike je utvrđivanje ciljeva zelenih krovova, odnosno razloga za podsticanje njihove izgradnje (Semaan & Pearce, 2016). Zeleni krovovi mogu biti od značaja za rešavanje problema koji se javljaju, kako na nivou objekta, tako i na nivou građene sredine. Unapređenje objekta primenom zelenih krovova podrazumeva smanjenje utroška energije, produžen životni vek krovne konstrukcije, povećanje tržišne vrednosti objekta, itd. Izgradnjom zelenih krovova u velikoj meri bi se mogli rešiti problemi na nivou građene sredine koji se odnose na nedostatak zelenih površina, ublažavanje efekta urbanih toplotnih ostrva, upravljanje atmosferskim padavinama, poboljšanje kvaliteta vazduha, zaštitu od buke, povećanje urbanog biodiverziteta, unapređenje zdravstvenog stanja stanovništva, itd. Shodno utvrđenom cilju ili ciljevima, i procenjenim koristima, pristupa se kreiranju odgovarajuće politike, u skladu sa konkretnim ekološkim, socijalnim i ekonomskim uslovima, što ukazuje na nužnost lokalnog razvoja politike zelenih krovova.

Potreba za usaglašavanjem propisa i standarda, kao i nedostupnost dokumenata predstavlja ograničenje u komunikaciji i saradnji nacionalnih asocijacija zelenih krovova. Prevazilaženje ovog problema doprinelo bi kreiranju opšte primenljive politike. Uzimajući u obzir ograničenu relevantnost podataka koji se odnose na konkretnu zemlju i njihovu dostupnost isključivo na domicilnom jeziku, poteškoće u implementaciji koncepta zelenih krovova javljaju se u zemljama koje koriste inostrane standarde. Iako je *FLL* priručnik široko prihvaćen i primenjivan kao standard za zelene krovove, izvesna regulativa koja je u vezi sa njegovom primenom dostupna je samo na nemačkom jeziku. Nedostatak standarda u zemaljama koje primenjuju *FLL* priručnik predstavlja ograničenje za široku primenu koncepta zelenih krovova zato što dobavljači moraju biti članovi Udruženja za razvoj i istraživanje pejzaža – *FLL*. To ukazuje na korišćenje isključivo zelenih krovnih sistema ili elemenata strukture koji poseduju *FLL* sertifikate (Greater London Authority, 2008). Potencijal za prevazilaženje ovog ograničenja postoji u vidu budućeg razvoja saradnje i razmene informacija između zemalja (European Commission, 2016b).

S obzirom na činjenicu da su za implementaciju zelenih krovova neophodna znatna ulaganja u odnosu na konvencionalne krovne sisteme, njihova široka primena je ograničena i uslovljena rešavanjem pitanja načina finansiranja. Kako su politike zelenih krovova razvijene prevashodno na lokalnom nivou, ovo pitanje bi predstavljalo problem prilikom razmatranja kreiranja opšte politike. Važan parametar i indikator za implementaciju zelenih krovova je bruto domaći proizvod (BDP) koji zavisi od ekonomskog razvoja konkretne zemlje (Semaan & Pearce, 2016). U skladu sa razlikama u vrednosti BDP-a, finansijska ulaganja u zelene krovove razlikuju se od

zemlje do zemlje. Takođe, podsticanje ulaganja kroz subvencije razmatra se na lokalnom ili nacionalnom nivou. Nemogućnost usaglašavanja finansijskih ulaganja predstavlja prepreku u kreiranju opšte politike zelenih krovova.

Kao ključna ograničenja za kreiranje opšte primenljive politike implementacije zelenih krovova prepoznata su: nepostojanje lokalnih politika, nedostatak opštih standarda i problemi utvrđivanja načina finansiranja. Prepoznavanjem istih ciljeva, politike zemalja sa razvijenom regulativom u pogledu primene zelenih krovova mogu da predstavljaju osnovu za kreiranje politika na lokalnom i nacionalnom nivou. Preduslov za uspešnu implementaciju zelenih krovova podržanu od strane vlasti je promovisanje ovog koncepta kroz aktivno učešće javnosti i svih interesnih grupa.

3.2 Politike i stanje u oblasti primene zelenih krovova na nacionalnim i lokalnim nivoima u Evropi

Analiza politika i stanja u oblasti zelenih krovova na nacionalnim i lokalnim nivoima daje uvid u kontekst u kojem su politike kreirane i u kome deluju, kao i u rezultate njihove primene. U cilju podsticanja i sprovođenja implementacije zelenih krovova, neophodno je razmotriti inovativne mehanizme planiranja koje pojedine zemlje i/ili gradovi koriste, zbog čega su određeni mehanizmi odabrani i na koji način se sprovode. Imajući u vidu specifične uslove svake lokacije, primena istih mehanizama planiranja ne dovodi uvek do istih rezultata. Rezultati sprovođenja konkretne politike značajni su za razumevanje uzročnih veza koje dovode do njenog razvoja, kao i za razumevanje na koji način propisi mogu da doprinesu ukupnom uspehu implementacije. Pri izboru kriterijuma koji su uzeti u obzir prilikom odabira zemalja i gradova za analizu, u fokusu ovog istraživanja bila je teritorija Evrope, a osnovni kriterijum bila je razvijena i rasprostranjena implementacija zelenih krovova.

3.2.1 Politike i stanje u oblasti primene zelenih krovova u Nemačkoj

Nemačka, kao začetnik savremene primene koncepta i lider u tehnologiji, proizvodnji i implementaciji odgovarajućih elemenata, ima najrazvijeniju regulativu za zelene krovove. Politike zelenih krovova su na lokalnom nivou obuhvaćene u 14000 opština, a pojedini gradovi imaju više tipova politika koje se na ovu oblast odnose (Sekulić, 2013). Znatno povećanje ozelenjenih krovovih površina postiže se sprovođenjem zakona koji su u vezi sa postizanjem kolektivnih povoljnosti (Sekulić, 2013). Kolektivne povoljnosti predstavljaju benefite koji se ostvaruju na nivou građane sredine i odnose se prevashodno na ekološki i socijalni aspekt. One se ne mogu podsticati na nivou privatnih interesa, usled potrebe za relativno velikim ozelenjenim

površinama krovova, kojima se postižu zahtevane performanse. Na osnovu iskustva u Nemačkoj, pokazalo se da nije dovoljno oslanjati se na interese vlasnika objekata, već je neophodno ustanoviti zakonske okvire primene zelenih krovova (Ngan, 2004). Njihova izgradnja podržana je od strane viših nivoa vlasti kroz raznovrsne finansijske podsticaje, smanjenje poreza ili bonuse. Sprovođenje politika na lokalnom i nacionalnom nivou u Nemačkoj rezultiralo je fondom od 86 miliona m² zelenih krovova do 2015. godine, prema zvaničnim podacima Evropske komisije (EFB, 2015). U ukupnom fondu zelenih krovova, znatno je veći udeo ekstenzivnih sistema (85%) u odnosu na intenzivne (15%), što predstavlja trend u najvećem broju zemalja. Evropska federacija zelenih krovova i zidova (EFB) procenjuje na godišnjem nivou izgradnju 8 miliona m² novih zelenih krovova, uz godišnji profit od 254 miliona € (EFB, 2015). Imajući u vidu da je tržište zelenih krovova u Nemačkoj u konstantnom rastu od 2008. godine sa prosečno 5% godišnje, ovi podaci idu u prilog primeni koncepta i govore o uspešnom sprovođenju politika (EFB, 2015).

Na nivou gradova prepoznati su lokalni problemi, odnosno ciljevi koji se mogu ispuniti implementacijom zelenih krovova, u skladu sa kojima su razvijene politike u nadležnosti nižih nivoa vlasti.

Štuttgart

Štuttgart, grad na jugozapadu Nemačke, odlikuje blaga, umereno-kontinentalna klima sa toplim letnjim mesecima. Položaj u kotlini, uz slabe vetrove, utiče na otežan protok i razmenu toplog vazduha iz grada sa svežim vazduhom pošumljenih obodnih padina, stvarajući efekat urbanih toplotnih ostrva. Kao centar industrijske oblasti, Štuttgart karakteriše loš kvalitet vazduha još s početka sedamdesetih godina prošlog veka (Kazmierczak & Carter, 2010). Ovo su ključni problemi koji su usloveli uspostavljanje regulative koja se odnosi na unapređenje zelene infrastrukture, a zeleni krovovi predstavljaju značajan element prirode u gusto izgrađenoj gradskoj sredini. Iako Štuttgart nije prvi grad u Nemačkoj u kome su implementirani zeleni krovovi, značajan je jer je prvi uveo ovaj koncept u razvojni plan 1985. godine, a 1986. godine je ustanovljen odgovarajući podsticajni finansijski program (Kazmierczak & Carter, 2010). Lokalnim razvojnim planovima prvobitno je regulisana implementacija zelenih krovova u industrijskim zonama. Propisano je da svi krovovi nagiba do 12° moraju biti ekstenzivno ozelenjeni korišćenjem minimalne debljine supstrata od 12cm (Sekulić, 2013). Propisi na višem, federalnom nivou omogućavaju ekološke kompenzacije, odnosno uspostavljanje vegetacije na drugim mestima na parceli ukoliko iz nekog arhitektonskog razloga zeleni krov ne može biti izgrađen, a sve u cilju postizanja ekoloških benefita. Počevši od 1986. godine, na nivou grada se izdvajaju znatna finansijska sredstva za ozelenjavanje javnih objekata, pri čemu se većina

zelenih krovova gradi na postojećim objektima. Politika zelenih krovova podrazumeva i direktne finansijske podsticaje za graditelje, odnosno vlasnike objekata, koji se odnose na umanjenje troškova izgradnje za do 50% (Sekulić, 2013). Najznačajniji plan u pogledu zelenih krovova je lokalni, pravno obavezujući plan korišćenja zemljišta (nem. *Bebauungsplan*), koji je uz *Statut o zelenim krovovima Štutgarta* doprineo razvoju implementacije zelenih krovova, a u poslednje vreme je podvrgnut kontroli kvaliteta i proveru. Kao rezultat sprovođenja politika zelene infrastrukture, više od 60% grada je pod zelenilom, od čega 39% predstavlja zaštićena područja, po čemu Štuttgart zauzima prvo mesto u Nemačkoj (Kazmierczak & Carter, 2010).

Berlin

Berlin kao najveći grad Evropske unije, sa populacijom od približno 3,5 miliona stanovnika, karakteriše velika gustina naseljenosti i izgrađenosti. Ovakav model razvoja odražava se negativno na ekološke uslove u pogledu visokog stepena zaptivenosti tla, smanjene mogućnosti obnavljanja podzemnih voda usled distribucije u kanalizacioni sistem, smanjene vlažnosti vazduha, ugrožavanja biodiverziteta neadekvatnim i nedovoljnim površinama pod zelenilom, kao i povišene temperature u gradskom jezgrou. Berlin ima umerenu klimu, sa toplim letnjim i hladnim zimskim mesecima. Usled materijalizacije građene sredine, stvorena je mikroklima grada koja se odlikuje povišenim temperaturama za do 4°C u odnosu na prigradske oblasti, sa procenom povećanja srednje godišnje temperature za 2,2°C do 2080. godine, uz neravnomernu raspodelu padavina na godišnjem nivou (Kazmierczak & Carter, 2010). Kompleksnost problema uticala je na donošenje regulative koja se odnosi na urbanističko planiranje. Zapadni Berlin je osamdesetih godina prošlog veka definisao Faktor površina biotopa (eng. *BAF – Biotope area factor*, nem. *BFF - Biotop Flächenfaktor*), koji je nakon ujedinjenja Nemačke 1994. godine uveden kao standard ekološkog minimuma u cilju povećanja kvaliteta i kvantiteta urbane zelene infrastrukture i otvorenih površina (Kazmierczak & Carter, 2010). Urbanističko planiranje i izgradnja novih objekata zasnivaju se na propisima o zahtevanom minimalnom udelu zelenih površina na lokaciji. Sprovođenje propisa je pravno obavezujuće u 13 opština, dok se izvan ovih područja ovaj koncept primenjuje kao osnova za mere očuvanja prirodne sredine. Faktor površine biotopa predstavlja odnos ekološki vrednih površina i ukupne površine lokacije. Kriterijumi na osnovu kojih se utvrđuju ekološke vrednosti površina odnose se na poroznost, zadržavanje atmosferskih padavina, evapotranspiracione mogućnosti, kvalitet staništa za biljke i životinje, itd. Različite vrste površina i odgovarajuće vrednosti faktora površina biotopa prikazane su u tabeli 3.2 (Kazmierczak & Carter, 2010). BAF obuhvata sve namene zemljišta (stambena, javna i infrastrukturna) i uspešno se primenjuje prilikom intervencija na postojećim urbanim strukturama za koje je procenjeno da ne poseduju zahtevani ekološki kvalitet, kao i

prilikom planiranja i izgradnje novih. Zahtevane minimalne vrednosti zavise od namene zemljišta, vrste intervencije (nove ili postojeće urbane strukture) i stepena zauzetosti lokacije u slučaju rekonstrukcije postojećeg stanja. Prednost primene ovog pristupa ogleda se u fleksibilnosti, jer graditelji i/ili vlasnici objekata imaju slobodu u odabiru mera ozelenjavanja. Sedamdesetih i osamdesetih godina prošlog veka ozelenjavanje urbanih sredina uglavnom je sprovedeno pružanjem direktnih finansijskih podsticaja i subvencija graditeljima i/ili vlasnicima objekata, i usled stvaranja deficita oni su zamenjeni sistemom naknada i propisima. Faktor površina biotopa, kao sastavni deo regulative, izazvao je značajno međunarodno interesovanje, shodno ostvarenim rezultatima. Uspešno se primenjuje duži niz godina, kako u Berlinu, tako i u drugim gradovima i opštinama u Nemačkoj i širom Evrope. Imajući u vidu da su zeleni krovovi najprimenjivanija mera povećanja zelenih površina u gusto izgrađenim gradskim sredinama, u prilog uspehu sprovođenja propisa govori podatak da Berlin ima 1 m² zelenih krovova po stanovniku (EFB, 2015).

Tabela 3.2. Vrednosti faktora površina biotopa za različite materijalizacije površina (Kazmierczak & Carter, 2010)

Vrste površina	Opis površina	Faktor površine biotopa (BAF)
Potpuno zaptivene površine	Vodonepropusne i paronepropusne površine (beton, asfalt, itd.)	0,0
Delimično zaptivene površine	Vodopropusne i paropropusne površine bez mogućnosti razvoja zelenila (mozaik popločavanje, ploče na podlozi od peska/šljunka)	0,3
Poluotvorene površine	Vodopropusne i paropropusne površine sa mogućnošću razvoja zelenila (šljunak, drvena podloga - deking, šuplja opeka)	0,5
Zelene površine odvojene od tla konstrukcijom	Zeleni krovovi u nivou terena sa debljinom supstata manjom od 80cm	0,5
Zelene površine odvojene od tla konstrukcijom	Zeleni krovovi u nivou terena sa debljinom supstata većom od 80cm	0,7
Zelene površine povezane sa tlom	Prirodne zelene površine koje omogućavaju razvoj biljnih i životinjskih vrsta	1,0
Infiltracija kišnice po m ² površine krova	Infiltracija kišnice preko postojećih zelenih površina za obnavljanje podzemnih voda	0,2
Sistemi vertikalnog ozelenjavanja	Zeleni zidovi i fasadni zidovi bez otvora, visine do 10m	0,5
Zeleni krovovi	Ekstenzivni i intenzivni zeleni krovni sistemi	0,7

Minster

Minster je grad u saveznoj državi Severna Rajna – Vestfalija, sa populacijom od oko 300 hiljada stanovnika. Ovu oblast sa umerenom klimom i prosečnom količinom padavina na godišnjem

nivou za Nemačku, karakteriše natprosečan broj kišnih dana sa padavinama u maloj količini, dok su zime blage i snežne padavine su neuobičajene. U cilju rešavanja problema upravljanja padavinama, kao i evidentnog nedostatka zelenih površina, grad je uspostavio podsticajni program za subvencionisanje ekoloških inicijativa, čije je sprovođenje doprinelo razvoju ekološke svesti i informisanju javnosti. Smanjenje opterećenja kanizacionog sistema regulisano je uvođenjem takse na odvođenje padavina 1991. godine (Sekulić, 2013). Taksa se može izbeći u slučaju usmeravanja odvođenja padavina u vodene tokove, a može se smanjiti za 80% implementacijom zelenih krovova. Dodatno smanjenje nadoknade za upravljanje padavinama postiže se primenom intenzivnog tipa zelenih krovova koji se odlikuje visokim procentom zadržavanja vode. Uz pretpostavljeni životni vek zelenog krova od 40 godina, procenjuje se celokupan povratak investicija izgradnje preko obavezujuće takse na odvođenje padavina (Sekulić, 2013), što predstavlja značajan podsticaj za njihovu implementaciju u ovoj oblasti.

3.2.2 Politike i stanje u oblasti primene zelenih krovova u Švajcarskoj

Švajcarska, kao član mnogih međunarodnih asocijacija zelenih krovova ima dugogodišnje iskustvo u proizvodnji i primeni relevantnih rešenja, čemu je doprinelo kreiranje i uspešno sprovođenje odgovarajućih politika. Popularizacija zelenih krovova sedamdesetih godina prošlog veka, kao ekološkog pristupa izgradnji, uticala je na izvođenje velikog broja zelenih krovova osamdesetih godina, prevashodno kroz pilot projekte koji su obezbedili kvalitetnu osnovu znanja i iskustva za buduće inicijative (Kazmierczak & Carter, 2010). Devedesetih godina su razvijene strategije finansijskih podsticaja na nivou mnogih opština, što je rezultiralo spremnošću vlasnika objekata da u većoj meri prihvate izgradnju zelenih krovova. Podsticajnim programom vlade Bazela (1996/97.), u saradnji sa interesnim grupama – preduzetnicima, stručnjacima iz oblasti hortikulture, ekološkim društvom „Pro Nature Basel“ i drugim, promovisano je ozelenjavanje postojećih ravnih krovova subvencijama u iznosu od 1.000.000 CHF, što je doprinelo izgradnji približno 85.000 m² zelenih krovova (Haefeli et al., 2014). U tom periodu je u Bernu propisan zakon za ozelenjavanje novih i postojećih objekata, dok su opštine u Ženevi i Lozani promovisale i podsticale vlasnike objekata na izgradnju zelenih krovova u cilju unapređenja stanja u životnoj sredini (Haefeli et al., 2014). Kreiranje politika u velikom broju opština i gradova u Švajcarskoj uticalo je na masovnu izgradnju zelenih krovova, koja se procenjuje na 1.800.000 m² novih zelenih krovova godišnje, uz ostvarivanje profita industrije od 28 miliona €/god, primenom pretežno ekstenzivnih zelenih krovovnih sistema (95%) (EFB, 2015).

Bazel

Bazel predstavlja jedan od 26 kantona u Švajcarskoj koji se odlikuju sopstvenim ustavom, zakonodavstvom i vladom. Shodno tome, Bazel je razvijao politike zelenih krovova na nivou grada. Ključni razlog njihove primene predstavljala je ušteda u potrošnji energije, na osnovu čega su se razvili podsticajni programi (I podsticajni program 1996/97. i II podsticajni program 2005/06. godine), a potenciran je i njihov značaj u pogledu očuvanja biodiverziteta (Kazmierczak & Carter, 2010). Finansijski podsticaji su, uz odgovarajuće propise o izgradnji, rezultirali uštedom energije od 4 GWh/god. tokom sprovođenja I programa, odnosno 3,1 GWh/god. tokom sprovođenja II programa (European Commission, 2013b). Razmatranjem benefita koji se ostvaruju primenom zelenih krovova prepoznata je i mogućnost ublažavanja klimatskih promena. Usled položaja grada u dolini reke Rajne, na nadmorskoj visini od svega 277 m, Bazel odlikuje blaga umereno-kontinentalna klima. Na osnovu podatka o porastu temperature za 1,5°C u periodu od 1970. do 2007. godine, i procenom dodatnog povećanja za 4,5°C do 2100. u odnosu na 1990. godinu, zeleni krovovi su uzeti u obzir kao mera stvaranja otpornosti građene sredine na klimatske promene (Kazmierczak & Carter, 2010). Zakonom o izgradnji koji je stupio na snagu 2002. godine propisano je ozelenjavanje svih novoizgrađenih ravnih krovova, kao i prilikom obnove postojećih, uz davanje smernica za njihovo projektovanje i izgradnju na takav način da utiču i na očuvanje biodiverziteta. Rezultat sprovođenja ovakvih politika je 700.000 m² zelenih krovova do 2007. godine, neposredno nakon završetka II podsticajnog programa. Uključivanje interesnih grupa na samom početku kreiranja politika proizvelo je mnogostruke koristi. Ostvareni su ekonomski benefiti lokalnih preduzeća u pogledu prodaje materijala i opreme za izgradnju zelenih krovova, ušteda energije za vlasnike objekata, kao i benefiti u pogledu kvaliteta urbane sredine. Bazel danas predstavlja grad koji ima najveću površinu zelenih krovova po stanovniku, i globalno je prepoznatljiv na osnovu dostignuća u primeni zelenih krovova, o čemu govori podatak da su mnogi evropski i svetski gradovi kreirali uredbe po uzoru na Bazel, od kojih se izdvajaju Kopenhagen (Danska) i Toronto (Kanada) (Wilkinson & Dixon, 2016).

3.2.3 Politike i stanje u oblasti primene zelenih krovova u Italiji

Koncept zelenih krovova u Italiji dobio je na značaju krajem XX i početkom XXI veka. Gradili su se uglavnom ekstenzivni sistemi u okviru pilot projekata, čije su inicijative doprinele osnivanju nacionalnog udruženja za zelene krovove – AIVEP (ita. *Associazione Italiana Verde Pensile*) 1996. godine (Houx & de Boer, 2016). Ciljevi udruženja bili su okupljanje i saradnja stručnjaka, i podsticanje prikupljanja informacija i razmene znanja iz ove oblasti. Udruženje AIVEP postalo je član Evropske federacije zelenih krovova i zidova (EFB) i zaslužno je za

definisane Indikatora smanjenja uticaja zgrada – RIE (ita. *Riduzione di Impatto Edilizio*), koji doprinosi razumevanju u kojoj meri integrisano zelenilo nadoknađuje zaptivanje tla izgradnjom objekata (Houx & de Boer, 2016). Od uvođenja RIE indikatora u regulativu 2004. godine od strane opštine Bolcano, u toj oblasti je izgrađeno oko 320.000 m² zelenih krovova u toku proteklih 10 godina. Nakon Bolcana, Bolonja je uvela RIE indikator 2015. godine, kao deo plana adaptacije grada na klimatske promene (projekat *Blue Ap*). Zahvaljujući uspešno sprovedenom istraživačkom projektu zelenih krovova (projekat *OrtiAlti*), Torino je 2016. godine doneo odluku na nivou grada da izgradnja zelenih krovova bude oslobođena poreza (Houx & de Boer, 2016). Osnovni nacionalni ciljevi primene zelenih krovova u okviru urbane zelene infrastrukture odnose se na adaptaciju na klimatske promene, upravljanje atmosferskim padavinama, očuvanje biodiverziteta, uštedu energije, kao i na obezbeđivanje novih radnih mesta. Iako je do sada mali broj gradova u Italiji uključen u promociju zelenih krovova, njihov uspeh u implementaciji zasnovan je na uspostavljenim propisima, koji se stalno razvijaju i unapređuju.

Faenca

Faenca predstavlja primer grada u kome je uspešno sprovođenje inicijative za stvaranje zdravijeg okruženja „Bio-susedstvo“ (eng. *Bio-neighbourhood*) uticalo na promene i unapređenje urbanističke regulative. Grad srednje veličine, sa približno 58.000 stanovnika, na severoistoku Italije, karakteriše umerena klima sa toplim i vlažnim letima i malom količinom padavina, dok su zimski meseci pretežno hladni. Scenariji klimatskih promena ukazuju na povećanje letnjih temperatura za 3,9°C do 5,5°C (Kazmierczak & Carter, 2010). S tim u vezi, opština je sprovela podsticajni program za graditelje, čiji su ciljevi, pored poboljšanja mikroklimatskih uslova, i ušteda u potrošnji energije i promocija estetskih kvaliteta okruženja, odnosno zaštita prirodnih obeležja i očuvanje i stvaranje funkcionalnih otvorenih prostora. Podsticajnim programom se omogućava proširenje objekata u pogledu veće zauzetosti i/ili spratnosti u odnosu na važeće propise, uz ispunjavanje uslova postizanja održivosti životne sredine. Kriterijumi su: implementacija zelenih krovova i zidova, izgradnja sistema za zadržavanje vode i formiranje kontinualnih zelenih površina. Specifičnost podsticajnog programa, koji je sastavni deo urbanističke regulative od 1999. godine, ogleda se u nepostojanju strogih propisa u pogledu uslova izgradnje objekata, već se od slučaja do slučaja vrše pregovori između gradskih vlasti i graditelja/investitora (Kazmierczak & Carter, 2010). Na taj način skraćuje se vreme za dobijanje građevinskih dozvola, što pozitivno utiče na uključivanje interesnih grupa u većoj meri u proces urbanističkog planiranja, i podsticanje investicija. Sprovođenje podsticajnog programa doprinelo je poboljšanju kvaliteta životnog okruženja usled čega je došlo do porasta broja stanovnika za 6% u periodu od 10 godina, od uvođenja propisa. Danas je Faenca prepoznatljiva u Italiji i širom

Evrope po visokom kvalitetu urbanističkog planiranja, čiji su model usvojile i druge opštine u regionu. Uspeh inicijative Faence nagrađen je brojnim nacionalnim i međunarodnim priznanjima, od kojih se ističe Evropska nagrada za urbanističko i regionalno planiranje (*Challenges 2009*) (Marić et al., 2015).

3.2.4 Politike i stanje u oblasti primene zelenih krovova u Mađarskoj

Implementacija savremenih zelenih krovova u Mađarskoj započela je devedesetih godina prošlog veka. Od izvedenog prvog zelenog krova, 1991. godine, do danas, projektovanje i izgradnja se uglavnom baziraju na znanjima i iskustvima iz Nemačke. U Mađarskoj je 1999. godine osnovana organizacija, preteča Nacionalnom udruženju za zelene krovove – ZEOSZ (mađ. *Zöldtető- és Zöldfalépítők Országos Szövetsége*) u cilju okupljanja stručnjaka za promovisanje izgradnje zelenih krovova (Szoke et al., 2013). Udruženje ZEOSZ danas je aktivan član Evropske federacije zelenih krovova i zidova (EFB, 2015). U prvoj deceniji, zeleni krovovi su se gradili u manjoj meri, dok je ekspanzija izgradnje započela oko 2000. godine, prevashodno usled obezbeđivanja velikih investicija. Integrisano zelenilo je podjednako zastupljeno u stambenim, javnim i komercijalnim objektima, i u najvećem broju slučajeva je izvedeno kroz pojedinačne projekte (Baranka, 2013; Csete & Buzasi, 2016). I pored postojanja ekološke svesti stanovništva, veliki porast izgradnje zelenih krovova je rezultat strožijih propisa u vezi sa zelenim površinama u okviru nacionalnog zakonodavstva (OTÉK, aneks 5) (Szoke et al., 2013). Nacionalnim zahtevima u pogledu urbanističkog planiranja i izgradnje, propisani su veličina i kvalitet zelenih površina, sa ciljem rešavanja problema koji se prvenstveno odnose na ublažavanje efekta urbanih toplotnih ostrva, ostvarivanje uštede u potrošnji energije i očuvanje biodiverziteta. Na osnovu odredbe iz aneksa 5, ekstenzivni zeleni krovni sistemi imaju faktor 25% prilikom obnove zelenih površina, a intenzivni od 50% do 75%, u zavisnosti od debljine supstrata, odnosno primenjenog tipa vegetacije (Szoke et al., 2013). Iz tog razloga pretežno su građeni intenzivni sistemi, po čemu je Mađarska jedinstven primer u svetu, sa udelom od 65% od ukupnog fonda zelenih krovova (EFB, 2015). Intenzivni zeleni krovovi se u potpunosti mogu smatrati elementom urbane zelene infrastrukture imajući u vidu benefite koji se ostvaruju njihovom primenom, što je i u skladu sa postavljenim ciljevima.

Kao rezultat sprovođenja propisa na nacionalnom nivou, Mađarska je do 2015. godine imala fond od 1.250.000 m² zelenih krovova, uz procenu izgradnje novih 100.000 m² na godišnjem nivou, prilikom čega se ostvaruje profit od 5.662.500 €/god. (EFB, 2015). Imajući u vidu da se pri projektovanju stambenih naselja, i javnih i komercijalnih blokova teži maksimalnom iskorišćenju prostora, gusto izgrađene gradske sredine predstavljaju veliki potencijal za izgradnju intenzivnih zelenih krovova kao kompenzacije za zauzetost tla. Nedostatak u pogledu stručnjaka

za proveru kvaliteta izvedenih krovova ukazuje na potrebu edukacije i neophodnost unapređenja postojeće regulative, kao i na razmatranje drugih benefita koji se ostvaruju primenom zelenih krovova, naročito intenzivnih sistema (Szoke et al., 2013).

3.2.5 Politike i stanje u oblasti primene zelenih krovova u Francuskoj

U cilju rešavanja aktuelnih problema u vezi sa klimatskim promenama, u kontekstu *Strategije za adaptaciju na klimatske promene*, u Francuskoj je 2015. godine donet zakon koji se odnosi na instaliranje solarnih panela ili ozelenjavanje krovova svih novih komercijalnih objekata (Wilkinson & Dixon, 2016). Intenziviranje ozelenjavanja krovova koje je započeto 2007. godine bilo je podržano i *Planom za unapređenje biodiverziteta*, kao i *Planom za upravljanje atmosferskim padavinama*, što je rezultiralo izgradnjom 1.000.000 m² zelenih krovova u 2012. godini (Wilkinson & Dixon, 2016).

Pariz

Pariz predstavlja grad u kome je moguće implementirati zelene krovove na postojećim objektima u velikoj meri, što potvrđuje podatak potencijalnih krovnih površina od 460 ha (Baltus, 2015). Pilot projektima zelenih krovova velikih razmera, koji su dostupni široj populaciji, ukazuje se na značaj njihove primene kroz ostvarivanje brojnih benefita. Na primeru najvećeg zelenog krova površine 7000 m², izgrađenog 2013. godine u okviru remodelovanja tržnog centra iz sedamdesetih godina prošlog veka (fra. *Centre commercial Beaugrenelle*), potvrđena je multifunkcionalnost zelenih krovnih sistema (Garric, 2013). Ciljevi projekta su se odnosili na unapređenje biodiverziteta, smanjenje potrošnje energije za postizanje toplotnog komfora i ublažavanje efekta urbanih toplotnih ostrva u neposrednom okruženju. Pored navedenog, unapređen je i estetski kvalitet objekta i urbane sredine, stvoren je dodatni prostor za socijalizaciju i smanjeno je opterećenje kanalizacionog sistema u pogledu odvođenja atmosferskih padavina (Wilkinson & Dixon, 2016). Očekivani ishodi integrisanja zelenih sistema na nivou grada su: ozelenjavanje 100 ha krovova i fasada, od kojih je trećina namenjena za urbanu poljoprivredu; 20.000 novih stabala drveća; postizanje nulte emisije otpada i ugljendioksida; podsticanje na reciklažu i ponovnu upotrebu; smanjenje potrošnje energije; unapređenje zelene infrastrukture prema datim smernicama za upravljanje zemljištem, vodenim tokovima i plavnim područjima; i obezbeđivanje kontinuiteta ekološki ispravnog postupanja („Mairie de Paris“, 2015).

3.3 Nacionalno zakonodavstvo i stanje u oblasti primene zelenih krovova u Republici Srbiji

U projektantskoj i urbanističkoj praksi u Republici Srbiji (RS), zeleni krovovi su zastupljeni u maloj meri. Osnovni razlozi za to su neprepoznavanje ovog koncepta u regulativi RS i nerazvijena svest građana i drugih interesnih grupa o značaju integrisanja zelenila u objektima, uprkos razvijenoj praksi, politikama i programima, i sprovedenim naučnim istraživanjima u Evropi i svetu. Imajući u vidu da zeleni krovovi predstavljaju element zelene infrastrukture, ovaj termin je relativno nov u domaćoj terminologiji, zbog čega nije uvršćen u postojeće zakonodavstvo (*Zakon o zaštiti životne sredine* (2016), *Zakon o zaštiti prirode* (2016), itd.). Zelena infrastruktura nema eksplicitno zakonsko uporište na bilo kom nivou planiranja.

U delu *Zakona o planiranju i izgradnji* (2016), koji se odnosi na urbanističke planove, navodi se sadržaj *Generalnog urbanističkog plana (GUP)* koji obuhvata „generalne pravce i koridore za saobraćajnu, energetska, vodoprivrednu, komunalnu i drugu infrastrukturu“ (čl. 24. st. 3.), dok je u Sastavnim delovima planskih dokumenata utvrđena obaveza sadržaja Pravila uređenja, koja se, između ostalog, odnose na „urbanističke i druge uslove za uređenje i izgradnju površina i objekata javne namene i mreže saobraćajne i druge infrastrukture“ (čl. 30. st. 2.). Na osnovu ovakve interpretacije, može se pretpostaviti da bi zelena infrastruktura mogla biti podvedena pod „druge infrastrukture“. Zakon takođe obuhvata i pitanja energetske efikasnosti, i navodi da „zgrada koja za svoje funkcionisanje podrazumeva utrošak energije, mora biti projektovana, izgrađena, korišćena i održavana na način kojim se obezbeđuju propisana energetska svojstva zgrada“ (čl. 4. st. 2.), što bi takođe podržalo planiranje zelene infrastrukture. Na osnovu navedenog može se zaključiti da, iako zelena infrastruktura nije eksplicitno propisana zakonom, obezbeđen je okvir za njeno planiranje kroz adekvatno tumačenje naznačenih članova i stavova iz Zakona.

Zakonom o zaštiti životne sredine (2016) obuhvaćene su javne zelene površine. Naznačeno je da se „javne zelene površine u naseljenim mestima i predelima obuhvaćenim prostornim i urbanističkim planovima podižu i održavaju na način koji omogućava očuvanje i unapređivanje prirodnih i stvorenih vrednosti“ (čl. 20. st. 1.). Zakonom se dalje utvrđuje da „ako se zbog izgradnje objekta unište javne zelene površine, one se moraju nadoknaditi pod uslovom i na način koji određuje jedinica lokalne samouprave“ (čl. 20. st. 2.). Uzimajući u obzir da nadležnost za propisivanje zahteva i načina kompenzacije za uništene javne zelene površine imaju lokalne vlasti, pruža im se mogućnost pokretanja inicijativa u pogledu planiranja i izgradnje različitih tipova zelene infrastrukture. Donošenje *Odluke o podizanju zelenog krova* od strane Skupštine grada Beograda iz 2011. godine predstavlja pomak u kontekstu inicijativa lokalnih vlasti, iako do danas Odluka nije sprovedena (Crnčević & Sekulić, 2012). Postavlja se pitanje uticaja lokalnih

samouprava na više nivoa vlasti, zato što zeleni krovovi, zeleni zidovi i parking prostori na poroznim površinama koje poseduju ekološke vrednosti, prema postojećem zakonskom okviru (*GUP Beograda do 2021. godine*), ne spadaju u zelene površine, odnosno nisu prepoznati u planskoj dokumentaciji i ne čine udeo u ozelenjenosti bloka ili parcele (Crnčević & Sekulić, 2012; Marić et al., 2015).

Zakon o zaštiti prirode (2016) navodi uspostavljanje ekološke mreže (čl. 38.), što suštinski određuje zelenu infrastrukturu na regionalnom i/ili nacionalnom nivou, ali ne propisuje posebne odredbe kojima bi se obezbedilo multifunkcionalno planiranje zelene infrastrukture u pogledu energetske efikasnosti ili klimatskih promena, niti se značaj vegetacije ističe u tom kontekstu.

Sa druge strane, uvođenjem predela u regulativu na nacionalnom nivou *Zakonom o Prostornom planu Republike Srbije* (2010), zelenilo dobija na značaju. Između ostalog, planom se predviđa „unapređenje/očuvanje slike i strukture urbanog predela kroz očuvanje, unapređenje i održivo korišćenje otvorenih, zelenih prostora i elemenata prirode u gradovima, i kreiranju mreže zelenih i javnih prostora kojim se povezuju prirodne i kulturne vrednosti naselja, periurbanog područja i ruralnog predela“ (*Zakon o Prostornom planu Republike Srbije*, 2010).

U *Generalnom urbanističkom planu Beograda do 2021. godine*, zeleni krovovi i zidovi pominju se u kontekstu korektivnog zelenila, kao vid ozelenjavanja koji se preporučuje u svrhu korekcije likovno-arhitektonskih nedostataka objekata (Crnčević & Sekulić, 2012). U Planu se takođe određuje značenje zelene površine koju predstavlja svaka površina sa slojem supstrata debljine jednake ili veće od 60 cm, što umanjuje značaj ekstenzivnih zelenih krovova, koji su u svakom pogledu dostupniji u odnosu na intenzivne sisteme, i poseduju izvesne ekološke vrednosti. U okviru *Generalnog urbanističkog plana Niša 2010-2025.* (2016) nije jasno definisano šta spada u zelene površine, sem ispunjavanja uslova minimalne zastupljenosti zelenila od 10% u odnosu na površinu bloka, odnosno parcele, tako da se može smatrati da bi zeleni krovovi činili udeo u ozelenjavanju.

Jednu od značajnih prepreka za uspešno planiranje i sprovođenje inicijativa predstavlja ograničeno učešće javnosti. *Zakonom o planiranju i izgradnji* (2016) predviđeno je izlaganje planskog dokumenta na javni uvid (čl. 50. i čl. 51.) bez obavezujuće saradnje nosioca izrade plana sa lokalnom zajednicom i stanovništvom. Odluka o saradnji se prepušta planeru ili se sprovodi prema zahtevu nadležnih organa (Marić et al., 2015). Sa druge strane, treba imati u vidu nedostatak iskustava i znanja o tehnikama i metodama, kao i nedovoljno razvijene mehanizme i procedure za učešće javnosti u procesu donošenja odluka. Praksa primene zelenih krovova svakako bi bila unapređena uspostavljanjem proceduralnih okvira za usvajenje *Zakona o zaštiti i unapređenju zelenih površina*, izradom *Pravilnika za izgradnju zelenih krovova*, kao i istraživanjima sa ciljem kvantifikovanja sveobuhvatnih benefita sa aspekta održivosti.

I pored činjenice da zakonska osnova kojom se reguliše planiranje i uređenje prostora nema posebnih odredbi za zelene krovove, postojećom praksom, koja beleži pozitivne primere, ističe se značaj postojanja informacione osnove u pogledu usmeravanja razvoja i primene savremenih principa planiranja i izgradnje. Imajući u vidu da planiranje i izgradnja zelenih krovova zahteva veća ulaganja u odnosu na konvencionalne tehnike građenja, njihova primena se uglavnom zasniva na volji investitora. Poslednjih par godina zeleni krovovi se intenzivnije grade u okviru novih objekata, prevashodno u cilju unapređenja estetskih kvaliteta. Na tržištu Republike Srbije danas su dostupni komercijalni zeleni krovni sistemi renomiranih proizvođača (Knauf, ZinCo, Optigreen, itd.), i u skladu sa njihovim standardima vrši se izgradnja, usled nepostojanja domaće regulative. Na osnovu sagledavanja primera izvedenih zelenih krovova izvršena je analiza primene ovog koncepta u Republici Srbiji, koja je, kako se može zaključiti, još uvek u začetku.

3.3.1 Studija slučaja – analiza izvedenih zelenih krovova

Činjenica da je fond zelenih krovova u Republici Srbiji veoma mali, ukazuje na potrebu istraživanja izvedenih projekata, koji bi predstavljali bazu podataka na osnovu koje bi se sagledalo trenutno stanje u oblasti primene i upravljalo budućim razvojem. Kao relevantni podaci uzeti su u obzir: namena objekta, vlasništvo, investitor, godina izvođenja, izgradnja na novom ili postojećem objektu, razlog izgradnje, pristupačnost, nivo zelenog krova, tip i vrsta sistema (komercijalni/nekomercijalni zeleni krov), debljina supstrata, način održavanja, i odnos površina objekta i zelenog krova. Analizom je obuhvaćeno 12 izvedenih zelenih krovova na teritoriji Republike Srbije (prilog 1).

Na osnovu prikupljenih podataka, može se konstatovati da je svih 12 zelenih krovova izgrađeno u gradskim sredinama, od čega je jedanaest u Beogradu i jedan u Nišu, što je posledica velikih investicija koje privlači glavni grad. U pogledu namene objekata na kojima su izvedeni zeleni krovovi, može se zaključiti da je najveći udeo poslovnih objekata (6), što predstavlja 50% analiziranih primera; 5 je stambeno-poslovnih i jedan je objekat javne namene. Pored najveće zastupljenosti na poslovnim zgradama, ovi podaci ukazuju na sve veću primenu i u okviru stambenih kompleksa novijih datuma, a time i na korišćenje od strane većeg broja ljudi, što ide u prilog promociji zelenih krovova. S tim u vezi, od 11 objekata, odnosno zelenih krovova, u privatnom vlasništvu, u 4 slučaja se deo pod zelenim površinama javno koristi, što pored jednog primera u vlasništvu lokalne samouprave, a time i javnog korišćenja, dovodi do zaključka da je od 12 analiziranih primera 5 dostupno široj populaciji.

Shodno činjenici da primena zelenih krovova nije regulisana zakonom i drugim propisima, ovaj koncept se uglavnom primenjuje u skladu sa voljom investitora, što je potvrđeno u 11 od 12 prikazanih slučajeva. Uzimajući u obzir godinu izgradnje, može se konstatovati da je u periodu

od 2005. do 2017. godine, 50% analiziranih zelenih krovova (6) izgrađeno u poslednje 3 godine, što uz projekte koji su u fazi izvođenja ukazuje na sve veću primenu na našim prostorima.

Praksa primene ukazuje na izgradnju na novoprojektovanim objektima, dok su 2 primera izvedena na postojećim objektima. S tim u vezi, razmatrajući konstrukcijski aspekt, u 10 slučajeva (83,3%) je opterećenje od zelenih krovova uzeto u obzir prilikom dimenzionisanja nosećih elemenata, a preostala 2 predstavljaju sisteme relativno male težine, do približno 90 kg/m² (Knauf Insulation, n.d.), koji je bilo moguće izvesti bez dodatnog ojačanja konstrukcije. U primeru koji se odnosi na parter ispred Skupštine Grada u Beogradu, postojeće zelene površine su, usled izgradnje podzemne garaže, očuvane formiranjem zelenog krova, čime je uspostavljeno nekadašnje stanje otvorenih prostora koji spadaju u zaštićena kulturna dobra. Pored navedenog razloga za izgradnju zelenog krova, prikazani primeri su najviše motivisani ostvarivanjem procentualnog učešća pod zelenilom na parceli (8), zatim unapređenjem estetskih kvaliteta objekata (6) i promocijom zelenih krovova (2). Podaci ukazuju da pri izgradnji zelenih krovova nisu razmatrane druge brojne koristi koje se takođe ostvaruju, a čija spoznaja bi doprinela razvoju ovog koncepta na domaćim prostorima i primeni delotvornijih sistema, shodno utvrđenim ciljevima. S tim u vezi, neophodno je ustanoviti mehanizme informisanja, kako investitora i korisnika, tako i vlasti i ostalih interesnih grupa.

Uzimajući u obzir pristupačnost zelenim krovovima, u najvećem broju slučajeva se zelenom krovu može pristupiti – 10 objekata, od kojih je u 8 slučajeva omogućen boravak, i to u 5 slučajeva za javno korišćenje. Četiri primera se odnose na zelene krovove u nivou terena, a 8 u nivou krova, prilikom čega su objekti spratnosti od P+1 do P+7. Intenzivni krovni sistemi, koji poseduju veće ekološke kvalitete, zastupljeni su u 4 primera. Ustanovljeno je da su, od 8 objekata sa ekstenzivnim zelenim krovovima, u 5 slučajeva primenjeni komercijalni sistemi (Knauf – 2; ZinCo – 1; Optigreen – 1; Dorken – 1). Debljina primenjenih supstrata je u opsegu od 4 cm do 20 cm za ekstenzivne i od 20 cm do 185 cm za intenzivne zelene krovove. U 10 slučajeva zeleni krovovi se redovno održavaju, a to su instalacije uglavnom novijeg datuma, za čije je uspostavljanje, odnosno formiranje biljnog materijala, potrebna intenzivna nega u prvim godinama.

Podaci koji se odnose na površinu objekta i površinu zelenog krova značajni su za utvrđivanje u kojoj meri je zauzetost tla nadoknađena zelenom krovnom površinom. Rezultati ukazuju da se odnos površine zelenog krova i zauzetosti objekta (ili površine krova) kreće od 6,5% do 76%. Iako su prevashodno zastupljeni manji udeli površina zelenih krovova, analizirani slučajevi predstavljaju pozitivne primere uzimajući u obzir ostatak građevinskog fonda u kome ova mogućnost unapređenja stanja u životnoj sredini nije primenjena.

Na osnovu podataka o površini zelenog krova i površini pod biljnim materijalom, može se uvideti da su, kod primera kod kojih se ove vrednosti razlikuju, primenjeni sistemi koji ispod završnih slojeva imaju istu strukturu elemenata. U okviru analize konstatovano je da su primenjena 4 zelena krovna sistema sa različitom završnom materijalizacijom, što ide u prilog brojnim mogućnostima njihove primene.

Relativno mali uzorak za analizu posledica je činjenica da zeleni krovovi predstavljaju novu tehniku građenja na domaćem tržištu, da ne postoje mehanizmi za javnu promociju i s tim u vezi javnost nije dovoljno upoznata sa njihovom ulogom i značajem, te da ovakvi projekti nisu podržani regulativom. Iako je utvrđeno da postoji više izvedenih zelenih krovova na teritoriji Srbije, vlasnici ostalih objekata nisu bili voljni da dostave potrebne tehničke podatke, što ukazuje na nerazvijenu svest o značaju promocije ovog koncepta kroz saradnju i razmenu iskustava.

Pojedinačni slučajevi svakako imaju značaj za ostvarivanje benefita na nivou objekta, kako onih koji su predstavljali razlog izgradnje, tako i drugih koji nisu uzeti u razmatranje, poput postizanja energetske efikasnosti, produženog veka krovne konstrukcije, itd., međutim, ne mogu doprineti ostvarivanju performansi na nivou urbane sredine, kao što je adaptacija na klimatske promene, ukoliko se ne primene u velikoj meri. S tim u vezi, neophodno je pristupiti aktivnostima za uspostavljanje zakonskih i planskih okvira za primenu zelenih krovova kao sastavnog dela zelene infrastrukture grada.

3.4 Mogući pristupi za uvođenje zelenih krovova u nacionalno zakonodavstvo

Zemlje i gradovi sa iskustvom u izgradnji, korišćenju i održavanju zelenih krovova pružaju obilje primera za podsticanje izgradnje i upravljanje u eksploataciji. Imajući u vidu neophodnost uspostavljanja strateškog okvira u cilju promovisanja ove tehnike građenja u Republici Srbiji, potrebno je uzeti u obzir inostrana iskustva na nacionalnim i lokalnim nivoima, kao i relevantne naučne publikacije koje se odnose na analizu problematike. Prepoznati instrumenti politike mogu biti kategorisani u četiri osnovna tipa: 1) obezbeđivanje informacija i propagiranje, 2) podsticaji, 3) podrška, odnosno mere vlade, i 4) propisi (Pianella et al., 2016). Mnoga pitanja, a prevashodno problemi zaštite životne sredine, često zahtevaju niz instrumenata politike koji se tiču prevazilaženja različitih prepreka i izazova koji ograničavaju usvajanje željene prakse. Mere politike mogu biti obavezujućeg karaktera ili na dobrovoljnoj osnovi, i mogu predstavljati dobar pristup za regulisanje propisa ili pružanje posticaja za najbolju praksu. Većina mehanizama politike zelenih krovova zasniva se na propisima i direktnim i indirektnim podsticajima (Shiah, 2011). Razlog tome je činjenica da u zemljama i gradovima sa razvijenom primenom zelenih krovova već postoje mehanizmi javnog informisanja i podrška vlade. Primeri mehanizama

politike zelenih krovova, na osnovu dosadašnjih iskustava, prikazani su u tabeli 3.3 (Pianella et al., 2016).

Razvoj politike zelenih krovova i odabir odgovarajućih instrumenata njenog sprovođenja trebalo bi da se bazira na lokalnom kontekstu, prevazilaženju prepreka za uspešno sprovođenje i stanju razvoja tehnologije i pratećih industrija u pogledu proizvodnje, izgradnje, korišćenja i održavanja.

Tabela 3.3. Mehanizmi politike zelenih krovova (Pianella et al., 2016)

Instrumenti politike	Informisanje i propagiranje	Podsticaji	Mere / podrška vlade	Propisi
Informisanje, angažovanje i učešće javnosti	+			
Priručnici i alati	+			
Podsticaji tokom procesa planiranja za predloge koji uključuju zelene krovove: <ul style="list-style-type: none"> • Povećanje korisne površine • Ubrzano dobijanje dozvola • Smanjenje taksi • Oslobođanje plaćanja izvesnih nadoknada (poreza) 		+		
Smanjenje taksi za upravljanje atmosferskim padavinama		+		
Subvencije, popusti i finansiranje za izgradnju zelenog krova		+		
Rukovođenje planiranjem zelenih krovova			+	
Integrisano donošenje odluka o urbanoj infrastrukturi i planiranju namene zemljišta			+	
Integrisano donošenje odluka koje se odnosi na to da postojeći propisi ne predstavljaju prepreke za implementaciju zelenog krova			+	
Obaveza ozelenjavanja krovnih površina svih novih objekata (može se primeniti samo za određenu tipologiju zgrada)				+
Utvrdjivanje posebnih oblasti/urbanih zona za obavezu ozelenjavanja krovnih površina novih objekata u okviru urbanističkog planiranja				+
Sistemi vrednovanja održivih objekata – setifikati zelene gradnje		+		+
Prikupljanje podataka, kontrola i procena performansi	+		+	
Istraživanje	+		+	
Nagrade i priznanja	+	+	+	

4. UNAPREĐENJE POSTOJEĆIH OBJEKATA REMODELOVANJEM

4.1 Životni ciklus objekata i građene sredine

Benefiti koje obezbeđuju savremena urbana naselja su evidentni (stanovanje, zaposlenje, obrazovanje, zdravstvena zaštita, transport i mnoge druge usluge), međutim, izgradnja i eksploatacija objekata i infrastrukture dovode do značajne potrošnje resursa, proizvodnje emisija štetnih gasova i nastanka velike količine otpada. S tim u vezi, postavlja se pitanje da li su dosadašnji razvojni principi pogodni za primenu u budućnosti, uzevši u obzir neophodnost smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu uz unapređenje kvaliteta života. Analiza konvencionalnih, savremenih i unapređenih pristupa zasnovanih na sagledavanju životnog ciklusa objekata i građene sredine, ukazuje na značaj odabira odgovarajućih metoda koje dovode, ne samo do smanjenja negativnih uticaja na životnu sredinu, već i do mnoštva pozitivnih efekata, što je od posebne važnosti za već izgrađene objekte, a naročito u fazi eksploatacije koja je dominantna u pogledu stvaranja negativnih uticaja, prevashodno usled potrošnje energije za obezbeđivanje toplotnog komfora (Lotteau et al., 2015).

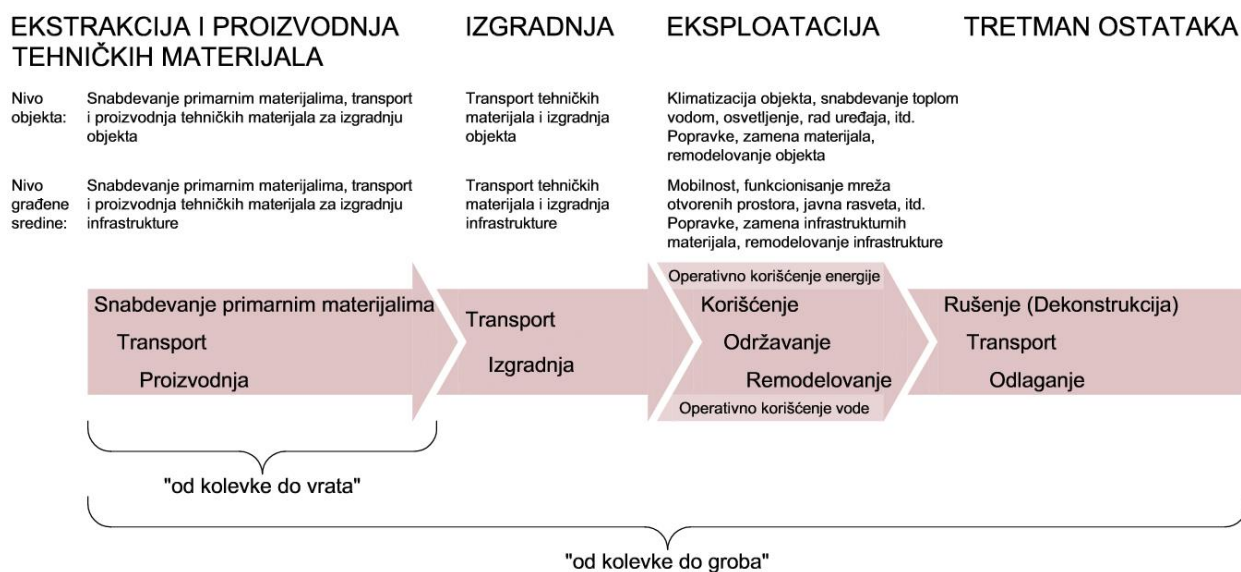
U okviru sagledavanja životnog ciklusa objekata i građene sredine, analizirane su mogućnosti transformacije tehničkih struktura po ugledu na prirodne sisteme, a utvrđene su i razlike u sprovođenju odgovarajućih aktivnosti u oba slučaja.

4.1.1 Princip linearnog toka

Industrijska revolucija, koja je doprinela masovnoj urbanoj izgradnji, zasnivala se na takozvanom „linearnom toku“ materijala i energije, jer se polazilo od pretpostavke da su resursi obilni, dostupni, da se lako mogu koristiti, a da se nusproizvodi mogu jednostavno i jeftino odlagati. Paralelno sa razvojem industrijske proizvodnje i uvođenjem novih tehnologija dolazi do sve veće eksploatacije resursa, što za posledicu ima povećane negativne uticaje na životnu sredinu, koji se odnose na emisiju gasova staklene bašte, zagađenje vazduha, vode i zemljišta, sve veću produkciju otpada, i zagađenje hemikalijama i opasnim materijama. Sektor zgradarstva i transporta predstavljaju najveće potrošače primarnih resursa, u prilog čemu govori podatak da su ove grane odgovorne za potrošnju 62% energije na globalnom nivou, kao i za 55% emisija gasova staklene bašte (Lotteau et al., 2015). U industrijski razvijenim zemljama sektor zgradarstva ima udeo od 42% u potrošnji energije, 35% u emisijama gasova staklene bašte i učestvuje sa više od 50% u ekstrakciji primarnih materijala (Lotteau et al., 2015). Imajući u vidu da su prirodni resursi ograničeni i da proizvodnja materijala i eksploatacija objekata i infrastrukture stvaraju sve veće negativne uticaje na životnu sredinu koja ne može da apsorbuje sve emisije i zagađenja, može se zaključiti da linearni tok materijala i energije pri formiranju

objekata/građene sredine ne predstavlja održivo rešenje. Sazrevanjem svesti na globalnom nivou da je jedan od prioritarnih problema čovečanstva potreba za očuvanjem i unapređenjem stanja u životnoj sredini, postepeno dolazi do razvoja metodologija procene uticaja životnog ciklusa objekta ili građene sredine na životnu sredinu, u cilju optimizacije aktivnosti i njihovih efekata. Procena životnog ciklusa (eng. *Life Cycle Assessment – LCA*) predstavlja opšte prihvaćenu naučnu metodologiju koja se može primeniti i za identifikaciju, analizu i kvantitativnu procenu uticaja objekata/građene sredine na životnu sredinu (Lotteau et al., 2015; Milanović, 2016). Postoje dva osnovna načina postavljanja granica posmatranih sistema koja su od posebne važnosti za sprovođenje navedenih aktivnosti: „od kolenke do vrata“ (eng. *“from cradle to gate”*) i „od kolenke do groba“ (eng. *“from cradle to grave”*) (Silvestre et al., 2014). Dok se u okviru sistema „od kolenke do groba“ procenjuje uticaj celokupnog životnog ciklusa objekta/građene sredine, sistem „od kolenke do vrata“ odnosi se na industrijsku proizvodnju, tj. na životni ciklus nastanka građevinskih proizvoda, od ekstrakcije primarnih materijala do trenutka transporta gotovog proizvoda. Životni ciklus prikazan na slici 4.1 obuhvata tehničke faze izgradnje objekata/građene sredine. LCA predstavlja značajan doprinos boljem informisanju u okviru procesa donošenja odluka zato što omogućava identifikaciju potencijalnih negativnih uticaja na životnu sredinu pomoću: 1) prikupljanja podataka i sastavljanja inventara životnog ciklusa koji sačinjavaju svi relevantni energetski i materijalni ulazi i izlazi u granicama posmatranog sistema, 2) procene potencijalnih uticaja na životnu sredinu koji su povezani sa utvrđenim ulazima i izlazima iz prethodnog koraka, i 3) interpretacije dobijenih rezultata u cilju unapređenja procesa donošenja odluka (Čarapina i dr., 2014; Milanović, 2016).

FAZE ŽIVOTNOG CIKLUSA OBJEKTA/GRADENE SREDINE

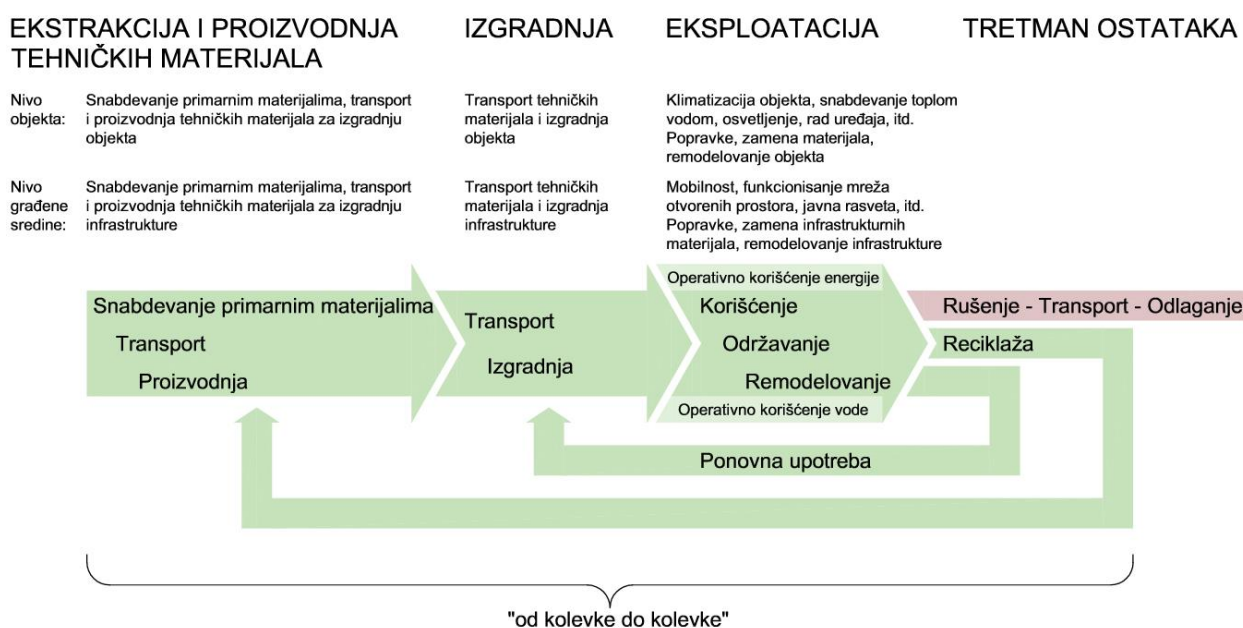


Slika 4.1. Linearni tok životnog ciklusa objekta i građene sredine (modifikovano prema Lotteau et al., 2015; Silvestre et al., 2014)

4.1.2 Princip cikličnog toka

Savremeni pristup u proceni uticaja objekata na životnu sredinu podrazumeva razmatranje krajnje faze životnog ciklusa, odnosno poboljšanje resursne efikasnosti sagledavanjem mogućnosti za uspostavu cikličnog toka po modelu „od klevke do klevke“ (eng. *“from cradle to cradle”*) (Silvestre et al., 2014) (sl. 4.2). U okviru ovakvog pristupa detaljno se analiziraju mogućnosti reciklaže i/ili ponovne upotrebe materijala i elemenata, u cilju smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu u odnosu na ustaljenu praksu odlaganja ostataka na deponije. Ciklični tok, odnosno zatvaranje petlje, odnosi se kako na projektovanje, tako i na izgradnju objekata na način koji omogućava njihovu dekonstrukciju, a podrazumeva i razvoj građevinskih proizvoda koji se mogu demontirati po isteku upotrebne vrednosti (Silvestre et al., 2014). Opisana strategija se primenjuje u kontekstu formiranja takozvanih zelenih objekata (eng. *green buildings*), koji ne podrazumevaju nužno upotrebu zelenila, već unapređenje mnoštva ekoloških karakteristika sagledavanjem celokupnog životnog ciklusa.

FAZE ŽIVOTNOG CIKLUSA OBJEKTA/GRAĐENE SREDINE



Slika 4.2. Ciklični tok životnog ciklusa objekta i građene sredine (modifikovano prema Lotteau et al., 2015; Silvestre et al., 2014)

4.1.3 Princip regenerativnog dizajna

Primenom LCA metodologije uočavaju se mogućnosti za smanjenje negativnog uticaja objekata/građene sredine na životnu sredinu, kao i potencijali za formiranje cikličnog toka po modelu „od klevke do klevke“. Navedenim pristupima se teži, u idealnom slučaju, kreiranju sistema sa nultom emisijom otpada (eng. *zero waste*), ali se postavlja pitanje mogućnosti stvaranja sistema sa pozitivnim efektima na životnu sredinu. Odgovor pruža princip

regenerativnog dizajna, odnosno integrisanje prirode u građenu sredinu. Regenerativni dizajn se može shvatiti kao sagledavanje prirode, njenih modela, sistema i procesa koje je moguće oponašati ili u njima tražiti inspiraciju za rešavanje urbanih problema koji se odnose na otklanjanje negativnih uticaja na životnu sredinu (Redi i dr., 2011).

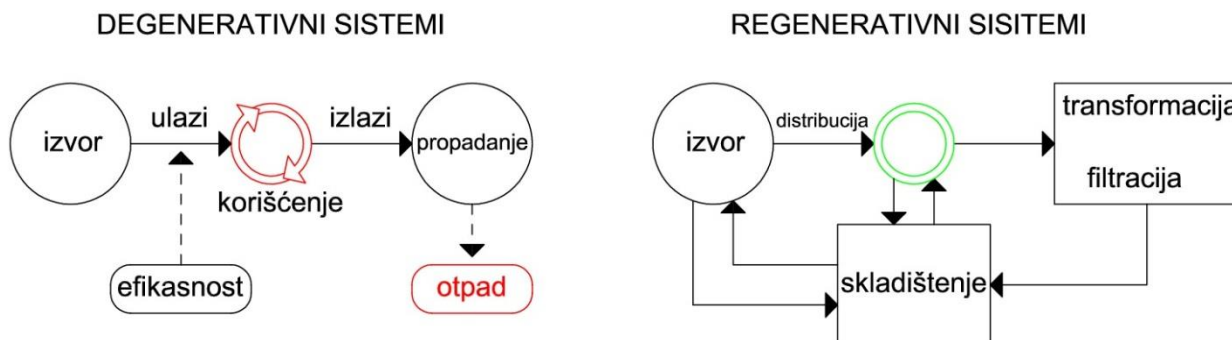
Koncept regenerativnog dizajna proširuje koncept i primenu održivosti, redefinisanjem svrhe građene sredine, procesa projektovanja i uloge projekatara (Akturk, 2016). Iako primena zelenog i održivog projektovanja i izgradnje doprinosi poboljšanjima konvencionalnih tehnika u pogledu očuvanja resursa i smanjenja negativnih uticaja na okruženje i ljude, ovim pristupima se samo usporava degradacija prirodnih sistema, koji imaju neprocenjiv značaj za obezbeđivanje ekosistemskih koristi. Sa druge strane, regenerativnim dizajnom se stvara reverzibilan proces, umesto odlaganja negativnih uticaja. U cilju stvaranja urbanih sistema koji su uzajamno korisni i ljudima i prirodi, potrebno je uspostaviti njihovu međusobnu povezanost. S tim u vezi, regenerativni dizajn se ne odnosi samo na arhitekturu, već i na ljude, koji su deo sistema, i njihove aktivnosti.

Prema Lajlu (Lyle, 1994), razvoj društva je uticao na zamenu prirodnih sistema, koji obezbeđuju beskrajno kompleksnu mrežu jedinstvenih mesta adaptiranih na lokalne uslove i beskonačnu raznovrsnost, relativno jednostavnim, uniformnim i generičkim urbanim sistemom. U prirodi, ostaci na kraju životnog ciklusa jednog organizma predstavljaju primarni materijal za funkcije drugih ("Regenerative Architecture", 2013) i na taj način se formira kontinualan, cikličan i samoobnovljiv sistem. Podržavanjem prirodnih procesa u okviru regenerativnog dizajna, stvaraju se urbani sistemi u kojima se teži optimizaciji performansi umesto njihovom maksimiziranju (Akturk, 2016). Na taj način se postiže otpornost građene sredine, što predstavlja jedno od aktuelnih pitanja i problem sa kojim se savremena društva suočavaju.

U skladu sa shvatanjem regenerativnog dizajna kao povratka prirodi i njenim cikličnim tokovima, sistemi koji se baziraju na ovom pristupu tokom svog životnog ciklusa proizvode pozitivne efekte u okruženju, za razliku od konvencionalnih/tehničkih/„degenerativnih“ sistema (sl. 4.3) ("Regenerative Architecture", 2013). Dok konvencionalne sisteme karakteriše linearni tok i postizanje efikasnosti kao krajnjeg cilja, regenerativni sistemi predstavljaju strukture zatvorenih petlji i višestrukih puteva, koje odlikuje efektivnost, simbioza, obnavljanje kapaciteta i integrisanje sa prirodnim procesima ("Regenerative Architecture", 2013).

Integrisanje živih sistema, zelenih krovova i zidova, u objekte samo po sebi predstavlja regenerativni pristup, čijoj efektivnosti svakako doprinosi primena pasivnih tehnika i savremenih tehnologija. Imajući u vidu da faza eksploatacije objekata u najvećoj meri utiče na stanje životne sredine, potencijal za stvaranje regenerativnih sistema je svojim značajnim delom sadržan

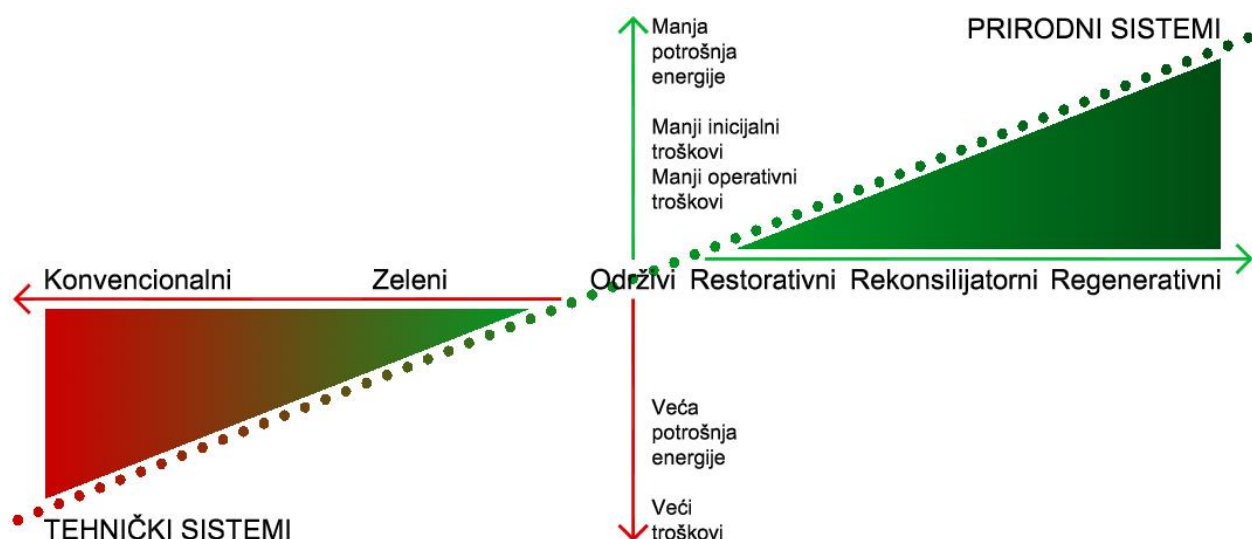
upravo u remodelovanju objekata primenom integrisanog zelenila, koje uopšteno proizvodi pozitivne efekte.



Slika 4.3. Uporedni prikaz tokova životnih ciklusa degenerativnih i regenerativnih sistema (*“Regenerative Architecture”, 2013*)

Odnos konvencionalnog, zelenog, održivog i regenerativnog pristupa projektovanju i izgradnji predstavljen je na slici 4.4, kao i efekti (pozitivni i negativni) u pogledu uticaja objekata/građene sredine na životnu sredinu tokom njihovih životnih ciklusa (Fuller, 2017; Reed, 2007). Konvencionalna praksa, strogo zasnovana na izgradnji tehničkih sistema, koja ne uzima u obzir prirodno okruženje i zahteva veći utrošak resursa i energije sa ciljem postizanja efikasnosti, okarakterisana je kao „postupati ispravno“. Zeleni pristup, kojim se postiže relativno unapređenje sistema, označen je kao „postupanje sa manje štetnim efektima“. Održivim pristupom se teži stvaranju neutralnih sistema, odnosno sistema koji nemaju negativnog uticaja na životnu sredinu. Ovaj pristup okarakterisan je kao „postupanje bez štetnih efekata“. Posmatranjem uzlazne putanje ekološki odgovornog projektovanja i izgradnje, može se uočiti uvođenje restorativnog i rekonsilijatornog pristupa, koji se, pored regenerativnog kao najefektivnijeg pristupa, odnose na „postupanje sa pozitivnim efektima“ na životnu sredinu. Za ove pristupe je karakteristično sagledavanje ljudi i njihovih aktivnosti, od kojih zavisi efektivnost sistema. Restorativni pristup podrazumeva ulogu ljudi u razvoju prirodnih podsistema (Reed, 2007). Rekonsilijatorni pristup sagledava humanu populaciju kao deo prirode, dok u okviru regenerativnog pristupa ljudi učestvuju u životnom ciklusu kao sastavni deo prirodnog sistema, odnosno njihove aktivnosti su u skladu sa prirodnim sistemima i procesima (Reed, 2007).

Analiza različitih pristupa projektovanju i izgradnji, kao i u njihovih uticaja na životnu sredinu, ukazuje na neophodnost i načine unapređenja prevashodno arhitektonske prakse. Iako se puni efekti postižu primenom regenerativnog dizajna u jednom širem zahvatu na nivou građene sredine, svaki pojedinačni sistem je značajan jer i svaka intervencija na nivou objekta doprinosi ukupnom ostvarivanju proklamovanih ciljeva.



Slika 4.4. Odnos različitih pristupa projektovanju i izgradnji (modifikovano prema Fuller, 2017; Reed, 2007)

4.2 Utvrđivanje potreba za remodelovanjem objekata

Imajući u vidu da je postojeći građevinski fond nastao primenom konvencionalne prakse projektovanja i građenja objekata, neophodno je razmotriti načine postizanja održivosti i mogućnosti stvaranja regenerativnih sistema, ali je prevashodno potrebno utvrditi primarne razloge za remodelovanje objekata.

U toku faze eksploatacije objekata dolazi do narušavanja prvobitnog stanja usled degradacije i starenja primenjenih materijala i elemenata. Faktori koji utiču na degradaciju odnose se na karakteristike kvaliteta koji je postignut u fazama proizvodnje i izgradnje objekta, na stanje unutrašnje i spoljašnje sredine, kao i na uslove eksploatacije (tab. 4.1) (Buergel-Goodwin et al., 2005). Nivo kvaliteta građevinskih elemenata u najvećoj meri zavisi od karakteristika primenjenih materijala, načina proizvodnje, zaštite pri pakovanju, transporta i načina skladištenja. Kvalitet projektovanja se određuje u zavisnosti od ispravnosti i lakoće/težine njihove ugradnje, i od nivoa obezbeđene zaštite od unutrašnjih ili spoljašnjih uticaja. Kvalitet izgradnje objekta takođe utiče na trajnost, odnosno na degradaciju građevinskih materijala i elemenata, i zavisi od upravljanja gradilištem, veštine građenja i vremenskih uslova tokom izgradnje. U pogledu uticaja sredine, unutrašnje okruženje, u zavisnosti od načina eksploatacije (agresivnosti sredine), efikasnosti ventilacije i pojave kondenzacije, doprinosi stanju materijala i elemenata. Uticaj spoljašnjeg okruženja najčešće se odnosi na klimatske i vremenske uslove, i zagađenja iz vazduha, zemljišta i vode (Bjegović, 2011; Buergel-Goodwin et al., 2005). Visina objekta takođe je značajan parametar za utvrđivanje uticaja spoljašnjeg okruženja na trajnost materijala i elemenata. Eksploatacioni uslovi se odnose na uslove korišćenja i nivo održavanja objekta. U zavisnosti od namene objekta, stepena korišćenja i mehaničkih uticaja, kao i od

kvaliteta i stepena održavanja, i dostupnosti održavanja celokupnog sistema, procenjuje se trajnost, odnosno degradacija elemenata objekta.

Kombinacija navedenih faktora može dovesti do različitih rezultata prilikom procene trajnosti materijala i elemenata u toku faze eksploatacije. Uzimajući u obzir da njihov referentni upotrební vek nije precizno definisan, primena opštih, međunarodnih standarda bila bi moguća ukoliko bi se obezbedili priručnici i smernice, odnosno uslovi testiranja (Buergel-Goodwin et al., 2005).

Tabela 4.1. Faktori koji utiču na degradaciju građevinskih materijala i elemenata (Buergel-Goodwin et al., 2005)

Činioci	Faktori	Područje delovanja
Karakteristike kvaliteta	Kvalitet građevinskih elemenata	Materijali, proizvodnja, zaštita, transport, skladištenje
	Kvalitet projektovanja	Ugradnja, zaštita
	Kvalitet izgradnje objekta	Upravljanje gradilištem, veština građenja, vremenski uslovi
Stanje okruženja	Unutrašnja sredina	Način eksploatacije, ventilacija, kondenzacija
	Spoljašnja sredina	Klimatski uslovi, vremenski uslovi, zagađenja, visina objekta
Uslovi eksploatacije	Uslovi korišćenja objekta	Namena objekta, stepen korišćenja, mehanički uticaji
	Nivo održavanja objekta	Kvalitet i učestalost održavanja, dostupnost

Uzimajući u obzir da se na uslove spoljašnjeg okruženja ne može uticati, proces degradacije materijala i elemenata konstrukcije može se samo usporiti obezbeđivanjem adekvatne zaštite koja odgovara lokalnim klimatskim i eksploatacionim uslovima, kao i ispunjavanjem uslova postizanja visokog kvaliteta proizvoda i adekvatnog održavanja, jer je neminovno da dolazi do starenja materijala, a time i objekata.

U zavisnosti od namene, izvršena je kategorizacija objekata s obzirom na upotrební vek betonskih konstrukcija (tab. 4.2) (Inženjerska komora Srbije, n.d.). Procenjeno je da je taj period za zgrade i slične konstrukcije 50 i više godina (Grant & Ries, 2013; Inženjerska komora Srbije, n.d.). U toku upotrebnog veka objekta predviđene su provere stanja, popravke i zamene elemenata. Njegovim produžavanjem, broj ciklusa zamene, odnosno obnove elemenata, ali mogućnost implementacije novih tehnologija i sistema se povećava (Rauf & Crawford, 2015). Nivoi aktivnosti remodelovanja objekata mogu biti niži, srednji, viši, kompletni i mogu se odnositi i na novu gradnju (tab. 4.3) (Buergel-Goodwin, 2005; Gold & Martin, 1999), uz predviđenu učestalost zamena i redovnih kontrola stanja elemenata/sistema, u skladu sa njihovom funkcijom i primenjenim vrstama materijala.

Tabela 4.2. Kategorizacija objekata s obzirom na upotrebni vek konstrukcije (Inženjerska komora Srbije, n.d.)

Kategorija	Upotrebni vek (god.)	Primeri
1	10	Privremeni objekti
2	10 – 25	Zamenjivi delovi konstrukcije, nosači, ležišta
3	15 – 30	Poljoprivredni i drugi slični objekti
4	50 i više	Zgrade i slične konstrukcije
5	100 i više	Monumentalni objekti, mostovi

Tabela 4.3. Nivoi aktivnosti remodelovanja objekata (modifikovano prema Buergel-Goodwin et al., 2005; Gold & Martin, 1999)

Nivoi aktivnosti	Učestalost (god.)	Opis i primeri
Niži	do 5	Elementi se popravljaju ili zamenjuju u okviru redovnog održavanja. Niži nivo aktivnosti obuhvata redekorisanje, zamenu osvetljenja, zamenu podnih obloga, manje intervencije na fasadi, manje izmene opreme, itd.
Srednji 1) Uslužni tehnički sistemi 2) Konstrukcijski sistemi	20 – 30	Srednji nivo aktivnosti odnosi se na parcijalno remodelovanje i zahteva učestaliju proveru stanja. 1) Kompletna zamena sistema za grejanje, hlađenje i/ili ventilaciju. Zamena ili unapređenje cevovoda, izolacija, itd. 2) Dodavanje mehaničkih sistema vertikalnih komunikacija koji zahtevaju konstrukcijske izmene.
Viši	20 – 30	Viši nivo aktivnosti odnosi se na parcijalno remodelovanje i podrazumeva znatne izmene u pogledu uslužnih tehničkih sistema i unutrašnje opreme, bez značajnijih konstrukcijskih izmena. Obuhvata nadogradnju, intervencije u jezgri objekta i ulaznom holu, nove sisteme osvetljenja i senčenja, itd.
Kompletni	30 – 50	Ovaj nivo aktivnosti odnosi se na kompletno remodelovanje pojedinih delova objekta i zahteva znatne konstrukcijske izmene, kao što su zamena krovnog sistema, zamena fasade, dogradnja, delimično rušenje, instalacija novih uslužnih tehničkih sistema i kompletna zamena opreme.
Nova gradnja	50 i više	Izgradnja novog objekta bez kompletnog rušenja postojećeg.

Pored potreba za remodelovanjem objekata, koje se odnose na degradaciju i starenje materijala i elemenata, ovaj proces se sprovodi i iz razloga unapređenja estetskih kvaliteta objekata, povećanja korisne površine, izmena propisa, potreba za unapređenjem uslužnih tehničkih sistema ili promene namene objekta (Gold & Martin, 1999). Imajući u vidu da je estetska komponenta veoma značajna za vizuelni doživljaj objekta i da može uticati na stvaranje identiteta urbane sredine, unapređenje estetskog kvaliteta od posebne je važnosti za obezbeđivanje ekonomskih benefita u pogledu viših cena najma ili kupovine prostora/objekta. Remodelovanje pojedinih delova objekata, kao na primer fasada, ulaza ili drugih javnih prostora, doprinelo bi ispunjavanju ciljeva, uz prethodnu proveru nosivosti i stabilnosti konstrukcije usled novih opterećenja. Povećanje korisne površine značajno je u pogledu bolje funkcionalne organizacije prostora, a

takođe utiče i na ekonomske dobiti. Remodelovanje je moguće izvršiti na dva načina: 1) minimalnim proširenjem po gabaritu objekta, sa relativno malim opterećenjem koje ne bi uticalo na konstrukcijsku stabilnost i nosivost, zarad izmeštanja pojedinih uslužnih tehničkih sistema, čime bi se oslobodio koristan prostor unutar objekta, i 2) izgradnjom dodatne korisne površine, koja bi u najvećem broju slučajeva zahtevala dodatno ojačanje nosećih elemenata objekta, i tada je neophodno izvršiti analizu ekonomičnosti sprovođenja ovog načina remodelovanja (Gold & Martin, 1999). Izmene brojnih propisa na lokalnom, nacionalnom i/ili međunarodnom nivou uslovljavaju sprovođenje ovog procesa. U konstrukcijskom pogledu, vrednosti dozvoljenih opterećenja koja se odnose na korisno opterećenje, sneg, vetar i seizmiku, vremenom su se promenila, i kako bi se ispoštovali novi propisi na postojećim objektima neophodno je ispitati konstrukcijsku nosivost i stabilnost i utvrditi aktivnosti remodelovanja. Propisi u vezi sa uslužnim tehničkim sistemima takođe podležu promenama, i odnose se na zadovoljavanje minimalnih standarda u pogledu osvetljenja, grejanja, hlađenja, ventilacije, itd., što ukazuje na neophodnost unapređenja postojećih sistema. Na taj način bi se obezbedila ušteda u potrošnji energije i ostvarile finansijske dobiti. Remodelovanje se sprovodi i u vezi sa promenama u organizaciji prostora objekata, što u najvećem broju slučajeva zahteva znatne konstrukcijske izmene. U okviru funkcionalne organizacije, tokom vremena može doći do prenamene pojedinih delova objekta. U odnosu na predviđeni broj korisnika i stepen korišćenja, potrebno je izvršiti redimenzionisanje pojedinih funkcija, kao što su sanitarni čvorovi, vertikalne komunikacije, itd. Do remodelovanja dolazi i u okviru iste namene objekta, usled razvoja tehnologija i promena u načinu korišćenja, što se naročito odnosi na poslovne objekte. U zavisnosti od zahteva na tržištu, javlja se i potreba za kompletnom prenamenom objekata. Ovakav vid remodelovanja najčešće se sprovodi u okviru urbane regeneracije zapuštenih objekata i otvorenih prostora, odnosno braunfield lokacija.

Savremeni zahtevi u pogledu efikasnog korišćenja resursa i energije, tj. smanjenja eksploatacije neobnovljivih i povećanja korišćenja obnovljivih izvora energije, ukazuju na neophodnost remodelovanja postojećih objekata primenom novih tehnologija i sistema kojima bi se ispunili postavljeni ciljevi.

Imajući u vidu da je kao posledica ekonomske krize udeo novoizgrađenih objekata, koji ispunjavaju savremene standarde veoma mali, i iznosi 1,5% – 2% građevinskog fonda razvijenih zemalja (Jagarajan et al., 2017), kao i da će 87% postojećih objekata biti u upotrebi do 2050. godine (Wilkinson & Fetiosa, 2016), potrebe za remodelovanjem postaju sve veće. Rušenje postojećih i izgradnja novih objekata, kao alternativa remodelovanju, ne predstavlja održivo rešenje, prevashodno iz razloga znatnih finansijskih ulaganja, veće potrošnje primarnih materijala i energije, i stvaranja veće količine zagađenja (Gold & Martin, 1999).

4.3 Načini unapređenja postojećih objekata remodelovanjem

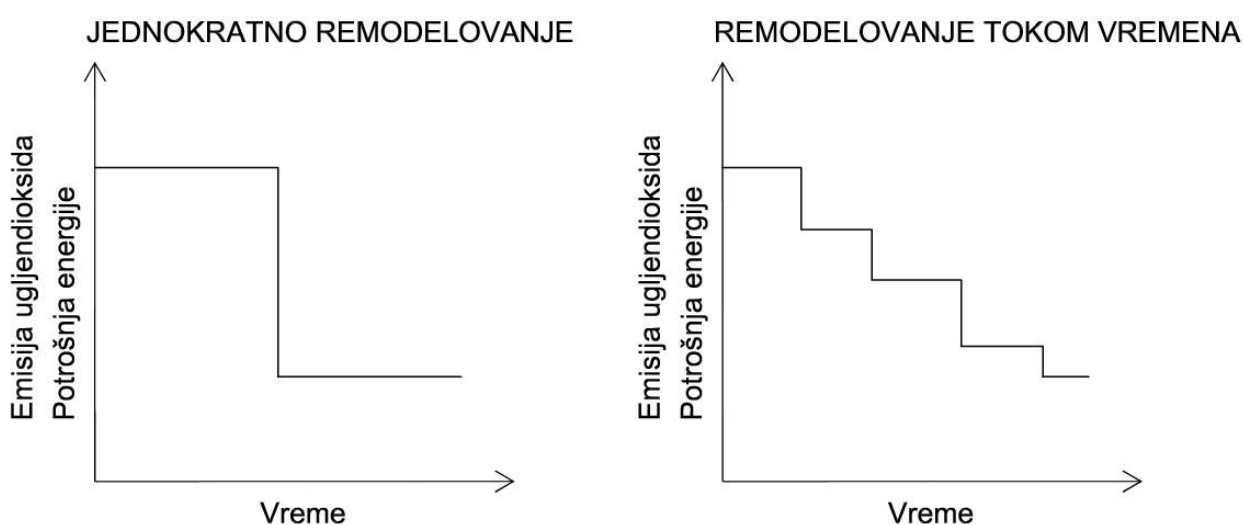
Ispunjavanje savremenih zahteva u pogledu eksploatacije objekata uopšteno se odnosi na obezbeđivanje komfora korisnicima, imajući u vidu da ljudi provode približno 70% vremena u objektima (“Sustania Buildings”, n.d.), uz smanjenje negativnih uticaja na životnu sredinu, odnosno efikasno korišćenje resursa i energije. To se postiže unapređenjem postojećih objekata, odnosno sprovođenjem raznovrsnih aktivnosti remodelovanja, pod kojim se podrazumevaju strukturalne i/ili funkcionalne promene. Kao multidisciplinarni pristup projektovanju i izgradnji, remodelovanje treba sprovoditi na načine da se omoguće buduće intervencije, u pogledu promene forme, funkcije, arhitektonskog izraza, itd., koje će zadovoljiti i potrebe budućih generacija (Jensen & Maslesa, 2015). Ovaj proces, koji podrazumeva popravke i zamene delova objekta, odnosi se na dve grupe aktivnosti kojima se: 1) uspostavlja prvobitno stanje, i 2) implementiraju novi sistemi i tehnologije (Alanne, 2004; Astmarsson et al., 2013; Jensen & Maslesa, 2015). Prva grupa aktivnosti sprovodi se u cilju unapređenja objekata u tehničkom pogledu, uz ispunjavanje propisanih uslova postizanja održivosti, dok se primenom druge grupe aktivnosti teži stvaranju regenerativnih sistema.

4.3.1 Uspostavljanje prvobitnog stanja objekata

Uzmajući u obzir procese degradacije i starenja građevinskih materijala i elemenata objekta, aktivnosti koje se sprovode u cilju uspostavljanja nekadašnjeg stanja odnose se na sanaciju, tj. obnovu. Prevažodno je značajno da se remodelovanjem obezbedi stabilnost objekta saniranjem oštećenja na konstrukcijskim elementima. U skladu sa aktuelnom regulativom neophodno je proveriti i unaprediti i performanse omotača objekta, imajući u vidu i poboljšanje estetskih kvaliteta. Obnova, odnosno uspostavljanje nekadašnjeg stanja objekta, podrazumeva i popravku i zamenu uslužnih tehničkih sistema zarad postizanja zahtevanih performansi.

U cilju postizanja održivosti, u novije vreme razmatra se princip remodelovanja objekata „tokom vremena“ (eng. “*over time*”) umesto sprovođenja remodelovanja kao „jednokratnog događaja“ (eng. “*one off event*”) (Fawcett & Mayne, 2012; Thorpe, 2010). Period u toku kojeg se postepeno obavljaju aktivnosti traje nedeljama ili mesecima, u zavisnosti od obima posla, a može trajati i godinama. Prednosti primene ovog principa, koji je prevažodno značajan za stambeni sektor, ogledaju se u raspodeli troškova tokom trajanja aktivnosti, mogućnosti neprekidnog korišćenja objekata, sticanju iskustava iz prethodnih faza obavljanja poslova, kao i u tome da je ovakav vid remodelovanja u skladu sa postojećom praksom popravki i unapređenja stambenih objekata (Fawcett & Mayne, 2012). Visoki standardi u racionalnoj potrošnji energije i smanjenju emisije CO₂ se tokom perioda trajanja aktivnosti dostižu i unapređuju u skladu sa novim mogućnostima koje pruža proizvodnja efikasnijih materijala, elemenata, uslužnih tehničkih

sistema, uređaja, itd. Ovakav princip remodelovanja više se zasniva na spontanom procesu nego na prethodno strogo ustanovljenim aktivnostima. Na taj način se ostvaruju brojne prednosti u tehničkom pogledu, u poređenju sa jednokratnim remodelovanjem. Iako su efekti smanjenja potrošnje energije i emisije ugljendioksida sprovođenjem aktivnosti remodelovanja po modelu „tokom vremena“ još uvek nepoznati, procenjuje se da bi vrednosti bile približne ostvarenim jednokratnim remodelovanjem, s tim što bi se postigle na kraju procesa (sl. 4.5) (Fawcett & Mayne, 2012). Međutim, prednosti postepene potrošnje energije, i s tim u vezi postepene emisije CO₂ ogledaju se u lakšem apsorbovanju manje količine gasa i mogućnosti primene energetski efikasnih sistema i elemenata strukture tokom vremena, kojima bi se kompenzovao deo utrošene energije za remodelovanje objekta.



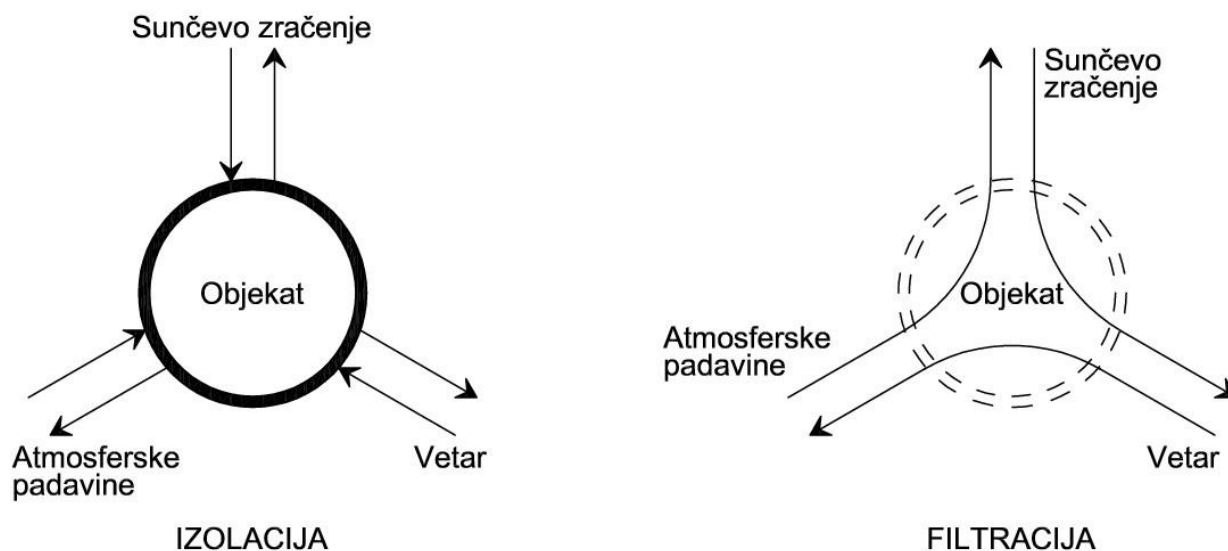
Slika 4.5. Odnos smanjenja potrošnje energije i emisije CO₂ u funkciji vremena za različite principe remodelovanja objekata (Fawcett & Mayne, 2012)

4.3.2 Implementacija novih tehnologija i sistema

Imajući u vidu da regenerativni pristup prevazilazi osnovne limite koncepta održivosti, jer polazi od pretpostavke da nije dovoljno težiti postupanju bez štetnih efekata na okruženje, već je neophodno stvarati sisteme koji proizvode pozitivne efekte na nivou objekata i građene sredine u širem smislu, razmatraju se načini unapređenja postojećih objekata primenom regenerativnog dizajna. Aktivnosti koje se sprovode mogu se podvesti pod nadgradnju, tj. osavremenjavanje.

Kako bi se ostvarilo uspešno remodelovanje postojećih tehničkih sistema/objekata u skladu sa regenerativnim pristupom, neophodno je prevashodno redefinisati koncept samog objekta u pogledu izolovanosti u odnosu na spoljašnju sredinu. Izolacija objekata, kao značajan zahtev savremene arhitekture, u vezi je sa mnogim činiocima i obuhvata propise i standarde, elemente preduzetničke prakse, marketing, interese korisnika i napredne tehnološke sisteme (Gou & Xie, 2017). Ovako kompleksan pristup predstavlja aktuelnu praksu u cilju obezbeđivanja održivog

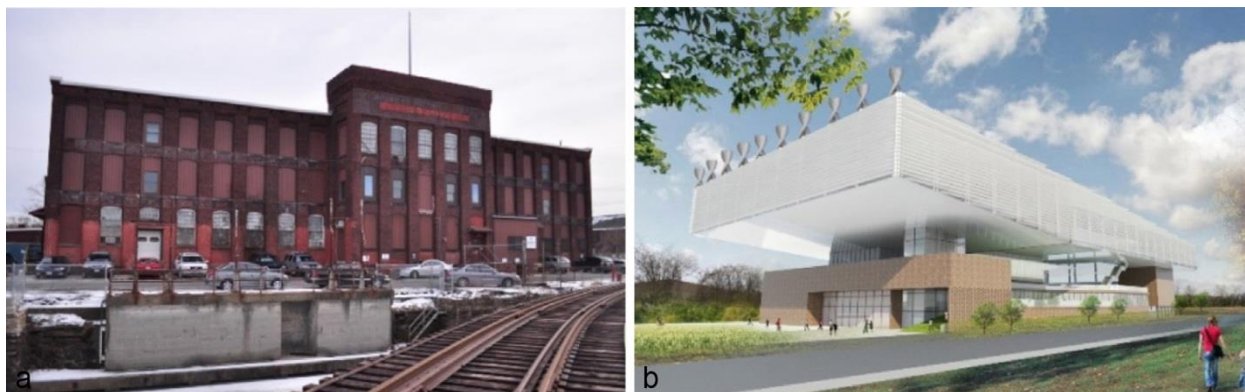
razvoja. Postizanje toplotnog komfora, koji se odnosi na uspostavljanje balansa toplotnih gubitaka i dobitaka, i zahteva neutralno okruženje, sa tehničkog, odnosno inženjerskog aspekta, ispunjava se potpunom izolovanosti objekata i upotrebom sistema za klimatizaciju (Gou & Xie, 2017). Sa druge strane, ekološki, odnosno regenerativni pristup bazira se na drugačijem shvatanju izolovanosti i postizanja efikasnosti. Objekte je potrebno projektovati na takav način da prihvate što je moguće više sunčeve toplote, prirodnog osvetljenja, vetra i vode. Primenom savremenih tehnologija, energije iz obnovljivih izvora se transformišu u nove energije koje se koriste u eksploataciji objekata. Imajući u vidu da regenerativni pristup svakako podrazumeva implementaciju živih, odnosno zelenih sistema, stvaranju pozitivnih uticaja na okruženje doprinosi i primena tehnologija tako da čine integrativni deo objekta, umesto dodatni sadržaj (Gou & Xie, 2017). Razlike u efektima između zatvorenog, izolovanog sistema baziranog na inženjerskoj praksi i otvorenog sistema, podložnog filtraciji i temeljenom na regenerativnom dizajnu, prikazane su na slici 4.6. U prvom slučaju objekat ne apsorbuje pruženu energiju i ne prihvata/eksploatiše resurse, dok u drugom slučaju otvoren ili permeabilan objekat prima pruženu energiju i resurse u cilju stvaranja komfora transformacijom u novu energiju i resurse, i vraćanja prirodi. Ovakvo shvatanje objekta, kao regenerativnog sistema, ukazuje na nužnost razmatranja unapređenja i sa ekološkog aspekta u okviru multidisciplinarnog pristupa.



Slika 4.6. Efekti sistema/objekata baziranih na izolaciji i filtraciji (Gou & Xie, 2017)

Projektovanje i izgradnja regenerativnih sistema remodelovanjem, podrazumevaju znatne intervencije koje se odnose na formu objekta i karakteristike omotača, kako bi se ispunili zahtevi u pogledu obezbeđenja filtracije. Na početku procesa remodelovanja potrebno je analizirati formu postojećeg objekta, konstrukcijski sklop i funkcionalnu organizaciju, da bi se utvrdilo kako sprovesti izmene, koje bi dovele do odgovarajućih unapređenja. Postizanje komfora

uslovljava znatnu potrošnju energije i u ranoj fazi projektovanja novih objekata može se uticati na njeno smanjenje, izborom forme, orijentacije i volumena. Međutim, kod postojećih objekata navedeni parametri su unapred definisani, što dovodi do potrebe za remodelovanjem. Uvažavanje pasivnih tehnika projektovanja predstavlja preduslov za uspešno stvaranje regenerativnih objekata primenom novih tehnologija i sistema. Na primeru remodelovanja starog fabričkog objekta izgrađenog krajem XIX veka (sl. 4.7) prikazane su mogućnosti primene pasivnih tehnika i novih tehnologija i sistema (Aksamija, 2016).

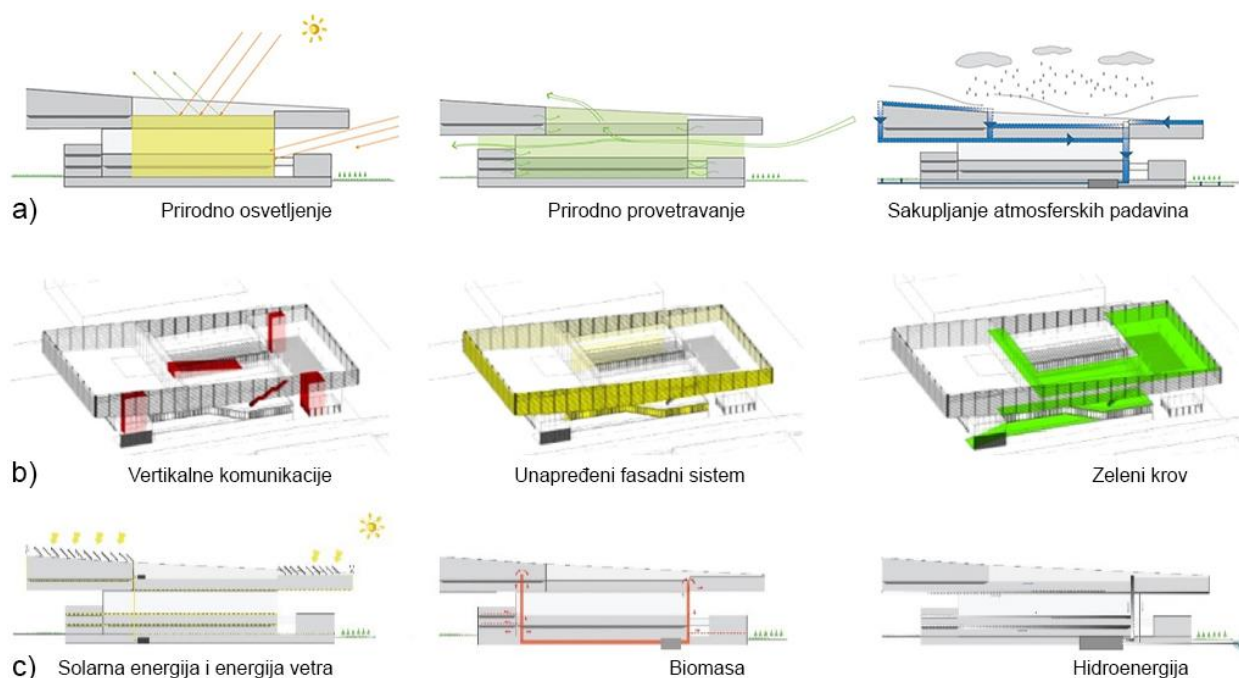


Slika 4.7. Primer objekta remodelovanog regenerativnim pristupom: a) postojeće stanje, b) izgled nakon remodelovanja (Aksamija, 2016)

Nova forma postojećeg objekta rezultat je uklanjanja pojedinih delova i izgradnje novih, prilikom čega su ispunjeni zahtevi uklapanja u okruženje, koji se odnose na iskorišćavanje prirodnih procesa, u cilju postizanja komfora i smanjenja potrošnje resursa i neobnovljivih izvora energije. Sprovedenjem remodelovanja obezbeđena je maksimalna izloženost prirodnoj svetlosti, prirodna ventilacija i sakupljanje atmosferskih padavina, čije korišćenje smanjuje potrebu za tehničkom vodom (sl. 4.8a). S obzirom na period izgradnje objekta, unapređenje je ostvareno uvođenjem mehaničkog sistema vertikalnih komunikacija, primenom fasada koje kontrolišu protok toplote, svetlosti i vlažnosti, kao i implementacijom zelenog krovnog sistema, čime je predviđen dodatni prostor za socijalizaciju i pružena mogućnost stvaranja hibridnih sistema – zelenog krova i fotonaponskih panela, koji pospešuje energetske efikasnost (sl.4.8b). Kako su obnovljivi izvori energije neophodni za postizanje nulte energetske potrošnje, primenom naprednih tehnologija i sistema vrši se transformacija ili filtracija energije u željenu količinu i formu (Aksamija, 2016; Gou & Xie, 2017). Pružene su mogućnosti odabira jednog od četiri sistema, ili njihove kombinacije, za korišćenje obnovljivih izvora energije – sunca, vetra, biomase i/ili vode (sl.4.8c).

Prikazani primer remodelovanja objekta regenerativnim pristupom, koji se odnosi na kompletno remodelovanje primenom savremenih tehnologija i sistema uz korišćenje pasivnih tehnika

projektovanja i izgradnje, predstavlja koncept koji je potrebno sprovesti u najvećem broju slučajeva postojećih objekata zarad postizanja punih efekata.



Slika 4.8. Principi remodelovanja objekata regenerativnim pristupom: a) pasivne tehnike projektovanja i izgradnje, b) nove tehnologije i sistemi, c) korišćenje obnovljivih izvora energije (Aksamija, 2016)

4.4 Primena zelenih krovova u kontekstu remodelovanja objekata

Da bi se smanjili negativni uticaji na životnu sredinu, neophodno je remodelovati postojeći građevinski fond. Sa druge strane, uočeni su brojni benefiti koji proizilaze iz implementacije zelenih krovova kao specifičnih prirodnih sistema. Potrebno je, međutim, razmotriti preduslove za primenu ovakvih rešenja. Prilikom analize pogodnosti postojećeg objekta za remodelovanje zelenim krovom ključni faktori koji se uzimaju u obzir odnose se na stepen zaštite, konstrukcijsku nosivost i stabilnost, karakteristike strukture krova, raspoloživi prostor na krovu, pristup krovu za održavanje i korišćenje, pasivne tehnike projektovanja i izgradnje, i odabir odgovarajućeg zelenog krovnog sistema (Wilkinson & Fetiosa, 2016).

Prvi uslov za sprovođenje procesa remodelovanja odnosi se na utvrđivanje da li objekat predstavlja istorijsku i/ili kulturnu baštinu, tj. da li je objekat pod zaštitom. U zavisnosti od stepena zaštite, dozvoljene su izvesne intervencije. Zeleni krovni sistem, kao instalacija koja se lako može ukloniti demontažom ili dekonstrukcijom bez štetnih uticaja na postojeće materijale i elemente, poželjno je rešenje za remodelovanje objekata, ukoliko je to jedna od propisima dozvoljenih mogućnosti (Wilkinson & Fetiosa, 2016). Pored zakonskih okvira koji propisuju dozvoljene intervencije, konstrukcijske karakteristike objekata koji predstavljaju kulturno-istorijsku baštinu značajan su faktor koji ograničava implementaciju zelenih krovnih sistema.

Nedostatak ili nepostojanje podataka o konstrukcijskim karakteristikama, starosti objekta, amortizaciji i/ili prethodnim remodelovanjima utiču na mogućnost primene zelenog krova.

Postizanje bilo kog cilja zelenog krova uslovljaveno je obezbeđivanjem konstrukcijske nosivosti i stabilnosti objekta pod uticajem novog opterećenja. Na osnovu provere nosivosti i upotrebljivosti konstrukcije, utvrđuje se da li postojeći objekat može da prihvati opterećenje od predloženog zelenog krovnog sistema bez dodatnog ojačanja nosećih elemenata. Znatno šira primena ekstenzivnog tipa zelenih krovova u odnosu na intenzivne, upravo je posledica relativno male težine sistema, odnosno malog dodatnog opterećenja konstrukcija, koje u najvećem broju ovakvih slučajeva ne zahtevaju ojačanje. Ukoliko je struktura krova takva da se postojeći pokrivač uklanja zarad instalacije zelenog krova, u zavisnosti od uklonjenog opterećenja razmatra se primena složenijih zelenih krovova koji predstavljaju veće opterećenje – poluintenzivnih ili intenzivnih, kako bi se unapredile performanse krova, a time i objekta. U slučaju da postojeća konstrukcija ne može da prihvati dodatno opterećenje, razmatraju se mogućnosti i načini ojačanja. Najpre se utvrđuje da li bi dodatni troškovi intervencija bili kompenzovani predviđenim performansama, odnosno ostvarivanjem benefita koji se očekuju usled primene novog krovnog sistema.

Ispunjavanje uslova za primenu zelenog krovnog sistema u pogledu fizičkih karakteristika strukture obloge postojećeg krova, odnosi se na degradaciju i starenje primenjenih materijala i elemenata. Na osnovu vizuelne inspekcije utvrđuje se da li je došlo do oštećenja, tj. gubitka funkcije elemenata obloge, koje je neophodno sanirati jer bi u suprotnom došlo do neželjenih efekata u vezi sa performansama zelenog krova i očekivanim vekom trajanja, čak i onda kada bi zeleni krovni sistem, sam po sebi, ispunjavao sve uslove za uspešno korišćenje. U pogledu starenja materijala od posebne je važnosti razmotriti najpogodniji trenutak za sprovođenje remodelovanja, koji bi bio u skladu sa krajem upotrebnog veka elemenata strukture krova, što se naročito odnosi na hidroizolacioni sloj. U pogledu termoizolacije, pored provere stanja, potrebno je ispitati da li karakteristike sloja zadovoljavaju aktuelne propise koji se odnose na dozvoljene vrednosti toplotnih gubitaka zimi, odnosno dobitaka u letnjem periodu. Neophodno je razmotriti i obnavljanje ili postavljanje odgovarajućih drenažnih sistema i primenu sistema za navodnjavanje.

Mogućnost implementacije zelenog krovnog sistema na postojećim objektima odnosi se i na raspoloživi prostor na krovu. Na ravnim krovovima često se nalazi tehnička oprema, što ukazuje na to da krov nije dostupan za širu upotrebu. Neiskorišćene površine ravnih krovova svakako predstavljaju potencijal za stvaranje dodatnog prostora za socijalizaciju u urbanim sredinama, koji bi se oplemenio zelenilom. Primenom savremenih tehnologija, postojeći tehnički sistemi locirani na krovovima mogli bi se redimenzionisati i/ili izmestiti, što bi povećalo korisnu

površinu (Wilkinson & Fetiosa, 2016). Međutim, čak i da ravan krov nije pogodan za ostvarivanje socijalnih benefita, izgradnja zelenog krovnog sistema bila bi opravdana sa ekološkog aspekta, u funkciji ublažavanje efekta urbanih toplotnih ostrva, kao posledice dodatne izolacije, upravljanja atmosferskim padavinama, itd.

Nezavisno od toga da li je zeleni krov namenjen za aktivno korišćenje ili nije, neophodno je razmotriti da li postoji pristup krovu, i da li se, i na koji način, može obezbediti prilikom remodelovanja. Pristup zelenom krovu je obavezan, i u slučaju neprohodnih sistema, zbog održavanja. Učestalije praćenje stanja i održavanje zahteva se u periodu formiranja zelenog krova (1-3. godine) nakon čega se aktivnosti (zasejavanje ogoljenih površina, đubrenje, uklanjanje korova, zalivanje, orošavanje, košenje, plevljenje, dopuna dekorativnih materijala, itd.) smanjuju i obavljaju po potrebi. U slučaju otežanog pristupanja zelenom krovu, može se uzeti u obzir primena odgovarajućih biljnih vrsta koje ne zahtevaju visok stepen održavanja. Ukoliko se obim aktivnosti, koje se odnose na održavanje i popravku ili zamenu nosećih konstrukcijskih elemenata, kao i elemenata krovne oblege, a naročito hidroizolacionog sloja, vremenom povećava, potrebno je razmotriti poboljšanje postojećeg pristupa ili izgradnju dodatne, nove komunikacije. Ukoliko je zeleni krov prohodan, odnosno predstavlja korisnu površinu, neophodno je uzeti u obzir načine obezbeđivanja pristupa postojećim ili novoizgrađenim stepeništem i/ili liftovima, u skladu sa relevantnim propisima. U cilju ispunjavanja bezbednosnih zahteva, remodelovanjem je potrebno obuhvatiti i izgradnju parapeta i zaštitnih ograda, kao i evakuacione puteve (Wilkinson & Fetiosa, 2016).

U pogledu primene zelenih krovova kao pasivne tehnike projektovanja i izgradnje, neophodno je uzeti u obzir orijentaciju i dispoziciju krova postojećeg objekta. Kako direktna izloženost sunčevom zračenju utiče na opstanak i razvoj biljaka, orijentacija je od posebne važnosti prilikom razmatranja primene zelenih krovova na zakošenim ili zakrivljenim krovnim površinama. Za primenu na ravnim krovovima, značajnije je analizirati položaj krova u odnosu na okruženje zbog mogućnosti celodnevnog senčenja. Orijetaciju krova i visinu objekta, tj. nivo etaže predviđene za primenu zelenog krovnog sistema, u odnosu na okruženje, potrebno je razmotriti i u kontekstu izloženosti dominantnim vetrovima. Na osnovu sprovedenih analiza, pristupa se projektovanju zelenog krova pogodnog za konkretne uslove okruženja.

Na odabir odgovarajućeg zelenog krovnog sistema, u okviru remodelovanja, utiču brojne karakteristike postojećeg objekta. Tabela 4.4 se odnosi na pogodnost primene ekstenzivnog i/ili intenzivnog tipa zelenog krova za ostvarivanje ciljeva u pogledu korišćenja prostora (K), unapređenja biodiverziteta (B), upravljanja atmosferskim padavinama (A) i unapređenja termičkih performansi (T) u zavisnosti od karakteristika postojećeg objekta (Wilkinson & Fetiosa, 2016).

Tabela 4.4. Pogodnost primene zelenog krovnog sistema za postizanje pojedinih ciljeva u zavisnosti od karakteristika postojećeg objekta (modifikovano prema IGRA, n.d.; Wilkinson & Fetiosa, 2016)

Karakteristike objekta	Opis/uslovi			Tip zelenog krova: ekstenzivni i/ ili intenzivni	Ciljevi: K-korišćenje B-biodiverzitet A-upravljanje atmosferskim padavinama T-termičke performanse
Stepen zaštite	Propisi ne dozvoljavaju upotrebu zelenog krova			/	/
	Propisi dozvoljavaju upotrebu zelenog krova			Ekstenzivni/ intenzivni	K, B, A, T
Konstrukcijska nosivost	Dobra			Ekstenzivni/ intenzivni	K, B, A, T
	Loša (predlaže se ojačanje nosećih elemenata)			Ekstenzivni/ intenzivni	B, A, T
Krovnna konstrukcija	Ravan krov	Betonska konstrukcija	Može da podrži opterećenje do 150 kg/m ²	Ekstenzivni	B, A, T
			Može da podrži opterećenje preko 150 kg/m ²	Intenzivni	K, B, A, T
		Drvena konstrukcija	Može da podrži opterećenje do 150 kg/m ²	Ekstenzivni	B, A, T
			Može da podrži opterećenje preko 150 kg/m ²	Intenzivni	K, B, A, T
	Kos krov (do 45°)	Drvena konstrukcija	Može da podrži opterećenje do 150 kg/m ²	Ekstenzivni	B, A, T
		Metalna konstrukcija	Može da podrži opterećenje do 150 kg/m ²	Ekstenzivni	B, A, T
Struktura krova	Krovni pokrivač		Profilisani lim (ravan/kos krov)	Ekstenzivni	B, A, T
			Crep (kos krov)	/	/
			Bitumen	Ekstenzivni/ intenzivni	K, B, A, T
			Asfalt	Ekstenzivni/ intenzivni	K, B, A, T
			Polimerni materijali	Ekstenzivni/ intenzivni	K, B, A, T
	Hidroizolacioni sloj		U dobrom stanju	Ekstenzivni/ intenzivni	K, B, A, T
			U lošem stanju (saniranje oštećenja ili zamena)	/	/

Karakteristike objekta	Opis/uslovi		Tip zelenog krova: ekstenzivni i/ ili intenzivni	Ciljevi: K-korišćenje B-biodiverzitet A-upravljanje atmosferskim padavinama T-termičke performanse
	Drenažni sloj	U dobrom stanju	Ekstenzivni/ intenzivni	K, B, A, T
		U lošem stanju (saniranje oštećenja ili zamena)	/	/
Raspoloživi prostor krova	Povoljan		Ekstenzivni/ intenzivni	K, B, A, T
	Nepovoljan		Ekstenzivni/ intenzivni	B, A, T
Pristup krovu	Održavanje	Omogućen	Ekstenzivni/ intenzivni	K, B, A, T
		Otežan (razmotriti odabir biljaka koje ne zahtevaju učestalo održavanje)	Ekstenzivni/ intenzivni	B, A, T
	Korišćenje	Omogućen	Ekstenzivni/ intenzivni	K, B, A, T
		Otežan (razmotriti izgradnju novih komunikacija)	Ekstenzivni/ intenzivni	B, A, T
Orjentacija	Povoljna		Ekstenzivni/ intenzivni	K, B, A, T
	Nepovoljna (razmotriti odabir biljaka)		Ekstenzivni/ intenzivni	K, B, A, T

Remodelovanje krova zelenim krovim sistemom predstavlja, u tehničkom pogledu, složen proces jer obuhvata i intervencije koje se u manjoj ili većoj meri odnose na ceo objekat, kao na primer: ojačanje nosećih elemenata konstrukcije, redimenzionisanje ili izgradnja novih vertikalnih komunikacija, itd. Razmatranje 1) tehničkih karakteristika objekta za mogućnost primene zelenog krova, nakon postavljenih ciljeva, 2) karakteristika okruženja, koje se odnose na položaj objekta u okviru građene sredine i klimatske uslove lokacije, i 3) uključivanja zainteresovanih strana, zarad razumevanja značaja usklađivanja antropogenih i prirodnih sistema, preduslov je za uspješno remodelovanje objekata primenom regenerativnog pristupa projektovanju i izgradnji.

5. ANALIZA NOSEĆE KONSTRUKCIJE I ELEMENATA OBLOGE RAVNIH KROVOVA POSTOJEĆIH OBEKATA ZA PRIMENU ZELENIH KROVOVA

5.1 Razvoj tehnologija građenja i primena konstrukcijskih sistema u kontekstu postojećeg građevinskog fonda Republike Srbije

Imajući u vidu da ispunjavanje bilo kog postavljenog cilja zelenog krova, u pogledu remodelovanja, zavisi od konstrukcijskih karakteristika postojećeg objekta, potrebno je najpre utvrditi zastupljene konstrukcijske sisteme u okviru građevinskog fonda. Razmatranjem perioda izgradnje, primene tehnologija građenja, materijala i konstrukcijskih sistema koji su usloveli forme objekata sa ravnim krovovima, sagledavaju se mogućnosti za sprovođenje njihovog remodelovanja zelenim krovnim sistemima. Ravni krovovi, pored toga što su najpogodniji za primenu zelenih krovnih sistema, u pogledu lakše implementacije i održavanja, veće mogućnosti za primenu različitih tipologija, itd., u odnosu na kose i zakrivljene krovne površine, u najvećem broju slučajeva su neiskorišćeni prostori, što predstavlja potencijal za formiranje korisnih – zelenih površina u gusto izgrađenim urbanim sredinama, čime bi se pružila mogućnost za postizanje većeg broja benefita sa socijalnog aspekta istraživanja, pored obezbeđivanja ekoloških i ekonomskih koristi.

Struktura građevinskog fonda Republike Srbije može se analizirati kroz nekoliko ključnih perioda građenja. Na osnovu analizirane literature (Klašnja, 1988; Nikolić, 2015; Popović i dr., 2013; Vučićević, 2014) usvojena je podela na tri perioda koja obuhvataju vremenska razdoblja: 1) XIX vek i prvu polovinu XX veka, 2) od druge polovine XX veka do kraja osamdesetih godina, i 3) od početka devedesetih godina XX veka do danas. Podela je izvršena na osnovu razvoja i primene tehnologija građenja, koji su u vezi sa društvenim, političkim i ekonomskim prilikama navedenih perioda.

5.1.1 Objekti izgrađeni u XIX i prvoj polovini XX veka

Ovaj period se tačnije odnosi na objekte izgrađene od druge polovine XIX veka do završetka II svetskog rata 1945. godine, i obuhvata dva razdoblja – pre I svetskog rata i između I i II svetskog rata. Otomansko graditeljsko nasleđe koje je bilo zastupljeno u najvećem delu Srbije (izuzev teritorije Vojvodine), opstalo je do druge polovine XIX veka, kada je započeo urbani razvoj naselja po uzoru na evropske tendencije. Orijentalne varoši sa krivudavim ulicama i nepravilnim blokovima transformisale su se u naselja sa pravilnim uličnim matricama i blokovima. U tom procesu, mnogi objekti su porušeni i došlo je do izgradnje novih, drugačijih u pogledu organizacije i primenjenih materijala građenja (Popović i dr., 2013). Objekti su građeni tradicionalnom tehnikom – na licu mesta, u masivnom konstrukcijskom sklopu od opeke, i

primenjivale su se drvene tavanice. Kod spratnih objekata, pored drvenih međuspratnih konstrukcija, vremenom su počele da se primenjuju i složenije konstrukcije sa gvozdanim i čeličnim elementima u svojstvu podupirača za ojačanje drvenih konstrukcija ili u kombinaciji sa opekom, a kasnije i sa novim materijalom – betonom (Popović i dr., 2013). U prvom delu perioda bili su zastupljeni kosi krovovi, i njihov udeo je bio 95%.

U drugom delu ovog perioda došlo je do porasta izgradnje objekata kao posledica ratnog razaranja i migracija stanovništva. Razvojem industrije i preduzetništva, a time i ekonomskim rastom, građanski stalež je u velikoj meri ulagao u izgradnju objekata različitih namena. Zadržalo se tradicionalno građenje u masivnom konstrukcijskom sklopu sa zidovima od opeke, i sve češće se koristio armirani beton, naročito za izradu međuspratnih konstrukcija. Najzastupljenije su bile sitnorebraste tavanice koje su se izvodile na licu mesta ili kao polumontažne. Koristile su se i montažne i polumontažne tavanice sa ispunom od keramičkih elemenata, ali u znatno manjoj meri, a za izgradnju manjih objekata su se i dalje upotrebljavale drvene tavanice (Popović i dr., 2013). Kosi krovovi su ostali dominantni u primeni (92%). Udeo objekata iz perioda između dva svetska rata u postojećem građevinskom fondu, prema podacima iz 2012. godine, iznosi 7,2% što predstavlja posledicu razaranja u II svetskom ratu (Popović i dr., 2013).

5.1.2 Objekti izgrađeni od druge polovine XX veka do kraja osamdesetih godina

Nakon II svetskog rata, uništenje značajnog dela građevinskog fonda podstaklo je intenzivnu izgradnju. Izraženi proces urbanizacije, koji je bio u skladu sa transformacijom celokupnog društva, od agrarnog ka industrijskom, doveo je do potrebe za masovnom izgradnjom, naročito u gradovima u kojima je nedostatak stambenog fonda bio najveći. Prevazilaženje ove krize zahtevalo je izgradnju novog tipa komfornih i jeftinih stanova, što je predstavljalo izazov na koji je mogla da odgovori samo industrijalizacija građenja. Armirani i prednapregnuti beton dobili su na značaju, naročito u upotrebi za noseće konstrukcijske elemente tokom ovog perioda. Izgradnja u urbanim sredinama kretala se u nekoliko pravaca: obnova i izgradnja u već formiranom gradskom jezgri, izgradnja prigradskih naselja i izgradnja novih naselja (Popović i dr., 2013). Značajne promene u stambenoj politici države odnosile su se na nacionalizaciju privatne imovine i njenim prelaskom u vlasništvo države, koja je postala i nosilac stanogradnje, a kasnije su se kao investitori pojavili i savezni organi, lokalne samouprave, privredni subjekti, i dr.

Prvi deo ovog perioda, od 1946. godine do kraja pedesetih godina, karakterisao je i dalje tradicionalan način građenja u masivnom konstrukcijskom sklopu uz primenu opeke kao dominantnog materijala, iako su se prepoznale potrebe za unapređenim tehnologije građenja. U

pogledu međuspratnih konstrukcija, pretežno su se primenjivale sitnorebraste tavanice livene na licu mesta ili poluprefabrikovane (Avramenko). Razvoj tehnologije materijala za hidroizolaciju i dostupnost domaćoj građevinskoj industriji uticali su na povećanu primenu ravnih krovova, koji su bili zastupljeni u većoj meri na soliterima, koji su počeli da se grade u ovom periodu. I dalje dominantni kosi krovovi (79%) izvođeni su pretežno kao četvorovodni, male visine, uz primenu drvene krovne konstrukcije. U okviru postojećeg građevinskog fonda, polovina objekata, odnosno krovova, iz ovog perioda je ostala u originalnom stanju (Popović i dr., 2013).

Tokom šezdesetih godina XX veka, usled ekonomskog rasta, unapređenja privrednih aktivnosti i razvoja državne građevinske industrije, došlo je do ekspanzije izgradnje objekata svih namena, prevashodno stambenih. Uvođenjem industrijalizovanih tehnika građenja prevazišao se gubitak društvene i kulturološke komponente arhitektonskog stvaralaštva, karakteristične za posleratnu izgradnju, kojom, uprkos primeni najjednostavnijih tehnika građenja, nisu mogli da se zadovolje potrebni kapaciteti stambenih objekata. Tranzicija u stanogradnji u pogledu masovne izgradnje stambenih blokova, odrazila se i na urbanističko planiranje zasnovano na „velikim potezima i velikim gustinama“, i naročito je bila izražena u većim gradovima (Popović i dr., 2013). U manjim urbanim sredinama ove promene usledile su nešto kasnije, početkom sedamdesetih godina, do kad su se zadržale jednostavnije tehnike građenja uz postepeno uvođenje novih materijala i proizvoda (Popović i dr., 2013). Prefabrikacija je doprinela bržoj izgradnji objekata, usled serijske proizvodnje tipskih elemenata. Pored primene tradicionalnih tehnika građenja u masivnom konstrukcijskom sklopu i novih tehnika korišćenjem montažnih i polumontažnih armiranobetonskih elemenata, prevashodno u okviru skeletnih i panelnih sistema, na značaju je dobila i primena nacionalnog industrijskog sistema građenja – IMS montažnog skeletnog sistema od prednapregnutog betona. Ova tehnika građenja uvedena je zvanično 1957. godine od strane inženjera Branka Žeželja. U okviru postojećeg građevinskog fonda Republike Srbije, više od 50% stambenih i stambeno-poslovnih objekata je iz perioda šezdesetih i sedamdesetih godina prošlog veka (Popović i dr., 2013). Arhitektonski izraz objekata ovog perioda, kao posledica novih tendencija u urbanističkom i arhitektonskom projektovanju, karakterišu kompaktne osnove i svedeni geometrijski volumeni, usled kojih su ravni krovovi imali znatno veću zastupljenost. Iako je udeo ravnih krovova na objektima izgrađenim šezdesetih godina bio inicijalno veći, danas samo trećina objekata iz tog perioda ima ravne krovove, jer je vremenom došlo do remodelovanja nadgradnjom i primenom kosih krovova (Popović i dr., 2013).

Sedamdesetih godina prošlog veka privredni rast i opšti društveni i ekonomski progres dostigli su svoj vrhunac. Praćenjem opštih razvojnih trendova, građevinska industrija je imala izuzetnu produkciju u svim oblastima graditeljstva. Objekti su građeni i dalje u skladu sa osnovnim principima masovne gradnje sa modularno-koordinisanim prefabrikovanim elementima, ali sada

sa isticanjem autorskog izraza, kao pokušajem unapređenja osnovnih funkcionalističkih premisa fabrikovane gradnje. Veći gradovi su ostali centri masovne izgradnje novih blokova i novih naselja, i započelo je intenziviranje radova u okviru prigradskih naselja. Promene u arhitektonskom i urbanističkom projektovanju koje su se odnosile na manje razmere arhitektonskog sklopa i manje poteze u formiranju stambenih blokova omogućile su da tehnika građenja bazirana na industrijskoj proizvodnji elemenata bude primerena i manjim urbanim sredinama. Prefabrikovane betonske konstrukcije – skeletne i panelne, karakterisale su ovaj period, kao i prefabrikovane tavanice i potpuno ili delimično prefabrikovani fasadni paneli (Popović i dr., 2013). Ravni krovovi su takođe bili uobičajeno arhitektonsko rešenje, ali imajući u vidu intervencije, naročito tokom poslednjih 25 godina, danas su u proseku zastupljeni sa 36% na tada izgrađenim višespratnim stambenim objektima.

Osamdesete godine predstavljaju završnu fazu masovne izgradnje u zemlji. Realizacija objekata tokom ove decenije i dalje je bila vezana za aktivnosti velikih građevinskih preduzeća, što je rezultiralo udelom od oko 20% izgrađenih objekata u okviru građevinskog fonda (Popović i dr., 2013). Nastavak izgradnje blokova velikih urbanističkih poteza bio je takođe prisutan ali smanjenim intenzitetom. Pored objekata građenih od prefabrikovanih elemenata u novim blokovima, ponovo je započeto sa izgradnjom pojedinačnih zgrada u urbanim jezgrima u okviru postojećih blokova. Usled specifičnosti lokacija bila je isključena mogućnost primene prefabrikovane gradnje, odnosno tipskih elemenata, tako da su objekti građeni tradicionalnim tehnikama – na licu mesta ili kombinovanim načinom, što je omogućilo slobodnu arhitektonsku interpretaciju forme i oblikovanje detalja, nasuprot pročišćenom arhitektonskom izrazu na kome se zasnivala Moderna tokom prethodne dve decenije. U pogledu konstrukcijskog sklopa, bili su zastupljeni skeletni, masivni i kombinovani sistemi, uz primenu prefabrikovanih armiranobetonskih punih ili ošupljenih tavanačnih ploča u skladu sa usvojenim sistemima građenja. U strukturi krovova preovladavali su kosi krovovi usled tendencije promene načina korišćenja završne, krovne etaže, kao i tehničkog pitanja zaštite od atmosferskih padavina. Ravni krovovi bili su nešto više zastupljeni kod solitera – 48%, nasuprot udelu od 15% u okviru slobodnostojećih objekata, lamela i objekata u nizu, vezano za stambeni fond (Popović i dr., 2013). Na značaju su dobili mansardni krovovi u cilju stvaranja korisnog prostora poslednje etaže, i u pojedinim slučajevima bila je data prednost funkcionalnom aspektu u odnosu na arhitektonski izraz ostalog dela objekta. Drugim rečima, njihova primena nije bila primerena.

Na osnovu razvoja i primene tehnologija građenja objekata, u periodu od druge polovine XX veka do kraja osamdesetih godina, može se izvršiti njihova klasifikacija na tradicionalno, industrijalizovano i industrijsko građenje (Dimitrijević i Gavrilović, 2000; Nikolić, 2015). Tradicionalno građenje, koje podrazumeva dugotrajan proces zidanja i betoniranja objekata na

licu mesta, prilikom čega se sve operacije obavljaju na gradilištu (izrada oplata, betona, maltera, armature, itd.) uz značajan kapacitet radne snage, unapređeno je primenom jednostavne opreme i korišćenjem poluprefabrikovanih elemenata, najčešće tavanica. Skraćenje procesa građenja odnosilo se na pripremu betona u stalnim pogonima i pripremu armaturnih sklopova koji su se gotovi dopremali na gradilište, višekratno korišćenje specijalnih oplata i prethodnu izradu elemenata manjih dimenzija, kao što su rebra tavaničnih ploča, stepenice, instalacioni sklopovi vodovoda i kanalizacije, prozori, vrata, itd. (Dimitrijević i Gavrilović, 2000). Industrijalizovano građenje podrazumeva princip serijske proizvodnje tipskih delova objekata, najčešće konstrukcija, uz primenu klasičnog građenja elemenata čija je prefabrikacija neracionalna. Usled serijske proizvodnje utvrđenih tipskih elemenata, organizacije i paralelizacije procesa proizvodnje i montaže, vreme izgradnje se dodatno skraćivalo i racionalno su se koristili materijali i radna snaga. Industrijsko građenje ili potpuna prefabrikacija poštuje princip podele rada i serijsku proizvodnju elemenata objekta u celini. Elementi su više funkcionalni jer u sebi sadrže delove instalacija, ugrađene prozore i vrata, keramiku, itd. Potpuna prefabrikacija bila je dominantna u izgradnji novih blokova, prilikom čega se vreme izgradnje znatno skraćivalo jer se uz građevinske radove ostvarivao deo instalaterskih i završnih radova. Brza i efikasna industrijska izgradnja, sa druge strane, zahtevala je velika početna ulaganja, obučeni kadar i skupu mehanizaciju.

U pogledu tehnologija građenja koje su u najvećoj meri uslovile primenu ravnih krovova izdvajaju se industrijalizovano građenje i potpuna prefabrikacija, odnosno industrijsko građenje. Beton, armirani i prednapregnuti, kao dominantan materijal izgradnje konstrukcijskih sklopova sa ravnim krovovima navedenih tehnologija građenja, primenjivao se u okviru skeletnih, panelnih i prostornih celijastih sistema. Mešoviti ili kombinovani sistemi često su bili u upotrebi usled potrebe ukrućivanja konstrukcije i postizanja potrebne otpornosti na uticaj bočnog opterećenja izazvanog dejstvom vetra i seizmičkih sila (Petrović i Folić, 1989). Na osnovu analize karakteristika i zastupljenosti konstrukcijskih sistema građenja utvrđeni su potencijali za primenu zelenih krovova.

5.1.2.1 Skeletni sistemi

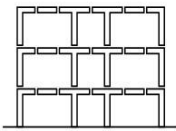
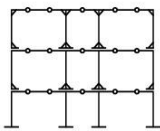
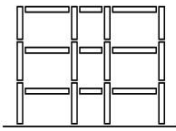
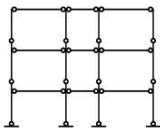
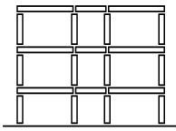
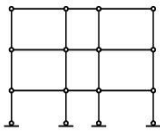
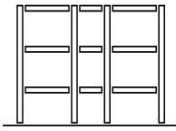
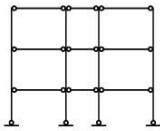
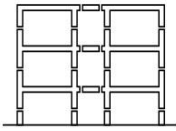
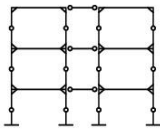
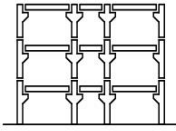
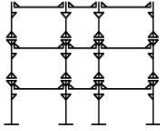
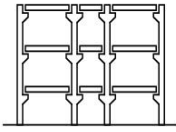
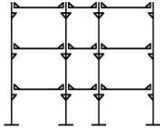
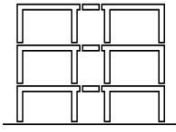
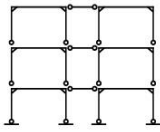
Osnovne elemente prefabrikovanih skeletnih sistema čine linijski elementi – stubovi i grede, i površinski elementi – paneli međuspratnih konstrukcija, tj. tavanice. U zavisnosti od načina proizvodnje, odnosno povezivanja elemenata, skeletni sistemi prema obliku primenjenih konstrukcijskih elemenata mogu biti linijski i linijsko-površinski. S tim u vezi, konstrukcijski sklop mogu činiti: 1) stub, greda i tavanica proizvedeni kao zasebni elementi; 2) stub i greda kao jedan prefabrikovani element – ram/okvir, i tavanica kao poseban element; 3) greda i tavanica

kao jedan konstrukcijski element, i stub kao drugi element; i 4) sva tri elementa proizvedena kao jedan prefabrikovani element (Marković, 2003). Pravac pružanja noseće konstrukcije greda i tavanica definiše podelu na: 1) podužnu, sa pružanjem konstrukcije paralelno podužnoj osi objekta; 2) poprečnu, sa pružanjem nosećih elemenata u poprečnom pravcu; i 3) unakrsnu konstrukciju, sa pružanjem nosećih elemenata u oba ortogonalna pravca.

Stubovi, kao osnovni vertikalni noseći elementi, izrađuju se od armiranog betona, i imaju ulogu da prenose vertikalna i horizontalna opterećenja. Geometrijske i dimenzionalne karakteristike zavise od mnogih faktora, kao što su opterećenja, spratnost, namena objekta (koja uslovljava konstruktivne raspone), itd. Najčešće su kvadratnog ili pravougaonog punog preseka, dužina jednakih jednoj ili više spratnih visina, pri čemu se nastavljanje stubova vrši u nivou tavanica ili neposredno iznad (Petrović i Folić, 1989). U pogledu povezivanja sa gredama ili pločama, stubovi se mogu oblikovati sa ili bez konzolnih ispusta (kratkih elemenata), ili u obliku proširenja u vidu kapitela (Marković, 2003). Grede predstavljaju horizontalne noseće elemente od armiranog ili prednapregnutog betona, dužine jednog ili više raspona, a mogu biti i konzolni elementi. Oblikovanje poprečnog preseka je u funkciji oslanjanja tavaničnih elemenata, a dimenzije poprečnog preseka su u funkciji opterećenja na gredu i raspona koji savladava. Kod sistema sa jednim pravcem pružanja greda, u cilju postizanja stabilnosti primenjuju se grede za ukrućenje u drugom ortogonalnom pravcu, po obodu osnove, čineći kostur skeletne konstrukcije sa stubovima. Prema položaju u sistemu mogu biti primarne i sekundarne. Grede, kao primarni noseći elementi, izvode se samostalno, kao deo rama/okvira ili kao deo ploča – formirane od ivičnih ojačanja, u odnosu na koje mogu biti postavljene iznad, u nivou ili ispod. Tavanice predstavljaju površinske elemente koji prenose opterećenja u jednom ili dva ortogonalna pravca na grede ili na stubove, na koje se direktno oslanjaju. U sistemima sa stubovima, gredama i tavanicama, rasteri tavanica se najčešće formiraju iz više prefabrikovanih elemenata, dok je u sistemima sa stubovima i tavanicama, površina tavanica u najvećem broju slučajeva jednaka površini rastera (Brujić, 2001). Proizvode se kao ošupljene, rebraste i kasetirane ploče kako bi se smanjila njihova težina (Brujić, 2001; Marković, 2003; Petrović i Folić, 1989). To se postiže i primenom prednapreznja, imajući u vidu i pozitivan efekat na smanjenje ugiba i prslina primenom ove metode (Petrović i Folić, 1989). U okviru skeletnih sistema često se primenjuju zidovi za ukrućenje, formirajući na taj način kombinovani konstrukcijski sklop. Čine ih armiranobetonska platna sa stubovima između kojih su postavljena. Zidovi za ukrućenje predstavljaju konstrukcijske elemente koji primaju horizontalne sile i prenose ih na temelje objekta. S tim u vezi, vode se po celoj visini objekta i svojom krutošću utiču na opštu deformabilnost objekta (Marković, 2003). To se može postići i betonskim platnima – membranama, koje nisu dimenzionisane kao noseći elementi (Marković, 2003). Zidovi za

ukrućenje se izvode monolitno – na licu mesta, a platna mogu biti i montažni elementi (Petrović i Folić, 1989). Temelji se češće izvode na licu mesta kao liveni sa čašicom za ugrađivanje stubova, u odnosu na primenu prefabrikovanih elemenata (Brujić, 2001). Ostale konstrukcijske elemente čine stepeništa, liftovska okna i krovne konstrukcije.

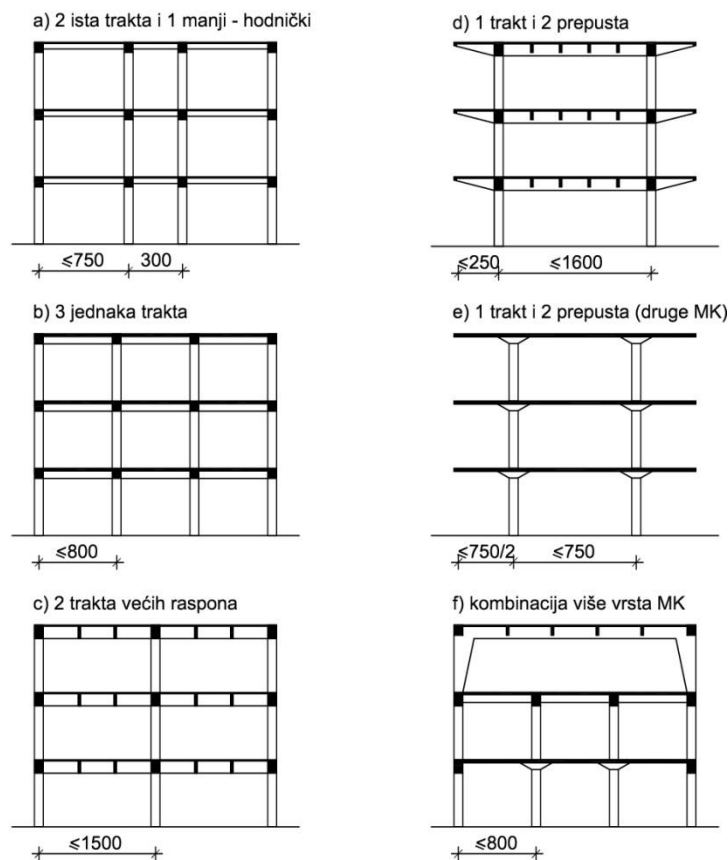
S obzirom na formiranje prefabrikovanih skeletnih sistema iz delova, njihovim povezivanjem se obezbeđuje zajednički rad u konstrukciji. U sistemima sa stubovima i gredama koji su proizvedeni kao posebni elementi i kao ramovi/okviri ili njihovi delovi, komponovanje konstrukcije može se vršiti na više načina (sl. 5.1) (Brujić, 2001; Petrović i Folić, 1989).

Schema elemenata za povezivanje	Statička shema	Princip povezivanja
		Delovi rama u obliku "T" i "Γ" sa obešenim podvlakama.
		Sučeljeni pojedinačni stubovi i rigle na skrivenim konzolama.
		Stubovi etaža spojeni na mestima oslanjanja rigli.
		Kontinualni stubovi kroz više etaža spojeni sa riglama na skrivenim konzolama.
		Delovi rama u obliku "H" sa obešenim podvlakama.
		Spojeni pojedinačni nosači rigli i stubova putem oslanjanja na konzolne ispuste. Spojevi kruti na savijanje.
		Kontinualni stub kroz više etaža spojen sa riglama preko konzolaca za oslanjanje. Spojevi kruti na savijanje.
		Dvozglobni ram sa obešenim podvlakama.

Slika 5.1. Raščlanjivanje/komponovanje skeletne konstrukcije od linijskih elemenata (Brujić, 2001; Petrović i Folić, 1989)

Korišćenje elemenata oblika „Π“, „H“, „Γ“ i „T“ je povoljnije u odnosu na linijske elemente sa stanovišta statičkog rada konstrukcije (Brujić, 2001). Smanjenjem broja spojeva i njihovim izmeštanjem, što je naročito značajno za građenje u seizmičkim zonama, postiže se promena raspodele momenata izazvanih seizmičkim silama, nasuprot spojevima linijskih elemenata koji su izloženi velikim silama, usled čega se teško ostvaruju veze za prenos momenta savijanja (Petrović i Folić, 1989).

Optimalni rasponi, u zavisnosti od primenjenih tavanica, kao i tipovi višespratnih skeletnih sistema prikazani su na slici 5.2 (Bogdanović i Kostić, 2015). Prefabrikovani skeletni sistemi bili su zastupljeni u izgradnji svih tipologija objekata u urbanim sredinama. Iako su se u najvećoj meri primenjivali kod javnih i industrijskih objekata, koristili su se i u stambenoj izgradnji (Petrović i Folić, 1989). Razlog tome su karakteristike skeletnih sistema koje se odnose na malu težinu konstrukcije i brzu realizaciju objekata, minimalnu zauzetost stubovima u osnovi i mogućnost postavljanja vertikalnih pregrada nezavisno od položaja stubova, čime je projektantima pružena sloboda u organizaciji prostora, kao i u estetskom oblikovanju objekata. Skeletni prefabrikovani sistem u kojem je realizovan najveći broj objekata, prevashodno stambenih, ali i značajan broj javnih zgrada, bio je IMS sistem – linijsko-površinski sistem od stubova i tavanica (Furundžić i dr., 2013; Mecanov, 2016; Nikolić, 2015).

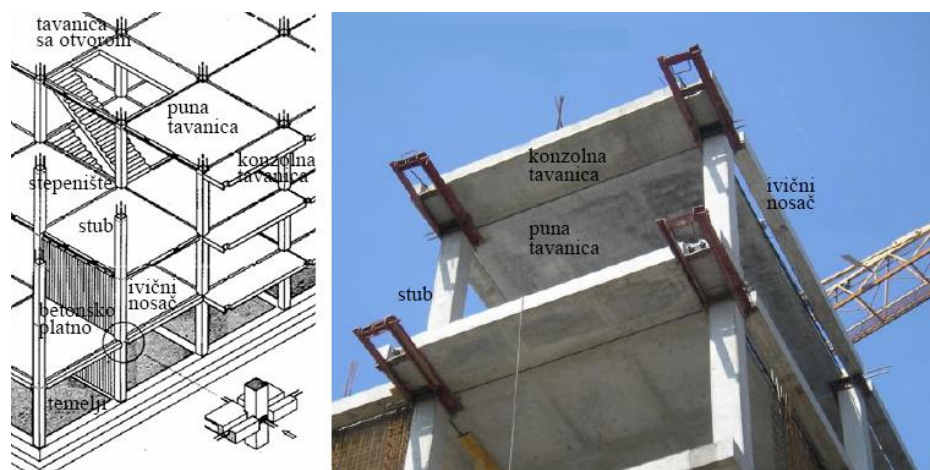


Slika 5.2. Različite mogućnosti primene skeletnog sistema kod višespratnih objekata (Bogdanović i Kostić, 2015)

Sistem IMS

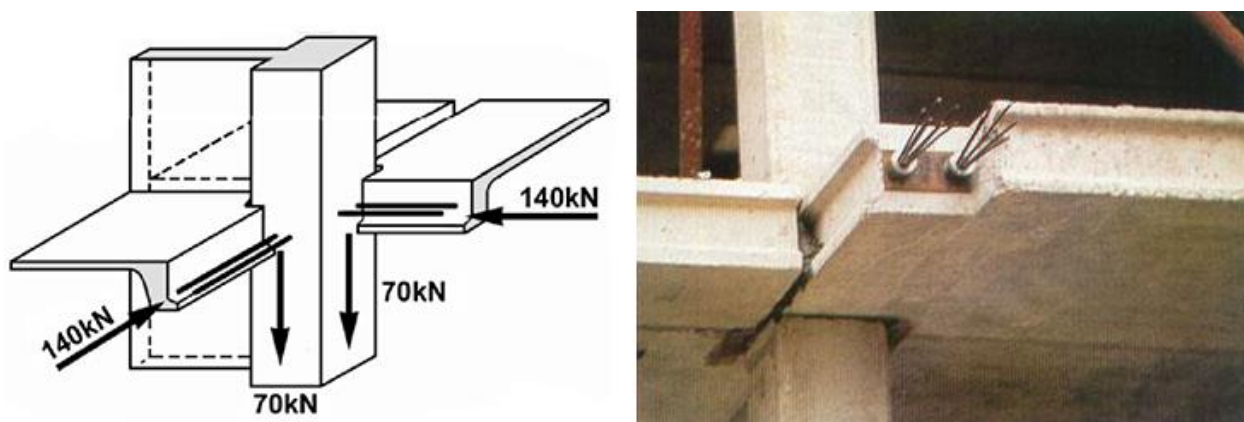
Sistem IMS, patentiran krajem četrdesetih i promovisan krajem pedesetih godina XX veka u okviru Instituta za ispitivanje materijala (Institut IMS, Beograd), predstavljao je originalan nacionalni sistem industrijskog građenja. Osnovna ideja za stvaranje sistema zasnivala se na činjenici da masovno građenje, prevashodno stambenih objekata, može i treba da se ostvari primenom relativno malog broja tipskih prethodno izrađenih konstrukcijskih i drugih elemenata, od kojih postoji mogućnost projektovanja objekata različitih oblika, visina i namena (Muravljov, 2010). Kao rezultat, ostvaren je fleksibilan i otvoren montažni sistem građenja, od elemenata univerzalnog karaktera, koji je pored potpune prefabrikacije omogućavao da se, u odnosu na skeletnu konstrukciju, ostali elementi realizuju i drugim tehnikama građenja.

Koncept IMS sistema zasniva se na podeli elemenata na primarne, sekundarne i tercijalne (Brujić, 2001). Primarne elemente čine noseći delovi konstrukcije: stubovi, međuspratne tavanice, ivični nosači, betonska platna za ukrućenje, stepenište i temelji (sl. 5.3), koji su u konstrukcijskom pogledu nezavisni od ostalih elemenata. Sekundarne elemente predstavljaju nenoseći delovi: fasadni paneli, pregradni zidovi, instalacioni blokovi i dr.; a u tercijalne elemente spadaju obloge, stolarija i sl. Svi primarni elementi karakteristični su samo za IMS sistem, dok sekundarni i tercijalni mogu naći primenu i u okviru drugih sistema i tehnologija građenja. Skeletna konstrukcija od prefabrikovanih armiranobetonskih elemenata formira se na gradilištu njihovim povezivanjem putem prednaprezanja. Spajanjem stubova sa tavanicama, kao i sa ivičnim nosačima i konzolnim pločama, prednaprezanjem, ostvaruje se monolitna celina u nivou svake spratne ravni. Ovakav sistem veza između elemenata daje IMS tehnologiji građenja izuzetnu sigurnost i stabilnost za realizovanje objekata u seizmički aktivnim područjima, kao i u oblastima dejstva jakih vetrova. Osim široke primene na prostorima bivše SFR Jugoslavije, u IMS sistemu se gradilo i u mnogim zemljama Evrope i sveta (Mecanov, 2016; Stamenković i Kostić, 2017).

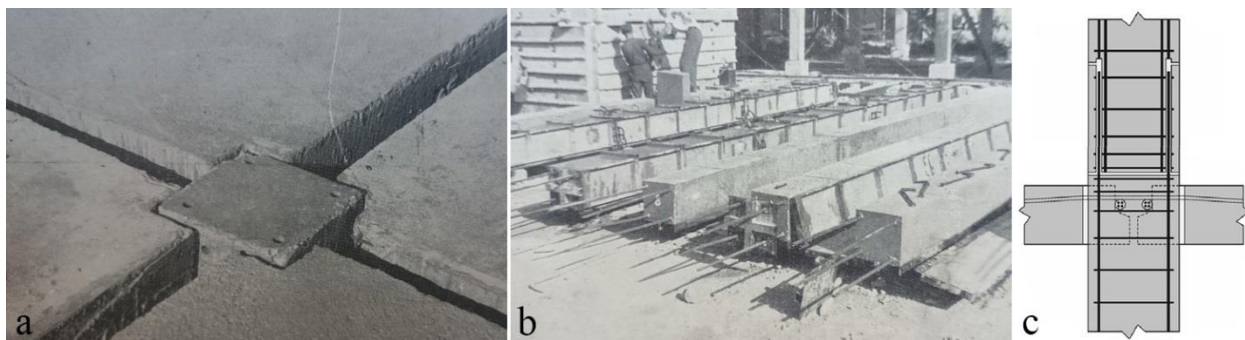


Slika 5.3. Elementi noseće konstrukcije IMS sistema (Brujić, 2001; Muravljov, 2010)

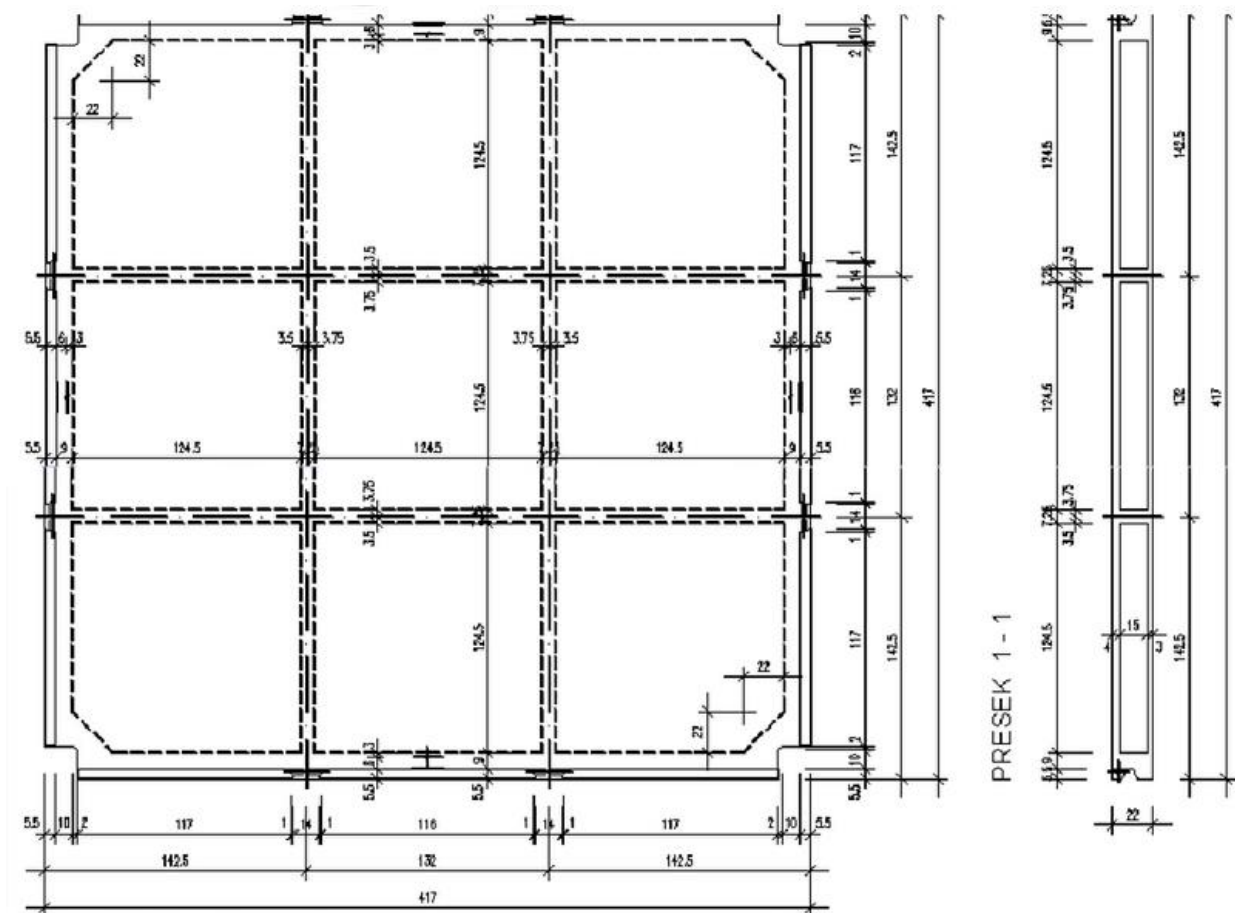
Kao osnova celokupne IMS konstrukcije usvojena je montažna ćelija koju formiraju četiri armiranobetonska stuba i tavanica. Prilikom povezivanja elemenata, kablovi za prednaprezanje se vode između dva ivična ojačanja susednih tavanica i kroz otvore na stubovima (sl. 5.4). Svaka spratna ravan utegnuta je sistemom kablova u dva ortogonalna pravca. Stubovi su ravni, bez konzolnih elemenata, kvadratnog poprečnog preseka, dimenzija od 30 cm x 30 cm, kod stambenih objekata niže spratnosti, do 60 cm x 60 cm, kod objekata većih spratnosti i/ili većih raspona. Izrađuju se kao jednoetažni, dvoetažni i troetažni. Povezuju se preko otvora u vidu rupa, sa gornje strane stuba, u koje se uvlači ispuštena armatura sa donje strane stuba (sl. 5.5). U IMS sistemu izvođeni su objekti optimalne spratnosti do 16, a maksimalne do 20 etaža. Tavanične ploče predstavljaju kasetirane konstrukcije sa ivičnim ojačanjima, kvadratnog ili pravougaonog oblika u osnovi, i ortogonalnim sistemom rebara (sl. 5.6). Mogu biti tipske, odnosno pune i sa otvorima (za vertikalne komunikacije), oslonjene u četiri ili u dve tačke (konzolne). Rasponi tavanica u IMS sistemu se kreću od 300 cm do 720 cm, u nekim slučajevima i do 900 cm (Brujić, 2001; Stamenković i Kostić, 2017). Ploče većih raspona, od 600 cm i više, prefabrikuju se iz dva ili tri dela, prilikom čega se povezuju u celinu sekundarnim prednaprežanjem na gradilištu. Ukupna visina tavanice sa podvlakama kreće se od 22 cm, kolika je najčešće kod stambenih objekata, a može biti i 30 cm, 36 cm ili 40 cm, u zavisnosti od raspona i opterećenja. U stambenoj arhitekturi su primenjivane najčešće tavanice sa dve betonske ploče – podnom i plafonskom, dok su se za objekte javne namene, kod kojih su rasponi veći, koristili tavanični elementi samo sa podnom pločom zarad smanjenja težine elemenata (Stamenković i Kostić, 2017). Konzolne tavanice primenjivane su po obodu objekta, u skladu sa arhitektonskim konceptom organizacije prostora. Konzolni raspon kreće se od 120 cm do 300 cm, što je omogućeno usled povećanja visine tavaničnih podvlaka (Dimitrijević i Petrović, 2010).



Slika 5.4. Povezivanje stuba i tavaničnih elemenata (Brujić, 2001, Muravljov, 2010)



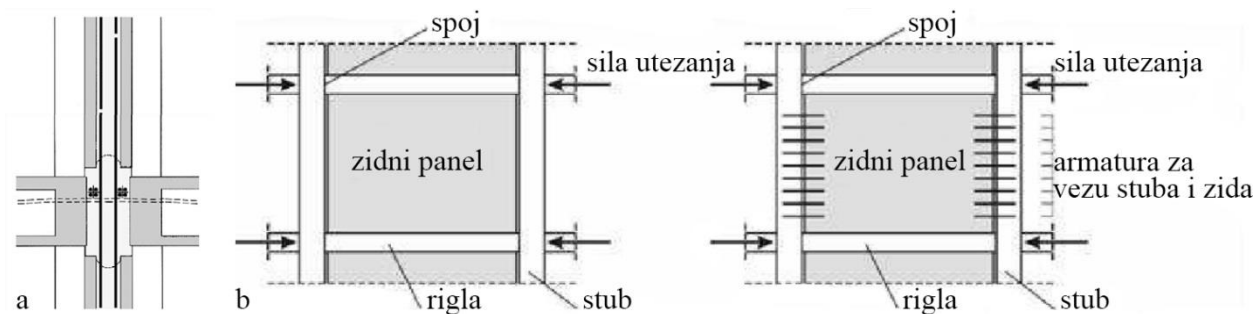
Slika 5.5. Stubovi u IMS sistemu: a) gornji deo stuba sa otvorima („The IMS“, 1966), b) donji deo stuba sa ispuštenom armaturom („The IMS“, 1966), c) nastavljnje stubova (Brujić, 2001)



Slika 5.6. Tavanični element u IMS sistemu (Brujić, 2001)

Ivični nosači su linijski elemente koji se postavljaju po obodu tavanica u slučaju kada nisu primenjene konzolne ploče, u cilju formiranja greda sa kanalima za vođenje kablova za prednaprezanje. Takođe spadaju u elemente primarne konstrukcije. Postavljaju se u ravni sa stubovima ili mogu izlaziti izvan gabarita, u zavisnosti od primenjenih fasadnih elemenata – nošenih delova konstrukcije. Zidovi za ukrućenje imaju ulogu za prijem horizontalnih sila, imajući u vidu da stubovi inicijalno prenose vertikalna opterećenja (Brujić, 2001). Betonska platna u okviru zidova za ukrućenje mogu biti montažna ili izvedena na licu mesta. Montažna platna, koja su sastavni deo IMS tehnologije građenja, proizvode se kao armiranobetonski paneli,

debljine 15 cm, u kojima se nalaze vertikalni otvori za armaturu, koji se nakon postavljanja panela ispunjavaju betonom. Na taj način formira se monolitna konzolna konstrukcija po celoj visini objekta. Vertikalno nastavljanje panela se vrši u nivou tavanica (sl. 5.7a), a horizontalno povezivanje sa stubovima može se ostvariti u nivou tavanica ili po celoj visini (sl. 5.7b) (Brujić, 2001). Betonska platna proizvode se kao puna ili sa otvorima, i po pravilu se postavljaju između stubova u oba ortogonalna pravca.

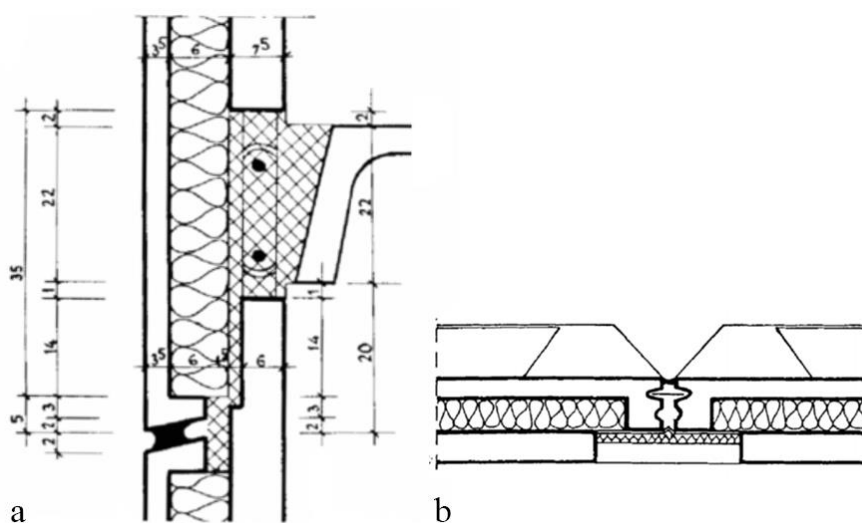


Slika 5.7. Formiranje zidova za ukrućenje: a) vertikalno nastavljanje panela, b) horizontalno povezivanje panela sa stubovima (Brujić, 2001)

IMS prefabrikovana stepeništa mogu biti jednokraka, drokraka i trokraka, i sastoje se od stepenišnih nosača, koje predstavljaju pune armiranobetonske ploče debljine 12 cm, i gazišta koja se naknadno montiraju. Na krajevima stepenišnih krakova ostavljaju se otvori za provlačenje ankera ispuštenih iz podvlaka (Brujić, 2001). U pogledu temeljenja objekata, izbor načina direktno zavisi od nosivosti tla. Imajući u vidu da skeletna konstrukcija sama po sebi nema veliku težinu, kao i da je moguće primeniti lake pregradne i fasadne zidne panele, usled činjenice da ne predstavljaju noseće konstrukcijske elemente, obejkti manje visine, do pet etaža, temelje se na individualnim temeljnim stopama, koje mogu biti prefabrikovane ili livene na licu mesta (Stamenković i Kostić, 2017). Kod objekata razvijenog horizontalnog plana po jednoj dimenziji (dužine 60 – 80 m), temeljenje se izvodi na kontraploči. U slučaju visokih objekata (npr. 15 etaža) kompaktne osnove, koristi se kontraploča sa roštiljem od prenapregnutih greda, dok se temeljenje na šipovima sprovodi samo u slučajevima najnepovoljnijeg stanja tla („The IMS“, 1966).

U pogledu sekundarnih elemenata, u okviru IMS konstrukcija je, pored primene svih prefabrikovanih elemenata koji su deo IMS tehnologije, omogućena i upotreba gotovih elemenata drugih proizvođača i tehnika građenja, što je odlika otvorenih konstrukcijskih sistema, i pruža velike mogućnosti za projektovanje objekata. Fasadni „sendvič“ paneli (sl. 5.8) imali su najširu upotrebu, prilikom čega se veza sa ivičnim nosačima ostvarivala betoniranjem ankera, tako da u statičkom pogledu fasadni element predstavlja vertikalnu konzolu (Brujić, 2001). Imajući u vidu da i pregradni zidovi predstavljaju nenoseće elemente konstrukcije, bila je

zastupljena primena panela od lakih materijala – zidova od gipsanih blokova, siporeksa, lakih betona, itd. Kao poseban tip pregradnog zida, bio je u upotrebi sanitarni blok, koji je predstavljao zid u koji su ugrađene instalacije, odnosno kanali i otvori za razne instalacije (vodovod, kanalizacija, ventilacija, itd.) (Brujić, 2001). Razvojem IMS sistema, uvedene su i sanitarne i kuhinjske kabine, potpuno zatvoreni čelijski elementi formirani od tankih betonskih panela u koje su ugrađivana kompletna kupatila i kuhinje sa svim potrebnim instalacijama i otvorima. Čelije su ugrađivane tako što su se pomoću kрана postavljale na tavanične ploče i kasnije priključivale za ostale razvođe instalacija.



Slika 5.8. Fasadni sendvič paneli: a) veza sa ivičnim nosačem, b) povezivanje dva panela (Brujić, 2001)

Forme objekata izgrađenih u IMS sistemu ukazuju na pretežnu primenu ravnih krovova, iako su razvojem sistema uvedene novine, koje se odnose na kose krovne linijske nosače i krovne ploče (Marušić, 2010).

5.1.2.2 Panelni sistemi

Osnovne elemente panelnih sistema čine površinski elementi – zidovi i tavanice. U odnosu na širinu elemenata, primenjivani su sistemi od: 1) krupnih panela, čija je širina najčešće jednaka rasteru; 2) srednjih panela, širine manje od rastera; i 3) sitnih/uskih panela, širina 50 – 60 cm (Marković, 2003; Milić, 2008). Visina zidnih elemenata je u najvećem broju slučajeva bila u sklopu jedne spratne visine, a dužina tavanica odgovarala je rasteru zidova. Prednosti panelnih sistema od srednjih i uskih elemenata odnosile su se na njihovu manju težinu i pogodnije uslove transporta, ali su se primenjivali u manjoj meri usled teškoća u obradi velikog broja vertikalnih spojeva (Brujić, 2001; Marković, 2003). Prema pravcu pružanja nosećih zidova, izvršena je podela panelnih sistema na podužne, poprečne i unakrsne konstrukcije. Konstrukcijski sistem sa

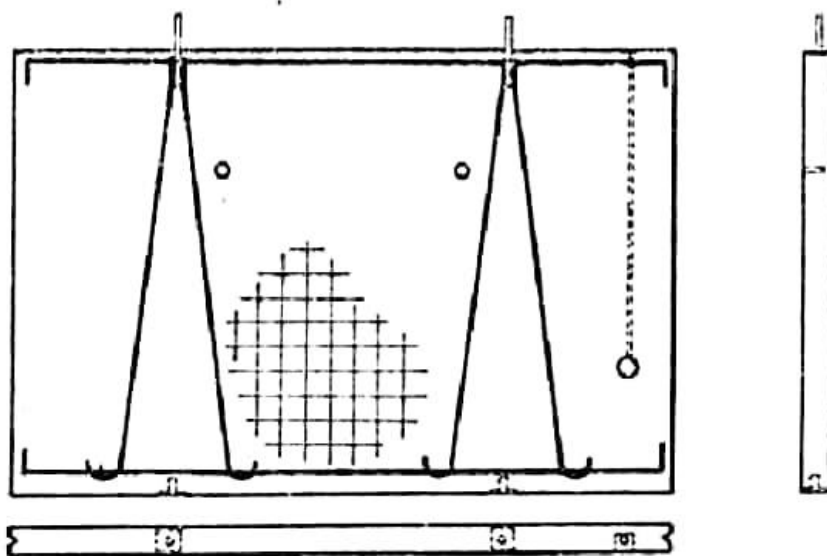
podužnim zidovima proizašao je iz klasičnih masivnih sistema građenja i karakteriše ga visok nivo stabilnosti objekata. Iz funkcionalnih razloga, manje je bio zastupljen u izgradnji stambenih objekata u odnosu na objekte drugih namena (Marković, 2003; Milić, 2008). Konstrukcijski sistem sa poprečnim zidovima primenjivao se u većoj meri usled mogućnosti različitog oblikovanja fasada, što je bilo ograničeno u sistemu sa podužnim zidovima, kod kojih su fasadni elementi bili noseći i postavljeni u jednoj ravni, kao i usled mogućnosti primene različitih materijala i postupaka u građenju (Milić, 2008). Kod konstrukcija sa podužnim zidovima i konstrukcija sa poprečnim zidovima, tavanice se oslanjaju u jednom pravcu, dok se kod kombinacije ova dva sistema, odnosno kod unakrsnih konstrukcija, tavanični paneli oslanjaju u dva ortogonalna pravca. Primena unakrsnog sistema karakteristična je za kvadratne rastere i obavezna u visokim seizmičkim zonama. Razlog zastupljenosti unakrsnog sistema u manjoj meri odnosio se na ograničene mogućnosti primene različitih projektantskih rešenja u pogledu funkcionalne organizacije i oblikovanja fasada (Marković, 2003; Milić, 2008).

Zidni paneli, kao osnovni konstrukcijski elementi, prema funkciji mogu biti noseći i nenoseći, a prema položaju – spoljašnji (fasadni) i unutrašnji (pregradni). Prema obliku panela, izrađivali su se kao puni ili sa otvorima (za vrata, prozore, instalacije, itd.) i prefabrizovali su se zajedno sa ugrađenim elementima. Noseći zidovi, pored sopstvene težine, prihvataju i druga opterećenja. Mogu prihvatati opterećenja od tavanica, prihvatati samo težinu zidova gornjih spratova – samonoseći, i mogu biti zidovi za ukrućenje (Brujić, 2001). Noseći paneli načešće su izrađivani kao pune armiranobetonske ploče, a primenjivali su se i ošupljeni, rebrasti, višeslojni, itd. elementi (Brujić, 2001). Imajući u vidu da su krupnopanelni sistemi imali najveću primenu u okviru panelnih konstrukcija (Brujić, 2001; Marković, 2003; Petrović i Folić, 1989), tipski elementi bili su najčešćih širina 240 cm, 360 cm i 420 cm (Brujić, 2001). Debljine panela bile su različite, u zavisnosti od statičkih zahteva i potreba termičke i akustičke izolacije. Pored standardne armature, ugrađivana je i oprema za vezu i prihvatanje elemenata. Noseći fasadni paneli sadržali su armiranobetonsko jezgro, termoizolacioni sloj i fasadnu oblogu. Nenoseći zidovi primenjivali su se kao pregradni i fasadni. Fasadni paneli su bili nošeni deo konstrukcije, a mogli su biti i samonoseći. Tavanice su predstavljale elemente koji su pokrivali celo polje rastera ili se tavanica jednog polja formirala iz delova, pri čemu je dužina elemenata bila jednaka rasteru. Najčešće su primenjivani armiranobetonski paneli širina 120 cm – 240 cm, i dužina 360 cm – 420 cm (Milić, 2008). Izrađivali su se kao pune armiranobetonske ploče, ošupljene, rebraste, kasetirane, itd. Oblikovanje ivica je obezbeđivalo laku montažu i izvođenje veza sa ostalim elementima. Povezivanjem tavaničnih panela ostvarivana je monolitna kruta konstrukcija (Brujić, 2001).

Primena panelnih, a naročito krupnanelnih sistema, bila je naveća u stambenoj izgradnji (Marković, 2003; Petrović i Folić, 1989). Veliki broj sistema bio je u upotrebi, najpre inostranih proizvođača, od kojih se izdvajaju: „Camus“ (Francuska), „Larsen-Nilsen“ (Danska), „Partek“ (Finska), „BAV“ (SR Nemačka), itd., a kasnije i domaćih kompanija (Milić, 2008). Na prostoru bivše SFR Jugoslavije, domaći proizvođači su prilagodili i patentirali nacionalne panelne sisteme, kao što su: „Rad-Balansi“ (Beograd), „Montastan“ (Bačka Topola), „Trudbenik“ (Beograd), „Hidrogradnja“ (Čačak), „Jugomont“ (Zagreb), i mnogi drugi.

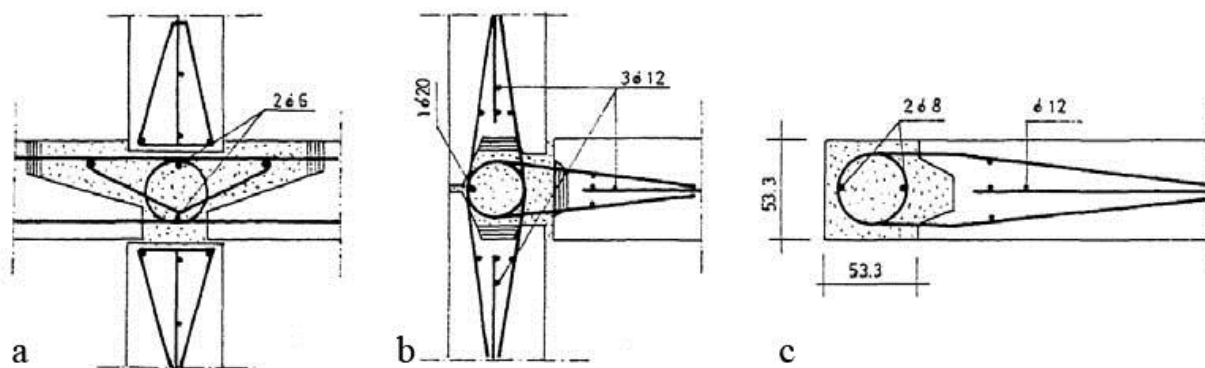
Sistem Rad-Balansi

Krupnanelni sistem Rad-Balansi predstavljao je modifikovan, posebno razvijen francuski sistem prefabrikovane panelne gradnje – Balansi (Balency), koji je 1978. godine uveden na domaće tržište od strane građevinskog preduzeća „Rad“ iz Beograda. U ovom sistemu realizovani su pretežno stambeni objekti, spratnosti do 22 etaže (Nikolić, 2015). Konstrukcijski sklop činili su primarni elementi – zidni i tavanični paneli, i sekundarni elementi – višeslojni fasadni paneli. Korišćenjem modularne mreže, sa osnovnim modulom od 10 cm, ostvarivana je racionalnost u projektovanju. Karakteristike otvorenog sistema ogledale su se u konstrukcijskom sklopu sa poprečnim zidovima, koji je pružao mogućnost izbora i kombinovanja raspona, i obezbeđivao je fleksibilnost u pravcu upravnom na raspon (Mecanov, 2016). Optimalni rasponi bili su do 600 cm, a maksimalni do 720 cm. Noseći zidovi (sl. 5.9) izrađivali su se u fabričkim pogonima i povezivali, međusobno i sa tavanicama, na gradilištu. Predstavljali su pune armiranobetonske panele, sa ili bez otvora, debljine 16 – 22 cm, optimalne širine do 600 cm, imajući u vidu da je modul od 60 cm primenjivan za noseće elemente, i konstantne visine 267 cm (Mecanov, 2016; Nikolić, 2015).



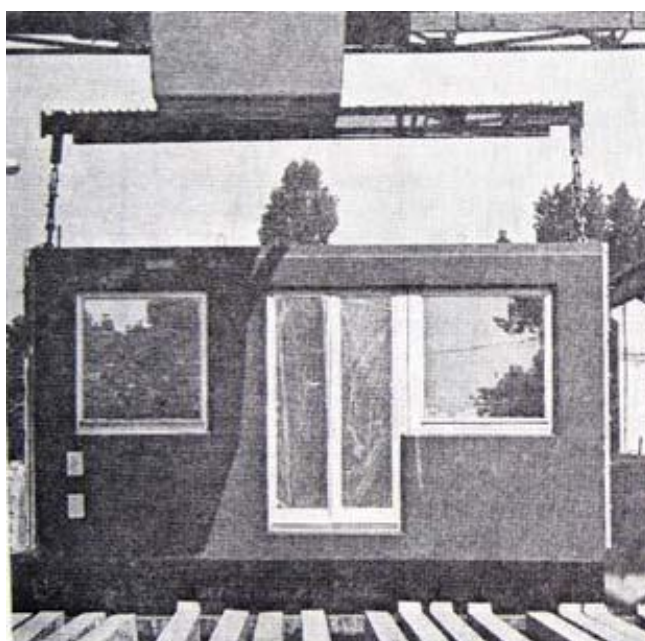
Slika 5.9. Noseći zidni panel sistema Rad-Balansi – izgled i preseći (Brujić, 2001)

Tavanični paneli bili su armiranobetonski elementi, proizvedeni na gradilištu, sa oslanjanjem u jednom pravcu. Razvojem sistema organizovanom proizvodnjom svih elemenata u fabričkim uslovima, uz korišćenje kvalitetne opreme, Rad-Balansi je visoko ocenjen sa konstrukcijskog i tehnološkog aspekta. Između svih nosećih elemenata ostvarivana je monolitna veza (sl. 5.10).



Slika 5.10. Detalji monolitnih veza: a) vertikalni presek – veza zidnih panela sa tavanicom, b) horizontalni presek – veza zidnih panela, c) horizontalni presek – završetak zidnog panela (Nikolić, 2015)

Fasadne elemente, kao delove primarne i sekundarne konstrukcije, predstavljali su sendvič paneli, koje su činili slojevi: betona, sa unutrašnje strane zida, debljine 16 cm, 19 cm ili 22 cm za noseće, i debljine 8 cm za nenoseće elemente; termoizolacije od 8 cm; i betona sa spoljašnje strane zida debljine 6 cm (Nikolić, 2015). Izgled prefabrikovanog fasadnog panela prikazan je na slici 5.11. U pogledu krovnih konstrukcija, u sistemu Rad-Balansi pretežno su bili zastupljeni ravni krovovi. Primeri realizovanih objekata stambene gradnje sa ravnim krovovima prikazani su na slici 5.12.



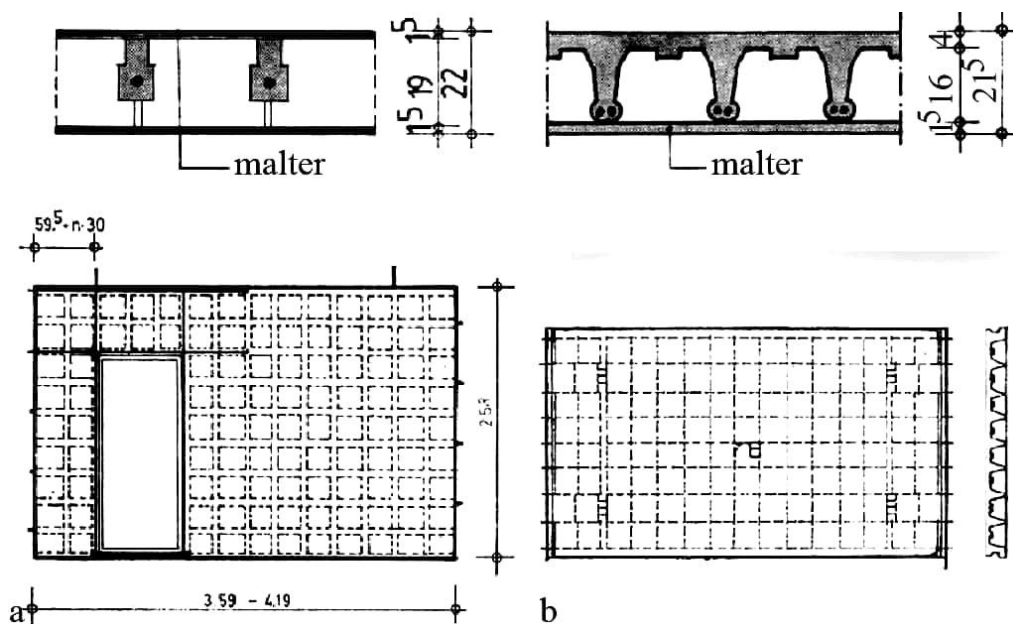
Slika 5.11. Izgled fasadnog panela sistema Rad-Balansi (Brujić, 2001)



Slika 5.12. Primeri realizovanih objekata sa ravnim krovovima u sistemu Rad-Balansi (Mecanov, 2016)

Sistem Montastan

Krupnopanelni sistem Montastan patentiran je u preduzeću „1. maj“ iz Bačke Topole, 1980. godine. Sistem sa poprečnom nosećom konstrukcijom činili su prefabrikovani betonski zidovi i tavanice sa ispunom od opekarskih elemenata. Visok stepen industrijalizovane tehnologije građenja postignut je prefabrikacijom stepeništa, liftovskih okna i sanitarnih blokova (Nikolić, 2015), što je uticalo na skraćenje vremena izgradnje objekata. Primenjivani su rasponi od 360 cm i 420 cm (Marković, 2003; Nikolić, 2015), što je ujedno predstavljalo i dužinu tavaničnih elemenata oslonjenih u jednom pravcu. Spratna visina objekata u Montastan sistemu iznosila je 290 cm, a maksimalna spratnost objekata bila je P + 8 (Nikolić, 2015). Noseći zidovi bili su širina 360 cm ili 420 cm, pri čemu je debljina fasadnih elemenata iznosila 30 cm, a debljina unutrašnjih zidova 22 cm (Marković, 2003; Nikolić, 2015) (sl. 5.13a). Svi zidni paneli bili su prefabrikovani sa završnim obradama i ugrađenom stolarijom. Debljina tavaničnih panela iznosila je 20 cm. Izgled i presek tavanice prikazan je na slici 5.13b.

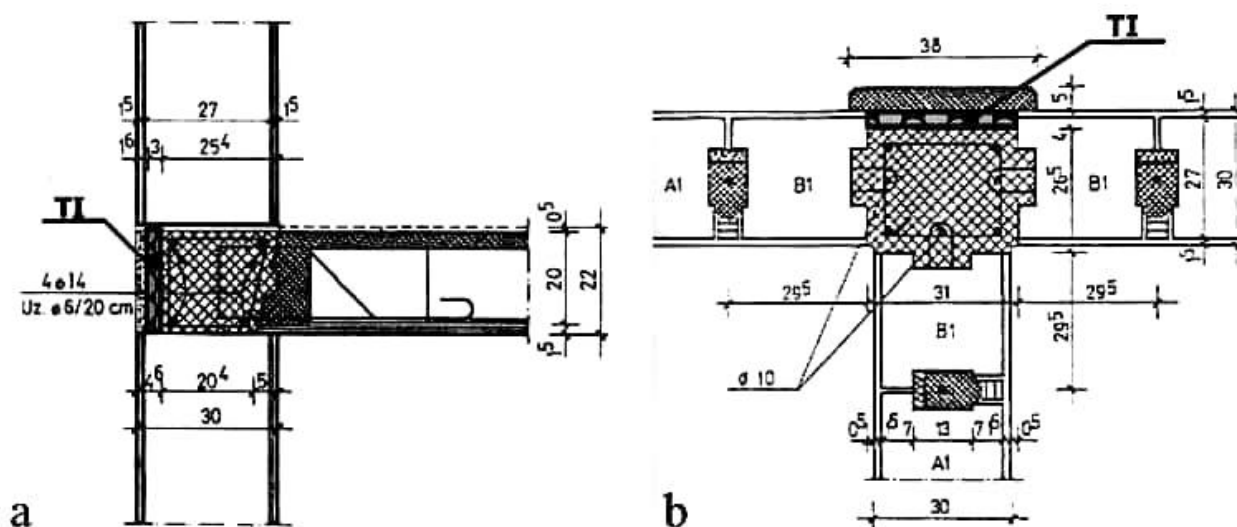


Slika 5.13. Elementi noseće konstrukcije sistema Montastan: a) unutrašnji zidni panel, b) tavanični panel (Brujić, 2001)

Objekti izgrađeni u Montastan sistemu prepoznatljivi su po dvovodnim krovovima, klasične drvene konstrukcije, sa pokrivačem od opekarskih elemenata – crepova (Nikolić, 2015). Ovaj sistem podržavao je primenu i drugih tehnika građenja u realizaciji fasada i krovnih konstrukcija.

Sistem Trudbenik

Građevinsko preduzeće „Trudbenik“ je 1960. godine uvelo istoimeni krupnopanelni sistem industrijalizovanog građenja, prevashodno za potrebe stambene izgradnje. Objekti u sistemu sa poprečnim nosećim zidovima projektovani su korišćenjem modularne mreže, sa rasterom od 420 cm (Mecanov, 2016). Noseći zidovi i tavanice betonirani su u tipiziranim oplatama, odnosno bili su delimično prefabrikovani elementi, a pregradni zidovi i parapeti predstavljali su potpuno prefabrikovane elemente (Mecanov, 2016; Vukov, 1966). Sistem Trudbenik je prednapregnut u vertikalnoj ravni provođenjem kablova kroz otvore u nosećim panelima, a putem prednaprezanja je ostvareno i povezivanje zidova i tavanica (Furundžić i dr., 2013). Karakteristični detalji veza između nosećih elemenata prikazani su na slici 5.14. Fasadni paneli predstavljali su deo sistema, ali su se češće izvodili nezavisno od noseće konstrukcije, odnosno od prefabrikovanih elemenata drugih proizvođača (Nikolić, 2015).



Slika 5.14. Detalji veza nosećih elemenata: a) vertikalni presek – veza zidnih panela sa tavanicom, b) horizontalni presek – veza zidnih panela (Nikolić, 2015)

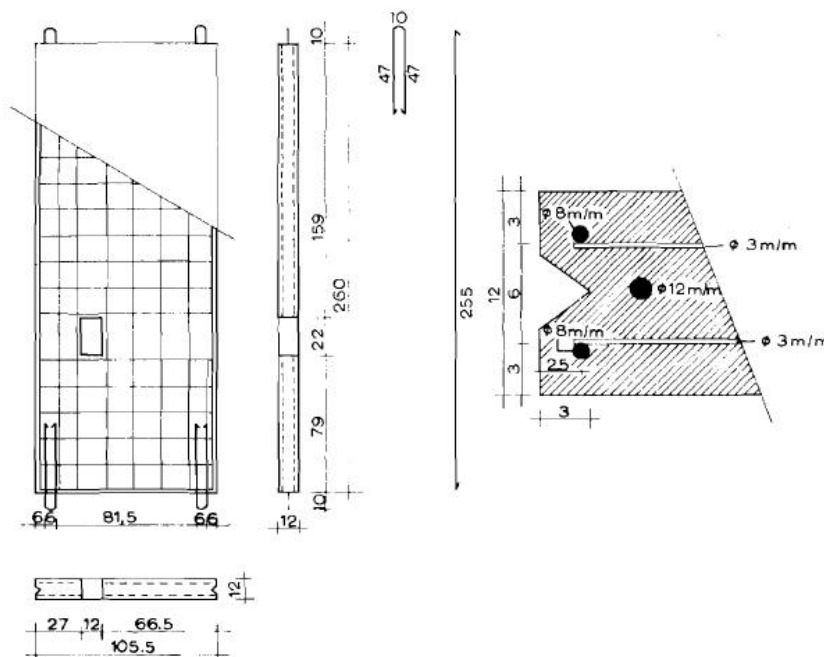
Konstruktivni zidovi bili su visoki 270 cm, što je odgovaralo spratnoj visini. U cilju osavremenjavanja realizacije objekata uvedena je brojna mehanizacija, što se naročito odnosilo na kran sa položajem na objektu, čime je mogućnost građenja u visinu postala praktično neograničena (Mecanov, 2016) (sl. 5.15). S tim u vezi, pored objekata srednje spratnosti, realizovani su i soliteri P + 14 + Pk prema kataloškom tipu zgrada ovog preduzeća, čiji su krovovi pretežno bili ravni.



Slika 5.15. Izvođenje objekta u sistemu Trudbenik (Vukov, 1966)

Sistem Jugomont

Jedan od prvih razvijenih panelnih sistema, koji je u velikoj meri bio primenjivan na prostoru bivše SFR Jugoslavije, bio je patent preduzeća „Jugomont“ iz Zagreba. Krupnopanelni sistem sa poprečnim nosećim zidovima imao je nekoliko varijanti, koje su predstavljale unapređenje prvobitnog sistema iz 1955. godine (Prosinečki, 2015). Sistem je karakterisala modularna koordinacija sa rasterom 400 cm x 400 cm (Mecanov, 2016). Noseći, poprečni zidni paneli, kao i zidovi za ukrućenje, u podužnom pravcu, izrađivali su se od punog betona, debljine 12 cm, širine trake 100 cm i visine 260 cm, što je predstavljalo spratnu visinu objekata (Vukov, 1966) (sl. 5.16).



Slika 5.16. Fasadni panel sistema Jugomont (Vukov, 1966)

Prilikom građenja objekata, zidovi i poluprefabrikovane tavanice formirali su prostornu/čelijastu konstrukciju. Sistem JU-59, razvijen 1959. godine, zadržao je čelijastu konstrukciju i univerzalnost panela, i sprovedena je njihova tipizacija. Projektantski modul bio je 1 m. Sistem JU-60 uveden je kako bi se korigovali nedostaci prethodnog sistema, i započeta je proizvodnja krovnih ploča sa termo i zvučnom izolacijom. Dalji razvoj proizveo je sistem JU-61, kod koga je novina bila korišćenje modula od 60 cm, odnosno 120 cm, tako da su dimenzije ćelija u osnovi bile 360 cm x 480 cm (sl. 5.17). S tim u vezi izmenjena je širina panela, a i povećana je spratnost objekata do 7, u odnosu na predhodnih 5 etaža (Mecanov, 2016). Fasadni elementi bili su karakteristični zbog raznovrsnosti završne obrade preko slojeva termoizolacije i betona. Poprečni sistem nosećih zidova pružao je mogućnosti korišćenja i drugih elemenata koji nisu bili u okviru ovog sistema, kao i različitih tehnika građenja (Nikolić, 2015). Jugomont sistemi podržavali su primenu i kosih i ravnih krovova (Prosinečki, 2015).



Slika 5.17. Izgradnja objekata u sistemu JU-61 (Nikolić, 2015)

5.1.2.3 Prostorni čelijasti sistemi

Prostorni čelijasti sistemi, u odnosu na skeletne i panelne, podrazumevali su veliku ukрупnjenost elemenata. Jedan prefabrikovani element predstavljao je konstrukcijsku celinu, koja je mogla biti nezavisna, čineći ceo objekat, ili deo sklopa objekta, raščlanjenog radi lakše prefabrikacije, transporta i montaže. Prema nameni i veličini, odnosno složenosti, prostorni elementi – modularne jedinice prefabrikovane su kao blok soba, blok stan i blok zgrada (Milić, 2008). U odnosu na oblik, čelijasti elementi su se izrađivali kao zatvoreni i otvoreni. Zatvoreni elementi bili su najčešće sanitarne kabine, a otvoreni elementi su podrazumevali otvorenost najmanje sa jedne strane, prilikom čega se zatvaranje vršilo spoljašnjim zidnim panelima, unutrašnjim zidnim panelima ili tavanicama (Marković, 2003). U konstrukcijskom pogledu, čelijasti elementi mogu

biti noseći, čineći čist ćelijasti sistem ili u kombinaciji sa skeletnim ili panelnim sistemom, i nošeni, u sklopu sa monolitnim jezgrom/jezgrima ili kao deo skeletnih ili panelnih konstrukcija. Elementi prostornih ćelijastih sistema izrađivani su od različitih materijala. U pogledu betonskih konstrukcija, elementi od armiranog betona proizvodili su se na dva načina: od prefabrikovanih panelnih i/ili linijskih elemenata naknadno spojenih, i od livenog betona u prostornoj oplati (Milić, 2008). Prednosti ovog sistema ogledale su se u finalizaciji elemenata u fabričkim pogonima i do 95% (Marković, 2003; Milić, 2008), ali je njegova primena bila ređa u odnosu na druge sisteme usled velikih gabarita i težina elemenata, kao i komplikovane izrade i montaže (Brujić, 2001; Petrović i Folić, 1989). Prostorni ćelijasti sistemi bili su zastupljeni u većoj meri u centralnoj Evropi, dok je udeo na našim prostorima bio znatno manji. Najveću primenu imali su u izgradnji stambenih objekata i hotela (Brujić, 2001). Od domaćih sistema izdvaja se Dom 101, građevinskog preduzeća „Dom“ iz Beograda. Ovaj sistem bio je patentiran na osnovu švajcarskog sistema „Variel“ i prilagođen nacionalnim propisima i potrebama tržišta (Marković, 2003).

5.1.3 Objekti izgrađeni od početka devedesetih godina do danas

Kraj osamdesetih i devedesete godine prošlog veka obeležila je ekonomska kriza kao posledica društvenog i političkog stanja u regionu, što je dovelo do zastoja kompletne privrede, a time i svođenja aktivnosti građevinskog sektora na minimum. Prema podacima iz 2012. godine (Popović i dr., 2013), u pogledu višespratnih stambenih objekata, u prvom delu perioda, od 1991. do 2000. godine, izgrađeno je svega 5% od ukupnog broja objekata u zemlji. Intenziviranje građevinskih aktivnosti, naročito u drugom delu perioda, od 2002. do 2009. godine, doprinelo je da udeo realizovanih objekata tokom ovog perioda bude 23% u okviru građevinskog fonda (Popović i dr., 2013). U toku poslednje decenije ponovo je došlo do smanjenja izgradnje usled svetske ekonomske krize. Stanje na tržištu i društveno-politička i ekonomska situacija, uticali su na promene u tehnologiji i organizaciji građenja, koje su se odnosile na napuštanje masovne industrijalizovane gradnje i građenje prevashodno pojedinačnih objekata na zasebnim gradskim parcelama, i u manjoj meri blokovski organizovanih grupacija objekata. Jedno od obeležja izgradnje u ovom periodu koje je uticalo na način i principe građenja je promena u načinu finansiranja. U odnosu na kapitalne državne investicije, koje su karakterisale prethodni period, privatni oblik investiranja postao je dominantan u ovom razdoblju. Usled organičenog obima investicija, izgradnja se prvenstveno vezuje za manje, pojedinačne parcele, koje se najčešće nalaze u sklopu postojećih blokova (Popović i dr., 2013). U uslovima različitog konteksta lokacija, objekti se realizuju tradicionalnim tehnikama građenja – na licu mesta, uz primenu

savremenih elemenata materijalizacije i završne obrade. Time je omogućena raznovrsnost strukture objekata, kao i varijacije u oblikovnim rešenjima i likovnoj interpretaciji.

Konstrukciju objekata karakteriše kombinacija skeletnog armiranobetonskog sistema i nosećih masivnih zidova građenih od opekatskih elemenata ili armiranog betona (Popović i dr., 2013). Tavanične konstrukcije su u najvećoj meri poluprefabrikovane, ali se poslednjih godina sve češće primenjuju masivne konstrukcije u vidu punih armiranobetonskih ploča. U pogledu krovne konstrukcije, izražena je dominacija kosih krovova koji predstavljaju jedno od glavnih obeležja poslednjeg perioda. Ravni krovovi zastupljeni su u delom od svega 5% (Popović i dr., 2013). Ovakav trend je posledica prevashodno potreba za dodatnim stambenim prostorom, u odnosu na potrebe za tehničkim rešavanjem odvodnjavanja krovnih površina i kreiranjem posebnog arhitektonskog izraza.

5.2 Utvrđivanje potencijala za primenu zelenih krovnih sistema na ravnim krovovima

Na osnovu analize razvoja tehnologija građenja, primenjivanih materijala i konstrukcijskih sistema koji su usloveli forme objekata sa ravnim krovovima, u kontekstu postojećeg građevinskog fonda, utvrđen je okvir istraživanja, koji se odnosi na period izgradnje i konstrukcijske karakteristike objekata, za primenu zelenih krovova.

Objekti iz perioda XIX i prve polovine XX veka predstavljaju važan deo arhitektonskog i kulturnog nasleđa, tako da većina spada u zaštićene spomenike kulture (Vučićević, 2014). Mnogi stambeni objekti su promenili namenu u javne zgrade ili muzeje, te bi svaki vid remodelovanja zahtevao dozvolu od nadležnih institucija za zaštitu kulturnog nasleđa. Imajući u vidu činjenice da je udeo objekata iz ovog perioda veoma mali, da su objekti uglavnom pod zaštitom, da u najvećem broju slučajeva ne postoji dokumentacija o statici objekata, kao i da su ravni krovovi zastupljeni u maloj meri, može se konstatovati da gotovo ne postoji potencijal za remodelovanje ravnih krovova zelenim krovnim sistemima.

U periodu od druge polovine XX veka do kraja osamdesetih godina, koji je karakterisao ubrzan razvoj tehnike i tehnologije u građevinarstvu, pojavu novih konstrukcija i materijala, brzu i masovnu izgradnju objekata i primenu ravnih krovova, realizovan je najveći broj objekata koji čine više od polovine građevinskog fonda. U pogledu zastupljenosti konstrukcijskih sistema, najveću primenu su imali panelni sistemi, od kojih se izdvajaju krupnopanelne konstrukcije sa poprečnim nosećim zidovima, zatim skeletni sistemi, od kojih se izdvaja izgradnja u IMS sistemu, dok su prostorni ćelijasti sistemi korišćeni u najmanjoj meri, a najčešće u kombinaciji sa drugim sistemima, kao elementi sekundarne konstrukcije. Ravni krovovi, kao jedno od obeležja ovog perioda, bili su primenjivani u okviru svih prefabrikovanih konstrukcijskih sistema. Opravdanost sprovođenja remodelovanja ravnih krovova odnosi se prevashodno na period

izgradnje, odnosno starenje materijala i elemenata strukture, ali i njihovu ubrzanu degradaciju usled neadekvatnog izvođenja koje je predstavljalo posledice tada nedovoljno formirane teorije, nedostatka tehničkih propisa i standarda u pogledu izolacija (termoizolacija i hidroizolacija), kao i nepostojanja iskustava iz tih oblasti (Denić i Đekić, 1994). Inicijalno veći udeo izgrađenih ravnih krovova vremenom je smanjen zbog potrebe za remodelovanjem dotrajalih krovnih struktura i, u pogledu stambenih objekata, potrebe za povećanjem stambenog fonda (Kuzmanov, 2009; Vranic et al., 2016). Tome u prilog govori i podatak o donošenju *Uredbe o sanaciji ravnih krovova*, sredinom devedesetih godina, na osnovu koje je došlo do masovne nadogradnje stambenih objekata, a time i smanjenja površina pod ravnim krovovima (Vranic et al., 2016). Razmatrajući konstrukcijske sisteme, najveću opravdanost za remodelovanje imaju objekti realizovani u skeletnom sistemu koji se odlikuje fleksibilnošću. Fleksibilnost se odnosi na elemente sekundarne konstrukcije (fasadu, unutrašnje zidove, itd.) i krov, koji su nezavisni od nosećih elemenata i u potpunosti se mogu remodelovati. S tim u vezi, skeletne konstrukcije predstavljaju održive sisteme u pogledu oblikovanja i funkcionalne organizacije prostora, odnosno pružaju brojne mogućnosti za korišćenje objekata u budućnosti. Objekte izvedene u panelnim sistemima sa jednim pravcem pružanja noseće konstrukcije, kao najviše primenjivanim prefabrikovanim sistemima građenja, karakteriše visok stepen stabilnosti i sigurnosti u statičkom pogledu, i delimična fleksibilnost, u pogledu sekundarne konstrukcije, odnosno, može se reći da su fleksibilni u pravcu upravnom na pravac pružanja nosećih elemenata.

Imajući u vidu da su u poslednjem periodu izgradnje, od početka devedesetih godina do danas, ravni krovovi zastupljeni u maloj meri, da je to period u kojem su vršene intervencije nadogradnje postojećih ravnih krovova dodatnim stambenim prostorom i kosim krovnim konstrukcijama, kao i da njihova primena poslednjih godina, pretežno na javnim objektima, ne zahteva još uvek remodelovanje u pogledu životnog veka, okvir istraživanja se odnosi na prefabrikovane objekte (delimično ili potpuno prefabrikovane), od betona kao dominantnog materijala, izgrađene u skeletnim, panelnim i kombinovanim konstrukcijskim sistemima.

5.3 Ravni krovovi

Iako je masovna izgradnja, tokom druge polovine XX veka, usloвила primenu ravnih krovova u sklopu brzog i efikasnog građenja, prepoznate su i druge prednosti njihovog korišćenja u odnosu na kose krovne konstrukcije. Prednosti ravnih krovova, ukoliko su pravilno projektovani i izvedeni, odnosile su se i na: njihovu namenu, koja je, pored osnovne uloge zaštite objekata od spoljašnjih uticaja (padavina, toplotnih dobitaka i gubitaka, itd.), pružala i mogućnost korišćenja kao prostora za socijalizaciju i u druge specijalne namene i svrhe; smanjenu mogućnost oštećenja usled jakih i olujnih vetrova, što predstavlja čestu pojavu kod kosih krovova; strukturu krovnog

sistema koju nisu činili skupi i često deficitarni elementi drvene konstrukcije, pa i metalni elementi, neophodni za kose krovove; zaštitu od požara, koja se postizala primenom adekvatnih teških i poluteških obloga; kao i na manje investicione troškove (Denić i Đekić, 1994). Upravo je pravilno projektovanje i izvođenje predstavljalo osnovu za uspeh ravnih krovova, mada su se u velikom broju slučajeva tokom eksploatacije pokazali propusti napravljeni u početnim fazama životnog ciklusa ravnih krovova doprinevši na taj način gubitku osnovne funkcije, a time i njihovoj nepopularnosti. Imajući u vidu stanje postojećih ravnih krovova, zeleni krovni sistemi su prepoznati kao jedan od načina remodelovanja, uzimajući u obzir postizanje brojnih benefita. S tim u vezi, na osnovu tipologija, elemenata strukture i materijala korišćenih za građenje ravnih krovova tokom perioda njihove ekspanzije, pružen je uvid u karakteristike ravnih krovova, što je od značaja za dalju analizu primene zelenih krovni sistema na postojećim objektima.

5.3.1 Tipologije, strukture i materijali ravnih krovova

Pod pojmom ravnog krova podrazumevaju se krovovi nagiba do 22° ili 40% (Denić i Đekić, 1994; Martinović, 1977). Pored noseće konstrukcije i hidroizolacije, strukturu ravnog krova čini najčešće i termoizolacija, kao i ostali potrebni slojevi izvedeni tako da krov odgovara konkretnoj nameni i uslovima. Iz projektantskih, izvođačkih i eksploatacionih razloga ustanovljene su podele ravnih krovova na osnovu različitih kriterijuma, tj. zahteva. Tri osnovne tipologije zasnivaju se na nagibu, prohodnosti, odnosno nameni, i provetravanju.

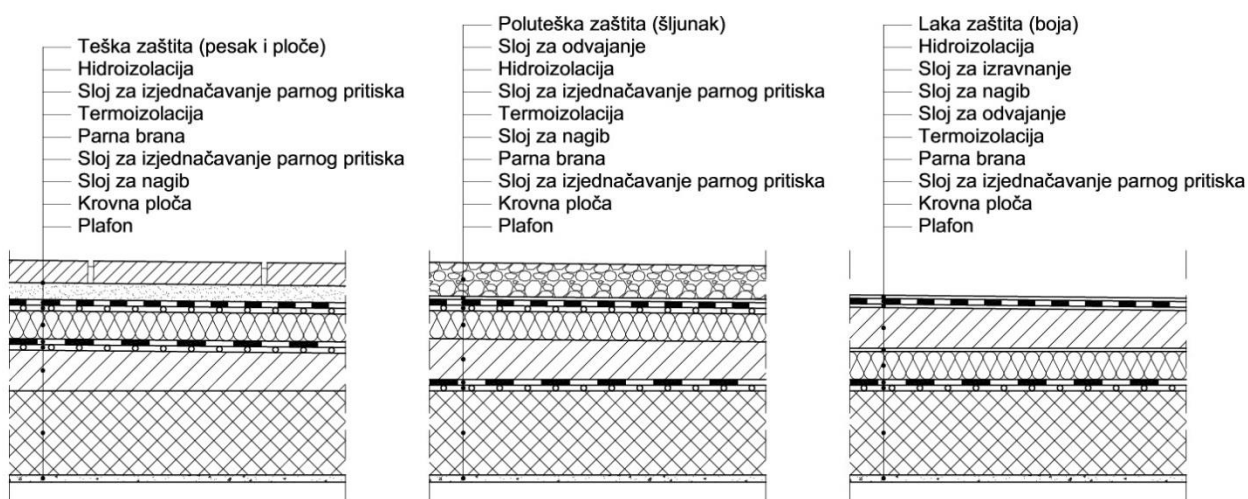
Podela ravnih krovova prema nagibu izvršena je na osnovu veličine nagiba koji se predviđa za oticanje vode. U tehničkom pogledu, nagibi se ostvaruju položajem ravne krovne ploče postavljene u nagibu ili horizontalno, pri čemu se koristi sloj za nagib ili se nagib formira u okviru drugih elemenata strukture između nosećeg elementa i hidroizolacije, kao i izvođenjem same krovne ploče u nagibu. Na osnovu veličine nagiba, ravni krovovi su se izrađivali sa: malim nagibom, od 0,5% do 1%; normalnim nagibom, od 1% do 2,5%; većim nagibom, od 2,5% do 4%; velikim nagibom, od 4% do 15%; i kao nagnuti krovovi, od 15% do 40% (Denić i Đekić, 1994; Martinović, 1977). Veličina nagiba direktno je uticala na rešenja hidroizolacija po broju i debljini slojeva, izboru materijala i načinu ugrađivanja, pričvršćivanja i obezbeđivanja elemenata krovnog pokrivača. U zavisnosti od klimatskih uslova, kao i drugih uticaja i zahteva, ravni krovovi sa velikim nagibima i nagnuti ravni krovovi, često su se rešavali kao hladni – provetreni krovovi.

U pogledu podele prema prohodnosti, odnosno nameni, pored osnovne funkcije ravni krovovi se mogu koristiti kao terase ili u druge svrhe, i s tim u vezi mogu biti prohodni i neprohodni. Prohodni ravni krovovi ili krovne terase predviđeni su za boravak ljudi, kao i za razne ostave, smeštaj uređaja, mašina, itd., prilikom čega su projektovani u skladu sa namenom (Denić i

Đekić, 1994). Pored odgovarajućih ograda, između ostalog, karakterišu ih takozvane teške zaštite, kao završni sloj krovnog sistema, koje sprečavaju oštećenja izolacija i nižih slojeva. Neprohodni ravni krovovi ispunjavaju samo osnovnu funkciju, dok se povremeno kretanje, tj. korišćenje dozvoljava samo stručnim licima zarad provere stanja, održavanja i popravki.

Prema provetranju, ravni krovovi mogu biti topli, odnosno krovovi koji se efikasno ne provetravaju, i hladni, odnosno provetreni krovovi. Podela je izvršena na osnovu eksploatacionih uslova. Topli ravni krovovi se primenjuju u uslovima unutrašnje temperature do 22°C i relativne vlažnosti vazduha do 65% (Denić i Đekić, 1994), maksimalno 80%, dok se hladni ravni krovovi koriste za unutrašnje temperature do 25°C i relativne vlažnosti vazduha preko 80% (Denić i Đekić, 1994).

U sistemu toplih krovova svi elementi pokrivača, odnosno obloga, smešteni su preko krovne ploče čineći kompaktnu strukturu, odnosno između njih nema vazdušnih slojeva znatne debljine preko kojih bi se moglo vršiti efikasno provetranje. Elemente toplih ravnih krovova čine: plafon ili obrada donje površine krovne ploče; krovna ploča; sloj za nagib, i eventualno sloj za izravnvanje; parna brana, za vlažnost unutrašnjeg vazduha od 50% do 60%; sloj za izjednačavanje parnog pritiska, (sa parnom branom) za vlažnost unutrašnjeg vazduha od 60% do 80%; termoizolacija; hidroizolacija; sloj/slojevi za zaštitu izolacija; i drugi međuslojevi predviđeni za odvajanje osnovnih elemenata krovne obloge. Varijante toplih ravnih krovova prikazane su na slici 5.18.

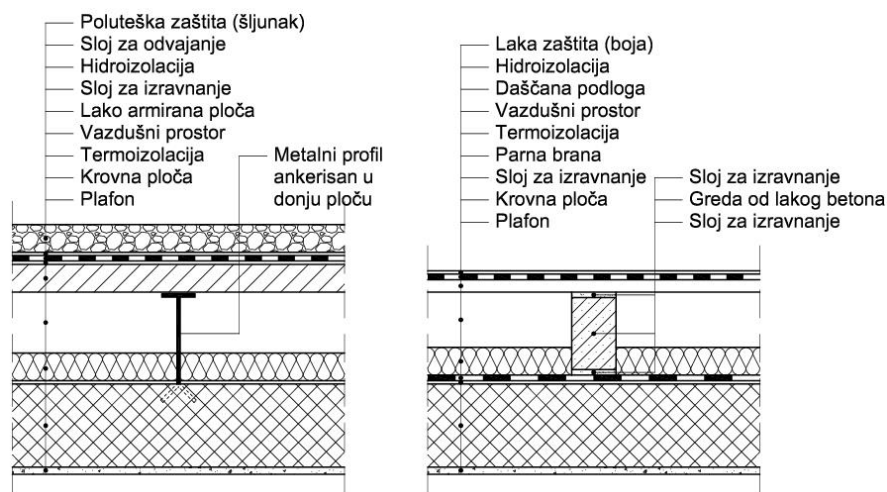


Slika 5.18. Primeri struktura toplih ravnih krovova (modifikovano prema Denić i Đekić, 1994; Martinović, 1977)

Uopšteno govoreći, njihova primena se predviđa za normalne i nešto nepovoljnije eksploatacione uslove. Topli ravni krovovi bili su najviše zastupljeni, sa oko 95% ukupnog fonda ravnih krovova, naročito kod stambenih i javnih objekata (Denić i Đekić, 1994). Inverzni, odnosno obrnuti topli krovovi, kod kojih je položaj termoizolacije iznad hidroizolacionog sloja, nisu bili

zastupljeni u velikoj meri, a aktivnije su počeli da se koriste razvojem materijala koji pod uticajem vlage zadržavaju termoizolaciona svojstva. Prednost njihove primene ogleda se u zaštiti hidroizolacije, a time i produženim životnim vekom krovnog sistema.

Kod hladnih ravnih krovova, čija je struktura nekompaktna, svi elementi obloge, sem hidroizolacije, smešteni su na glavnoj nosećoj (donjoj) ploči, a hidroizolacija je postavljena preko druge (gornje) ploče, pri čemu je gornja ploča odvojena vazдушnim prostorom preko koga se vrši provetravanje. Elemente opšte strukture hladnih ravnih krovova čine: plafon; glavna noseća krovna ploča; parna brana; termoizolacija; vazdušni prostor; gornja ploča, kao podloga za hidroizolaciju, koja se oslanja na donju ploču preko odgovarajuće konstrukcije ili specijalnih podmetača; hidroizolacija; i sloj/slojevi za zaštitu izolacija (Denić i Đekić, 1994). Nagibi krovova rešavani su nagnutom gornjom ili nagnutom i gornjom i donjom pločom. Za gornje ploče i njihove oslonce primenjivana su različita rešenja. Primeri struktura provetrenih krovova prikazani su na slici 5.19. Iako predviđeni za pokrivanje prostorija sa nepovoljnim eksploatacionim uslovima hladni ravni krovovi su se retko primenjivali u domaćoj praksi na stambenim i javnim objektima, čak i na industrijskim zgradama, za koje su prevashodno bili namenjeni (Denić i Đekić, 1994).



Slika 5.19. Primeri struktura hladnih ravnih krovova (modifikovano prema Denić i Đekić, 1994; Martinović, 1977)

U pogledu analize elemenata strukture ravnih krovova i primenjivanih materijala, razmatrani su slojevi krovnog pokrivača, odnosno obloga, nezavisno od tipa ravnog krova.

Sloj za nagib

S obzirom na pretežnu primenu ravnih krovnih ploča u horizontalnom položaju, sloj za nagib bio je sastavni deo strukture ravnog krova, i predstavljao je podlogu za parnu branu, sloj za izjednačavanje parnog pritiska ili hidroizolaciju (Denić i Đekić, 1994). Od materijala za izradu

elementa koristili su se: nearmirani beton, sitnozni nearmirani beton, cementni malter, laki betoni, kao što su perlit, vermikulit, keramzit, peno beton i drugi (Denić i Đekić, 1994). Sloj za pad se primenjivao u položaju direktno iznad noseće ploče ili iznad parne brane i termoizolacije, pri čemu je drugi način bio neponovljivi u pogledu njegove izloženosti spoljašnjim uticajima i velikom dilatacionom radu kao posledice temperaturnih promena. Sa druge strane, izvođenje sloja za pad iznad termoizolacije bilo je opravdano u slučajevima specijalnih namena ravnih krovova, kad su predviđena veća opterećenja usled kojih sloj za nagib štiti termoizolaciju, čije materijale karakteriše mala pritisna čvrstoća, od oštećenja ravnomerno raspoređujući opterećenja (Denić i Đekić, 1994). Minimalna debljina sloja za nagib ima vrednost 3 cm za nearmirani beton, odnosno 4 cm za primenu lakih betona (Denić i Đekić, 1994).

Parna brana

Parna brana predstavlja izolacioni sloj koji se postavlja ispod termoizolacije sa osnovnom ulogom njene zaštite od prodiranja vodene pare, iz potkrovnih prostorija, koja nastaje kao posledica temperaturnih razlika i vlažnosti vazduha između unutrašnje i spoljašnje sredine. Parna brana se primenjivala kao poseban element ili kao sastavni deo termoizolacije, fabrički proizvedena. U pogledu materijala, kao optimalno rešenje primenjivane su metalne, tj. aluminijumske folije sa bitumenom ili bitumenskom masom kao sredstvom za ugradnju po vrućem postupku, u odnosu na višeslojne parne brane od bitumeniziranih i bitumenskih traka, i jednoslojne od sintetičkih vlakana, koje su bile tehnički nepodobnije, teže za izvođenje i zahtevale su veća finansijska ulaganja (Martinović, 1977). Kako je u strukturi ravnih krovova stambenih i javnih objekata bilo dovoljno primeniti samo parnu branu, bez sloja za izjednačavanje parnog pritiska, njen položaj je bio direktno preko noseće krovne ploče ili preko sloja za nagib od nearmiranog betona, postavljenog na noseći element, odnosno, uvek ispod termoizolacionog sloja (Denić i Đekić, 1994).

Sloj za izjednačavanje parnog pritiska

Pod slojem za izjednačavanje parnog pritiska podrazumeva se element koji parnu branu ili hidroizolaciju odvaja od podloge, sa ulogama da omogući izvođenje parne brane ili hidroizolacije preko podloge koja nije dovoljno suva, da omogući premošćavanje neravnina, pukotina i riseva u podlozi, i da pritisak nastao od difuzne pare i građevinske vlage, ispod parne brane, izjednači i omogući postepeni izlazak u spoljašnju sredinu (Martinović, 1977). Materijali od bitumeniziranih i bitumenskih traka predstavljali su optimalno rešenje, i to bitumenski neperforirani i perforirani stakleni voal sa sitnim mineralnim posipom sa gornje strane i krupnijim sa donje strane. Ocenjeni kao vrlo povoljni, koristili su se i materijali od kartona

(talasasti, impregnirani i čvrsti), hartija (falcovani, impregnirani i čvrsti) i razne čvrste izolacione trake ili građevinski elementi sa formiranim čvorovima sa donje strane preko kojih se oslanjaju na podlogu (Martinović, 1977). Sloj za izjednačavanje parnog pritiska ima položaj ispod parne brane, tj. preko krovne ploče ili sloja za nagib. Kada se nalazi ispod hidroizolacije, izvodi se preko termoizolacionog sloja ili preko sloja za nagib kada se sloj za nagib predviđa preko termoizolacije, pri čemu se ostvaruje veza sa spoljašnjim vazduhom.

Termoizolacija

Termoizolacija podrazumeva sloj u položaju iznad parne brane sa ulogom sprečavanja: toplotnih gubitaka iz potkrovnih prostorija u zimskom periodu i toplotnih dobitaka u letnjim mesecima; stvaranja kondenza u krovnoj konstrukciji; i štetnih pojava u ostalim elementima strukture, koje se odnose na riseve, pukotine, krivljenje i pomeranje slojeva, i drugo, nastalih od napona i većih istezanja i skupljanja usled razlika u temperaturi spoljašnje i unutrašnje sredine, i naglih temperaturnih promena (Martinović, 1977). Osnovna karakteristika materijala je mala toplotna provodljivost. Na domaćem tržištu, primenjivali su se penoplasti (stiropor, poliuretan, porofen i dr.), ekspanzirana pluta, mineralna vuna, staklena vuna i ostala mineralna vlakna, prskani azbest, ploče od presovane slame i presovane iverice, ploče od drvenih vlakana (tvrde i meke), ploče od drvene vune, itd. (Denić i Đekić, 1994; Martinović, 1977). Termoizolacioni slojevi izvodili su se kao zesebni elementi, a povremeno su se pojedini materijali, poput perlit betona, vermikulit betona, peno betona, itd., koristili za termoizolaciju, odnosno delove termoizolacija, kao na primer u sloju za nagib (Denić i Đekić, 1994). U odnosu na klimatske uslove, zahteve i tada aktuelne propise za toplotnu zaštitu (koji su uspostavljeni 1967. godine), vršen je proračun debljina termoizolacionog sloja, uzimajući u obzir i ostale karakteristike materijala neophodne za uspeh krovnog sistema.

Hidroizolacija

Pod hidroizolacijom se podrazumevaju slojevi od ugljovodoničnih, odnosno bitumenskih materijala, kao i njihove kombinacije sa drugim, na primer sintetičkim materijalima (Denić i Đekić, 1994; Martinović, 1977). U najvećem broju slučajeva hidroizolacija se predviđa kao najviši sloj preko koga se još postavlja zaštita (sem u strukturi inverznih i duo krovova), sa ulogom da elemente krovnog sistema i potkrovne prostorije trajno i efikasno štiti od prodora atmosfere vode i vlage. Hidroizolacije ravnih krovova mogu se podeliti prema materijalu, načinu izvođenja i stepenu vezanosti, tj. zalepljenosti za podlogu, a odabir vrste i njihovo dimenzionisanje vrši se u odnosu na nagib krova, nemenu, spoljašnje i unutrašnje uticaje, i izbor ostalih elemenata strukture (Denić i Đekić, 1994). Prema primenjenom materijalu i načinu

izvođenja, hidroizolacije ravnih krovova mogu biti: 1) višeslojne bitumenske hidroizolacije od bitumenskih ili bitumeniziranih izolacionih traka i premza koje se ugrađuju lepljenjem u vrućem stanju; 2) višeslojne bitumenske hidroizolacije od bitumenskih traka sa ulošcima koje se ugrađuju varenjem, tj. vrućim postupkom; 3) hidroizolacije od bitumenskih pasta koje se ugrađuju hladnim postupkom; 4) bitumenske hidroizolacije od kombinacija prvog dela hidroizolacija od jednog ili dva sloja bitumenskih izolacionih traka koje se ugrađuju vrućim postupkom (varenjem ili lepljenjem) i drugog dela, koji se postavlja preko i čine ga bitumenske paste ugrađene hladnim postupkom; 5) hidroizolacije od sintetičkih traka; i 6) bitumenske hidroizolacije od kombinacija prvog dela hidroizolacija od slojeva traka ugrađenih vrućim postupkom i drugog, gorenjeg dela, od sintetičkih traka (Bogdanović i Vasov, 2015; Denić i Đekić, 1994). Dimenzionisanje hidroizolacija prevashodno je uslovljeno nagibom ravnog krova, na način da je kod krovova sa manjim nagibima, kod kojih je sporije oticanje vode i postoji veća mogućnost zamrzavanja zadržane vode, predviđen veći broj premaza i uložaka za višeslojne bitumenske hidroizolacije, i deblji sloj bitumenskih pasta, u odnosu na krovove sa većim nagibima. U domaćoj praksi najzastupljenije su bile višeslojne bitumenske hidroizolacije od bitumenskih ili bitumeniziranih izolacionih traka i premza ugrađivane vrućim postupkom, iz razloga koji su se odnosili na: njihovu veću debljinu, a time i veću sigurnost, u poređenju sa drugim vrstama za iste nagibe ravnih krovova; jednostavniju ugradnju; bolje fizičko-mehaničke osobine; i manju osetljivost materijala na temperature na koje se ugrevaju prilikom pripreme i izvođenja (Denić i Đekić, 1994).

Zaštita krovnih izolacija

Imajući u vidu pretežnu primenu ravnih krovova u čijim strukturama je hidroizolacioni sloj najviše postavljen, u odnosu na inverzne krovne sisteme kod kojih je to sloj termoizolacije, neophodno je predvideti njihovu zaštitu od atmosferskih uticaja, ali i mehaničkih oštećenja koja mogu nastati kod prohodnih krovova. U te svrhe, predviđaju se teške, poluteške i lake zaštite za neprohodne krovove i teške zaštite za krovne terase, koje omogućavaju njihovo korišćenje. Kao elementi teške zaštite primenjivale su se razne vrste ploča: teraco, kulir, betonske i kamene, čije dimenzije dužina i širina iznose 25 cm – 50 cm, i debljina 2 cm – 6 cm, kao i specijalne vrste keramičkih ploča, dužina i širina 10 cm – 30 cm i debljina 1 cm – 3 cm (Denić i Đekić, 1994). Ploče su se polagale u sloj peska (najčešće betonske ploče), debljine 3 cm – 4 cm, ili cementnog maltera različitih debljina. Za poluteške zaštite u najvećoj meri koristio se granulirani šljunak krupnoće 4 mm – 16 mm, u sloju debljine 4 cm – 6 cm. U prilog pogodnosti primene šljunka kao zaštite hidroizolacionog sloja govori podatak o zabeleženim smanjenjima temperature hidroizolacija za 30°C – 40°C u odnosu na temperature pri njihovoj direktnoj izloženosti

sunčevom zračenju u letnjim periodima (Denić i Đekić, 1994). Lake zaštite, koje su se u domaćoj praksi pokazale kao najslabiji vid zaštita, usled neadekvatnog održavanja koje je podrazumevalo obnavljanje svakih 3 – 5 godina, primenjivale su se kod klasično izvedenih ravnih krovova, odnosno u sistemima u kojima je hidroizolacioni sloj postavljen preko termoizolacije. Lake zaštite su se odnosile na boljenje hidroizolacija različim materijalima, pri čemu su se primenjivale boje na bazi sintetičkih materijala, razređivača ili emulzione boje; i samozaštite na završnim hidroizolacionim trakama od slepljenih tankih posipa (Denić i Đekić, 1994). Primena lakih zaštita bila je neophodna kod ravnih krovova većih nagiba, odnosno kada nisu mogle da se koriste poluteške ili teške zaštite.

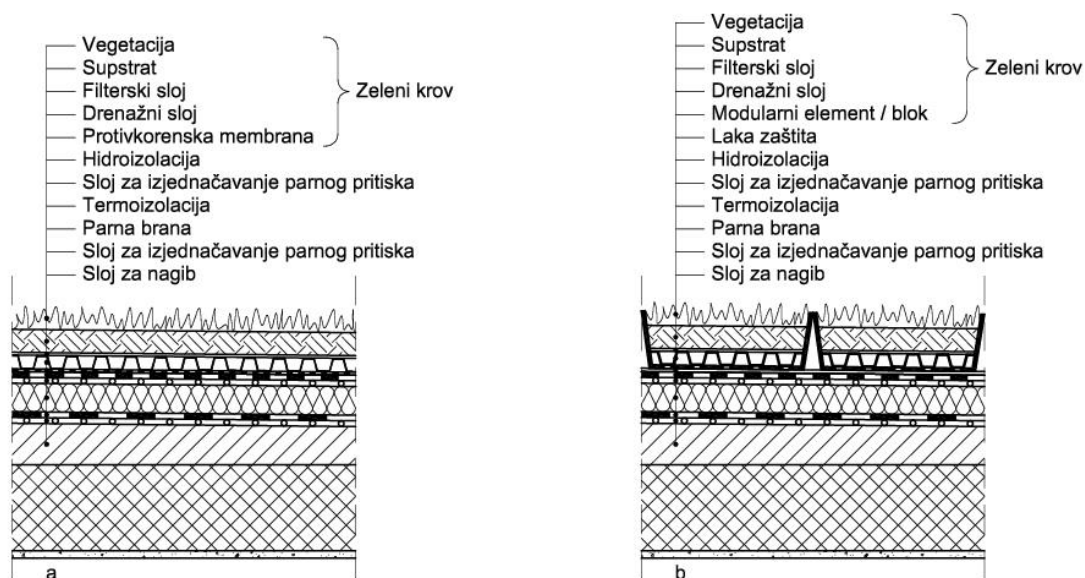
Slojevi za odvajanje i ostali elementi krovne strukture

Slojevi za odvajanje postavljeni između pojedinih elemenata imaju prevashodno ulogu da omoguće njihov bolji i nezavisniji dilatacioni rad usled različitih karakteristika korišćenih materijala. Takođe, ovi slojevi imaju i praktičnu primenu da zaštite elemente postavljene ispod od prodiranja atmosfere vode, cementa, maltera, betona, itd., i olakšaju dorade i sanacije (Denić i Đekić, 1994). Od materijala primenjivan je sitan pesak u sloju debljine približno 2 cm, a kasnije su se našle u upotrebi razne trake i folije, od kojih se izdvajaju bitumenizirani krovni karton, polietilenske (PE) i polivinilhloridne (PVC) folije, debljine 0,1 mm – 0,2 mm, u jednom ili dva sloja (Denić i Đekić, 1994). Slojevi za odvajanje najčešće se predviđaju iznad termoizolacije i iznad hidroizolacije, u slučaju primene teških i poluteških zaštita. Ostali elementi krovne strukture odnose se na slojeve za izravnanje podloga, razne vrste traka sa ulogom uspostavljanja veze sa spoljašnjom sredinom kod sloja za izjednačavanje parnog pritiska, pri čemu je njihov položaj ispod sloja za izjednačavanje kada se sloj za izjednačavanje nalazi ispod hidroizolacije.

5.3.2 Ravni krovovi i zeleni krovovi

Na osnovu karakteristika ravnih krovova izvršena je analiza primene zelenih krovnih sistema, koja se odnosi na celokupnu strukturu obloge. Imajući u vidu završne obrade ravnih krovova, koje predstavljaju teške, poluteške i lake zaštite izolacija, razmatrano je njihovo uklanjanje i/ili postavljanje zelenog krovnog sistema iznad postojeće strukture krova, pri čemu se smatra da su primenjeni materijali i slojevi obloge u nenarušenom stanju, odnosno odgovaraju zahtevima funkcionalnosti. U pogledu zelenih krovova, uzeta je u obzir opšta struktura, koja se odnosi i na ekstenzivne i na intenzivne krovove, i instalacione tehnike koje predstavljaju izvođenje na licu mesta i prethodno modelovane modularne sisteme.

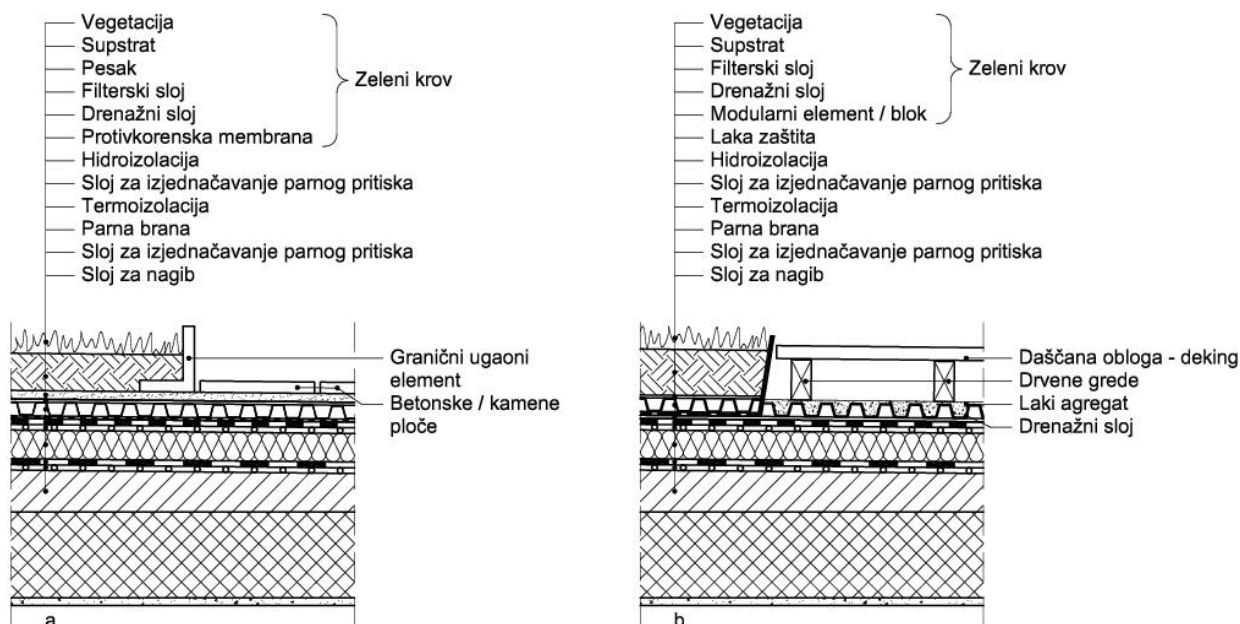
Analizom klasično izvedenih toplih ravnih krovova, kod kojih je hidroizolacioni sloj postavljen preko termoizolacije, i koji u zavisnosti od namene mogu biti neprohodni ili prohodni, obuhvaćene su različite vrste zaštita hidroizolacija. Primenom zelenih krovnih sistema na neprohodnim krovovima obezbeđuje se velika, kontinualna pokrivenost, što ukazuje na postizanje prevashodno ekoloških benefita. Kod primene lakih zaštita, koje se odnose na boljenje hidroizolacija, predviđa se postavljanje zelenog krovnog sistema preko postojećeg krova. Iako je u tom slučaju obim radova naizgled sveden na minimum i obuhvata samo izgradnju zelenog krova, ponekad je potrebno ojačati konstrukcijske elemente za prijem novog opterećenja. Kada se zeleni krovni sistem predviđa kod neprohodnih ravnih krovova sa poluteškim i teškim zaštitama kao završnim slojem, njihovim uklanjanjem do hidroizolacionog sloja omogućava se izvođenje pojedinih tipova zelenih krovova bez ojačanja konstrukcije, u zavisnosti od veličine prethodno uklonjenog opterećenja. Imajući u vidu pretežnu primenu šljunka kao zaštite hidroizolacije, njegovim uklanjanjem, kao i sloja za odvajanje preko koga je postavljen, stvara se podloga za izvođenje zelenog krova. Strukture obloga ravnih neprohodnih krovova sa izvedenim zelenim krovom na licu mesta i primenom modularnog sistema, prikazani su na slici 5.20.



Slika 5.20. Primeri struktura neprohodnih toplih ravnih krovova sa primenom a) zelenog krova izvedenog na licu mesta, b) modularnog sistema

Prednosti primene zelenih krovnih sistema na prohodnim krovovima ogledaju se u kreiranju dodatnog korisnog prostora pod zelenilom, što je od posebnog značaja u gusto izgrađenim gradskim sredinama, prilikom čega je neophodno predvideti i površine za kretanje korisnika, pored površina pod zelenilom. Ova činjenica ukazuje na manju pokrivenost krova zelenilom, u odnosu na neprohodne krovove, čime se umanjuju ekološki benefiti, ali se sa druge strane postižu pogodnosti sa socijalnog aspekta primene. U pogledu strukture, uklanjanje teških zaštita

hidroizolacija, koje se odnose na razne vrste ploča i sloj peska ili maltera u koji su polagane, pruža mogućnosti izvođenja zelenih krovova, naročito ekstenzivnih i poluintenzivnih sistema, bez dodatnog ojačanja nosećih elemenata konstrukcije. Primeri struktura prohodnih zelenih krovova izvedenih preko klasičnih ravnih toplih krovova prikazani su na slici 5.21.

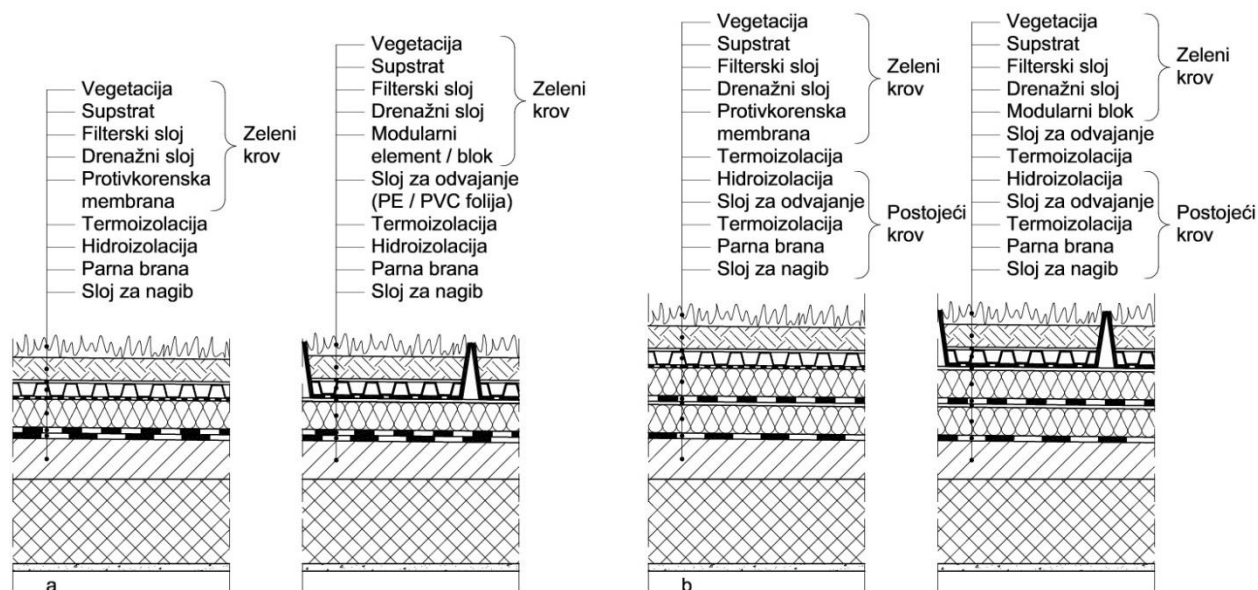


Slika 5.21. Primeri struktura prohodnih toplih ravnih krovova sa primenom: a) zelenog krova izvedenog na licu mesta, b) modularnog sistema

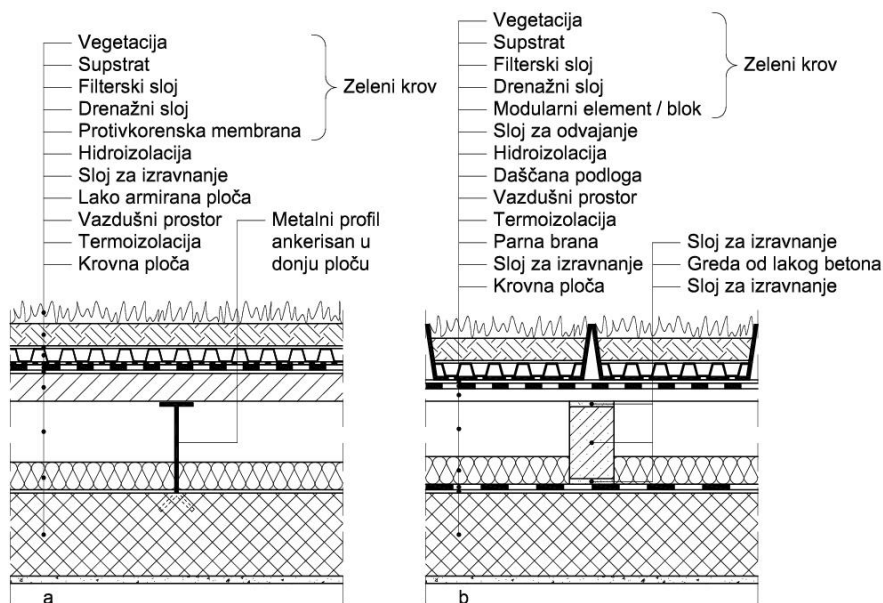
Inverzni krovovi, koji spadaju u tople krovove i mogu biti neprohodni i prohodni, podrazumevaju primenu poluteških i teških zaštita iz razloga sprečavanja odizanja termoizolacionog sloja usled dejstva vetra. S tim u vezi, uklanjanjem zaštita, koje predstavljaju izvesno opterećenje, stvara se rezerva za primenu zelenih krovovih sistema bez ojačanja konstrukcije. Inverzni krovovi su se pokazali kao pogodni za izvođenje zelenih krovova, naročito u pogledu uštede energije za postizanje toplotnog komfora (Getter et al., 2011). Imajući u vidu period masovne izgradnje objekata sa ravnim krovovima koji ne ispunjavaju aktuelne propise toplotne zaštite, inverzni krovovi se mogu primeniti preko klasično izvedenih ravnih krovova čineći sistem duo krov ili krov plus. Primeri struktura zelenih krovova izvedenih preko inverznog krova i u sistemu duo krova prikazani su na slici 5.22.

Kod hladnih, tj. provetrenih krovova iznad hidroizolacionog sloja mogu biti postavljeni svi tipovi zaštita. Imajući u vidu da su hladni krovovi pretežno izvođeni na većim nagibima, te da su bile u upotrebi lake zaštite, usled otežanog izvođenja poluteških i teških zaštita, kao i da bi se u tom slučaju zeleni krovni sistem postavio iznad postojećeg krova, konstrukcija bi u većini slučajeva zahtevala ojačanje. Pri većim nagibima povoljnije je izvoditi zelene krovove na licu

mesta, dok se za manje nagibe mogu primeniti i modularni sistemi. Na slici 5.23 prikazane su strukture hladnih krovova sa primenom zelenih krovovih sistema.



Slika 5.22. Primeri struktura zelenih krovova izvedenih na licu mesta i primenom modularnih blokova: a) na inverznom krovu, b) u sistemu duo krova



Slika 5.23. Primeri struktura hladnog krova sa primenom: a) zelenog krova izvedenog na licu mesta, b) modularnog sistema

5.4 Analiza nosivosti i upotrebljivosti konstrukcije

Postupak utvrđivanja podobnosti primene zelenog krovovog sistema na ravnom krovu postojećeg objekta odnosi se prevashodno na analizu opterećenja novoprojektovanog krova i provere nosivosti i upotrebljivosti konstrukcije kako za stare, tako i za nove uticaje. Imajući u vidu da se dimenzionisanje konstrukcije sprovodi prema teoriji graničnih stanja nosivosti i teoriji graničnih

stanja upotrebljivosti, što predstavlja važeći koncept proračuna armiranobetonskih konstrukcija, usled promene opterećenja potrebno je proveriti stanje betona i armature za novo opterećenje, kao i stanje prslina i deformacija. Ispunjavanje uslova nosivosti i upotrebljivosti konstrukcije na analizu novog opterećenja omogućava primenu zelenog krova bez dodatnih intervencija na konstrukcijskim elementima, dok se u suprotnom razmatra o načinima ojačanja konstrukcije.

5.4.1 Analiza opterećenja

Svaki postojeći objekat projektovan je na osnovu analize opterećenja, koja se sprovodi za sve elemente konstrukcije, počev od najvišeg dela objekta – krovnog sistema. Da bi se izvršila analiza opterećenja konstrukcije od novoprojektovanog krovnog sistema, potrebno je prethodno utvrditi sve vrste dejstva na konstrukciju.

5.4.1.1 Vrste opterećenja

Uticaji koji deluju na konstrukciju nastaju od neposrednih opterećenja, koja mogu biti osnovna, dopunska i naročita (Blagojević i dr., n.d.; Kostić, 2010a). Osnovna opterećenja deluju u vertikalnom i horizontalnom pravcu, i mogu biti stalna i promenljiva. U vertikalna dejstva spadaju: stalna vertikalna opterećenja, povremena (pokretna ili korisna) i opterećenja snegom, dok dejstvo vetra predstavlja horizontalno opterećenje. Dopunska opterećenja obuhvataju: dopunska opterećenja od vetra, trenje na pokretnim ležištima, silu kočenja kod motornih vozila, uticaj promene temperature i uticaj skupljanja betona. Naročita, odnosno specijalna opterećenja čine uticaji neravnomernog sleganja ili pomeranja oslonaca, zemljotresa i indirektnih potresa, kao i druga opterećenja koja nemaju stalni karakter, a izazvana su usled specijalnih okolnosti (Blagojević i dr., n.d.). Kako se za proračun svih objekata uzimaju u obzir osnovna opterećenja i seizmička dejstva, a proračun dopunskih i ostalih naročitih opterećenja se primenjuje za posebne objekte, analizom su obuhvaćena osnovna i seizmička dejstva, imajući u vidu okvir istraživanja koji se odnosi na objekte stambenog sektora i sektora javnih i komercijalnih delatnosti.

Prilikom projektovanja konstrukcije, a kasnije i u okviru analize novoprojektovanog stanja usled remodelovanja, uzima se u obzir da osnovna opterećenja deluju konstantno na objekat, tj. nezavisno od vremena. Stalna vertikalna opterećenja (g) podrazumevaju sopstvenu težinu konstrukcije, težinu nenosećih elemenata, kao i težinu fiksne opreme koja je stalno prisutna u objektu („Opterećenja“, 2015). Težine elemenata strukture određuju se na osnovu nominalnih dimenzija elemenata i zapreminske težine materijala od kojih su izrađeni. Korisna dejstva (p), koja su promenljivog karaktera, potiču od prisustva ljudi i inventara unutar objekta, i mogu biti površinska, linijska i koncentrisana. U zavisnosti od namene prostora, propisani su intenziteti

opterećenja. U pogledu dejstva snega na konstrukciju ravnog krova (s), osnov za proračun je karakteristična vrednost dejstva snega na tlo (s_k) koja se daje na kartama u okviru nacionalnog priloga za teritoriju zemlje, i za naše uslove ima vrednost $0,75 \text{ kN/m}^2$ (prema *Pravilniku o tehničkim normativima za beton i armirani beton – Pravilnik BAB 87, 1987*) odnosno $1,0 \text{ kN/m}^2$ prema Evrokodu (EC) („Opterećenja“, 2015). U planinskim predelima koji obiluju snegom uzima se u obzir uvećano opterećenje snegom. Dejstvo vetra na konstrukciju (w) tretira se kao pritiskajuće (pozitivno) dejstvo i sišuće (negativno) dejstvo. Parametri koji utiču na opterećenje konstrukcije vetrom odnose se na fizičke osobine vazduha u pogledu gustine, prirodu vetra koja podrazumeva pravac i brzinu, karakteristike okolnog terena u koje spadaju topografija i hrapavost, kao i na svojstva konstrukcije u pogledu primenjenih materijala, krutosti i oblika konstrukcijskog sklopa (Kostić, 2010a). U pogledu dejstva potresa, u seizmičkim područjima konstrukcije treba projektovati i izvoditi na način da se spreči rušenje objekta i ograniče njegova oštećenja. Prema važećim propisima, seizmički proračun se sprovodi po metodi ekvivalentnog statičkog opterećenja ili metodi dinamičke analize (čl. 20, *Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima*). Seizmičke sile zavise od stepena projektne seizmičnosti (prema MCS (*Mercalli – Cancani - Sieberg*) skali), kategorije tla, kategorije objekta, i vrste konstrukcije i primenjenih materijala.

5.4.1.2 Novoprojektovano stanje

Prilikom intervencija na ravnim krovovima postojećih objekata u okviru remodelovanja, koje se odnosi na implementaciju zelenih krovnih sistema, uglavnom dolazi do promene stalnog vertikalnog opterećenja, a može doći i do promene korisnog opterećenja, ukoliko se predviđa prenamena prostora. To je od naročito značaja u slučaju neprohodnih i neiskorišćenih krovnih površina u gradskim jezgama koje remodelovanjem mogu postati korisni prostori pod zelenilom, privatnog, polujavnog ili javnog karaktera.

Razmatrajući najpre stalno vertikalno opterećenje, može se konstatovati da zeleni krovni sistem predstavlja deo obloge, odnosno njegova struktura je nenoseća. Imajući u vidu da se opterećenje od zelenog krova, kao i od ostalih elemenata obloge ravnog krova prenosi na noseću ploču, tj. horizontalni površinski element, dejstvo zelenog krovnog sistema na konstrukciju se izražava po jedinici površine – kN/m^2 . Težine zelenih krovova u okviru različitih tipologija nisu precizno definisane i prevashodno zavise od primenjenih materijala, strukture i instalacionih tehnika. Da bi se odredilo opterećenje od zelenog krova, potrebno je uzeti u obzir kapacitet zadržavanja vode, odnosno težinu sistema u zasićenom stanju. U tabeli 5.1 dati su primeri opterećenja od zelenih krovova na osnovu tipologija i instalacionih tehnika, prilikom čega se razlikuju komercijalni zeleni krovni sistemi renomiranih svetskih proizvođača (od kojih su Optigreen,

ZinCo i Knauf dostupni na domaćem tržištu), i nekomercijalni sistemi, za koje su date preporuke od strane udruženja zelenih krovova, zasnovane na opšte prihvaćenim propisima (FLL standardi).

Tabela 5.1. Pregled opterećenja od zelenih krovova (Green Roof Outfitters, n.d.; Green Roof Technology, n.d.; IGRA, n.d.; Knauf Insulation, n.d.; Optigreen, n.d.; ZinCo, n.d.)

Komercijalni/ nekomercijalni zeleni krovovi	Instalacione tehnike	Izvor podataka	Tip zelenog krova	Opis sistema / namena	Opterećenje (kN/m ²)	
Komercijalni zeleni krovovi	Zeleni krovovi izvedeni na licu mesta	Optigreen	Ekstenzivni	Ekonomičan krov	0,9 – 1,4	
				Krov male težine	0,5	
				Prirodni krov	1,0 – 3,0	
				Krov za upravljanje padavinama	≥ 0,9	
			Intenzivni	Krovni vrt	3,2 – 6,8	
				Pejzažni krov	5,3 – 13,0	
				Krov javne namene	2,5 – 10,0	
		ZinCo	Ekstenzivni	Krov sa prekrivačem od mešavine seduma	0,95	
				Krov za nepovoljne klimatske uslove	≥ 1,5	
				Krov sa irigacionim sistemom	≥ 1,2	
				Krov sa posebnim biljnim vrstama na podlozi od mešavine supstrata i kamena	1,1	
			Intenzivni	Krov sa karakteristikama parka	≥ 3,05	
				Krov za urbanu poljoprivredu	≥ 3,0	
				Krovni vrt	3,65	
	Modularni sistemi	Knauf Insulation	Ekstenzivni	Urbanscape modularni sistem; supstrat d = 2 – 4 cm	0,45 – 0,90	
				Green Roof Outfitters	Ekstenzivni / poluintenzivni	Sistem GROWVista 2 od plastičnih blokova 30,48 x 60,96 x 10,16 cm
		Ekstenzivni / poluintenzivni / intenzivni	Sistem GROWVista 2X-6 / Sistem GROWVista 2X-8 od plastičnih blokova 30,48 x 60,96 x 15,24 cm / 30,48 x 60,96 x 20,32 cm			1,4 – 1,7 / 1,6 – 2,4
			Green Roof Outfitters		Ekstenzivni / poluintenzivni / intenzivni	Sistem GROWVista 2X-6 / Sistem GROWVista 2X-8 od plastičnih blokova 30,48 x 60,96 x 15,24 cm / 30,48 x 60,96 x 20,32 cm
		Sistem GROWVista 2X-6 / Sistem GROWVista 2X-8 od plastičnih blokova 30,48 x 60,96 x 15,24 cm / 30,48 x 60,96 x 20,32 cm				1,4 – 1,7 / 1,6 – 2,4

Komercijalni/ nekomercijalni zeleni krovovi	Instalacione tehnike	Izvor podataka	Tip zelenog krova	Opis sistema / namena	Opterećenje (kN/m ²)
Nekomercijalni zeleni krovovi	Zeleni krovovi izvedeni na licu mesta / modularni sistemi	IGRA	Ekstenzivni	Vegetacija: mahovina, sedum, lekovito bilje, trave	0,6 – 1,5
			Poluintenzivni	Vegetacija: trave, lekovito bilje, žbunje	1,2 – 2,0
			Intenzivni	Vegetacija: trave, žbunje, drveće	1,8 – 5,0
		Green Roof Technology (Preporuka Udruženja FLL)	Ekstenzivni	Vegetacija: sedum, lekovito bilje Drenaža: granulisani materijali / modularni paneli	1,1 / 1,0
				Vegetacija: sedum, lekovito bilje, višegodišnje biljke Drenaža: granulisani materijali / modularni paneli	1,7 / 1,6
			Poluintenzivni	Vegetacija: višegodišnje biljke, trave, žbunje Drenaža: granulisani materijali / modularni paneli	2,9 / 2,4
			Intenzivni	Vegetacija: trave, žbunje, drveće Drenaža: granulisani materijali / modularni paneli	4,4 / 3,6

Prilikom razmatranja primene zelenih krovnih sistema na postojećim krovovima sa poluteškim i teškim zaštitama izolacija, potrebno je uzeti u obzir težine tih slojeva, jer se njihovim uklanjanjem smanjuje stalno vertikalno opterećenje konstrukcije od nenosećih elemenata. Na osnovu podataka o zapreminskim težinama pojedinih materijala koji su korišćeni u svojstvu zaštita izolacija, i debljina slojeva koje su najčešće bile u upotrebi, u tabeli 5.2 prikazana su opterećenja od slojeva.

Tabela 5.2. Pregled zapreminskih težina materijala i opterećenja od slojeva u sklopu zaštita izolacija (Denić i Đekić, 1994; Pakvor i Folić, 1995)

Materijal	Zapreminska težina (kg/m ³)	Debljina sloja (m)	Opterećenje (kN/m ²)
Šljunak	1500 – 1600	0,04 – 0,06	0,60 – 0,96
Betonske ploče	2200	0,03 – 0,06	0,66 – 1,32
Teraco ploče	2200	0,025 – 0,04	0,55 – 0,88
Kamene ploče od granita	2600 – 2800	0,03 – 0,06	0,78 – 1,68
Kamene ploče od bazalta	2750 – 3000	0,03 – 0,06	0,825 – 1,80
Keramičke ploče	2400	0,01 – 0,03	0,24 – 0,72
Pesak	1550	0,03 – 0,04	0,465 – 0,62
Cementni malter	2100	0,03 – 0,05	0,63 – 1,05

Uklanjanjem slojeva izolacija stvorila bi se rezerva za prijem novog opterećenja od zelenog krova. Shodno tome, pružaju se mogućnosti odabira zelenog krovnog sistema čije opterećenje ne bi zahtevalo dodatna ojačanja konstrukcije postojećeg objekta.

Prema podacima iz tabela 5.1 i 5.2 može se konstatovati da bi se uklanjanjem teških zaštita mogli primeniti ekstenzivni zeleni krovovi, ali i pojedini poluintenzivni i intenzivni sistemi, dok bi se sloj šljunka mogao zameniti pojedinim ekstenzivnim zelenim krovovima. Imajući u vidu da je ovo opšta konstatacija i da je neophodno razmotriti svaki pojedinačni slučaj, prikazani podaci su od značaja u početnim fazama donošenja odluka kada se vrši odabir tipa zelenog krova na osnovu postavljenih ciljeva.

Shodno činjenici da objekti obuhvaćeni analizom ne ispunjavaju aktuelne propise o toplotnoj zaštiti i da ih je neophodno unaprediti, za analizu opterećenja potrebno je uzeti i povećanje debljine termoizolacionog sloja. Takođe, neophodno je proveriti stanje svih slojeva obloge i njihovu funkcionalnost, i razmotriti eventualne potrebe za zamenom. U pogledu stalnog vertikalnog opterećenja, odnosno opterećenja od nenosećih elemenata krova, u ovoj fazi istraživanja može se konstatovati da bi se pojedini slojevi zadržali, pojedini bi se uklonili, a da svakako dolazi do novog opterećenja od novih slojeva. U tabeli 5.3 dati su intenziteti korisnih opterećenja.

Tabela 5.3. Moguće namene i korisna opterećenja ravnih krovova („Opterećenja“, 2015; Pakvor i Folić, 1995)

Namene ravnih krovova		Korisno opterećenje (kN/m ²)		
		Eurocod	BAB 87	
Neprohodni krovovi		0,75	0,7	
Prohodni krovovi/terase	Površine za odmor		1,5	
	Ravnomerno opterećenje po celoj površini krova	4,0	2,0	
	Ravnomerno opterećenje površine širine 0,8 m duž ograde		4,0	
	Prodajne površine	Površine u okviru maloprodajnih prostora	4,0	4,0
		Površine u okviru robnih kuća	5,0	
	Površine na kojima je moguće okupljanje ljudi (izuzev prethodno navedenih površina)	Površine sa stolovima	3,0	2,0
		Površine sa nepokretnim sedištima	4,0	4,0
		Površine bez prepreka za kretanje	5,0	5,0
		Površine osetljive na veliko okupljanje ljudi	5,0	4,0
	Saobraćajne površine i parking prostori	Površine za laka vozila (bruto težine do 30 kN)	2,5	2,5
Površine za srednje teška vozila (bruto težine 30 – 160 kN)		5,0	4,0	
Krovovi za posebne namene (npr. heliodromi)		U skladu sa namenom		

Imajući u vidu raznovrsnost namena ravnih krovnih konstrukcija, za koje primenu mogu naći i zeleni krovni sistemi, potrebno je razmotriti da li dolazi do promene namene krova, kao na primer da li postojeći neprohodni krovovi remodelovanjem postaju prohodni ili se namena u okviru prohodnih krovova menja.

5.4.2 Analiza nosivosti

Na osnovu teorije graničnih stanja proverava se sigurnost, upotrebljivost i trajnost konstrukcije. Prilikom projektovanja konstrukcije, dimenzionisanje preseka vrši se prema jednom od graničnih stanja, a podobnost dobijenih vrednosti proverava se na osnovu drugog. Imajući u vidu da granična stanja nosivosti predstavljaju granična stanja loma, odnosno gubitak svojstva sigurnosti konstrukcije (kao celine, dela konstrukcije ili konstrukcijskog elementa), što dovodi do rušenja objekta i ugrožavanja ljudskih života, dok se granična stanja upotrebljivosti odnose na gubitak funkcionalnosti konstrukcije, koju izazivaju prsline i deformacije, presek elemenata se najčešće dimenzioniše prema graničnim stanjima nosivosti, a kontroliše prema graničnim stanjima upotrebljivosti. U slučaju postojeće konstrukcije, kontrola se vrši najpre prema graničnim stanjima nosivosti, a zatim i prema graničnim stanjima upotrebljivosti, na osnovu novog opterećenja i novih uticaja.

Prema podacima iz projektne dokumentacije ili ispitivanjem elemenata konstrukcije, ukoliko projektna dokumentacija nije dostupna, utvrđuju se karakteristike konstrukcijskih elemenata. Suština proračuna, u ovom slučaju provere preseka elemenata, odnosi se na dokazivanje da je granična nosivost preseka (N_u) veća ili jednaka nosivosti preseka (N_s) pri delovanju graničnih uticaja (Najdanović, 1995):

$$N_u \geq N_s$$

gde su granični uticaji (S_u) odgovarajući računski uticaji u eksploataciji (S_i) uvećani parcijalnim koeficijentima sigurnosti (γ_{ui}):

$$S_u = \sum_i \gamma_{ui} S_i$$

Uticaji u eksploataciji (S_i) predstavljaju odgovarajuće statičke uticaje (bez uvećanja koeficijentima sigurnosti), odnosno sile u preseku (N , T , M , M_T) u eksploataciji, pri najnepovoljnijim kombinacijama opterećenja. Statički uticaji u merodavnim presecima konstrukcije sračunavaju se uglavnom od dejstva sopstvene težine i stalnog opterećenja (S_g), dejstva promenljivih opterećenja (S_p) i dejstva ostalih opterećenja (S_Δ) (Najdanović, 1995). Proračun statičkih uticaja uglavnom se vrši standardnim postupcima Teorije konstrukcija, odnosno na bazi linearne teorije konstrukcija (teorije elastičnosti) (Najdanović, 1995). Iako se statički uticaji mogu odrediti i uz pomoć proračuna koji znatno više prate ponašanje konstrukcije

i generalno daju ekonomičnija rešenja, sam proračun je često znatno složeniji (Najdanović, 1995). Pomenuti proračuni odnose se na linearnu teoriju sa organičenom raspodelom, nelinearnu teoriju i teoriju plastičnosti. Prema *Pravilniku BAB 87 (1987)*, statički uticaji od dejstva eksploatacionog opterećenja sračunati prema teoriji elastičnosti uvećavaju se parcijalnim koeficijentima sigurnosti, i u daljem postupku se smatraju za uticaje od delovanja graničnog opterećenja, odnosno za granične uticaje (S_u). Imajući u vidu da u proračunu prema graničnim stanjima nosivosti kriterijumi loma nisu vrednosti dostignutih napona, već vrednosti dostignutih, konvencionalno usvojenih, graničnih dilatacija betona ($\varepsilon_b = 3,5\text{‰}$) i armature, tj. čelika ($\varepsilon_a = 10\text{‰}$), parcijalni koeficijenti sigurnosi (γ_{ui}) definišu se prema *Pravilniku BAB 87 (1987)* u odnosu na kombinacije opterećenja i vrednosti dilatacije u armaturi (ε_a). U zavisnosti da li je u pitanju dilatacija pritiska ili zatezanja, predznak ispred brojne vrednosti je pozitivan ili negativan. U slučaju dejstva stalnog i promenljivog opterećenja, granični uticaji se određuju prema izrazima:

$$S_u = 1,6 S_g + 1,8 S_p \quad \text{za } -10 \leq \varepsilon_a \leq -3\text{‰}$$

$$S_u = 1,9 S_g + 2,1 S_p \quad \text{za } \varepsilon_a \geq 0\text{‰}$$

Za slučaj istovremenog dejstva stalnog, promenljivog i ostalih opterećenja, granični uticaji se određuju prema izrazima:

$$S_u = 1,3 S_g + 1,5 S_p + 1,3 S_\Delta \quad \text{za } -10 \leq \varepsilon_a \leq -3\text{‰}$$

$$S_u = 1,5 S_g + 1,8 S_p + 1,5 S_\Delta \quad \text{za } \varepsilon_a \geq 0\text{‰}$$

Kada su dilatacije u čeliku u granicama $-3\text{‰} < \varepsilon_a < 0\text{‰}$, odgovarajući koeficijenti γ_{ui} određuju se linearnom interpolacijom.

Ukoliko sopstvena težina i stalno opterećenje deluju povoljno, u smislu povećanja nosivosti preseka, odnosno ukoliko smanjuju granične uticaje, odgovarajuće koeficijente sigurnosti γ_{ug} treba smanjiti. U tom slučaju, za dejstvo stalnog i promenljivog opterećenja koriste se izrazi:

$$S_u = 1,0 S_g + 1,8 S_p \quad \text{za } -10 \leq \varepsilon_a \leq -3\text{‰}$$

$$S_u = 1,2 S_g + 2,1 S_p \quad \text{za } \varepsilon_a \geq 0\text{‰}$$

Za kombinaciju stalnog, promenljivog i ostalih opterećenja primenjuju se izrazi:

$$S_u = 1,0 S_g + 1,5 S_p + 1,3 S_\Delta \quad \text{za } -10 \leq \varepsilon_a \leq -3\text{‰}$$

$$S_u = 1,2 S_g + 1,8 S_p + 1,5 S_\Delta \quad \text{za } \varepsilon_a \geq 0\text{‰}$$

Imajući u vidu da se istraživanje odnosi na novoprojektovano stanje koje podrazumeva promenu stalnog opterećenja, kao posledicu promene strukture krova, a može doći i do promene korisnog opterećenja, usled prenamene krova, najpre je potrebno utvrditi granične uticaje u krovnoj ploči, uzimajući u obzir da je opterećenje ploče površinsko. Uticaji se odnose na savijanje (čisto savijanje ili pravo savijanje) koje je karakteristično za armiranobetonske konstrukcijske elemente

koje čine ploče i grede (Najdanović, 1995). Nakon određivanja graničnih uticaja (M_g i M_p , za dejstvo stalnog i promenljivog opterećenja), na osnovu karakteristika ploče, koje se prevashodno odnose na statički sistem, poprečni presek i karakteristike primenjenih elemenata (marka betona (MB), računski čvrstoća betona pri pritisku (f_B), vrsta armature (GA/RA/MA/BiA), granični napon razvlačenja u armaturi (σ_v), itd.), vrši se proračun maksimalnog graničnog momenta koji presek može da primi, i čija vrednost treba da bude manja ili jednaka graničnom dejstvu momenta savijanja. Maksimalni granični moment određuje se za beton i zategnutu armaturu, prema važećim propisima, i u obzir se uzima manja vrednost, koja pokazuje po kom elementu će biti dostignuto granično stanje. Određivanje maksimalnih graničnih uticaja omogućava optimizaciju u pogledu odabira zelenog krovnog sistema, što se prevashodno odnosi na nekomercijalne zelene krovove. Ukoliko novoprojektovano stanje ne ispunjava uslove nosivosti, odnosno ukoliko su granični uticaji u ploči veći od nosivosti, pre načina ojačanja može se razmotriti promena u strukturi zelenog krova, odnosno primena drugačijeg zelenog krovnog sistema. Moguće promene bi se odnosile na vrstu drenažnog sistema koji bi smanjio opterećenje, manju debljinu sloja supstrata, i uopšteno primenu elemenata manje težine, vodeći računa da promene ne ugrožavaju ispunjavanje postavljenih ciljeva. Sa druge strane, ukoliko su granični uticaji manji od maksimalnih graničnih uticaja, može se razmotriti npr. primena sloja supstrata veće debljine i veća raznovrsnost vegetacionog sloja čime bi se unapredile performanse zelenog krova, kao što su bolja termička izolovanost, povećanje ekoloških benefita, itd. Imajući u vidu da većina proizvođača zelenih krovova pruža mogućnosti odabira različitih elemenata u okviru pojedinačnih slojeva, optimizacija bi se mogla sprovesti i za pojedine komercijalne sisteme. Promena strukture zelenog krova zahteva ponovnu analizu opterećenja i određivanje novih uticaja na osnovu kojih se vrši provera nosivosti.

Nakon provere nosivosti krovne ploče konstatuje se da li presek može da prihvati novoprojektovano stanje ili je neophodno ojačati noseći element u slučaju prekoračenih vrednosti maksimalnih graničnih uticaja. Kada uslovi nosivosti krovne ploče budu ispunjeni, pristupa se proveru nosivosti sledećeg konstrukcijskog elementa koji prihvata opterećenje. Kod skeletnih sistema, opterećenje se sa krovne ploče prenosi na grede, a zatim na stubove ili direktno na stubove (u sistemu bez greda), dok u slučaju panelnih sistema opterećenje prihvataju zidovi. Uticaji u gredama mogu biti momenti savijanja (M) – čisto savijanje, ili momenti savijanja (M) i normalne sile (N), što predstavlja složeno savijanje. Takođe, grede se kontrolišu i na smicanje od uticaja transferzalnih sila (T) i torziju (Mt). Provera nosivosti stubova i zidova vrši se za uticaje normalnih sila (N) i složeno savijanja ($M - N$). Temelji se kontrolišu na uticaje savijanja (M) i smicanja (T), probijanje i za nosivost tla, koje treba da bude veće od opterećenja na tlo (kN/m^2).

Provera nosivosti konstrukcijskog sklopa sprovodi se za svaku vrstu nosećeg elementa prema redosledu prenošenja opterećenja. Ispunjavanjem uslova nosivosti konstrukcije, prelazi se na sledeći korak koji se odnosi na proveru upotrebljivosti.

5.4.3 Analiza upotrebljivosti

Kada elementi konstrukcije, odnosno konstrukcija u celini poseduje potrebnu sigurnost u pogledu nosivosti, neophodno je da budu zadovoljeni i ostali zahtevi koji se odnose na trajnost konstrukcije, izgled i deformabilnost, tj. upotrebljivost. Analiza upotrebljivosti sprovodi se prema teoriji graničnih stanja upotrebljivosti i podrazumeva proveru stanja prslina i deformacija u nosačima. Proračunom se dokazuje da širine prslina i veličine ugiba armiranobetonskih elemenata pod dejstvom dugotrajnog eksploatacionog opterećenja nisu veće od graničnih vrednosti (Najdanović, 1995). Granične vrednosti su definisane propisima, i to na osnovu zahtevane trajnosti i funkcionalnosti konstrukcije objekta.

Proračun prema graničnim stanjima prslina odnosi se na dokazivanje da karakteristična širina prslina ($a_{k(t)}$) armiranobetonskog elementa usled najnepovoljnije kombinacije opterećenja u toku eksploatacije, u proizvoljnom trenutku vremena (t), nije veća od granične vrednosti širine prslina (a_u) (Blagojević i dr., n.d.):

$$a_{k(t)} \leq a_u$$

Granične vrednosti širina prslina (a_u) kreću se u opsegu od 0,05 mm do 0,4 mm, u zavisnosti od agresivnosti sredine u kojoj se konstrukcija nalazi i karakteristika opterećenja (Najdanović, 1995). Kontrola upotrebljivosti prema graničnim stanjima prslina sprovodi se u tri koraka. Prvi korak se odnosi na proveru ispunjavanja uslova iz propisa (čl. 114, *Pravilnik BAB 87*), koji, ukoliko je ispunjen, ne zahteva se proračun otvora prslina (Blagojević i dr., n.d.):

$$\mu_z(\%) \geq \frac{\phi}{k_p \times a_u}$$

U navedenom izrazu, μ_z predstavlja procenat armiranja zategnute površine betona, ϕ je prečnik šipke armature, a k_p koeficijent prijanjanja i zavisi od vrste armature, karakteristika betona i zone athezije.

Procenat armiranja zategnute površine betona (μ_z) dobija se kao odnos površine zategnute armature u preseku (A_a) i zategnute površine betona (A_{bz}) (Blagojević i dr., n.d.):

$$\mu_z(\%) = \frac{A_a}{A_{bz}} \times 100$$

Ukoliko uslov nije ispunjen, neophodno je sprovesti drugi i treći korak, odnosno sračunavanje srednjeg rastojanja prslina (l_{ps}) na osnovu čega se određuju karakteristične širine prslina (a_k) prema ustanovljenim propisima. Ispunjavanjem uslova može se konstatovati da

novoprojektovano stanje zadovoljava upotrebljivost prema graničnim stanjima prslina. U suprotnom, potrebno je ojačati konstrukcijski element ili razmotriti promenu u strukturi zelenog krova, kao što je navedeno u analizi nosivosti.

Proračun prema graničnim stanjima deformacija odnosi se na dokazivanje da maksimalne deformacije armiranobetonskog elementa, usled najnepovoljnije kombinacije opterećenja u toku eksploatacije, u proizvoljnom trenutku vremena (t), nisu veće od graničnih vrednosti (Blagojević i dr., n.d.). Proračun deformacija najčešće podrazumeva proračun maksimalnih vrednosti ugiba elemenata konstrukcije (Najdanović, 1995). Najveće vrednosti graničnog ugiba (v_u) vezuju se za veličinu raspona (l) (čl. 117, *Pravilnik BAB 87*):

$$v_u = \frac{l}{k_u}$$

gde je k_u koeficijent koji ima vrednost 300 za gredne nosače, odnosno 150 za konzolne nosače (Blagojević i dr., n.d.).

Kontrola upotrebljivosti prema graničnim stanjima deformacija sprovodi se u tri koraka. Prvi korak se odnosi na proveru ispunjavanja uslova iz propisa (čl. 118, *Pravilnik BAB 87*), koji, ukoliko je ispunjen, ne zahteva se proračun ugiba (Blagojević i dr., n.d.):

$$\frac{d}{l} \geq \frac{k_u}{k_l \times k_m} \times \left(1 + \frac{M_g}{M_q} \times \alpha_\infty \right)$$

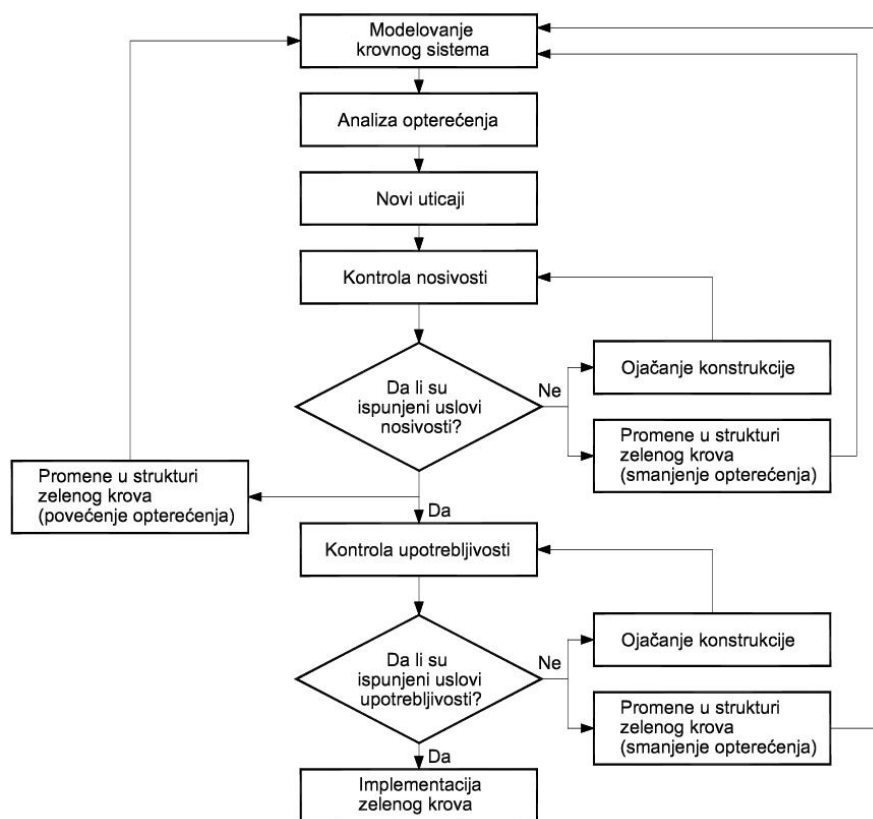
U navedenom izrazu, d je visina poprečnog preseka, l je raspon armiranobetonskog elementa, k_l je koeficijent koji zavisi od statičkog sistema i opterećenja, k_m je koeficijent koji zavisi od oblika poprečnog preseka, vrste armature i koeficijenta armiranja (μ), M_g je ekstremna vrednost momenta savijanja od dugotrajnih uticaja, M_q je ekstremna vrednost momenta savijanja od ukupnih uticaja, a α_∞ predstavlja koeficijent uticaja skupljanja i tečenja betona (Blagojević i dr., n.d.).

Ukoliko uslov nije ispunjen, neophodno je sračunati ugib u vremenu $t = \infty$ (v_t). Koristeći metodu Bransona, koja predstavlja približnu empirijsku metodu proračuna proisteklu iz rezultata dobijenih na osnovu velikog broja eksperimentalnih istraživanja, i koja je jednostavna za primenu i pruža zadovoljavajuće rezultate, vrši se proračun ugiba u vremenu $t = 0$ (drugi korak), na osnovu čije vrednosti se sračunava ugib u vremenu $t = \infty$ (treći korak) (Blagojević i dr., n.d.). Ispunjavanje uslova $v_t < v_u$ podrazumeva da novoprojektovano stanje zadovoljava upotrebljivost prema graničnim stanjima deformacija, dok je u suprotnom neophodno razmotriti načine ojačanja konstrukcijskog elementa ili promenu u strukturi zelenog krova, ukoliko postoji ta mogućnost.

Svaka promena, koja se odnosi na strukturu obloge krova ili ojačavanje konstrukcijskih elemenata, podrazumeva ponovno sprovođenje kontrole nosivosti ili upotrebljivosti.

5.4.4 Proces analize konstrukcije prema graničnim stanjima za primenu zelenog krovnog sistema

Na slici 5.24 prikazan je proces analize konstrukcije prema graničnim stanjima za primenu zelenog krova na postojećem objektu na osnovu prethodno sprovedenih analiza. Naime, na osnovu postavljenih ciljeva zelenog krova najpre se vrši odabir zelenog krovnog sistema u skladu sa postojećom strukturom obloge (postojanje/nepostojanje drenažnog sistema, termičke karakteristike krova, itd.) uz prethodno ispunjavanje uslova koji se odnose na funkcionalnost elemenata postojeće strukture obloge. Nakon utvrđivanja kompletne strukture krovnog sistema, sprovodi se analiza opterećenja i određuju se novi uticaji na osnovu novoprojektovanog stanja. Kontrola nosivosti, prema teoriji graničnih stanja, vrši se za svaki konstrukcijski element, na osnovu prenošenja opterećenja, počevši od krovne ploče. Ispunjavanjem uslova nosivosti, prelazi se na kontrolu upotrebljivosti, dok se u suprotnom pružaju mogućnosti razmatranja promene u strukturi krova, koja se odnosi na smanjenje opterećenja, ili ojačanje elemenata konstrukcije koji ne zadovoljavaju nosivost, nakon čega se ponovo vrši proračun nosivosti dok uslov ne bude ispunjen za sve elemente konstrukcije. Ispunjavanje uslova nosivosti omogućava razmatranje promene u strukturi zelenog krova i u pogledu primene većeg opterećenja, ukoliko su maksimalni granični uticaji veći od graničnih uticaja, u cilju unapređenja performansi.

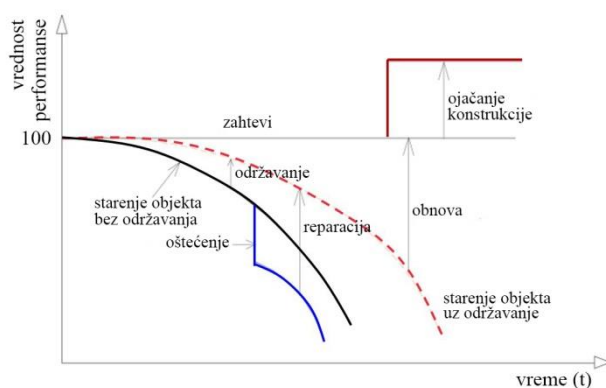


Slika 5.24. Proces analize konstrukcije prema graničnim stanjima za primenu zelenog krovnog sistema

Kontrolu upotrebljivosti, koja se odnosi na proračune prema graničnim stanjima prslina i deformacija, potrebno je, takođe, sprovesti za svaki element konstrukcije. Ispunjavanje uslova upotrebljivosti ukazuje da se novoprojektovani krovni sistem može primeniti na postojećem objektu bez ugrožavanja funkcionalnosti konstrukcije. U suprotnom se razmatra o promeni u strukturi krova, koja se odnosi na smanjenje opterećenja, ili ojačanjima, i ponovo sprovodi analiza upotrebljivosti dok svi elementi konstrukcije ne zadovolje propisane uslove.

5.5 Ojačanja armiranobetonskih konstrukcija

Svrha ojačanja konstrukcija, odnosno konstrukcijskih elemenata je povećanje nosivosti, što je neophodno izvršiti usled promena u regulativi, dodatnog opterećenja, prenamene objekta ili gubitka svojstva elemenata i delova konstrukcije kao posledice starenja materijala, oštećenja, neadekvatnog projektovanja i/ili izvođenja ili nesprovođenja kontrole kvaliteta (Jumaat & Alam, 2007; Koçak et al., 2007). U pogledu primene novog krovnog sistema – zelenog krova, razlozi za ojačanje konstrukcije prevashodno se odnose na dodatno stalno opterećenje i potencijalnu promenu namene krovne površine, tj. korisno opterećenje. Imajući u vidu da se usled konstrukcijskih ojačanja povećava obim radova, vreme izvođenja projekta, potrošnja materijala i energije, te da se zahteva angažovanje dodatne opreme i radne snage, što sve utiče na dodatna finansijska ulaganja, kao i na narušavanje stanja u životnoj sredini, najpre se razmatra mogućnost primene zelenih krovnih sistema bez dodatnih intervencija na konstrukciji. Međutim, uzimajući u obzir prethodno postavljene ciljeve zelenog krova i očekivane performanse, što direktno utiče na dizajn zelenog krova, a time i na veličinu dodatnog opterećenja, konstrukcijska ojačanja u pojedinim slučajevima predstavljaju jedini način i preduslov primene zelenog krovnog sistema. Uopšteno govoreći, konstrukcijska ojačanja su značajan zahtev u okviru stabilnosti konstrukcije i održavanja objekata. Ojačanjem konstrukcije postiže se ne samo produžavanje životnog veka, već se i unapređuju performanse i povećava vrednost objekta (sl.5.25) (Sistonon & Al-Neshawy, 2016).



Slika 5.25. Uticaj pojedinih aktivnosti na vrednost i performanse objekta tokom eksploatacije (Sistonon & Al-Neshawy, 2016)

U skladu sa navedenim, primena zelenog krova dodatno bi doprinela pozitivnim efektima, shodno utvrđenim benefitima.

Armiranobetonske konstrukcije, odnosno konstrukcijski elementi mogu se ojačati na različite načine, tj. primenom različitih metoda ojačanja. Oblast reparacije i zaštite armiranobetonskih konstrukcija regulisana je Evropskim standardom EN 1504 iz 2009. godine, koji su, pored zemalja Evropske unije, prihvatile i mnoge države širom sveta (Kostić, 2010b). U okviru konstrukcijskih ojačanja utvrđene su metode koje se odnose na: 1) dodavanje ili zamenu ugrađenih ili spoljašnjih armaturnih ojačanja; 2) dodavanje nosača ankerisanih u prethodno formirane rupe; 3) lepljenje lamela/ploča; 4) dodavanje maltera ili betona; 5) injektiranje pukotina, prslina i otvora; 6) popunjavanje pukotina, otvora i praznina; i 7) prednaprezanje (EN 1504-9) („Reparacija i zaštita armiranog betona – Sika“, n.d.). Usled predviđenog dodatnog opterećenja postojećeg objekta, moguće je izvršiti i preprojektovanje konstrukcije, odnosno dodavanje novih elemenata i oslonaca, tj. skraćivanje raspona. Ukoliko su pojedini elementi ili delovi konstrukcije izrazito oštećeni i/ili su pretrpeli lom, usled čega ne postoji mogućnost primene navedenih načina ojačanja, neophodna je njihova zamena. Faktori koji utiču na odabir odgovarajućeg načina ojačanja konstrukcije prevashodno zavise od brojnih tehničkih parametara, kao i od finansijskih ulaganja (Kostić, 2010b).

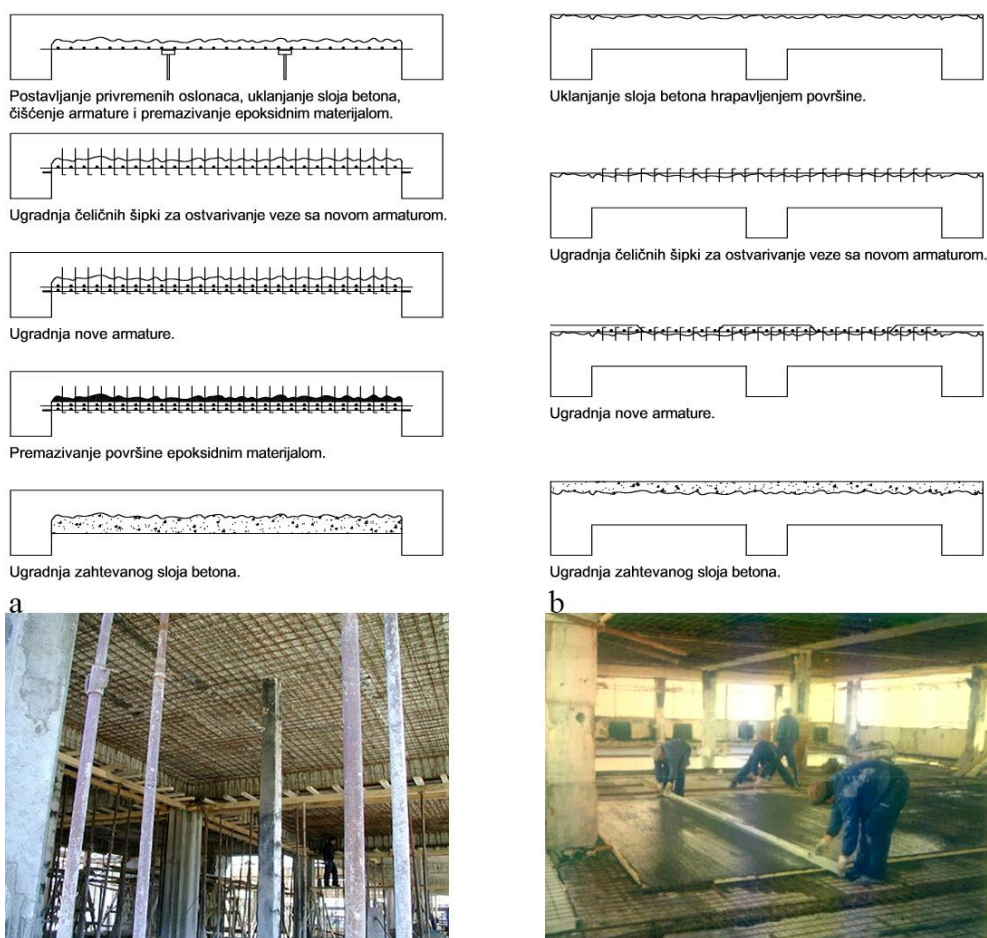
5.5.1 Načini ojačanja

Imajući u vidu nepostojanje opšte klasifikacije, u radu su analizirane najčešće primenjivani načini ojačanja i materijali u dosadašnjoj praksi i istraživanjima. Načini ojačanja armiranobetonskih konstrukcija odnose se na: ojačanje povećanjem preseka elemenata; primenu elemenata za spoljašnja ojačanja; ojačanje postupcima prednaprezanja; preprojektovanje konstrukcije; i zamenu elemenata (Atkas & Gunaslan, 2017; Alkhrdaji & Thomas, n.d.; Jawaharlal & Kala, 2017; „Sanacije, rekonstrukcije i održavanje“, n.d.; Sistonon & Al-Neshawy, 2016; „Key to success“, 2014).

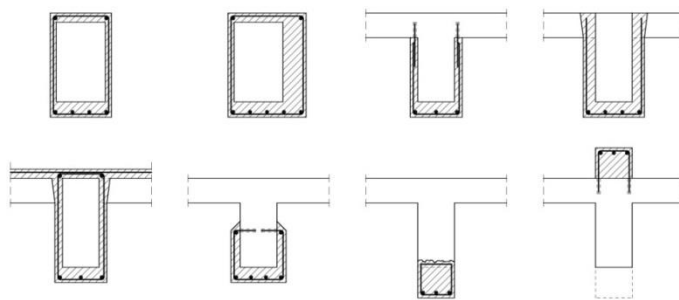
5.5.1.1 Povećanje preseka elemenata

Povećanje preseka elemenata dodatnim slojem betona i zamenom ili dodavanjem armature predstavlja opšte primenjivanu metodu ojačanja armiranobetonskih konstrukcija. Veličina betonske obloge/plašta i količina armature (dužina, broj i prečnik šipki) zavise od proračuna koji se sprovode za konstrukcijske elemente koji ne zadovoljavaju uslove nosivosti i stabilnosti za novoprojektovano stanje. Da bi se povećala nosivost elemenata, neophodno je obezbediti dobru vezu između postojećeg i novog sloja armiranog betona, uz primenu novog materijala veće čvrstoće u odnosu na postojeći (Atkas & Gunaslan, 2017). Postupak ojačanja povećanjem

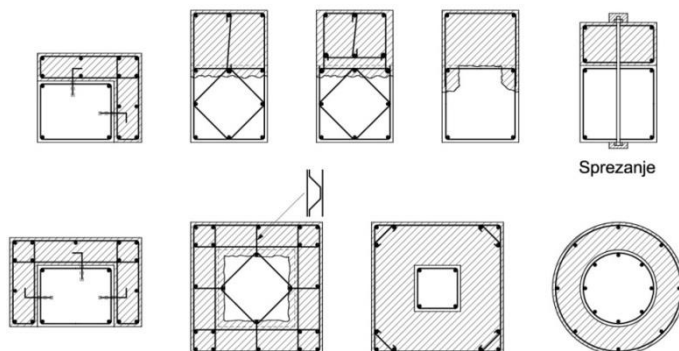
preseka elemenata podrazumeva: najpre postavljanje privremenih oslonaca; uklanjanje sloja betona i korozije sa ogoljene armature; zatim čišćenje površina i pripremu za ostvarivanje veze sa novim materijalom; zamenu ili dodavanje nove armature, uz upotrebu materijala za zaštitu u pojedinim slučajevima; i postavljanje oplata i ugradnju betona (Sistonen & Al-Neshawy, 2016). Krovna ploča, koja neposredno prihvata novo opterećenje, može se ojačati povećanjem preseka sa donje ili gornje strane. Najčešće je neophodno ojačati ploču u zoni zatezanja. Izrada novog armiranobetonskog sloja sa donje strane vrši se ogoljavanjem armature i njenim povezivanjem sa novom armaturom zavarivanjem, nakon čega se može primeniti torket beton (mlazni/prskani/špric beton). Mehaničko povezivanje novog armiranobetonskog sloja sa gornje strane i postojeće ploče može se ostvariti preko kratkih bolcni, „П“ kopči ili posebno oblikovanih armaturnih detalja za koje se vezuje nova armatura, nakon čega se ugrađuje beton (Najdanović, n.d.). Rebraste tavanice mogu se ojačati povećanjem preseka greda ili izvođenjem novih, i dobetoniranjem ploče sa gornje strane. Postupci ojačanja ploče povećanjem preseka prikazani su na slici 5.26. U prilog širokoj primeni ove metode govori podatak da se svi konstrukcijski elementi mogu ojačati povećanjem preseka (sl. 5.27 – 5.30).



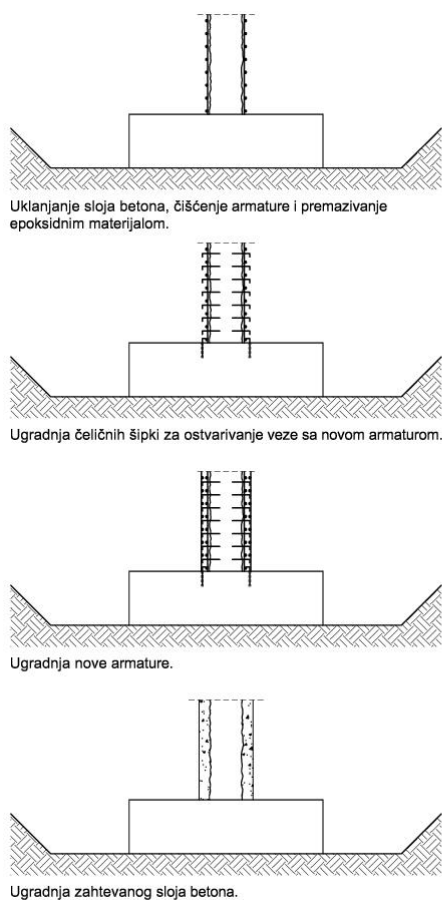
Slika 5.26. Postupci ojačanja ploče povećanjem preseka sa donje (a) i sa gornje strane (b), i izgledi konstrukcija u fazama izvođenja (Najdanović, n.d.; Sistonen & Al-Neshawy, 2016)



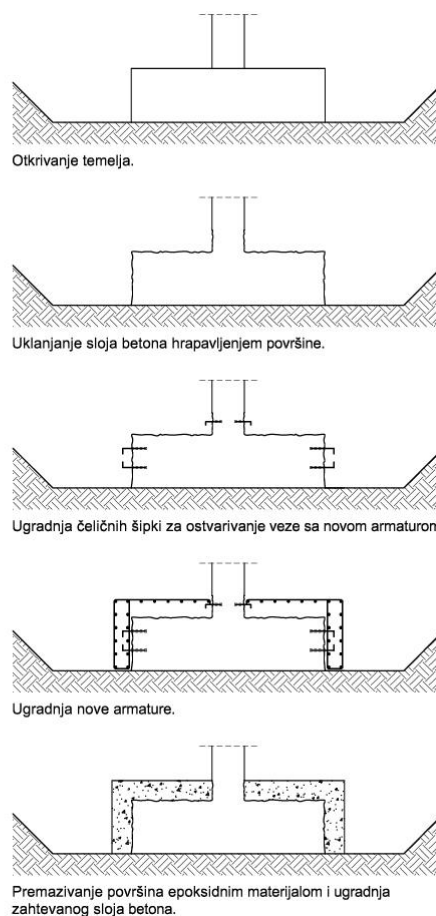
Slika 5.27. Načini ojačanja greda povećanjem preseka (Najdanović, n.d.)



Slika 5.28. Načini ojačanja stubova povećanjem preseka (Najdanović, n.d.; Sistonen & Al-Neshawy, 2016)



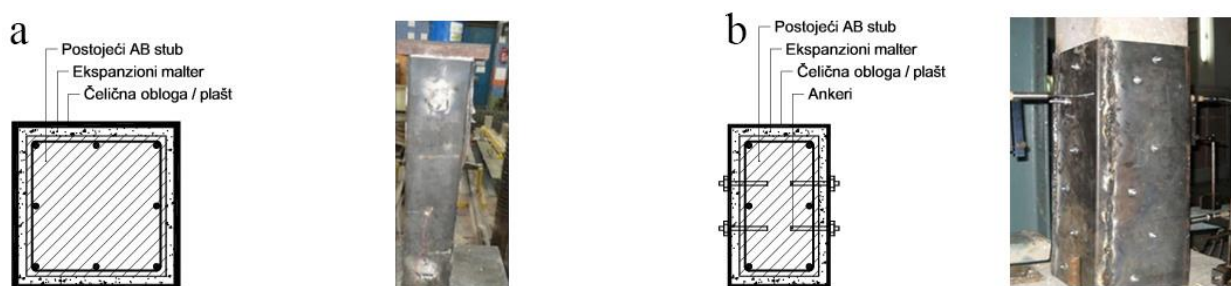
Slika 5.29. Postupak ojačanja zida povećanjem preseka (Sistonen & Al-Neshawy, 2016)



Slika 5.30. Postupak ojačanja temelja povećanjem preseka (Sistonen & Al-Neshawy, 2016)

Povećanjem preseka elemenata primenom obloge tj. plašta od armiranog betona povećava se kapacitet nosivosti i krutost armiranobetonskih elemenata. Prednosti primene odnose se i na finansijska ulaganja, koja su manja u odnosu na druge metode, zatim kompatibilnost materijala sa postojećim elementima, povećanje trajnosti konstrukcije i zaštitu od požara. Sa druge strane, nedostaci ove metode ogledaju se u većim dimenzijama nosača, a time i većoj sopstvenoj težini konstrukcije, što bi uticalo na eventualno ojačanje konstrukcijskih elemenata na koje se prenosi opterećenje. Takođe, način izvođenja ojačanja – potreba za postavljanjem oplata, produženje vremena završetka radova, stvaranje buke, itd., otežava i ograničava primenu na objektima koji se aktivno koriste, poput bolnica, škola, industrijskih zgrada, itd. (Aktas & Gunaslan, 2017; Sistonen & Al-Neshawy, 2016).

Pored primene armiranobetonske obloge, povećanje preseka je moguće izvršiti i oblogom od čeličnih ploča, koja se koristi za ojačanje stubova (Aktas & Gunaslan, 2017; Najdanović, n.d.). Postupak ojačanja podrazumeva postavljanje čeličnih ploča po obimu stuba, na relativno malom rastojanju od površina elementa. Nakon povezivanja „plašta“ zavarivanjem, prostor između armiranobetonskog i čeličnog elementa se ispunjava ekspanzionim malterom (sl. 5.31a). Ostvarivanje veze stuba sa oblogom od čeličnih ploča može se ostvariti i pomoću ankera (sl. 5.31b). Ove tehnike ojačanja karakterišu mala težina novog elementa, neznatno povećanje preseka u odnosu na primenu armiranobetonskog plašta, brzina izvođenja, efektivnost, ali i ograničenja u pogledu većih finansijskih ulaganja i nižeg stepena zaštite od požara.



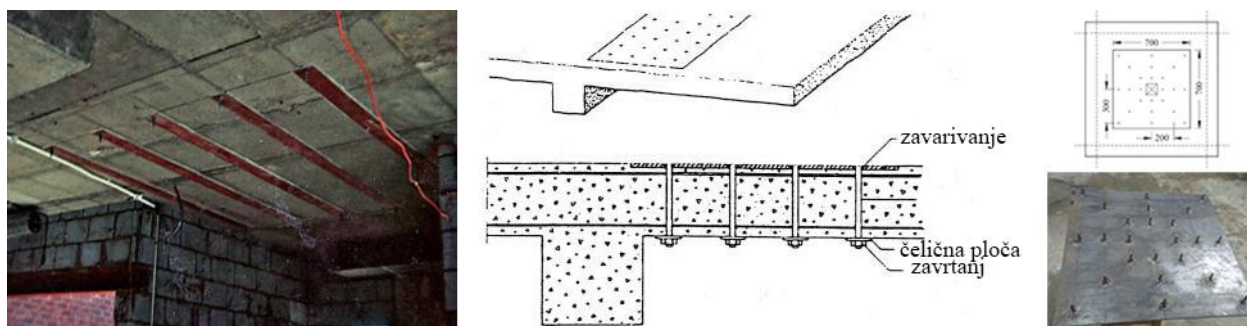
Slika 5.31. Načini ojačanja stubova povećanjem preseka čeličnom oblogom (a – Belal et al., 2015; Najdanović, n.d.; b – Najdanović, n.d.; Riaz, 2011)

5.5.1.2 Primena elemenata za spoljašnja ojačanja

Materijali koji se u vidu ploča, traka ili drugih formi najčešće koriste za ojačanja armiranobetonskih elemenata su čelik, plastični materijali i ferocement, koje odlikuje veliki potencijal za povećanje nosivosti u odnosu na dimenzije elemenata za ojačanje (Jumaat & Alam, 2007; Koçak et al., 2007; Sistonen & Al-Neshawy, 2016).

Čelični elementi

Čelične ploče i flahovi imaju široku primenu za ojačanje greda, ploča i stubova usled dostupnosti materijala, relativno niske cene, lakoće u obradi i ugradnji, izotropnosti, visoke duktilnosti čelika i visoke zamorne čvrstoće (Jumaat & Alam, 2007). Veza između čeličnog elementa i armiranobetonskog nosača može se ostvariti lepljenjem epoksidnim lepkom ili sprezanjem betona i čelika pomoću anker-zavrtnjeva (Najdanović, n.d.). Postupak ojačanja podrazumeva prevashodno pripremu površine na kojoj će se primeniti čelični elementi – hrapavljenje peskarenjem ili mehaničkom obradom betona, nakon čega se armiranobetonska površina premazuje epoksidnim materijalom, kao i površina čeličnog elementa koja se lepi. U slučaju sprezanja, formiraju se rupe u betonskom i čeličnom elementu koji se povezuju anker-zavrtnjevima (Najdanović, n.d.; Sistonen & Al-Neshawy, 2016). Od čeličnih elemenata, za ojačanje ploča i greda primenjuju se i dodatne čelične uzengije. Izgledi ploča, greda i stubova ojačanih čeličnim elementima prikazani su na slikama 5.32 – 5.34.



Slika 5.32. Ojačanje ploča čeličnim elementima (Elbakry & Allam, 2015; Sistonen & Al-Neshawy, 2016; „Steel and Carbon Fibre Plate Bonding“, n.d.)



Slika 5.33. Ojačanje greda čeličnim elementima (Hassan, 2007; Najdanović, n.d.; Sistonen & Al-Neshawy, 2016)

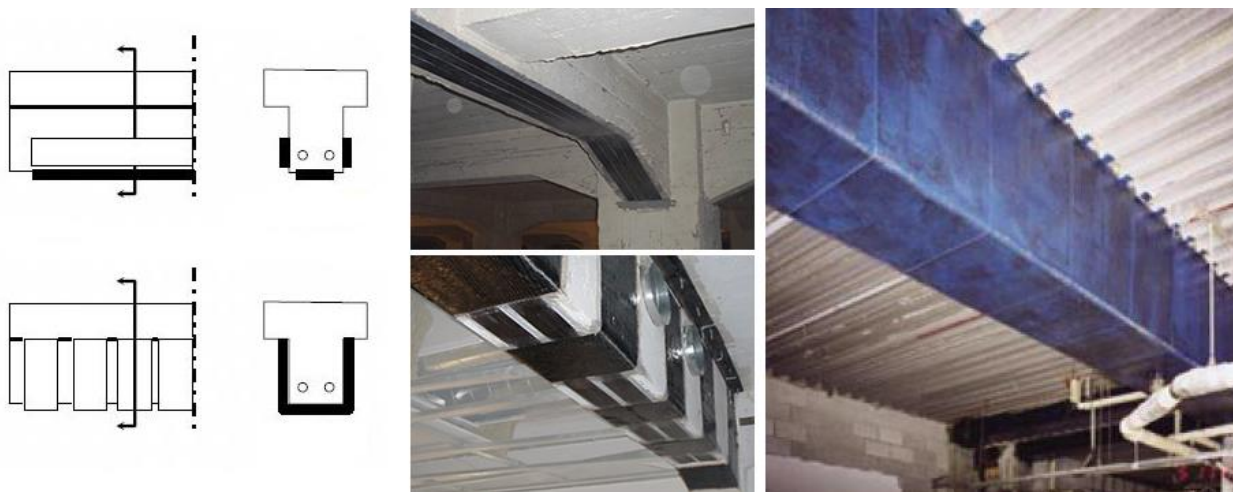


Slika 5.34. Ojačanje stubova čeličnim elementima (Belal et al., 2015; Makki & Nimmim, 2015; Najdanović, n.d.)

Kako bi se obezbedila nosivost i trajnost konstrukcije, neposredno nakon ojačanja čeličnim elementima neophodno je primeniti materijale za zaštitu od korozije i nakon toga sprovesti adekvatno održavanje. Karakteristika ove metode je što se koristi za konstrukcije i konstrukcijske elemente koji su u relativno dobrom stanju (Sistonen & Al-Neshawy, 2016).

Polimerni materijali ojačani vlaknima

Primena polimernih materijala ojačanih vlaknima (eng. *Fiber Reinforced Polymers – FRP*) predstavlja alternativu konvencionalnoj praksi ojačanja konstrukcija, kao što su povećanje preseka, primena čeličnih elemenata ili prednaprezanje, usled karakteristika koje se odnose na visoku zateznu čvrstoću, malu težinu, otpornost na koroziju, dugotrajnost, relativno brzu i laku ugradnju, nizak stepen održavanja, itd. (Aktas & Gunaslan, 2017; Sistonen & Al-Neshawy, 2016). Polimerni materijali najčešće se ojačavaju, tj. armiraju staklenim, karbonskim ili aramidnim vlaknima, i primenjuju se u vidu traka i plašta, kao prskani polimerni materijali, zatim u formi šipki, kablova, 2D i 3D mreža, itd. (Aktas & Gunaslan, 2017; Sistonen & Al-Neshawy, 2016). Najviše se koriste za ojačanje greda, ploča i stubova. Za ojačanje greda, u zavisnosti od potrebe povećanja nosivosti na savijanje ili smicanje, FRP trake se primenjuju podužno, duž ose elementa sa donje strane i/ili bočno, ili poprečno, upravno na podužnu osu u „U“ formi (sl. 5.35). Izgledi ploča, greda i stubova ojačanih FRP materijalima, prikazani su na slici 5.36. Primarno ograničenje za primenu polimernih materijala ojačanih vlaknima je visoka cena materijala i ugradnje (Aktas & Gunaslan, 2017).



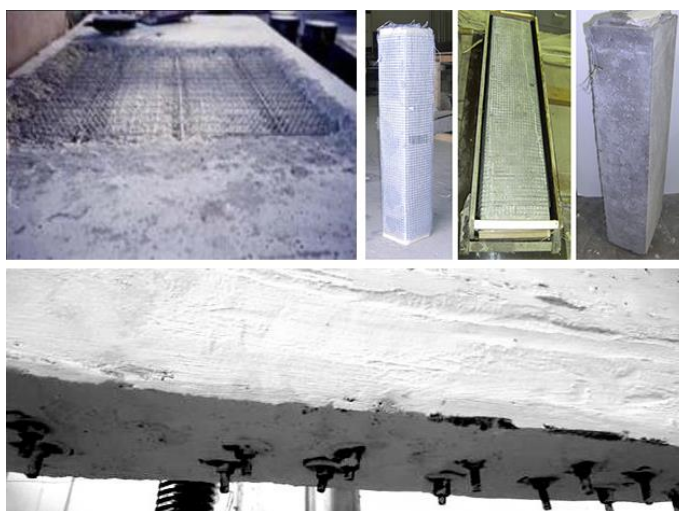
Slika 5.35. Ojačanje greda FRP trakama (Ayemba, 2017; „Fibre reinforced polymer“, n.d.; Sistonen & Al-Neshawy, 2016)



Slika 5.36. Ojačanje ploča, greda i stubova FRP trakama („Cabot Hall“, n.d.; „Column strengthening using carbon fiber“, n.d.; Imperatore et al., 2012; „Seismic retrofiting“, n.d.)

Ferocement

Ferocement predstavlja tankoslojni kompozitni materijal sačinjen od cementnog maltera armiranog sa više slojeva tankih mreža što omogućava da u poprečnom preseku elementa čelik bude homogeno raspoređen. Primjenjuje se ugradnjom prethodno izrađenih elemenata ili na licu mesta. Imajući u vidu da je sa mnogo manjim presecima moguće postići veliku nosivost, čime se ostvaruje ušteda u materijalu i ceni, kao i da ferocement karakteriše mogućnost primene na najrazličitijim formama konstrukcijskih elemenata, fleksibilnost u obradi i povezivanju, i lako održavanje, njegova primena predstavlja alternativu drugim metodama i materijalima za ojačanje armiranobetonskih konstrukcija. Sa druge strane, karakteristike koje ograničavaju upotrebu ferocementa odnose se na malu otpornost na smicanje, malu trajnost, koroziju, potrebu za dodatnim angažovanjem radne snage, itd. Primeri ojačanja konstrukcijskih elemenata korišćenjem ferocemnta prikazani su na slici 5.37.



Slika 5.37. Ojačanje ploče, grede i stuba ferocementom (Khan et al., 2013; Mourad & Shannag, 2012; Sistonen & Al-Neshawy, 2016)

5.5.1.3 Prednaprezanje

Prednaprezanje, odnosno naknadno prednaprezanje može se primeniti na postojećim armiranobetonskim i prednapregnutim konstrukcijama. Korišćenjem ove tehnike na elementima izloženim savijanju i smicanju smanjuju se prsline i deformacije, i može se značajno povećati nosivost („Sanacije, rekonstrukcije i održavanje“, n.d.; Sistonen & Al-Neshawy, 2016). Naknadnim prednaprezanjem uglavnom se ojačavaju gredni nosači i ploče (Aktas & Gunaslan, 2017). Prema položaju kablova u odnosu na betonski presek razlikuju se unutrašnje i spoljašnje prednaprezanje. Kablovi za prednaprezanje se gotovo uvek vode van preseka elemenata i mogu imati pravolinijske ili poligonalne trase („Sanacije, rekonstrukcije i održavanje“, n.d.). Ojačanju elemenata prednaprezanjem prethodi provera postojanja pukotina, prsline ili otvora koje je potrebno sanirati kako bi se obezbedilo ravnomerno delovanje sila prednaprezanja u elementu, što sprovođenje ove tehnike čini uspešnom (Sistonen & Al-Neshawy, 2016). Kablovi se povezuju sa elementom sidrenjem na njegovim krajevima. Imajući u vidu da se stalno opterećenje od sopstvene težine konstrukcije minimalno povećava, može se konstatovati da naknadno prednaprezanje predstavlja efektivnu ekonomičnu metodu ojačanja (Sistonen & Al-Neshawy, 2016). Na slici 5.38 prikazani su primeri ojačanja greda prednaprezanjem.

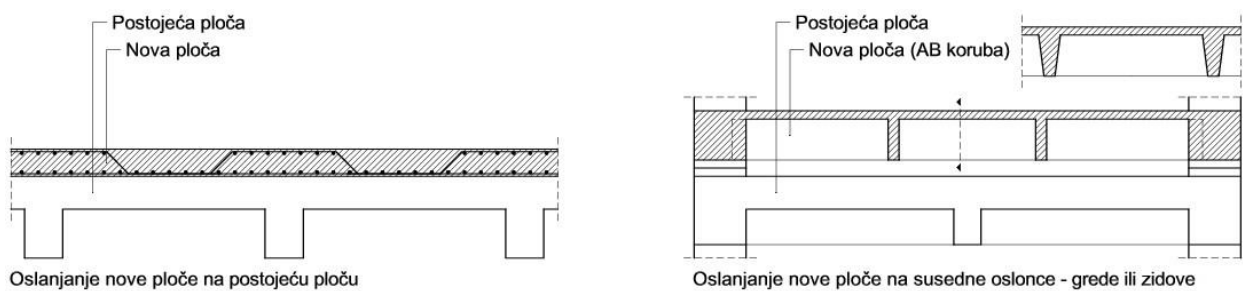


Slika 5.38. Ojačanje greda naknadnim prednaprezanjem (Sistonen & Al-Neshawy, 2016)

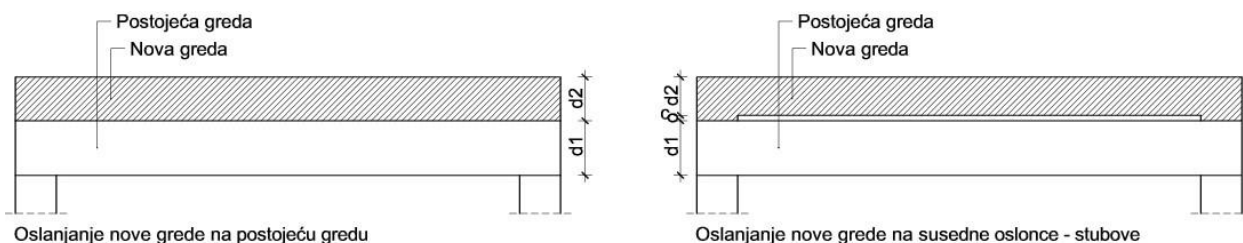
5.5.1.4 Preprojektovanje konstrukcije

Preprojektovanje kao način ojačanja konstrukcije vrši se u slučajevima kada se elementi ili delovi konstrukcije ne mogu ojačati primenom neke od ustaljenih tehnika ili moguća rešenja nisu ekonomična. Preprojektovanje konstrukcije najčešće podrazumeva primenu novih elemenata, a odnosi se na prenošenje opterećenja na susedne elemente dovoljne nosivosti, izradu dopunskih oslonaca, izvođenje dodatnih ukrućenja i promenu konstrukcijskog sistema („Sanacije, rekonstrukcije i održavanje“, n.d.).

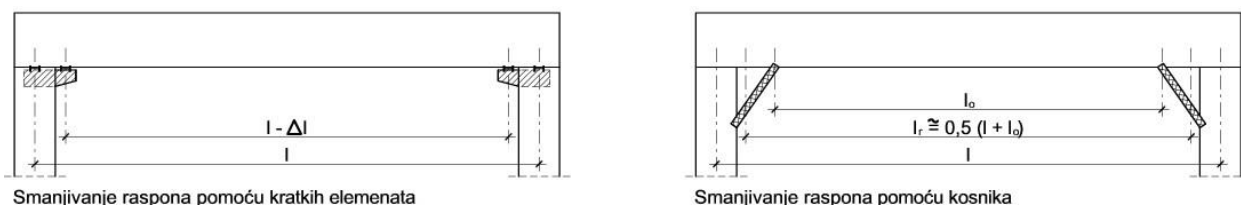
U slučajevima kada postojeća konstrukcija ne može da prihvati novo opterećenje, problem se može rešiti prenošenjem opterećenja sa elemenata koji ne ispunjavaju uslove nosivosti na susedne elemente dovoljne nosivosti. Ovakav način ojačanja podrazumeva uvođenje novog konstrukcijskog sistema koji omogućava da se elementi ili delovi konstrukcije nedovoljne nosivosti u potpunosti ili delimično rasterete. U pogledu ojačanja krovne ploče koja neposredno prihvata dodatno opterećenje, nova ploča može da se izvede preko postojeće na dva načina: oslanjanjem na postojeću ploču (ostvaruje se kontakt nove i postojeće ploče) i oslanjanjem na susedne grede ili zidove (ne ostvaruje se kontakt nove i postojeće ploče), pri čemu je u prvom slučaju postojeća ploča delimično rasterećena, a u drugom slučaju, primenom armiranobetonskih koruba, opterećenje se u potpunosti prenosi na novi element (sl. 5.39) („Sanacije, rekonstrukcije i održavanje“, n.d.). Mogućnost izrade nove ploče podrazumeva da elementi koji dalje prihvataju opterećenje, koje uključuje i težinu novog nosača, ispunjavaju uslove nosivosti. U slučaju prenošenja opterećenja sa prostih greda, takođe se mogu primeniti novi gredni nosači direktno postavljeni preko postojećih ili sa međurazmakom, odnosno sa oslanjanjem na susedne elemente – stubove (sl. 5.40). Kod kontinualnih nosača, postupak se može primeniti u jednom ili u više polja, pri čemu u pojedinim poljima može, ali i ne mora, da bude uspostavljen kontinuitet. Ojačanje se rešava i izvođenjem niza prostih greda („Sanacije, rekonstrukcije i održavanje“, n.d.). Gredni nosači mogu se ojačati i smanjivanjem raspona pomoću kratkih elemenata ili kosnika (sl. 5.41).



Slika 5.39. Ojačanje ploča prenošenjem opterećenja na susedne oslonce („Sanacije, rekonstrukcije i održavanje“, n.d.)

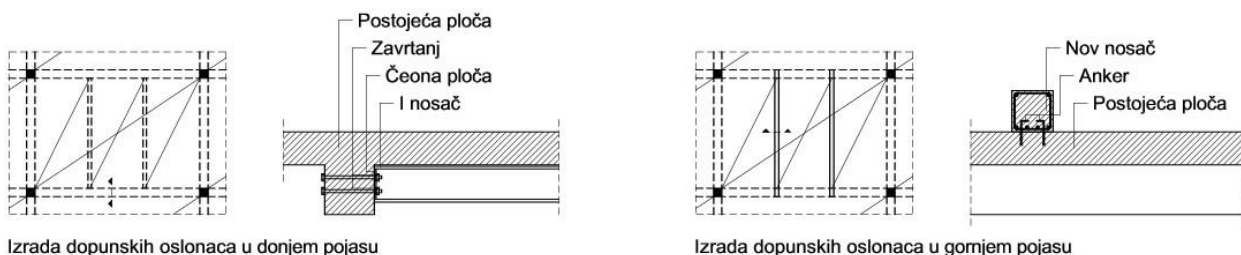


Slika 5.40. Ojačanje greda prenošenjem opterećenja na susedne oslonce („Sanacije, rekonstrukcije i održavanje“, n.d.)

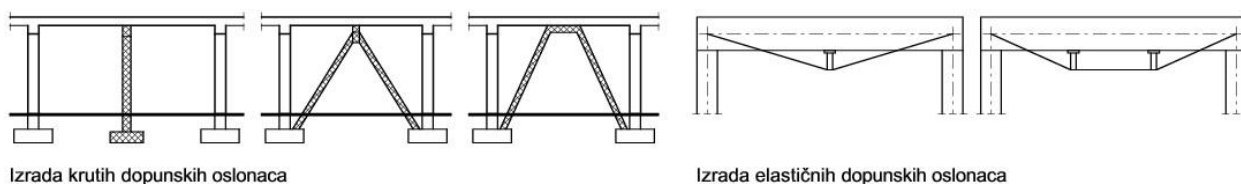


Slika 5.41. Ojačanje greda smanjivanjem raspona („Sanacije, rekonstrukcije i održavanje“, n.d.)

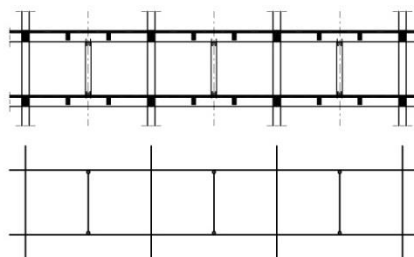
Postojeće konstrukcije mogu se ojačati i izradom dopunskih oslonaca. U pogledu krovne ploče, ojačanja se mogu odnositi na uvođenje novih nosača ispod ili iznad postojeće tavanice. Primeri ojačanja ploča izradom dopunskih elastičnih oslonaca prikazani su na slici 5.42. Ojačanje greda se ostvaruje dodavanjem novih elemenata donjeg pojasa. Postojeći gredni nosači mogu se ojačati dopunskim krutim ili elastičnim osloncima (sl. 5.43). Ramovske konstrukcije mogu se rasteretiti uvođenjem elastičnih oslonaca (sl. 5.44). Stubovi se ojačavaju izvođenjem armiranobetonskih zidova po celoj visini objekta, prilikom čega je potrebno izgraditi i nove temelje (sl. 5.45). Temeljima se može povećati nosivost izradom šipova ili bunara kao dopunskih oslonaca (sl. 5.46).



Slika 5.42. Ojačanje ploča izradom dopunskih oslonaca („Sanacije, rekonstrukcije i održavanje“, n.d.)



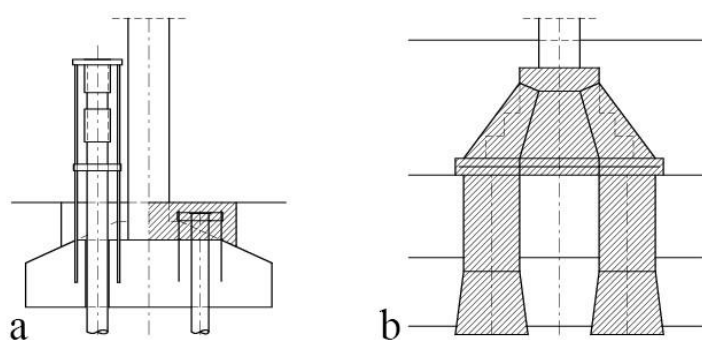
Slika 5.43. Šematski prikaz načina ojačanja greda izradom dopunskih oslonaca („Sanacije, rekonstrukcije i održavanje“, n.d.)



Slika 5.44. Ojačanje rigli ramovske konstrukcije izradom dopunskih elastičnih oslonaca („Sanacije, rekonstrukcije i održavanje“, n.d.)



Slika 5.45. Ojačanje stubova izradom armiranobetonskih zidova (Najdanović, n.d.; „Structural & Earthquake Strengthening“, n.d.; „World Housing Encyclopedia“, n.d.)



Slika 5.46. Ojačanje temelja izradom: a) šipova, b) bunara (Najdanović, n.d.)

Izvođenje dodatnih ukrućenja odnosi se na izradu novih armiranobetonskih zidova, ramova ili spregova za prijem horizontalnog opterećenja, koji mogu imati položaj unutar gabarita objekta ili sa spoljašnjih strana. Primeri ojačanja konstrukcija izvođenjem dodatnih ukrućenja prikazani su na slikama 5.47 i 5.48.

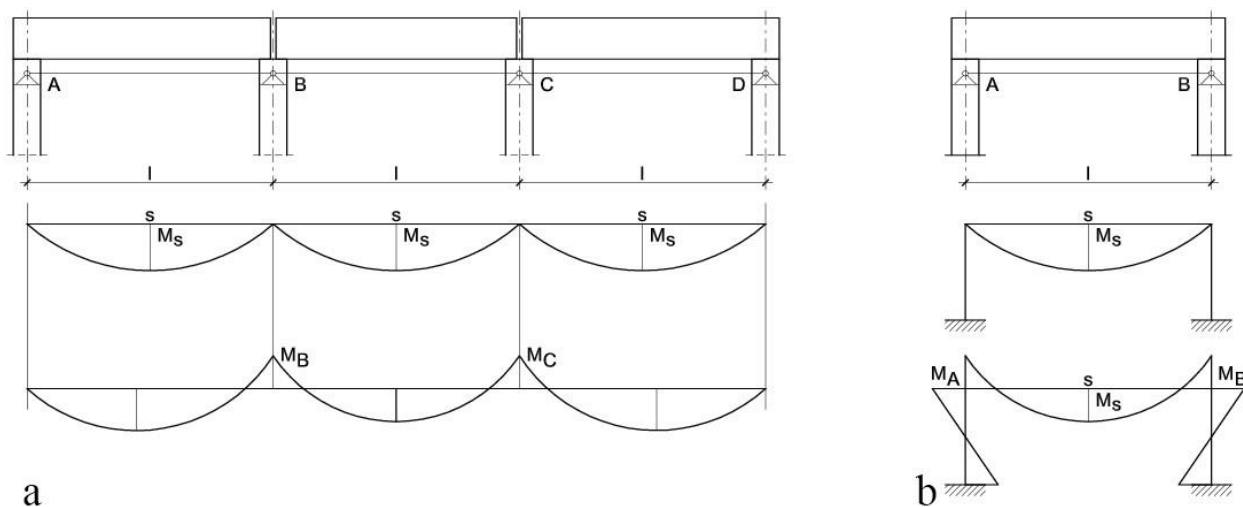


Slika 5.47. Ojačanja konstrukcija izvođenjem ukrućenja unutar gabarita objekta (Aguilar, n.d.)



Slika 5.48. Ojačanja konstrukcija izvođenjem spoljašnjih ukrucenja (a – Foraboschi, 2016; b – „Retrofit“, n.d.; c –, „Seismic retrofitting using precast elements“, n.d.)

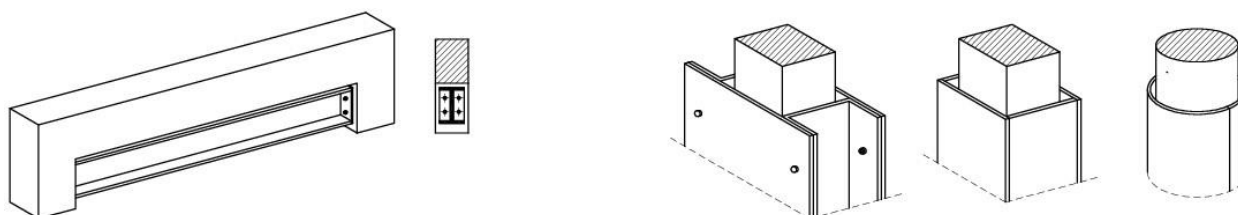
U pogledu promene konstrukcijskog sistema, povećanje nosivosti može se ostvariti integrisanjem prostih greda u kontinualni nosač (sl. 5.49a), i u tom slučaju vrši se ugrađivanje nove armature u gornjem pojasu iznad oslonaca, koja može biti u nivou postojećih elemenata uklanjanjem sloja betona, ili se može izvesti iznad postojećih greda povećanjem preseka („Sanacije, rekonstrukcije i održavanje“, n.d.). Takođe, moguće je i integrisati grede i stubove u ramovsku konstrukciju ugradnjom dodatne armature na mestima spojeva elemenata (sl.5.49b) („Sanacije, rekonstrukcije i održavanje“, n.d.).



Slika 5.49. Ojačanja promenom konstrukcijskog sistema („Sanacije, rekonstrukcije i održavanje“, n.d.)

5.5.1.5 Zamena elemenata

Zamena elemenata u svojstvu ojačanja konstrukcije primenjuje se u slučajevima izrazito oštećenih elemenata koje nije moguće ojačati nekom od analiziranih metoda ili kada rešenja ojačanja nisu ekonomična, kao i u slučajevima elemenata koji se pretrpeli lom. Konstrukcije se najčešće ojačavaju zamenom greda i stubova, i to primenom čeličnih elemenata (Sistonen & Al-Neshawy, 2016). U zavisnosti od nivoa oštećenja, novi elementi mogu potpuno rasteretiti postojeći nosač ili prihvatiti deo opterećenja. Na slici 5.50 prikazan je primer zamene armiranobetonске grede čeličnim elementom, i varijante zamene armiranobetonских stubova čeličnim profilima.



Slika 5.50. Ojačanje konstrukcije zamenom elemenata (modifikovano prema Sistonen & Al-Neshawy, 2016)

5.5.2 Faktori koji utiču na odabir načina ojačanja

Odabir načina i materijala za ojačanje armiranobetonских konstrukcija zavisi od nekoliko ključnih faktora. Faktori koji omogućavaju ili ograničavaju intervencije na konstrukcijama odnose se na:

- veličinu novog opterećenja,
- efekte promene relativne krutosti elemenata,
- obim projekta (primena pojedinih metoda i materijala može biti manje finansijski isplativa kod malih projekata),
- uslove sredine (metode kod kojih se primenjuju adhezivni materijali nepogodne su za okruženja sa visokim temperaturama, ili spoljašnja primena čeličnih elemenata nije pogodna za korozivne sredine, itd.),
- čvrstoću betona (efektivnost metoda koje podrazumevaju ostvarivanje veze sa postojećim elementom može biti značajno ograničena malom čvrstoćom betona),
- dimenzionalna ograničenja (povećanje preseka ili dodavanje elemenata sa spoljnih strana, poput zidova za ukrućenje, može biti ograničeno lokacijskim uslovima),

- pristupačnost elementu ili delu konstrukcije za sprovođenje intervencije,
- uslove korišćenja objekta (metode koje zahtevaju duži vremenski period za izvođenje ojačanja i obustavljanje korišćenja objekta nisu pogodne za primenu na objektima čija namena podrazumeva neprekodno korišćenje),
- dostupnost materijala, opreme i kvalifikovane radne snage,
- finansijska ulaganja za ojačanje, održavanje i životni ciklus konstrukcije,
- mogućnost ispitivanja konstrukcije zarad provere postojećeg kapaciteta nosivosti ili procene primene novih/drugačijih metoda i materijala ojačanja (Sistonen & Al-Neshawy, 2016).

Iz navedenog, može se zaključiti da je neophodno pažljivo razmotriti sve faktore koji utiču na odabir načina ojačanja u cilju primene najpogodnije metode i odgovarajućeg materijala.

5.5.3 Sistematizacija ojačanja konstrukcije

Na osnovu predstavljenih načina ojačanja konstrukcija, metoda i materijala, izvršena je sistematizacija njihovih primena u odnosu na konstrukcijske sisteme i pojedinačne noseće elemente.

Imajući u vidu okvir istraživanja koji se odnosi na prefabrikovane objekte, čije su noseće konstrukcije izrađene od betona, u skeletnom, panelnom i kombinovanom sistemu, u tabeli 5.4 prikazane su mogućnosti primene ojačanja u odnosu na konstrukcijske sisteme, uopšteno, i u odnosu na konkretne sisteme primenjivane na našim prostorima i na regionalnom nivou (poglavle 5.1.2). Ojačanja skeletnih sistema razmatrana su u zavisnosti od načina proizvodnje, tj. povezivanja konstrukcijskih elemenata, i posebno je analizirana IMS konstrukcija. U pogledu ojačanja panelnih konstrukcija, razmatran je opšti slučaj i četiri posebna sistema. Na osnovu podataka iz tabele može se konstatovati da mogućnost primene načina ojačanja skeletnih konstrukcija ne zavisi od načina povezivanja konstrukcijskih elemenata, odnosno ne zavisi od statičkog sistema, ali ni od raspona, već od brojnih drugih faktora (prethodno opisanih). Drugim rečima, svaki pojedinačni slučaj (konstrukcija) podleže složenim analizama u cilju odabira najoptimalnijeg rešenja. U odnosu na klasične skeletne konstrukcije, za IMS prednapregnuti skeletni sistem, čiji osnovni moduo čine tavanica i četiri struba, pojedini načini ojačanja nisu pogodno rešenje. Kada je reč o panelnim sistemima, konstatovano je da načini ojačanja koji se odnose na čeličnu oblogu, promenu konstrukcijskog sistema i zamenu elemenata nisu primenljivi. Takođe, pojedini elementi konstrukcije, u okviru konkretnih sistema ne mogu

podržati pojedine načine ojačanja. Kombinovani sistemi, koji najčešće podrazumevaju skeletne sklopove sa jezgrima za ukrućenje, mogu se ojačati u svemu prema smernicama datim za skeletne i panelne sisteme.

Imajući u vidu da su ploče, i to krovne ploče u okviru predmetnog istraživanja, primarni konstrukcijski elemenat za koji se proverava nosivost i upotrebljivost, usled novog opterećenja i novih uticaja, izvršena je sistematizacija mogućnosti načina ojačanja u odnosu na elemente konstrukcije (tab. 5.5), pri čemu su ploče klasifikovane prema obliku poprečnog preseka. Sistematizacija načina ojačanja pojedinačnih elemenata, pored prefabrikovanih konstrukcija, uključuje i tehniku građenja na licu mesta, zbog mogućnosti razmatranja šire primene zelenih krovnih sistema na ravnim krovovima postojećih objekata, u kontekstu ojačanja konstrukcije. Nakon ploča, utvrđena je mogućnost primene utvrđenih načina ojačanja za grede, stubove, zidove i temeljne konstrukcije. Imajući u vidu da su se grede i stubovi izvodili najčešće sa punim presecima različitih oblika, u okviru sistematizacije nije izvršena podela ovih elemenata konstrukcije. Zidovi, punih preseka ili ošupljeni, takođe nisu posebno sistematozavini, zato što se isti načini ojačanja mogu primeniti u oba slučaja. U pogledu temeljnih konstrukcija, shodno činjenici da se kod zgrada primenjuju mahom plitki temelji, podela je izvršena u zavisnosti od konstrukcijskog sistema, i to na: temelje samce, trakaste temelje, kontra grede, kontra ploče i kontra ploče sa kontra gredama. Sistematizacijom ojačanja elemenata nisu obuhvaćena dodatna ukrućenja i promena konstrukcijskog sistema, u okviru preprojektovanja konstrukcije, zato što se ovi načini ojačanja odnose na konstrukcijski sklop.

Na osnovu tabela 5.4 i 5.5 može se potvrditi da povećanje preseka elemenata armiranobetonskom oblogom i elementi za spoljašnja ojačanja imaju najširu primenu za povećanje nosivosti konstrukcije. Ipak, imajući u vidu sva ograničenja, odnosno faktore koji utiču na odabir ojačanja, neophodno je da svaki slučaj bude posebno analiziran.

Tabela 5.4. Sistematizacija ojačanja konstrukcijskih sistema

Konstrukcijski sistemi	Konstr. element	Povećanje preseka		Elementi za spolj. ojačanja			Predna-preznanje	Preprojektovanje konstrukcije				Zamena elemenata
		AB obloga	Čelična obloga	Čelični elem.	FRP mat.	Fero-cement		Prenos opt. na susedne oslonce	Dopunski oslonci	Dodatna ukrućenja	Promena konstr. sistema	
SKELETNI SISTEMI												
Stub, greda i ploča - proizvedeni kao zasebni elementi	ploča	+		+	+	+	+	+	+			
	greda	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
	stub	+	+	+	+	+			+			+
Stub i greda - jedan element, i ploča kao zaseban element	ploča	+		+	+	+	+	+	+			
	greda	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
	stub	+	+	+	+	+			+			+
Ploča i greda – jedan element, i stub kao zaseban element	ploča	+		+	+	+	+	+	+			
	greda	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
	stub	+	+	+	+	+			+			+
Stub, greda i ploča – proizvedeni kao jedan element	ploča	+		+	+	+	+	+	+			
	greda	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
	stub	+	+	+	+	+			+			+
IMS sistem	ploča			+	+	+	+	+				
	stub	+	+	+	+	+	+			+		
PANELNI SISTEMI	ploča	+		+	+	+	+	+	+			
	zid	+		+	+	+	+			+		
Rad Balansi	ploča	+		+	+	+	+	+	+			
	zid	+		+	+	+	+			+		
Montastan	ploča			+	+	+	+	+	+			
	zid	+		+	+	+	+			+		
Trudbenik	ploča			+	+	+	+	+	+			
	zid	+		+	+	+	+			+		
Jugomont	ploča	+		+	+	+	+	+	+			
	zid	+		+	+	+	+			+		

Tabela 5.5. Sistematizacija ojačanja elemenata konstrukcije

Noseći elementi		Izvođenje M – monolitno, PP – polu-montažno, P - montažno	Naziv / opis	Povećanje preseka		Elementi za spolj. ojačanja			Predna-prezanje	Preprojektovanje		Zamena elemenata	
				AB obloga	Čelična obloga	Čelični elem.	FRP mat.	Fero-cement		Prenos opt. na susedne oslonce	Dopunski oslonci		
PLOČE	Pune ploče	M	AB ploče	+		+	+	+	+	+	+		
		PP	Omnia	+		+	+	+	+	+	+		
		P	Ploče od lakog betona (Durisol, Siporeks)			+	+	+		+	+		
			AB ploče	+		+	+	+	+	+	+		
	Olakšane/ošupljenje	P	AB ploče	+		+	+	+	+	+	+		
	Rebraste ploče	M	Sa rebrima u jednom pravcu	+		+	+	+	+	+	+		
			Kasetirane	+		+	+	+	+	+	+		
		P	AB korube	+		+	+	+	+	+	+		
			Kasetirane IMS			+	+	+	+	+	+		
	Sitno-rebraste ploče	M	AB ploče	+		+	+	+		+	+		
			Sa izgubljenom oplatom			+	+	+		+	+		
		PP	TM, LMT								+	+	
			KAT			+	+	+			+	+	
			Avramenko, Herbst			+	+	+			+	+	
	P	Standard			+	+	+			+	+		
	Pečurkaste ploče	M	AB ploče	+		+	+	+			+		
GREDE	M, P	AB grede	+		+	+	+	+	+	+	+		

Noseći elementi	Izvođenje M – monolitno, PP – polu-montažno, P - montažno	Naziv / opis	Povećanje preseka		Elementi za spolj. ojačanja			Predna-preziranje	Preprojektovanje		Zamena elemenata
			AB obloga	Čelična obloga	Čelični elem.	FRP mat.	Fero-cement		Prenos opt. na susedne oslonce	Dopunski oslonci	
STUBOVI	M, P	AB stubovi	+	+	+	+	+			+	+
ZIDOVI	M, PP, P	AB zidovi	+		+	+	+	+			
TEMELJI	Samci	M, P			+	+	+			+	
	Trakasti	M			+	+	+			+	
	Kontra grede	M			+	+	+			+	
	Kontra ploče	M			+	+	+				
	Kontra ploče sa kontra gredama	M			+	+	+				

5.5.4 Uticaji načina ojačanja konstrukcije na prostornu organizaciju objekta

Za implementaciju zelenog krovnog sistema na postojećem objektu, u slučaju potrebe povećanja nosivosti konstrukcije, potrebno je analizirati koji načini i metode ojačanja ne bi narušili arhitektonski koncept objekta, ukoliko je to jedini razlog za sprovođenje intervencije. Primena elemenata za spoljašnja ojačanja bi u tom slučaju bila najpogodnije rešenje usled karakteristike koja se odnosi na malu debljinu čeličnih ploča, FRP traka, lamela od ferocementa, itd. Naknadno prednaprezanje i preprojektovanje konstrukcije promenom konstrukcijskog sistema takođe ne bi uticali na prostornu organizaciju objekta. Intervencije povećanja preseka konstrukcijskih elemenata, zamene betonskih elemenata čeličnim, kao i preprojektovanje konstrukcije u pogledu prenošenja opterećenja na susedne oslonce ne bi doveli do izmena horizontalnog plana objekta, sem izvesnog smanjenja korisnih površina, ali bi njihova primena mogla biti ograničena u vertikalnom planu smanjenjem spratnih, odnosno svetlih visina objekta. Imajući u vidu namenu objekta/prostorija i odgovarajuće projektovane spratne (svetle) visine, ovi načini ojačanja bi mogli imati uticaja na prostornu organizaciju, odnosno njihova primena ne bi bila odgovarajuća. Izrade dopunskih oslonaca za pojedina ojačanja greda i stubova, ili dodatnih ukrućenja unutar objekata, uvele bi izmene u horizontalnom planu objekta što bi imalo uticaja na organizaciju prostora, čime bi povećanje kapaciteta nosivosti konstrukcije na ovaj način moglo biti ograničeno.

Sa druge strane, prethodno planirane intervencije na objektima, koje se pored promene prostorne organizacije mogu odnositi i na sanaciju konstrukcije, revitalizaciju, prenamenu ili druge građevinske radove koji nisu u vezi sa primenom zelenog krova, predstavljaju najpogodniji trenutak za izgradnju prirodnih sistema. Efektivnost sprovođenja intervencija, koje podrazumevaju i implementaciju zelenog krova, ogleda se u skraćanju vremena za završetak projekata usled paralelizacije radova, smanjenju utroška energije i angažovanja radne snage, ostvarivanju ekonomskih benefita i povećanju kapaciteta nosivosti konstrukcije. Prethodno planirane intervencije utoliko su značajnije za unapređenje performansi zelenog krova jer su povećane mogućnosti primene složenijih sistema – intenzivnih zelenih krovova.

6. TRENDOVI I IZAZOVI U UPRAVLJANJU URBANIM SREDINAMA

6.1 Održivost i otpornost građene sredine

Globalne klimatske promene, kao i ekološka i energetska kriza, koje su nastale kao posledice nekontrolisane urbanizacije, industrijske ekspanzije, primene neefikasnih tehnologija i prekomernog korišćenja obnovljivih izvora energije predstavljaju najveće probleme savremenog društva. Arhitektonska nauka, kroz multidisciplinarni pristup, ima zadatak da odgovori na pomenute rastuće izazove, odnosno da smanji negativne uticaje građene sredine na životno okruženje. Istovremeno, usled već uveliko ispoljenih negativnih promena u životnoj sredini, i to u najvećoj meri usled prethodnog antropogenog delovanja, dodatni zadatak arhitektonske nauke je i da se kroz nova rešenja prilagodi trenutnom stanju okruženja. S obzirom na međuzavisnost i uzročno-posledične veze između prirodne i građene komponente životne sredine, pri čemu su manifestacije neočekivanih i nepredvidljivih događaja sve češće, razvojni pravci upravljanja urbanim sredinama bi pored koncepta održivosti, morali da se baziraju i na konceptu otpornosti.

U kojoj meri će svet u XXI veku biti održiv zavisi velikim delom od održivosti urbanih sredina, shodno činjenici da savremena društva pokazuju tendenciju rasta urbane populacije. Rast populacije u urbanim sredinama praćen je povećanom potražnjom za eksploatacijom resursa u funkciji zadovoljenja povećanih potreba, i sa druge strane utiče na pojavu novih promena u okruženju usled povećanja gustine naseljenosti, kulturne raznolikosti i društvenih zahteva (Boyle et al., 2010; Stamenković & Vujičić, 2018). Sve kompleksniji humani sistemi u urbanoj sredini direktno utiču na fizičke sisteme koje čine objekti, infrastruktura i segmenti prirodne sredine. Takođe, fizički sistemi raznoliko utiču na društvene sisteme sa kojima su u interakciji.

Fundamentalne ideje o implementaciji održivosti baziraju se na postizanju stabilnosti, efektivnom upravljanju i kontroli promena i rasta. Imajući u vidu da dinamika razvoja društva donosi mnoge očekivane i neočekivane promene, u novije vreme se intenzivno razmatraju prognoze i projekcije budućih događaja i poremećaja, kako bi se neizvesnost umanjila, a adaptibilnost urbanih sistema ojačala, što sve zajedno čini okosnicu koncepta otpornosti. Otpornost se definiše kao kapacitet sistema za reorganizaciju i oporavak usled promena i poremećaja, bez prelaska u drugo stanje (Ahern, 2011; Walker & Salt, 2012). Izgradnja kapaciteta urbane sredine kao sistema podrazumeva da planeri i projektanti iz odgovarajućih oblasti (arhitektura, pejzažna arhitektura, urbanizam, i dr.) identifikuju stohastičke procese i poremećaje sa kojima bi se određena urbana sredina suočila, da predvide učestalost i intenzitet tih događaja, i da daju odgovore kako urbana sredina može ojačati adaptivni kapacitet na način da zadrži prvobitno funkcionalno stanje (Ahern, 2011). Pored fizičke komponente građene

sredine, stvaranje kapaciteta otpornosti odnosi se i na socijalnu dimenziju u okviru koje je potrebno osigurati učešće svih zainteresovanih strana u planiranju i donošenju odluka. Otpornost predstavlja više strateški nego normativni koncept, jer, da bi se postigla efektivnost, otpornost mora biti eksplicitno zasnovana na ekološkim, socijalnim i ekonomskim prilikama i dinamici konkretne urbane sredine, i mora biti integrisana na različitim nivoima (Ahern, 2011). Uopšteno govoreći, otpornost zahteva novi način razmatranja održivosti. Odnos između održivosti i otpornosti – dva različita ali komplementarna pristupa, prikazan je u tabeli 6.1.

Tabela 6.1. Odnos koncepta održivosti i otpornosti (Stamenković & Vujičić, 2018)

Koncept održivosti	Koncept otpornosti
Stabilnost, predvidljivost	Promena, nesigurnost, nepredvidljivost
Optimizacija efikasnosti funkcija koje vode ka održivosti	Održavanje dinamike sistema, postojanje funkcije i procesa kako bi se podnele nepredviđene promene
Fokus je na „ranjivosti“ trenutno narušenog stanja sistema	Fokus je na „otpornosti“ – adaptivnom kapacitetu sistema da se izbori sa nepoznatom budućnošću
Težnja ka optimalnom stabilnom stanju	Moguća su višestruka stabilna stanja – sistem je u stalnoj neravnoteži (adaptivni ciklus, panarhija)
Buduće opcije su sistematski ispitane i predviđene	Razvijen je apsorpcioni, adaptivni i transformabilni kapacitet sistema kako bi se izborio sa nepredvidljivom budućnošću
Rezultat je unapred određen – poželjna budućnost je zasnovana na kolektivnim odlukama, društveno utvrđenim vrednostima i/ili prethodno stečenom znanju	Rezultat nije unapred utvrđen – obezbeđena je fleksibilnost kroz adaptivno upravljanje sistemom na osnovu povratnih informacija i stečenih znanja u procesu upravljanja – „učenje kroz rad“
Naglasak je na „ishodima/proizvodima“	Naglasak je na „procesu“

Postizanje održivosti građene sredine i razvijanje kapaciteta otpornosti obezbeđuje se kroz planiranje, projektovanje i upravljanje fizičkim i socijalnim komponentama urbanih naselja, kao i uspostavljanjem međusobnih odnosa i kreiranjem mehanizama za budući razvoj. Strategije urbanističkog planiranja i projektovanja u cilju stvaranja kapaciteta održivosti urbane sredine, odnose se na multifunkcionalnost prostora, redundaciju i modularizaciju, biološku i socijalnu raznovrsnost, višestruke mreže i povezivanje, i adaptivno planiranje i projektovanje (Ahern, 2011).

Promene na globalnom nivou, sa kojima se suočavaju nauke o održivosti i otpornosti građene sredine, a koje su u direktnoj vezi sa oblašću arhitekture i fizičkim komponentama, tiču se klimatskih uslova. Sve češće nepredviđene promene i uticaji iz spoljašnjeg okruženja negativno se odražavaju na urbane sisteme, i s tim u vezi nameće se neophodnost utvrđivanja uzroka i

njihovog ublažavanja, kao i predviđanja posledica u cilju očuvanja prvobitnog funkcionalnog stanja sistema.

6.2 Klimatske promene i građena sredina

Klima kao osnovni prirodni resurs ima značajan uticaj na ekosisteme, kao i na stanje i razvoj društva. Pod pojmom klima podrazumeva se srednje stanje atmosfere, odnosno srednje vrednosti klimatskih elemenata poput temperature, vlažnosti, pritiska, padavina, i dr. iznad određene oblasti u dužem vremenskom periodu (30 godina) (Tošić i Unkašević, 2013). Imajući u vidu da takvo stanje održava uravnoteženost geofizičkog sistema, svaka sistematska promena u dugogodišnjoj statistici klimatskih elemenata dovodi do poremećaja sa negativnim efektima, naročito urbanih ekosistema. Stav naučne zajednice je da do klimatskih promena dolazi i usled prirodnih i usled antropogenih delovanja (Lazivić i dr., n.d.; Tošić i Unkašević, 2013). U prirodne uticaje spadaju promena oblika i položaja kontinenata, promena površine i zapremine vodenih površina, promena sastava atmosfere, intenziteta sunčevog zračenja, itd., dok je ljudski faktor odgovoran za emisije štetnih gasova u atmosferu, koje dovode do niza negativnih posledica, što je naročito izraženo poslednjih decenija. Promene koje su u izvesnoj meri pojačane antropogenim delovanjem ogledaju se u porastu temperature vazduha, globalnom otopljanju i porastu nivoa mora i okeana, neravnomernoj raspodeli padavina, promeni brzine vetrova, itd. Ekstremne vremenske prilike otkrivaju ranjivost urbanih sredina na efekte klimatskih promena čije će posledice biti izraženije u godinama koje dolaze. U cilju smanjenja ogromnog ubrzanja klimatskih promena usled ljudskog delovanja, uspostavljen je međunarodno-pravni okvir za globalnu politiku u ovoj oblasti, čiju osnovu čine Okvirna konvencija Ujedinjenih nacija (UN) o promeni klime i Kjoto protokol (*Prvi dvogodišnji ažurirani izveštaj*, 2016; *Prvi izveštaj*, 2010; Todić i Grbić, 2014). Republika Srbija (RS), kao potpisnik ugovora za ne-Aneks I države – države u razvoju, obavezala se da uspostavi stabilnu osnovu za suočavanje sa problemom klimatskih promena na nacionalnom nivou kroz planove, istraživanja i izradu dokumenata za buduće akcije, kao i na to da ovaj problem uključi u nacionalne razvojne politike na što efikasniji način (*Prvi dvogodišnji ažurirani izveštaj*, 2016; *Prvi izveštaj*, 2010).

U pogledu nacionalnih karakteristika (*Prvi dvogodišnji ažurirani izveštaj*, 2016), u Srbiji je klima najvećim delom umereno-kontinentalna, sa manje ili više izraženim lokalnim karakteristikama i postepenim smenama godišnjih doba. Kontinentalni režim padavina odlikuje se većim količinama u toplijoj polovini godine, izuzev jugoistočnog dela gde su izražene padavine u toku jeseni. Pojava snežnog pokrivača karakteristična je za period od novembra do marta, sa mogućnošću pojave i u aprilu i oktobru. Klimatske promene, koje se odvijaju postepeno, kao i nagle, kratkoročne promene vremenskih uslova, već su nastupile na teritoriji

Srbije. U najvećoj meri ove promene se odnose na: porast vrednosti srednje temperature u gotovo svim delovima zemlje (uz predviđanje porasta za 2,8°C prema srednjem scenariju, odnosno za do 3,8°C prema scenariju visokog rasta temperature, do 2100. godine); neravnomernu raspodelu količina padavina, uz blagi porast na najvećem delu teritorije i smanjenje u pojedinim oblastima, usled čega je verovatnija pojava poplava, sa jedne, i sušnih perioda, sa druge strane; sve kraće snežne periode; porast prosečnih i ekstremnih brzina vetrova i dr. (Petrović i dr., 2017; *Prvi dvogodišnji ažurirani izveštaj*, 2016; *Prvi izveštaj*, 2010).

Imajući u vidu kompleksnost ljudskog delovanja koje doprinosi klimatskim promenama, kao i njihove posledice, razvijeni nacionalni dokumenti (*Prvi izveštaj Republike Srbije prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih nacija o promeni klime* i *Prvi dvogodišnji ažurirani izveštaj Republike Srbije prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih nacija o promeni klime*) imaju za cilj da pruže uvid u stanje klimatskih promena i da ukažu na sadašnje i buduće aktivnosti koje bi doprinele smanjenju emisija gasova sa efektom staklene bašte (eng. *Greenhouse Gases – GHG*). Izveštajima Republike Srbije prema Okvirnoj konvenciji UN o promeni klime obuhvaćeni su svi relevantni sektori čijim adekvatnim upravljanjem bi se mogli smanjiti negativni uticaji i posledice, u skladu sa nacionalnim okolnostima i mogućnostima.

Rezultati istraživanja pokazuju da sektor energetike ima najveći udeo u ukupnim emisijama GHG. Prema podacima za 1990. godinu, energetska sektor bio je odgovoran za 77,69% emisija, dok je 1998. godine učešće ovog sektora iznosilo 76,19%, što je u najvećoj meri posledica sagorevanja fosilnih goriva (*Prvi izveštaj*, 2010). Nakon pada potrošnje energije tokom devedesetih godina prošlog veka, koji je prouzrokovan opštom krizom u zemlji usled društveno-političkih okolnosti, dolazi do konstantnog rasta potrošnje, što pokazuju podaci iz 2013. godine kad je zabeležen udeo od 79,4% u ukupnim emisijama GHG, od čega je 94,5% nastalo usled sagorevanja konvencionalnih goriva. Buduće povećanje emisija GHG u okviru energetskog sektora biće pre svega posledica povećanja obima potrošnje energenata. Na osnovu tri utvrđena scenarija: osnovnog, scenarija sa primenom mera i scenarija sa primenom dodatnih mera, do 2020. godine, očekivani udeo energetskog sektora u emisijama GHG biće 81,3% (za osnovni scenario), 80,7% (za scenario sa primenjenim merama) i 80,4% (za scenario sa primenjenim dodatnim merama) (*Prvi dvogodišnji ažurirani izveštaj*, 2016).

Na osnovu prikazanih podataka može se zaključiti da će se i u budućnosti nastaviti trend povećanja potrošnje energije, a time i emisije gasova sa efektom staklene bašte, što će svakako uticati na ubrzanje klimatskih promena. S tim u vezi, najznačajnije buduće mere i aktivnosti odnosiće se na smanjenje potrošnje energije dobijene sagorevanjem fosilnih goriva. Najveći potencijal za smanjenje emisije GHG iz energetskog sektora je u povećanju korišćenja

obnovljivih izvora energije i racionalizaciji korišćenja energije, odnosno u povećanju energetske efikasnosti, kako u proizvodnji energije, tako i u njenoj potrošnji (*Prvi izveštaj*, 2010).

Najveća ograničenja u sprovođenju mera i aktivnosti u sektoru energetike odnose se na finansijska ulaganja i utvrđivanje finansijske opravdanosti za njihovo sprovođenje, naročito u pogledu povećanja korišćenja obnovljivih izvora energije. I pored podsticajnih mera ustanovljenih na nivou države, do masovne primene ovakvih sistema još uvek nije došlo. Pojedine konkretne aktivnosti koje bi obezbedile pretpostavljenu upotrebu obnovljivih izvora energije nemaju potrebnu (finansijsku) podršku za implementaciju (*Prvi dvogodišnji ažurirani izveštaj*, 2016).

U pogledu povećanja energetske efikasnosti, pored predviđenih zakonodavnih i infrastrukturnih mera koje dovode do smanjenja potrošnje finalne energije, neophodno je i da korisnici odgovorno postupaju, što se odnosi na sve vidove racionalizacije potrošnje energije, prevashodno u domaćinstvima, javnom i komercijalnom sektoru. Uloga arhitektonske nauke je od velikog značaja za navedene sektore i ogleda se, pre svega, u unapređenju energetske performansi omotača postojećih objekata sa ciljem ispunjavanja aktuelnih zahteva koji se odnose na smanjenje negativnih uticaja na životnu sredinu i ublažavanje klimatskih promena.

6.3 Utvrđivanje potrebe za povećanjem energetske efikasnosti postojećih objekata

Povećanje energetske efikasnosti u skladu sa ciljevima EU, kao i nacionalnim ciljevima, treba da obuhvati smanjenje potrošnje ograničenih domaćih rezervi fosilnih goriva, poveća energetske nezavisnost, smanji emisije GHG i emisije zagađujućih materija, i da osigura implementaciju ekonomski održivih mera (*Prvi dvogodišnji ažurirani izveštaj*, 2016). Imajući u vidu da sektor domaćinstava i stambenih objekata, kao i sektor javnih i komercijalnih delatnosti, imaju najveće učešće u potrošnji finalne energije u odnosu na sektore industrije i saobraćaja (*Prvi dvogodišnji ažurirani izveštaj*, 2016), neophodno je buduće aktivnije delovanje kako bi se potrošnja energije dodatno smanjila. Pored predviđenih aktivnosti za unapređenje infrastrukture u energetskom sektoru, jedan od načina povećanja energetske efikasnosti objekata (stambenih, javnih i komercijalnih) je sprovođenje aktivnosti za poboljšanje obloga kroz dodatnu termičku izolaciju. To se naročito odnosi na objekte iz perioda masovne (industrijalizovane i industrijske) izgradnje, koji čine znatan udeo u građevinskom fondu. Postizanje smanjenja finalne potrošnje energije dovodi do smanjenja potreba za proizvodnjom energije, a time i do redukcije emisija štetnih gasova.

Imajući u vidu predmet istraživanja, utvrđivanje potrebe za povećanjem energetske efikasnosti postojećeg građevinskog fonda kroz unapređenje termičkih performansi ravnih krovova, kao dela omotača objekta preko kojeg se ostvaruju veoma značajni neželjeni gubici i dobici toplote,

izvršeno je na osnovu analize opštih karakteristika objekata iz perioda masovne izgradnje ravnih krovova i analize regulative od njenog uspostavljanja do važećih propisa.

6.3.1 Karakteristike postojećih objekata

Nakon II svetskog rata nastupio je period ekonomskog prosperiteta koji se ogledao i u intenzivnoj izgradnji širom Evrope, a takođe i na teritoriji Republike Srbije. U uslovima koje je karakterisao najvećim delom uništeni građevinski fond i u okolnostima transformacije društva od pretežno agrarnog u industrijsko, tj. urbano društvo, arhitektonska i građevinska struka su se suočile sa izazovima obnove i proširenja prevashodno stambenih kapaciteta, na šta je moralo da se odgovori u što kraćem vremenskom periodu. Primarni problemi i njihovo rešavanje bili su u vezi sa obezbeđivanjem sanitarnih uslova, osnovnog kvaliteta života, pristupačnih cena stanova, i brze i efikasne izgradnje objekata, pri čemu su zanemarivani ekološki i energetske aspekti. Na nedostatke projektovanja industrijalizovane i industrijske tehnologije građenja ukazala je prva energetska kriza 1973. godine (Jovanović et al., 2012). Ova kriza je pokrenula preispitivanje ispravnosti sprovođenja dotadašnje prakse. Činjenica da su stambeni, javni i komercijalni objekti bili najveći potrošači energije, pored saobraćaja i industrije, podstakla je izrade studija uticaja objekata na životnu sredinu, kao i studija uticaja okruženja na objekte. Međutim, i pored razvoja svesti o negativnim posledicama prekomerne potrošnje energije u eksploataciji objekata, broj sprovedenih istraživanja bio je veoma mali. Razlog tome bilo je potencijalno povećanje cena izgradnje, naročito stambenih objekata, što bi uticalo i na povećanje cena stanova, i produžilo vreme izrade i završetka projekata, a produktivnost je, u to doba, bila glavni prioritet nadležnih institucija.

Tehničke karakteristike projektovanja i tehnologija izgradnje objekata, odnosno nedostaci koji su doprineli povećanoj potrošnji energije prevashodno se odnose na veze između elemenata strukture. Usled neadekvatnog povezivanja elemenata, neposredno nakon izgradnje dolazilo je do pojave toplotnih mostova, što je najviše bilo izraženo u krovnim konstrukcijama (Jovanović et al., 2012). Projektovanje i izvođenje hidroizolacije, naročito u sistemima ravnih krovova, pokazivalo je slabosti već pri prvim padavinama jačeg intenziteta, što je direktno uticalo na energetske performanse objekata. Fasadni paneli nedovoljne ukupne debljine i sa nedovoljnom debljinom (ili čak i nepostojanjem) termoizolacionog sloja, od neodgovarajućih materijala, kao i slabo izolovane spojnice između prozora i panela, doprinosili su ubrzanom propadanju konstrukcija i dodatnoj potrošnji energije za ostvarivanje komfora. Takođe, primena neadekvatnih materijala kod pregrada između grejanog i negrejanog dela unutrašnjeg prostora dovođila je do toplotnih gubitaka unutar samih objekata. Uopšteno govoreći, loše performanse elemenata strukture objekata često predstavljaju posledicu upotrebe materijala koji su razvijani

za neke druge sredine, a čija podobnost za primenu u našim klimatskim uslovima nije bila dovoljno ispitana.

Pored navedenih nedostataka postojećih objekata, koji su se ispoljavali ubrzo nakon izvođenja, u prilog neophodnosti sprovođenja njihovog remodelovanja govori i podatak o pooštrenim aktuelnim propisima toplotne zaštite u odnosu na zahteve iz perioda izgradnje.

6.3.2 Toplotna zaštita ravnih krovova

Analiza nacionalne regulative u oblasti toplotne zaštite, od njenog uspostavljanja do aktuelnih propisa, značajna je za utvrđivanje potencijala za unapređenje postojećih objekata u pogledu smanjenja potrošnje energije za postizanje toplotnog komfora, i odnosi se na ravne krovove.

Imajući u vidu da u prvom periodu masovne produkcije objekata svih namena karakteristike omotača nisu bile uslovljene postizanjem toplotnog komfora, te da su zanemarivana termička svojstva korišćenih materijala, to je rezultiralo neadekvatnom izolovanošću, odnosno znatnom potrošnjom operativne energije.

Prvi elementarni uslovi sa aspekta toplotne zaštite definisani su 1967. godine u okviru *Pravilnika o minimalnim tehničkim uslovima za izgradnju stanova* (1967). Ovim dokumentom je ustanovljena maksimalna dozvoljena vrednost koeficijenta prolaza toplote (k) za obimne zidove, međuspratne konstrukcije i ravne krovove, za tri definisane klimatske zone u okviru kojih je koeficijent za ravne krovove bio isti, uz konstataciju da se prilikom određivanja koeficijenta „mora voditi računa o letnjoj i zimskoj akumulaciji toplote, difuziji pare i o otpornosti konstrukcije i spojeva konstrukcije prema prodiranju vazduha“ (*Pravilnik*, 1967).

Na osnovu prvog *Pravilnika* (1967), kao prelaznog rešenja do uspostavljanja konkretnih tehničkih propisa, 1970. godine donet je *Pravilnik o tehničkim merama i uslovima za toplotnu zaštitu zgrada* (1970) – prvi normativni akt u okviru koga su detaljnije definisani uslovi toplotne zaštite, kao i same mere zaštite. Pored podataka o dozvoljenim vrednostima koeficijenata prolaza toplote za različite elemente, parametri koji su se uzimali u obzir odnosili su se i na spoljašnje projektne temperature po klimatskim zonama i na podatke o relevantnim karakteristikama građevinskih materijala. Maksimalne dozvoljene vrednosti koeficijenta k bile su detaljnije određene, u zavisnosti od karaktera konstrukcije – masivne ili lake, zatim za masivne konstrukcije u odnosu na način grejanja – centralno ili lokalno, a utvrđene su i razlike između vrednosti koju je trebalo zadovoljiti duž čitave površine građevinskog elementa, srednje vrednosti i vrednosti na mestu toplotnog mosta (Radivojević, 2003). Koeficijent k za ravne krovove, kao i u prethodnom *Pravilniku* (1967) imao je istu vrednost za sve tri definisane klimatske zone. Značajno je pomenuti da proračun difuzije vodene pare, koji danas predstavlja

obavezan element termičkog proračuna, nije bio tretiran, kao i da se *Pravilnik* (1970) odnosio samo na uslove zimskog režima.

Prekretnica u tretiranju problema toplotne zaštite objekata bila je 1980. godina, kada je donet *Pravilnik o jugoslovenskim standardima za toplotnu tehniku u građevinarstvu* (1980) koji je činio okosnicu sistema standarda iz ove oblasti uspostavljenih iste godine. Novinu je predstavljao sveobuhvatan način sagledavanja problema termičke zaštite objekata i utvrđivanje neophodnih uslova i metoda relevantnih proračuna. Značajno je istaknuti definisanje načina proračuna i graničnih uslova u pogledu difuzije vodene pare kroz elemente konstrukcije i uključivanje tretmana letnjeg režima u proračun. Ostali parametri koji su bili predmet prethodnog *Pravilnika* (1970), bili su inovirani i dopunjeni. U pogledu koeficijenata prolaza toplote za ravne krovove, vrednosti su bile rigoroznije i, u odnosu na prethodne propise, detaljnije utvrđene za sve tri klimatske zone.

Do prvih izmena i dopuna termičkih propisa došlo je 1987. godine. Suština se ogledala u tome što je proračun, pored provere ispunjenosti minimalne toplotne izolacije konstrukcija, koja je do tada bila jedini uslov, od 1987. godine obuhvatio i određivanje dozvoljenih ukupnih specifičnih toplotnih gubitaka zgrada. Ukupne specifične toplotne gubitke činili su specifični transmisioni gubici, određeni pomoću faktora oblika, i gubici usled prirodne ili veštačke ventilacije objekata. Ovakav pristup termičkom proračunu doprineo je da metode proračuna koeficijenta prolaza toplote budu detaljnije definisane. Posledica uvođenja obaveznog proračuna specifičnih toplotnih gubitaka bila je izmena referentnih vrednosti koeficijenata k koje više nisu zavisile od načina grejanja prostorija, niti domena primene (Radivojević, 2003).

U periodu od 1990. do 1998. godine došlo je do niza revizija standarda. Značajnija promena odnosila se na proračun specifičnih toplotnih gubitaka zgrada, koji više nije uzimao u obzir ventilacione gubitke, već su oni postali predmet posebnog standarda. Vrednosti koeficijenta prolaza toplote bile su u izvesnoj meri ponovo korigovane i izvršena je detaljnija klasifikacija elemenata konstrukcija koji podležu obaveznoj proverbi ovog parametra u odnosu na njihov položaj u objektu, uz definisanje specifičnih uslova i zahteva u pogledu vrste grejanja različite od kontinualnog centralnog (Radivojević, 2003). Najveća promena odnosila se na uvođenje novog koraka u okviru termičkog proračuna. Dozvoljeni gubici koji su se određivali za objekat u celini, od tada su računati za karakteristične prostorije u objektu. Iako je bilo polemika u vezi sa implementacijom ovog propisa, tehnika proračuna se bazirala na prethodnoj verziji standarda, uz poštovanje korigovanih uslova i mera toplotne zaštite koji su uspostavljeni standardom iz 1998. godine (Radivojević, 2003).

Neophodnost smanjenja negativnih uticaja objekata na životnu sredinu i povećanja energetske efikasnosti, odnosno neophodnost usaglašavanja nacionalne regulative sa evropskim zahtevima,

rezultirale su donošenjem *Pravilnika o energetskej efikasnosti zgrada* (2011) i *Pravilnika o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetskim svojstvima zgrada* (2011) i njegove revizije godinu dana kasnije (2012). Pored obaveze ispunjavanja uslova koji se tiču izgradnje novih objekata, uspostavljeni su i (blaži) kriterijumi za postojeće objekte (nakon renoviranja, sanacija, rekonstrukcija) (*Pravilnik o energetskej efikasnosti zgrada*, 2011), za razliku od prethodnih termičkih propisa koji su za ciljno polje imali izgradnju novih objekata (Popović i Ignjatović, 2003). Shodno činjenici da toplotna zaštita objekata nije tretirana do prvih propisa iz ove oblasti 1967. godine, kao i da objekti izgrađeni nakon toga, u drugom, najintenzivnijem periodu masovne izgradnje sedamdesetih godina, ne ispunjavaju savremene zahteve, može se zaključiti da postoje i jasna potreba i veliki potencijal za unapređenje termičkih performansi postojećeg građevinskog fonda. U prilog tome govori podatak da je u Srbiji, pre supanja na snagu aktuelnih propisa (oktobra 2012. godine), prosečna potrošnja energije u stambenom sektoru iznosila preko 150 kWh/m^2 na godišnjem nivou, dok je taj podatak za razvijene evropske države približno 50 kWh/m^2 (Nikolić, 2015).

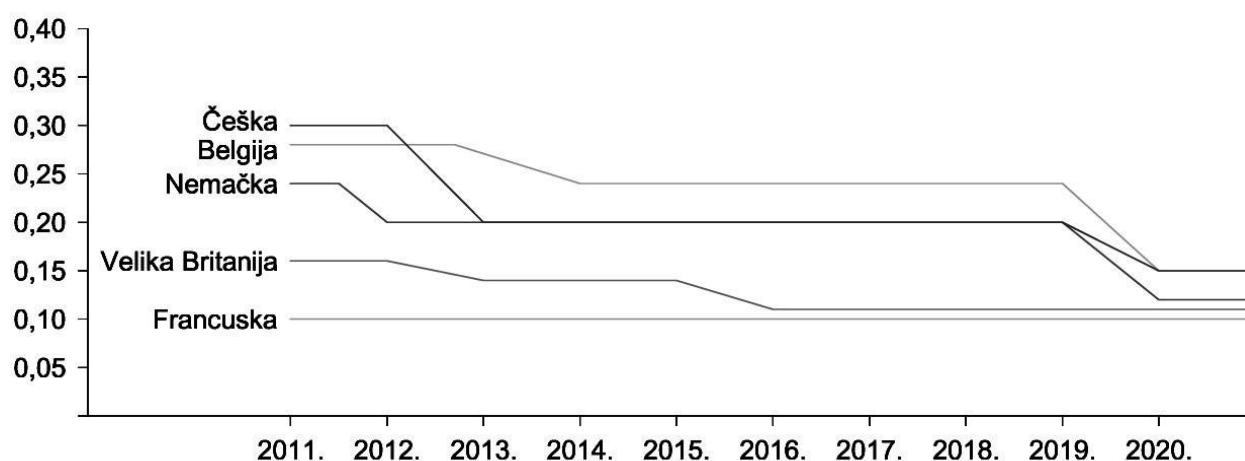
Kako bi se bolje sagledao razvoj regulative u oblasti toplotne zaštite, konkretno u pogledu ravnih krovova koji predstavljaju predmet istraživanja, u tabeli 6.2 dat je pregled dopuštenih vrednosti koeficijenta prolaza toplote za ravne krovove iznad grejanog prostora. Razmatranje dopuštenih vrednosti koeficijenta prolaza toplote opravdava se činjenicom da je to prvi i osnovni element uveden u sistem termičkog proračuna i da je jedini parametar koji se dosledno može pratiti od uspostavljanja prvih propisa do savremenih tendencija.

Tabela 6.2. Uporedni pregled najvećih dozvoljenih vrednosti koeficijenta prolaza toplote za ravne krovove iznad grejanog prostora

Dokument	Godina	Oznaka i jedinica mere	Domen primene S – svako mesto, SR – srednja vrednost, TM – toplotni most	Klimatska zona		
				I	II	III
Pravilnik o minimalnim tehničkim uslovima za izgradnju stanova	1967.	$k \text{ W/m}^2\text{K}$ ($\text{Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$)	S	0,96 (1,12)		
Pravilnik o tehničkim merama i uslovima za toplotnu zaštitu zgrada	1970.		SR	0,69 (0,80)		
			TM	1,12 (1,30)		
Pravilnik o jugoslovenskim standardima za toplotnu tehniku u građevinarstvu Standard JUS U.J5.600	1980.		SR	0,78	0,65	0,55
			TM	1,00	0,83	0,72
Standard JUS U.J5.600	1987.		S	0,75	0,65	0,55
Standard JUS U.J5.600	1998.		S	0,50	0,45	0,40
Pravilnik o energetskej efikasnosti zgrada	2011.	$U_{\max} \text{ W/m}^2\text{K}$	S	0,15 novi objekat		
				0,20 postojeći objekat		

Na osnovu podataka prikazanih u tabeli može se uvideti da su se svakim novim propisom o toplotnoj zaštiti objekata dozvoljene vrednosti koeficijenta prolaza toplote smanjivale, odnosno da je kriterijum pooštavan. Uzimajući u obzir aktuelnu regulativu i propisane najveće dozvoljene vrednosti koeficijenta za sve elemente/sisteme termičkog omotača zgrade (*Pravilnik o energetskej efikasnosti zgrada*, 2011), zaključuje se da su krovni sistemi najrigoroznije tretirani. Činjenice da su toplotni gubici kroz krovnu konstrukciju jedni od najvećih (Jovanović i dr., 2012; Kuzmanović i Prolić, 2013), kao i da su najoštriji kriterijumi propisani upravo za krovove, govore u prilog opravdanosti istraživanja mogućnosti za unapređenje karakteristika ravnih krovova postojećih objekata.

Uspostavljajući nacionalnu regulativu po ugledu na evropske države, pre svega članice Evropske unije, Republika Srbija je prihvatila jednu od najrigoroznijih najvećih dozvoljenih vrednosti koeficijenta prolaza toplote za krovne sisteme (ravne i kose krovove iznad grejanih prostorija). Na slici 6.1 dat je uporedni prikaz ovog parametra za pojedine evropske države.



Slika 6.1. Uporedni prikaz dozvoljenih vrednosti koeficijenta prolaza toplote za krovne sisteme u pojedinim evropskim državama (Kuzmanović i Prolić, 2013)

Na osnovu opšteg zaključka da termički omotači objekata izgrađenih pre 2012. godine ne ispunjavaju aktuelne zahteve toplotne zaštite, što se odnosi i na sisteme ravnih krovova, u prilog čemu govori i podatak da je skoro 98% ravnih krovova stambenog fonda neadekvatno izolovano (Nikolić, 2015), postavlja se pitanje načina dostizanja/povećanja energetske efikasnosti. To je najjednostavnije izvršiti remodelovanjem postojećeg sistema ravnog krova povećanjem debljine termoizolacionog sloja, odnosno inkorporiranjem termoizolacije u sisteme izgrađene pre donošenja prvih propisa. Potrebna debljina sloja zavisi od vrste termoizolacionog materijala, tj. od higrotermičkih osobina (gustine, specifične toplote, toplotne provodljivosti i relativnog koeficijenta difuzije vodene pare). Iskustveno, te vrednosti se kreću oko 20 – 25 cm (Kostić i dr.,

2013; Kuzmanović i Prolić, 2013; Nikolić, 2015), na primer, za primenu kamene mineralne vune.

Uzimajući u obzir istraživanje zelenih krovova kao mere unapređenja postojećih objekata sa aspekta održivosti i potvrdu njihove uloge u povećanju energetske efikasnosti shodno termoizolacionim svojstvima, može se konstatovati da bi u zavisnosti od primenjenog tipa zelenog krovnog sistema dodatni sloj termoizolacije bio smanjen ili ne bi bio potreban. U slučaju da karakteristike zelenog krova ispunjavaju uslove toplotne zaštite, bilo bi dovoljno samo implementirati zeleni krov preko postojećeg sistema, naravno uz prethodnu analizu završnih slojeva i proveru funkcionalnosti postojećih elemenata strukture i nosivosti konstrukcije usled promene opterećenja.

6.4 Potencijalni doprinos zelenih krovova postizanju održivosti i otpornosti urbanih sredina na klimatske promene

Konstantan porast emisija gasova sa efektom staklene bašte, u najvećoj meri kao posledica sagorevanja fosilnih goriva za produkciju energije, smatra se jednim od glavnih uzroka ubzanja klimatskih promena. Planiranje i sprovođenje aktivnosti za smanjenje emisija GHG naročito se odnosi na CO₂ koji čini najveći udeo, od oko dve trećine, u gasovima sa efektom staklene bašte na globalnom nivou ("Global Emissions", 2017). Urbane sredine, koje su prevashodno odgovorne za stvaranje ovog efekta, takođe su najviše pogođene klimatskim promenama. Jedina prirodna mera za smanjenje koncentracije CO₂, i to bez negativnih posledica na životnu sredinu, jeste očuvanje, unapređenje i povećanje urbanog zelenila. Na osnovu analiza brojnih benefita koji se ostvaruju primenom zelenih krovova, kao sistema integrisanog zelenila u objektima, naročito u gusto izgrađenim gradskim sredinama, prepoznata je i njihova uloga u smanjenju koncentracije CO₂. Zeleni krovovi doprinose smanjenju koncentracije CO₂ na indirektan i direktan način.

Indirektan način smanjenja koncentracije CO₂ podrazumeva da se usled termoizolacionih svojstava zelenih krovovnih sistema smanjuje potreba za potrošnjom, a time i za proizvodnjom energije potrebne za postizanje toplotnog komfora. S obzirom na činjenice da je sektor zgradarstva odgovoran za potrošnju 40% energije u Evropi, pri čemu se emituje 36% ukupne količine CO₂ na godišnjem nivou (Amasyali & El-Gohary, 2018), kao i da se specifične emisije CO₂, u zavisnosti od vrste korišćenih energenata po jedinici energije, kreću od 0,20 do 0,53 kg/kWh (*Pravilnik o energetskej efikasnosti zgrada*, 2011), utoliko je značajno aktivnije delovanje na smanjenju potrošnje operativne energije objekata. To se, između ostalog, može postići poboljšanjem termičkih performansi omotača, pri čemu se koncept zelenih krovova predlaže kao mera unapređenja krovovnih sistema.

Direktan način smanjenja koncentracije CO₂ primenom zelenih krovova, koji se uopšteno odnosi na vegetaciju, je apsorpcija CO₂ od strane biljaka i podloge (tla/supstrata). Tokom procesa fotosinteze dolazi do sekvstriranja CO₂ kada se ugljenik (C) skladišti u nadzemnim i podzemnim delovima biljaka, i u podlozi (Besir & Cuce, 2018; Li & Babcock, 2010). Sposobnost vegetacije da apsorbuje emitovani CO₂ zavisi od brojnih parametara. Iako se isti procesi odigravaju tokom životnog ciklusa vegetacije na terestrijalnom nivou i u okviru projektovanih živih sistema (zelenih krovova) u urbanim sredinama, primarna razlika u potencijalu apsorpcije CO₂ odnosi se na fizička i hemijska svojstva podloga – zemljišta i supstrata. Istraživanja na temu biosekvstriranja ugljenika su u najvećem broju sprovedena za potpuno prirodna okruženja i poljoprivredna područja (kultivisano zemljište), dok je veoma mali broj u vezi sa potencijalom urbanog zelenila (Rowe, 2017). Razmatrajući zelene krovove, parametri koji utiču na njihovu efektivnost za navedenu namenu, odnose se prevashodno na karakteristike samog sistema u pogledu primenjenih biljnih vrsta, pokrivenosti površine biljnim materijalom, starosti zelenog krova, debljine supstrata, sastava supstrata, održavanja (fertilizacije, navodnjavanja, itd.), kao i na klimatske i geografske uslove konkretne lokacije.

Uzimajući u obzir jednu od najuopštenijih podela vegetacije na visoko, srednje i nisko zelenilo, najveći potencijal za apsorbovanjem CO₂ ima visoko zelenilo, zatim srednje i na kraju nisko zelenilo. Razlog tome ogleda se u količini biomase – nadzemnih i podzemnih delova biljaka, što je najčešće praćeno, odnosno u skladu je sa vrednostima indeksa lisne površine. Diverzitet biljnih vrsta povećava sposobnost apsorpcije CO₂ u odnosu na primenu monokultura (Tilman et al., 2006). Što se tiče pokrivenosti površine zelenog krova biljnim materijalom, veća pokrivenost doprinosi apsorbovanjem veće količine CO₂, shodno činjenici da je potencijal podloge znatno manji (Getter et al., 2009b). U prilog tome govore rezultati istraživanja količine sekvstriranog ugljenika na terestrijalnom nivou – u kultivisanom zemljištu pod travnatim biljnim materijalom čiji je udeo 2% – 6% ukupne sekvstracije ugljenika od strane biljaka i podloge (Jones et al., 2005), što je u skladu sa rezultatima istraživanja sprovedenog za ekstenzivni zeleni krov sa sedumskim biljkama (4,6%) (Getter et al., 2009b). U pogledu starosti zelenog krova, veći potencijal za smanjenje koncentracije CO₂ imaju već formirani zeleni krovovi (Getter et al., 2009b), odnosno veći potencijal se ostvaruje nakon okvirnog perioda 1 – 3 godine od uspostavljanja zelenog krovnog sistema. Sastav supstrata, kao i debljina sloja, imaju značajnu ulogu u efektivnosti zelenog krova. Visok sadržaj organskih materija u podlozi povećava sposobnost apsorpcije CO₂, dok se sa druge strane za podlogu/supstrat zelenih krovova predlaže minimalna, odnosno samo neophodna količina organskih materija prevashodno zbog smanjenja mogućnosti razvoja korova, a time i formiranja željenog zelenog krovnog sistema (Vijayaraghavan, 2016). S tim u vezi, u odnosu na postavljene ciljeve zelenog krova, utvrđuje se

sastav supstrata, tj. količina organskog sadržaja. Primena zelenih krovova, a naročito ekstenzivnih sistema, takođe ima ograničenja, vezano za debljinu sloja supstrata, u pogledu efektivnosti sekvestriranja ugljenika. U prilog tome govori podatak istraživanja (Lal et al., 2015) da se više od 50% ugljenika apsorbovanog u podlozi nalazi na dubini većoj od 30 cm, pri debljini podloge od 1 m. Periodična fertilizacija, navodnjavanje, čišćenje od korova, itd. u kontekstu održavanja i upravljanja zelenim krovom, omogućavaju pravilan rast i razvoj vegetacije, a time i unapređuju sposobnosti apsorbovanja CO₂. U pogledu klimatskih uslova, potencijal apsorpcije CO₂ veći je u oblastima sa toplom i vlažnom klimom.

Analizom relevantnih istraživanja došlo se do zaključka da je opseg rezultata koji se odnose na količinu sekvestriranog ugljenika u zelenim krovovima veliki, što upravo predstavlja posledicu mnogobrojnih uticaja na njihovu efektivnost. Getter i saradnici (Getter et al., 2009b) su proučavali uticaj debljine supstrata i starosti zelenih krovova na količine sekvestriranog ugljenika. U uslovima umerene klime (Mičigen i Merilend, SAD) izmerene su količine sekvestriranog ugljenika u nadzemnoj biomasi 12 ekstenzivnih zelenih krovova čije su vegetacione slojeve činile sedumske biljke (više vrsta). Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 6.3 može se uvideti zavisnost debljine supstrata i količine sekvestriranog ugljenika, kao i zavisnost starosti zelenih krovova i količine sekvestriranog ugljenika. Pojedina odstupanja u navedenim opštim zaključcima, kao i veliki opseg dobijenih rezultata (0,073 – 0,276 kg C/m² zelenog krova u toku jedne sezone) autori su opravdali činjenicama da je na potencijal sekvestriranja ugljenika verovatno uticala kombinacija različitih vrsta sedumskih biljaka i različito upravljanje zelenim krovovima (Getter et al., 2009b).

Tabela 6.3. Količine sekvestriranog ugljenika u nadzemnoj biomasi ekstenzivnih zelenih krovova sa sedumskim biljkama (Getter et al., 2009b)

Klima i lokacija	Debljina supstrata (cm)	Vegetacioni sloj	Starost zelenog krova (meseći)	Količina sekvestriranog ugljenika (kg C/m ²)
Umerena klima, Mičigen (SAD)	2,5	4 vrste seduma	15	0,097
	2,5	4 vrste seduma	39	0,144
	2,5	4 vrste seduma	48	0,196
	3,2	4 vrste seduma	15	0,127
	4,0	5 vrsta seduma	28	0,149
	5,0	4 vrste seduma	39	0,159
	6,0	3 vrste seduma	52	0,224
	7,5	5 vrsta seduma	39	0,202
Umerena klima, Merilend (SAD)	6,4	6 vrsta seduma	48	0,276
	7,0	6 vrsta seduma	12	0,073
	7,1	6 vrsta seduma	53	0,189
	10,8	3 vrste seduma	4	0,112
Srednja vrednost				0,162

U drugom istraživanju (Getter et al., 2009b), u oblasti umerene klime (Mičigen, SAD) izvršeno je kompletno merenje koje se odnosi na količine sekvestriranog ugljenika u nadzemnoj i podzemnoj biomasi, kao i u supstratu, za ekstenzivni zeleni krov sa sedumskim biljkama i debljinom supstrata od 6 cm. Ukupna količina sekvestriranog ugljenika bila je 0,375 kg C/m² zelenog krova (0,168 kg C/m² nadzemnog dela biomase; 0,107 kg C/m² podzemnog dela biomase; i 0,100 kg C/m² supstrata). Istraživanje sprovedeno na teritoriji Evrope, u Berlinu (Nemačka), u uslovima umerene klime, na ekstenzivnom zelenom krovu debljine supstrata 9 cm sa kombinacijom sedumskih biljaka, pokazuje da je količina sekvestriranog ugljenika u nadzemnom delu biomase 0,085 kg C/m² zelenog krova (Heusinger & Weber, 2017). Uzimajući u obzir da je pokrivenost zelenilom 40% ukupne površine zelenog krova, predviđeno je da bi ta vrednost bila 0,212 kg C/m² zelenog krova u uslovima potpune pokrivenosti. Autori navode da su dobijeni rezultati u opsegu srednjih vrednosti količina sekvestriranog ugljenika (0,150 ± 0,200 kg C/m² godišnje) travnatih površina na terestrijalnom nivou za područje Evrope (Heusinger & Weber, 2017). U uslovima umerene (oceanske) klime u Vankuveru (Kanada) sprovedeno je istraživanje potencijala ekstenzivnog zelenog krova sa sedumskim biljkama za sekvestriranje ugljenika (Skabelund et al., 2015). Izmerena količina sekvestriranog ugljenika u nadzemnom delu biomase bila je 0,440 kg C/m² zelenog krova, na godišnjem nivou. Blago odstupanje od rezultata prethodno navedenih istraživanja može se opravdati nedostatkom neophodnih podataka za analizu, koji se odnose na karakteristike zelenog krova i odlikama konkretnih klimatskih uslova. Značajnija odstupanja mogu se uočiti u istraživanju koje se odnosi na kompletna merenja sekvestriranog ugljenika, u biomasi i u supstratu ekstenzivnih zelenih krovova, za oblast umerene klime (Mičigen, SAD) (Whittinghill et al., 2014). Izmerene količine sekvestriranog ugljenika u zelenim krovovima, debljina supstrata 10,5 cm i vegetacionim slojevima koje čine sedumske biljke (prvi zeleni krov) i perene (drugi zeleni krov), imaju vrednosti 4,65 kg C/m², odnosno 5,64 kg C/m² zelenog krova. Upoređivanjem navedenih rezultata sa vrednošću 0,375 kg C/m² (Getter et al., 2009b) dobijenom u istom okruženju i sa sličnim karakteristikama supstrata (izuzev debljine) i vegetacionog sloja (u slučaju prvog zelenog krova) zapaža se veliko odstupanje. Kao razlog tome, autori (Whittinghill et al., 2014) su istakli značaj debljine supstrata za sposobnost sekvestriranja ugljenika (10,5 cm u poređenju sa 6 cm) i navodnjavanja, odnosno vlažnosti sredine, imajući u vidu da u slučaju prvog istraživanja (Getter et al., 2009b) ekstenzivni zeleni krovovi sa sedumskim biljkama nisu bili zalivani. Uticaj klimatskih uslova na efektivnost zelenih krovova u pogledu sekvestriranja ugljenika potvrđen je istraživanjem u Čengduu (Kina), oblasti subtropske klime (Luo et al., 2015). Analizom potencijala različitih biljnih vrsta za navedenu namenu zelenog krova, došlo se do rezultata koji su u opsegu 4,73 – 7,11 kg C/m² na godišnjem nivou. Istraživanje se odnosilo na zelene krovove čija je debljina supstrata bila 20 cm

– 30 cm u svim slučajevima, i primenu tri vrste srednjeg zelenila: *Neottia auriculata*, *Liriope spicata* i *Ligustrum vicaryi* (Luo et al., 2015). U zavisnosti od debljine i sastava supstrata, vrednosti sekvestriranog ugljenika su se za svaku biljnu vrstu kretale u rangu: 4,73 – 4,85 kg C/m² (*Neottia auriculata*); 4,77 – 4,85 kg C/m² (*Liriope spicata*); i 7,03 – 7,11 kg C/m² (*Ligustrum vicaryi*), na gosišnjem nivou.

Iako sposobnost zelenih krovova da apsorbuju emitovani CO₂, odnosno sekvestriraju ugljenik, kao što je navedeno zavisi od brojnih parametara, prikazane vrednosti mogu se smatrati merodavnim za procenu količina za slične zelene krovne sisteme i klimatske uslove, u nedostatku većeg broja istraživanja, a naročito kompletnih istraživanja koja podrazumevaju sveobuhvatna i višegodišnja merenja.

Imajući u vidu pretežnu primenu ekstenzivnih zelenih krovova, odnosno niskog zelenila, čije su sposobnosti za apsorbovanjem CO₂ manje u odnosu na srednje i visoko zelenilo, može se izvesti zaključak da bi značajno smanjenje koncentracije CO₂ u urbanim sredinama bilo postignuto ukoliko bi se zeleni krovovi primenili u velikoj meri, za šta postoji neosporan potencijal, usled činjenice da krovovi čine 20 – 25% urbanih sredina (Besir & Cuce, 2018; Susca et al., 2011).

7. POTENCIJAL ANALITIČKOG HIJERARHIJSKOG PROCESA KAO METODE VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE ZA PROCENU PODOBNOSTI PRIMENE ZELENIH KROVOVA

7.1 Višekriterijumska analiza

Shodno osnovnom cilju naučnog istraživanja, koji se odnosi na razvoj integrativnog modela za podršku odlučivanju pri odabiru načina unapređenja konstrukcije ravnih krovova postojećih objekata, ukazano je na postojanje i razmatranje alternativnih izbora, odnosno na donošenje odluka. Donošenje odluka, tj. odlučivanje je značajan aspekt upravljanja procesima i sistemima u okviru kojeg su identifikovanje i izbor alternativa zasnovani na vrednostima i preferencijama donosioca odluke.

Višekriterijumska analiza predstavlja alat za donošenje odluka, razvijen za kompleksne višekriterijumske probleme koji se baziraju na kvantitativnim i/ili kvalitativnim vrednostima (Agarski, 2014). U cilju odabira optimalnog rešenja, neophodno je da sve utvrđene alternative imaju zajedničke kriterijume, odnosno da se upoređuju na osnovu zajedničkog seta vrednosti. Prilikom donošenja odluka na osnovu višekriterijumske analize potrebno je uzeti u obzir činjenicu da uglavnom ne postoji jedno univerzalno optimalno rešenje (alternativa). Razlog tome može biti postojanje „bolje“ alternative koja nije uzeta u obzir, nedostatak informacija potrebnih za definisanje drugih relevantnih kriterijuma ili priroda ustanovljenih kriterijuma koji su u najvećem broju slučajeva konfliktni (Agarski, 2014; Majumder, 2015). Problem koji se odnosi na razmatranje kriterijuma koji su konfliktni prevazilazi se tako što donosilac odluke postavi svoje preferencije na konzistentan način u cilju razlikovanja kvaliteta rešenja. Uloga višekriterijumske analize nije da zameni donosioca odluke, već da pruži podršku pri odlučivanju. Termini koji su još u upotrebi, a odnose se na višekriterijumsku analizu su višekriterijumsko ili multikriterijumsko donošenje odluka, odlučivanje, vrednovanje ili optimizacija (Agarski, 2014). Značaj primene višekriterijumske analize ogleda se u činjenici da je to jedna od najčešće korišćenih metodologija odlučivanja u mnogim oblastima tehničkih i društvenih nauka, kao što su: energetika, zaštita životne sredine i održivost, ekonomija, matematika, statistika, informacione tehnologije, sociologija, psihologija, filozofija, i mnoge druge (Agarski, 2014; Mardani et al., 2015). S obzirom na činjenicu da višekriterijumska analiza obuhvata veliki broj tehnika koje se razlikuju po načinu pristupa problemu, ne postoji jedinstveno definisana metodologija koja se može primeniti „korak po korak“ od početka do kraja procesa donošenja odluke (Mardani et al., 2015). S tim u vezi, na osnovu relevantnih istraživanja utvrđene su opšte faze višekriterijumske analize, koje se odnose na: 1) definisanje cilja, kriterijuma i alternativa; 2) formiranje matrice odlučivanja; 3) dodeljivanje težinskih faktora kriterijumima; 4) primenu

metode/metoda višekriterijumske analize; i 5) dobijanje vrednosti (ranga) alternativa (Agarski, 2014).

Metode višekriterijumske analize koriste se za identifikovanje optimalne alternative, rangiranje alternativa, dobijanje određenog broja alternativa ili za razlikovanje prihvatljivih od neprihvatljivih rešenja (Agarski, 2014). U pogledu klasifikacije, metode višekriterijumske analize ili višekriterijumskog odlučivanja (eng. *Multi Criteria Decision Making - MCDM*) mogu se podeliti na različite načine. Jedna od opštih klasifikacija obuhvata dve kategorije: višeatributivno odlučivanje (eng. *Multiple Attribute Decision Making - MADM*) i višeciljno odlučivanje (eng. *Multiple Objective Decision Making - MODM*) (Agarski, 2014; Kumar et al., 2017; Luković, 2016; Mardani et al., 2015).

Višeatributivno odlučivanje se odnosi na izbor najprihvatljivije alternative iz skupa alternativa ustanovljenih na osnovu definisanih kriterijuma. Kod višeatributivnog odlučivanja skup alternativa je diskretan, unapred određen i konačan, pri čemu ograničenja nisu eksplicitno definisana (Luković, 2016). Problemi odlučivanja se uobičajeno predstavljaju matricnom formom, odnosno matricom odlučivanja. U metode višeatributivnog odlučivanja spadaju: metode korisnosti (eng. *Utility Methods*), metode rangiranja (eng. *Outranking Methods*), metode kompromisa ili metode idealne tačke, i druge metode (Agarski, 2014). U pogledu metoda korisnosti izdvajaju se: Metoda aditivnih težinskih faktora (eng. *Simple Additive Weight – SAW / Weighted Sum Model - WSM*), SMART metoda (eng. *Simple Multiattribute Rating Technique*), Analitički hijerarhijski proces (eng. *Analytic Hierarchy Process - AHP*), Analitički mrežni proces (eng. *Analytic Network Process - ANP*), Metoda produktivnih težinskih faktora (eng. *Simple Product Weighting – SPW / Weighted Product Model - WPM*), MACBETH metoda (eng. *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*), i druge. Metode rangiranja (ili metode preferencija) karakteriše redosled alternativa koji se generiše po prioritetu tako da mera saglasnosti bude zadovoljena na najbolji način. Logika vrednovanja je takva da alternativa sa dovoljno visokim rangovima po više kriterijuma bude i konačno visoko rangirana (Agarski, 2014). Primeri metoda rangiranja su ELECTRE metoda (eng. *Elimination and Choice Expressing Reality*), PROMETHEE metoda (eng. *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*), i druge. Metode kompromisa karakteriše definisanje referentnih vrednosti, odnosno idealnih tačaka, u odnosu na koje se porede alternative (Agarski, 2014). Primeri metoda kompromisa su VIKOR metoda (Višekriterijumska optimizacija i kompromisno rešenje), TOPSIS metoda (eng. *Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution*), i druge.

Višeciljno odlučivanje se odnosi na izbor skupa najboljih alternativa umesto jedne opcije. U odnosu na višeatributivno odlučivanje, kod višeciljnog odlučivanja se diskretno naglašava skup

funkcija cilja (dve ili više funkcija) nad definisanim skupom ograničenja (Agarski, 2014). Višeciljno odlučivanje, koje je definisano analitičkim oblikom svakog kriterijuma pojedinačno, karakteriše prevođenje funkcija cilja u problem jednokriterijumskog odlučivanja određenim matematičkim aparatom, nakon čega se problem rešava standardnom metodom jednokriterijumskog linearnog programiranja i najčešće simpleks procedurom (Agarski, 2014). Značajno je pomenuti da u pojedinim realnim slučajevima dolazi do određene neizvesnosti u odlučivanju. Tada se koristi takozvano fazi višekriterijumsko odlučivanje (eng. *Fuzzy Multi Criteria Decision Making - FMCDM*). Neizvesnost se može javiti usled nedostatka podataka, što je posledica nepotpunih ili nedostupnih informacija, ili može biti neizvesnost subjektivne procene zbog nesigurnosti donosioca odluka. Uvođenje neodređenosti ili tolerancije u proces odlučivanja je omogućeno primenom rasplnutih (*fuzzy*) brojeva (Luković, 2016).

7.2 Analitički hijerarhijski proces – AHP

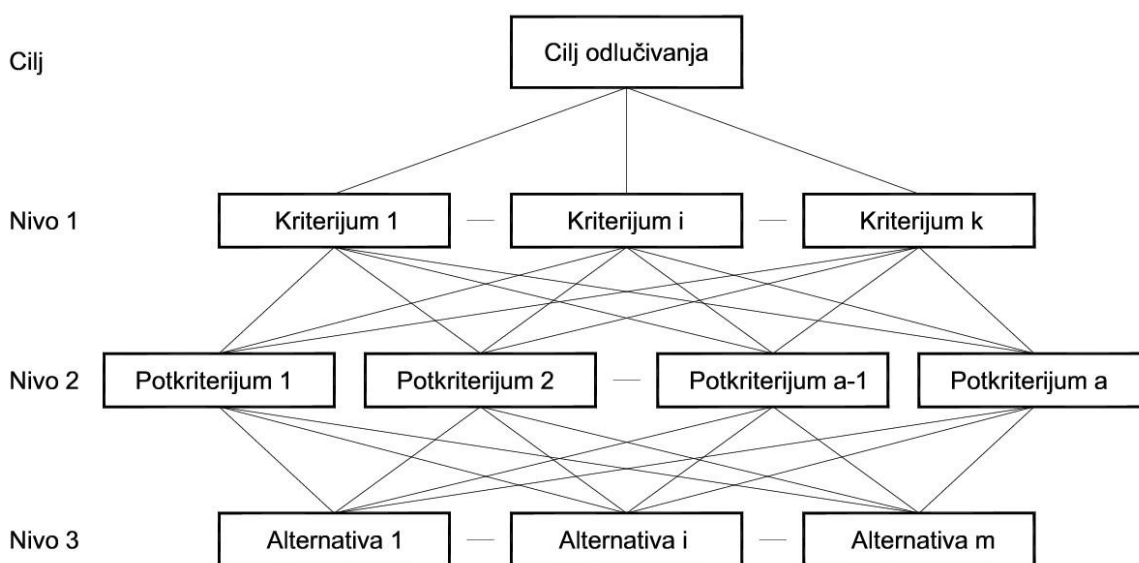
Analitički hijerarhijski proces (eng. *Analytic Hierarchy Process - AHP*) predstavlja jednu od najpoznatijih i najčešće korišćenih metoda višekriterijumske analize za pružanje pomoći donosiocima odluka u rešavanju širokog spektra problema u različitim naučnim oblastima i drugim oblastima ljudskih potreba i interesovanja (Agarski, 2014; Bajrami, 2014; Mardani et al., 2015; Xu & Chan, 2013). Autor ideje i matematičke postavke AHP metode je Tomas Sati (*Thomas Saaty*) koji je ovaj pristup rešavanju problema razvijao sedamdesetih godina prošlog veka (Saaty, 1980). Osnovni principi na kojima se zasniva AHP metoda su sastavljanje hijerarhije, postavljanje prioriteta i provera konzistentnosti. Ova metoda omogućava donosiocu odluke da kompleksne probleme strukturira u formi jednostavne hijerarhije i da na taj način evaluira veliki broj kvantitativnih i kvalitativnih faktora na sistemski način. Drugim rečima, osnovna ideja AHP metode je dekompozicija kompleksnog problema i naknadno agregiranje rešenja svih potproblema u jedinstveni zaključak. Postavljanje prioriteta, odnosno poređenje kriterijuma vrši se na osnovu apsolutne skale koja pruža mogućnosti donosiocu odluke da inkorporira subjektivnost, tj. svoje znanje i iskustvo na intuitivan način. Analitički hijerarhijski proces spada u popularne metode usled sposobnosti identifikacije i analize nekonzistentnosti/nedoslednosti donosioca odluke u procesu rasuđivanja i vrednovanja elemenata hijerarhije (Srđević i Jandrić, 2000). Proces realizacije AHP metode obuhvata četiri osnovne faze:

- Strukturiranje problema odlučivanja u hijerarhijski model, uz definisanje cilja, kriterijuma (potkriterijuma) i alternativa;

- Poređenje elemenata odlučivanja u parovima na svakom nivou hijerarhijske strukture i formiranje matrice odlučivanja;
- Određivanje težinskih faktora elemenata odlučivanja procenom relativnih važnosti svakog od njih za odgovarajući nivo hijerarhijske strukture problema; i
- Određivanje konačnog rešenja problema – optimalnog rešenja u odnosu na postavljeni cilj agregacijom težinskih faktora/lokalnih prioriteta (Bajrami, 2014; Barković, 2009; Čupić i Suknović, 2010; Luković, 2016; “MCDM Methods”, n.d.).

1. faza – Strukturiranje problema odlučivanja u hijerarhijski model

U okviru prve faze realizacije AHP metode problem odlučivanja se strukturira i slaže u hijerarhiju na osnovu svojih sastavnih delova: ciljeva, kriterijuma, potkriterijuma i alternativa. Uzimajući u obzir definisanje jednog cilja, on se postavlja na vrh hijerarhije, nakon čega se na sledećem nivou nalaze kriterijumi koji direktno utiču na clji, zatim slede potkriterijumi i na poslednjem nivou hijerarhijske strukture postavljaju se alternative. Ukoliko više donosioca odluka rešava dati problem, nivo donosioca odluke se uvodi u strukturu i može se postaviti ispod nivoa cilja. Struktura AHP modela može sadržati više srednjih nivoa, između cilja odlučivanja i alternativa, pored najčešće postavljenih kriterijuma i potkriterijuma. Takođe, hijerarhija ne mora biti kompletna, odnosno element na nekom nivou ne mora biti kriterijum za sve elemente u podnivou (Agarski, 2014; Srđević i Jandrić, 2000). Na slici 7.1 prikazan je primer kompletne hijerarhijske strukture koja obuhvata cilj, kriterijume, potkriterijume (jedan nivo potkriterijuma) i alternative, i odnosi se na jednog donosioca odluke.



Slika 7.1. Primer hijerarhijske strukture problema u AHP metodi

2. faza - Poređenje elemenata odlučivanja i formiranje matrice odlučivanja

Druga faza rešavanja problema odnosi se na međusobno poređenje (poređenje u parovima) elemenata odlučivanja na određenom nivou hijerarhije u odnosu na elemente koji se nalaze na neposredno višem nivou. Tako na primer u slučaju hijerarhije sa tri nivoa – cilj, kriterijumi i alternative, najpre se kriterijumi upoređuju u paru u odnosu na cilj, da bi se odredio njihov međusobni značaj, a zatim se alternative upoređuju u paru u odnosu na svaki kriterijum. Preferencije donosioca odluke izražavaju se na osnovu Satijeve skale (tab. 7.1), transformisanjem odluka u numeričke vrednosti. Satijevom skalom definisane su osnovne vrednosti, međuvrednosti i recipročne vrednosti, u slučaju kad je jedan element inferioran u odnosu na drugi sa kojom se poredi u paru. Isti značaj elemenata koji se poređuju u paru označava se ocenom 1, dok je apsolutna dominantnost jednog u odnosu na drugi element izražena ocenom 9.

Tabela 7.1. Satijeva skala relativnog značaja (Saaty, 2008)

Intenzitet značaja	Definicija	Objašnjenje
1	Istog značaja	Dva elementa su identičnog značaja u odnosu na element iz višeg nivoa.
3	Slaba dominantnost (slab značaj)	Iskustvo i rasuđivanje neznatno favorizuju jedan u odnosu na drugi element.
5	Jaka dominantnost (jak značaj)	Iskustvo i rasuđivanje znatno favorizuju jedan u odnosu na drugi element.
7	Izražena dominantnost (veoma jak značaj)	Dominantnost jednog elementa potvrđena u praksi.
9	Apsolutna dominantnost (apsolutni značaj)	Dominantnost najvišeg stepena.
2, 4, 6, 8	Međuvrednosti	Potreban je kompromis ili dalja podela.
1/2, 1/3, 1/4...	Dominantnost suprotstavljenog elementa	Postoji razumna pretpostavka o dominaciji suprotnog u odnosu na posmatrani element.

Nakon vrednovanja elemenata, odnosno utvrđivanja koji je element značajniji i u kojoj meri u odnosu na drugi sa kojim se poredi u paru, a na osnovu uspostavljene hijerarhije, formiraju se matrice odlučivanja za izračunavanje prioriternih alternativa. Matrica odlučivanja A dobija se na osnovu rezultata poređenja elemenata u paru. Svaka ocena/vrednost a_{ij} (koeficijent poređenja elementa i u odnosu na element j pomoću Satijeve skale) postavlja se na odgovarajuću poziciju u poređenju reda elemenata A_i sa kolonom elemenata A_j . Opšti oblik matrice je:

$$A = (a_{ij}), \text{ gde je } i, j = 1, 2, 3, \dots, \text{ broj elemenata jednog nivoa}$$

Za n elemenata koji se međusobno upoređuju u paru rezultati poređenja formiraju matricu A sa dimenzijama $n \times n$:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Matrica odlučivanja je pozitivna recipročna matrica poređenja elemenata u parovima, uzimajući u obzir da za vrednosti a_{ij} i a_{ji} važi: $a_{ij} > 0$ i $a_{ij} = 1/a_{ji}$. Takođe, za sve vrednosti a_{ii} na glavnoj dijagonali važi $a_{ii} = 1$.

3. faza – Određivanje težinskih faktora

Nakon formiranja matrice odlučivanja pristupa se trećoj fazi rešavanja problema koja se odnosi na određivanje vrednosti vektora težinskih faktora/koefficijenata i proveru konzistentnosti odluke. Kada je matrica A konzistentna, tada je ista kao matrica X . Uzimajući u obzir da je $a_{ij} = w_i/w_j$, matrica X ima oblik:

$$X = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & w_1/w_3 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & w_2/w_3 & \dots & w_2/w_n \\ w_3/w_1 & w_3/w_2 & w_3/w_3 & \dots & w_3/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & w_n/w_3 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix}$$

Za određivanje vektora težinskih faktora $w = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)^T$ iz matrice A postoji nekoliko načina koji predstavljaju bliske aproksimacije odgovarajućih elemenata matrice X . Prema Saatijevom predlogu, za matricu A se najpre određuje maksimalna sopstvena vrednost – λ_{max} (Saaty, 1990). Odgovarajući vektor sopstvenih vrednosti matrice može se zatim uzeti kao vektor približnih vrednosti težinskih faktora (w), jer važi:

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & w_1/w_3 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & w_2/w_3 & \dots & w_2/w_n \\ w_3/w_1 & w_3/w_2 & w_3/w_3 & \dots & w_3/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & w_n/w_3 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix}$$

Vektor w može se dobiti rešavanjem sistema homogenih linearnih jednačina:

$$Aw = nw \text{ ili } (A - nI)w = 0$$

Sistem jednačina ima netrivialno rešenje u slučaju kad je n sopstvena vrednost matrice A , odnosno kad je determinanta matrice $(A - nI)$ jednaka nuli. Tada je matrica X u potpunosti konzistentna (ima rang 1) i tada je $\lambda_{max} = n$ (Saaty, 1990; Srđević i Jandrić, 2000).

Druge tehnike, koje preporučuje i Sati (Luković, 2016; Saaty, 1980; Srđević i Jandrić, 2000), za određivanje vektora w uključuju sumiranje redova matrice rezultata poređenja i normalizaciju dobijenih suma po kolonama:

$$\sum_j^n = \frac{w_i}{w_j} = w_i \left(\sum_{j=1}^n \frac{1}{w_j} \right) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \text{ (po redovima)}$$

Dobijeni vektor težinskih faktora se zatim množi sa težinskim faktorom elementa koji je korišćen kao kriterijum pri poređenju, tj. sa težinskim faktorom sa višeg nivoa. Ovaj postupak se ponavlja za celu hijerarhiju idući ka nižim nivoima. Težinski faktori se izračunavaju za svaki elemenat istog nivoa, i koriste se za određivanje kompozitnih relativnih težinskih faktora elemenata u nižim nivoima. Na kraju postupka određuju se kompozitni težinski faktori svih alternativa (Srđević i Jandrić, 2000).

Imajući u vidu da matrica A često nije potpuno konzistentna, odnosno nije ista kao matrica X , usled velikog broja poređenja ($n(n-1)/2$), neophodno je proveriti da li je konzistencija poređenja u okviru očekivanih vrednosti. Nedoslednosti u donošenju odluka određuju se na osnovu indeksa konzistentnosti (CI) za analiziranu matricu poređenja u parovima (A) i stepena konzistentnosti (CR). Odnosno, konzistentnost matrice se izražava preko vrednosti stepena konzistentnosti:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

gde je RI slučajni indeks konzistentnosti.

Indeks konzistentnosti (CI) predstavlja meru odstupanja broja elemenata koji se upoređuju (n) od maksimalne sopstvene vrednosti (λ_{max}) i određuje se iz relacije (Saaty, 1990):

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)}$$

Kao što je navedeno, matrica A je u potpunosti konzistentna u slučaju $\lambda_{max} = n$. Što su vrednosti λ_{max} bliže broju n , manja je nekonzistentnost. Da bi se odredila vrednost λ_{max} najpre treba pomnožiti matricu A sa sa vektorom w , kako bi se odredio vektor b :

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ \dots \\ b_n \end{bmatrix}$$

Nakon toga se deljenjem odgovarajućih elemenata vektora b i w dobija:

$$\begin{bmatrix} b_1/w_1 \\ b_2/w_2 \\ b_3/w_3 \\ \dots \\ b_n/w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \dots \\ \lambda_n \end{bmatrix}$$

Relacija na osnovu koje se izračunava λ_{max} glasi:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

Konačno, indeks konzistentnosti određuje se prema relaciji:

$$CI = \frac{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i - n\right)}{(n - 1)}$$

Slučajni indeks konzistentnosti (*RI*) predstavlja nasumično dobijene vrednosti iz recipročne matrice, i zavisi od reda matrice (broja *n*). Vrednosti *RI*, koje je utvrdio Sati prikazane su u tabeli 7.2.

Tabela 7.2. Vrednosti slučajnog indeksa konzistentnosti *RI* (Saaty, 1980)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI (n)	0,0	0,0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Vrednosti stepena konzistentnosti matrice *A* (*CR*) do 0,10 (10%) smatraju se prihvatljivim. Dobijene veće vrednosti *CR* ukazuju na nekonzistentnost u donošenju odluka, odnosno da prosuđivanja nisu pouzdana. Tada je potrebno vršiti korekcije poređenja u paru koje bi dovele do manjih i zahtevanih vrednosti *CR*. Ukoliko to nije slučaj, sve rezultate treba odbaciti i ponovo započeti rešavanje problema. Međutim, u praksi se često dešava da je stepen konzistentnosti veći od 0,10, a da se izabrana alternativa zadrži kao najbolje rešenje (Srđević i Jandrić, 2000).

Korišćenjem slične procedure moguće je odrediti težinske faktore alternativa u odnosu na svaki elemenat neposredno višeg nivoa.

4. faza – Određivanje konačnog rešenja problema

Nakon rangiranja alternativa u odnosu na sve elemente hijerarhijske strukture lokalni prioriteti se nalaze na različitim nivoima. S tim u vezi, potrebno je izvršiti njihovu agregaciju da bi se dobili konačni prioriteti alternativa, tj. konačno optimalno rešenje – rešenje sa najvišim prioritetom među rangiranim alternativama.

7.2.1 Prednosti primene AHP metode

Karakteristike AHP metode ukazuju na brojne pogodnosti i mogućnosti njenje primene za rešavanje najrazličitijih složenih problema. AHP metoda olakšava rešavanje složenih problema na način da ih hijerarhijski razlaže na različite nivoe i razmatra kriterijume pomoću kojih se vrši izbor najbolje alternative. U odnosu na druge višekriterijumske metode odlučivanja, prednosti primene AHP metode su fleksibilnost, uključenost donosioca odluke i preciznost usled postojanja adekvatnog mehanizma za proveru konzistentnosti procena (Luković, 2016). U okviru AHP metode se omogućava da se do kompleksnih procena dođe konsultovanjem većeg broja stručnjaka, čime se može izbeći pristrasnost koja je često posledica procene od strane samo

jednog eksperta. S tim u vezi, ostvaruje se veća preciznost u izraženim ocenama eksperata (Srđević i Jandrić, 2000). Procene većeg broja eksperata potrebno je grupisati na odgovarajući način, što se postiže korišćenjem metoda za grupisanje, od kojih se izdvajaju metoda geometrijske sredine i metoda aritmetičke sredine (Luković, 2016; Peniwati, 1996; Ramanathan, 2001; Saaty, 2000).

Za razliku od pojedinih konvencionalnih metoda u kojima je izbor elemenata ograničen, u zavisnosti od dostupnosti odgovarajućih kvantitativnih (merljivih) indikatora, primenom AHP metode se ovaj problem prevazilazi. Široka primena AHP metode je posledica mogućnosti korišćenja i kvalitativnih indikatora, koji se kvantifikuju na adekvatan način pomoću semantičke skale, tako da ova metoda predstavlja kombinaciju kvantitativnih i kvalitativnih elemenata.

Uspešnost i aktuelnost korišćenja AHP metode za rešavanje složenih problema potvrđene su brojnim istraživanjima. Analizom 393 naučne publikacije koje su se odnosile na korišćenje metoda višekriterijumskog odlučivanja, u periodu od 2000. do 2014. godine, utvrđeno je da se od devet najprimenjivanijih metoda u najvećem broju istraživanja koristila AHP metoda (128 publikacija) (Mardani et al., 2015). Studija novijeg datuma (Ho & Ma, 2018) ukazuje na kontinuitet i povećanje korišćenja AHP metode, naročito kroz intergativne pristupe.

7.2.2 Dileme u vezi sa primenom AHP metode

Dileme koje se javljaju u vezi sa primenom AHP metode najčešće se odnose na izbor skale za poređenje u paru, problem inverzije ranga i broj poređenja (Luković, 2016).

U pogledu izbora skale za poređenje u paru, Sati je, kao autor metode, uputio na korišćenje skale relativnog značaja sa vrednostima u opsegu 1 – 9 (tab. 7.1). Pored Satijeve skale, moguće je koristiti nekoliko alternativnih skala, od kojih se izdvaja geometrijska skala (Lootsima, 1999). U geometrijskoj skali koristi se opseg $e^{0\gamma} - e^{8\gamma}$ za iste opise/definicije iz Satijeve skale.

Jedna od najvećih dilema koje prate primenu AHP metode je tzv. fenomen inverzije ranga. Naime, rang, tj. redosled alternativa dobijen primenom AHP metode menja se po njihovoj dominantnosti (značaju) ukoliko se doda ili izuzme neka od alternativa (Belton & Gear, 1983; Ho & Ma, 2018). Navedeni problem ustvari predstavlja simptom proizvoljnog rangiranja u AHP metodi (Dyer, 1990). Za prevazilaženje problema pojedini autori predlažu konstruisanje mreže, koja se odnosi na sistem u kome na elemente jednog nivoa utiču i elementi višeg i elementi nižeg nivoa, što je u suprotnosti sa hijerarhijskim pristupom sistemu u okviru kojeg na elemente jednog nivoa utiču samo elementi sa višeg nivoa (Harker & Vargas, 1987). Razmatranje o primeni mreža u AHP metodi dovelo je do predloga da se problem inverzije ranga može zanemariti bez posledica po integritet donošenja odluka pod određenim uslovima (Saaty, 2000). Još jedna od mogućnosti prevazilaženja problema u vezi sa inverzijom ranga je korišćenje multiplikativne

AHP (MAHP) metode u okviru koje ne postoji obrnuto rangiranje (Lootsma, 1999). Multiplikativna i standardna verzija AHP metode ne razlikuju se značajno u metodološkom pristupu. Osnovne razlike odnose se na: 1) korišćenje drugačijih skala (Lotsmina skala u MAHP metodi i Satijeva skala u AHP metodi); 2) primenu multipikacionih operacija u okviru MAHP metode, odnosno adicionih i multiplikacionih operacija u okviru AHP metode; 3) korišćenje logaritamskog metoda najmanjih kvadrata u MAHP metodi i primenu tehnika sopstvenih vektora u AHP metodi; i 4) korišćenje multiplikativne agregacije u MAHP metodi umesto jednostavne ponderisane agregacije na osnovu hijerarhijske strukture u okviru standardne metode (Luković, 2016; Srđević i Srđević, 2004).

U pogledu broja poređenja, može se konstatovati da se u AHP metodi koristi veliki broj procena za proveru konzistentnosti matrica, što može povećati broj procena od strane donosioca odluka. Tako u slučaju poređenja većeg broja alternativa, npr. 7, u odnosu na 1 kriterijum, neophodno je izvršiti 21 poređenje u paru. Uzimajući u obzir „n“ kriterijuma, dobija se broj $21n$ poređenja, što čini napor za donosioca odluka i može predstavljati ograničenje za primenu ove metode.

7.3 Opravdanost korišćenja AHP metode za rešavanje problema postizanja održivosti primenom zelenih krovova

Kada je reč o izboru najpogodnijeg načina remodelovanja konstrukcije ravnih krovova, pri čemu je akcenat na proceni podobnosti primene zelenih krovova, prepoznata je mogućnost korišćenja AHP metode. Imajući u vidu neophodnost postizanja održivosti, preferentna alternativa se određuje u zavisnosti od većeg broja ekoloških, ekonomskih i socijalnih faktora. Postojanje brojnih promenljivih čini problem kompleksnim što je moguće prevazići primenom AHP metode. Takođe, uključivanje kvalitativnih indikatora u proces donešenja odluke, koji se prevashodno odnose na socijalnu komponentu održivosti, ukazuje na pogodnost primene AHP metode. Pregled naučnih istraživanja u vezi sa korišćenjem AHP-a kao metode višekriterijumskog odlučivanja u kontekstu zelenih krovova, daje odgovor na pitanje opravdanosti njihove primene za rešavanje problema postizanja održivosti.

U istraživanju koje se odnosi na određivanje ključnih faktora relevantnih za široku primenu zelenih krovova u urbanim sredinama, u uslovima umerene klime na teritoriji Evrope, korišćena je AHP metoda (Brudermann & Sangkakool, 2017). Ekološki, socijalni i ekonomski faktori analizirani su u okviru kriterijuma koji predstavljaju prednosti i mogućnosti, odnosno slabosti i ograničenja primene zelenih krovova. Rezultati ukazuju na veći značaj pozitivnih uticaja, te je zaključeno da postoji veliki potencijal daljeg razvoja i korišćenja tehnologije zelenih krovova (Brudermann & Sangkakool, 2017). AHP metoda korišćena je kao podrška odlučivanju pri izboru odgovarajuće tehnologije remodelovanja postojećih objekata u pogledu implementacije

savremenih tehnologija i sistema (eng. *retrofitting*) sa ciljem ublažavanja klimatskih promena (Si et al., 2016). Autori su, pored ekoloških i ekonomskih kriterijuma, naglasili značaj socijalnih indikatora za postizanje cilja, koji su prevashodno kvalitativne prirode. Zeleni krovovi su prepoznati kao jedna od mera smanjenja potrošnje energije u okviru ekološkog kriterijuma (Si et al., 2016). U istraživanju razvoja i primene tehnologije zelenih krovova u Kini, u oblastima hladne i suve klime na severu, i tople i vlažne klime na jugu zemlje, AHP metoda je korišćena za izbor najpogodnije biljne vrste u odnosu na ekološke kriterijume (Xiao et al., 2014). U okviru integrativnog modela koji se odnosi na projektovanje i izgradnju objekata zelene arhitekture, AHP metoda je primenjena za utvrđivanje preferencija dva donosioca odluke – vlasnika, uz konsultovanje sa arhitektom/projektantom, i eksperta iz oblasti zelene gradnje, u odnosu na kriterijume održivosti, profitabilnosti i investicionih troškova, pri čemu zeleni krovni sistem predstavlja jedan od elemenata zelene arhitekture (Pan et al., 2011). AHP metoda korišćena je i pri evaluaciji opštih sistema/tehnika zelene gradnje u odnosu na sve tri dimenzije održivosti, pri čemu su zeleni krovovi razmatrani kao element sistema za očuvanje energije i voda (Ahmad et al., 2016). U istraživanju koje je sprovedeno u cilju odabira najbolje prakse održivog upravljanja padavinama u urbanim sredinama primenjena je AHP metoda u funkciji kvantifikovanja kvalitativnih indikatora (Birgani et al., 2013). Zeleni krovovi su predstavljali jednu od alternativa i analizirani su sa ostalim alternativama u odnosu na tehničke, ekološke, socijalne i ekonomske kriterijume. AHP metoda korišćena je za razvoj integrativnog modela za podršku odlučivanju pri izboru zelenih inovacija, u okviru kojeg su zeleni krovovi predstavljali jedan od uticajnih faktora (Hsueh & Yan, 2013). U istraživanju sveobuhvatne procene strategija za smanjenje potrošnje energije u stambenim objektima primenjena je AHP metoda, a zeleni krovovi su razmatrani kao jedna od alternativa za unapređenje omotača objekata (Liu et al., 2012).

Na osnovu navedenih relevantnih publikacija konstatovano je da je potvrđena opravdanost korišćenja AHP metode za rešavanje problema postizanja održivosti primenom zelenih krovova, kao i da postoji prostor za dalje/dublje istraživanje. Naime, u većem broju radova (Ahmad et al., 2016; Birgani et al., 2013; Liu et al., 2012; Pan et al., 2011; Si et al., 2016) zeleni krovovi su razmatrani kao alternative unapređenja performansi u fazi projektovanja novih ili remodelovanja postojećih objekata, prilikom čega uslovi za njihovu primenu nisu detaljno analizirani. Sa druge strane, istraživanje, koje se odnosi na razmatranje uslova primene zelenih krovova u umerenim klimatskim područjima razvijenih zemalja Evrope (Brudermann & Sangkakool, 2017), obuhvata konstrukcijski aspekt u okviru slabosti zelenih krovova, ali ne uključuje analizu konstrukcije ni načine rešavanja problema (ojačanja) usled dodatnog opterećenja. Takođe, u istraživanju na temu zelenih krovova, u kojem je primenjena AHP metoda (Xiao et al., 2014), razmatra se samo izbor biljnih vrsta sa ekološkog stanovišta. Uzimajući u obzir analizu konstrukcijskog aspekta primene

zelenih krovova na postojećim objektima u okviru ekonomskih kriterijuma, kao i potencijalne benefite obuhvaćene ekološkim i socijalnim kriterijumima, stvara se mogućnost za kreiranje novog integrativnog modela za podršku odlučivanju pri odabiru načina konstrukcijskog unapređenja ravnih krovova postojećih objekata.

8. NOVI INTERGRATIVNI MODEL ZA PODRŠKU ODLUČIVANJU PRI ODABIRU NAČINA UNAPREĐENJA KONSTRUKCIJA RAVNIH KROVOVA POSTOJEĆIH OBJEKATA

8.1 Uloga i značaj razvoja integrativnog modela

Do sada izloženo istraživanje predstavljalo je osnovu za razvoj integrativnog modela kao alata za podršku odlučivanju pri odabiru načina unapređenja konstrukcije ravnih krovova postojećih objekata. Na osnovu sveobuhvatne analize, prevashodno su utvrđeni uloga i značaj koncepta zelenih krovova za urbane sredine, kao i potencijal za njihovu primenu na našim prostorima u pogledu konstrukcijskih karakteristika postojećih objekata sa ravnim krovovima. Imajući u vidu probleme na globalnom, nacionalnom i lokalnom nivou, kao i na nivou objekata, sistemi integrisanog zelenila u objektima, a naročito zeleni krovovi, prepoznati su kao jedina prirodna mera unapređenja stanja u životnoj sredini i unapređenja postojećih objekata u urbanim sredinama. Ne samo da se njihovom primenom umanjuju negativni uticaji na životnu sredinu, već se postižu pozitivni efekti.

Globalni problemi u vezi sa klimatskim promenama, u najvećoj meri kao posledica antropogenih delovanja, i to produkcije energije, odnose se na povećanje emisije gasova sa efektom staklene bašte. Shodno činjenicama da najveći udeo u emisijama GHG ima CO₂ i da prirodna okruženja imaju sposobnost smanjenja koncentracije CO₂ apsorbovanjem, povećanje urbanog zelenila, u znatnoj meri, doprinelo bi poboljšanju stanja u urbanim sredinama, koje su inače u najvećoj meri odgovorne za ubrzanje klimatskih promena. Kako je integrisanje vegetacije u objektima jedini način povećanja urbanog zelenila, smanjenje emisija GHG se postiže i smanjenom potrebom za proizvodnjom energije za postizanje toplotnog komfora usled termoizolacionih svojstava živih sistema. Kao što je već navedeno, za tim postoji znatan potencijal, imajući u vidu da krovovi u proseku čine 20% – 25% urbanih površina. Još jedan od značajnih problema predstavlja neravnomerna raspodela padavina koja je uzrok sve češćih poplava. Zeleni krovovi prepoznati su kao potencijalno rešenje usled mogućnosti zadržavanja atmosferskih padavina, prilikom čega bi se smanjilo opterećenje kanalizacione mreže.

Problemi na nacionalnom nivou sa kojima se suočavaju sve lokalne zajednice, između ostalog, odnose se na energetske neefikasne objekte, koji čine graditeljsko nasleđe iz perioda masovne izgradnje, ali i na sve objekte izgrađene kasnije, do 2012. godine. Prekomerna potrošnja energije prilikom eksploatacije objekata uzrok je i znatnih finansijskih troškova, pored povećane emisije GHG. Jedno od ekološki prihvatljivih rešenja unapređenja omotača postojećih objekata može biti koncept zelenih krovova. Unapređenje se odnosi i na njihovu zaštitnu ulogu. Zeleni krovovi štite krovnu membranu i elemente krovne konstrukcije preko kojih su postavljeni, i na taj način

produžavaju životni vek krovnog sistema. U pogledu socijalne dimenzije održivosti ne sme se zanemariti potencijal stvaranja dodatnog otvorenog korisnog prostora implementacijom zelenih krovova, što je od velikog značaja za gusto izgrađene urbane sredine. Da bi se postigle sve navedene pogodnosti sa ekološkog i socijalnog aspekta neophodno je razmotriti investiciona ulaganja za izgradnju i troškove održavanja, što u je najvećoj meri prepreka uspešnom sprovođenju remodelovanja krovova zelenim krovnim sistemima. Takođe, ograničavajući faktor je ispunjavanje jednog od najznačajnijih uslova koji se odnosi na obezbeđivanje nosivosti i upotrebljivosti konstrukcije usled dodatnog opterećenja, što se postiže ojačanjem konstrukcije. Primenom ekstenzivnih zelenih krovova uglavnom nije potrebno ojačavati konstrukcije postojećih objekata, dok se u slučaju intenzivnih sistema, najčešće zahtevaju intervencije ojačanja. Iako se ojačanjem konstrukcije povećava vrednost i unapređuju performanse objekta (sl. 5.25), potrebno je kompenzovati finansijska ulaganja odgovarajućim benefitima koje zeleni krovovi pružaju, o čemu su izložena razmatranja u deskripciji integrativnog modela.

Zadatak integrativnog modela je da olakša procenu pogodnijeg/optimalnijeg rešenja za remodelovanje krovne konstrukcije uzimajući u obzir dva načina unapređenja – obnovu, odnosno uspostavljanje prvobitnog stanja krovnog sistema uz ispunjavanje savremenih zahteva, i nadgradnju zelenim krovom, u zavisnosti od postavljenih kriterijuma sa aspekta održivosti. Istraživanje se odnosi na unapređenje konstrukcije ravnih krovova objekata stambenog sektora i sektora javnih i komercijalnih delatnosti u urbanim sredinama, kod kojih se prostor neposredno ispod krova aktivno koristi.

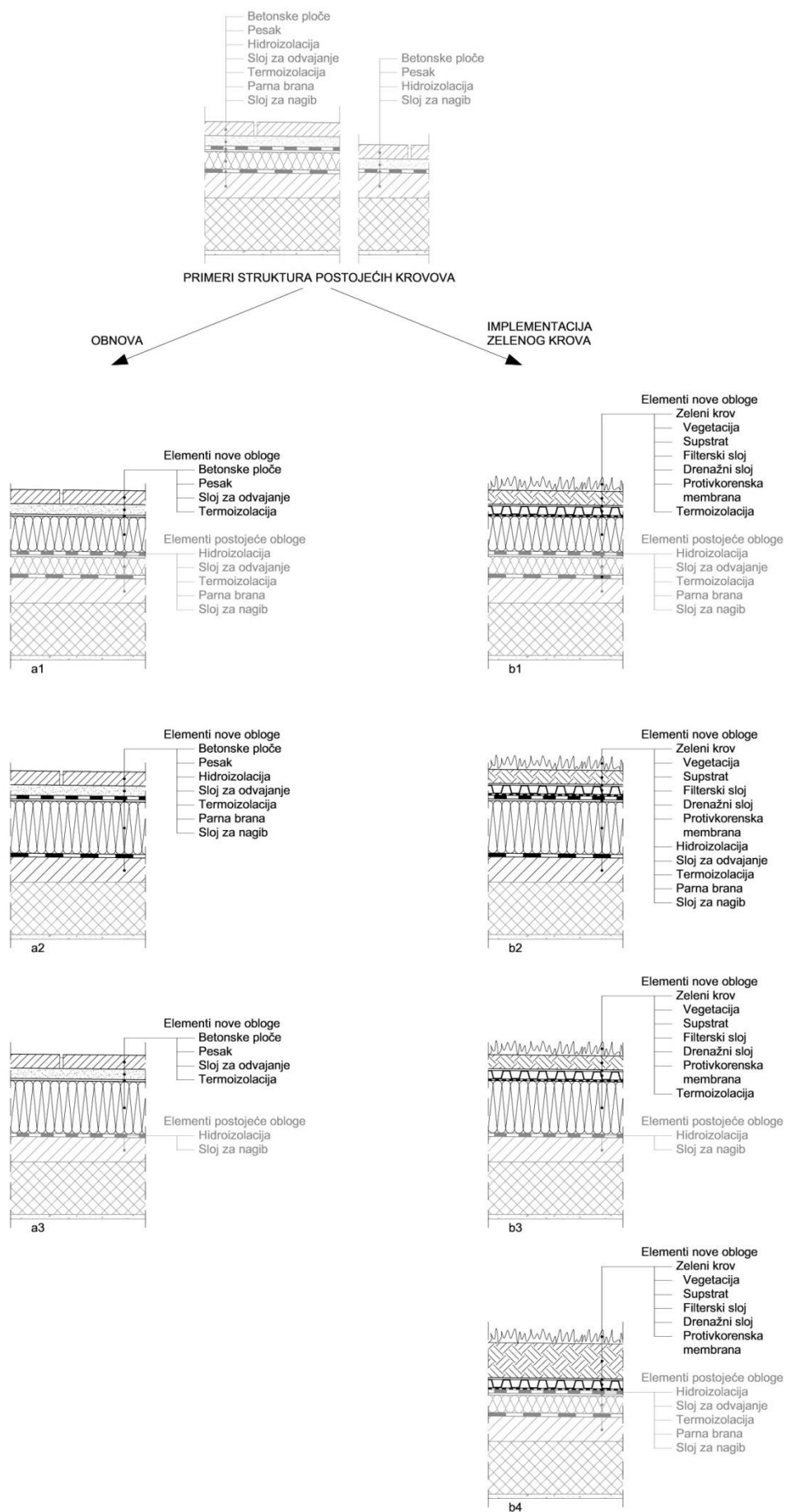
Pored analize problema sa kojima se suočavaju urbane sredine na našim prostorima, ukazano je i na konkretne probleme objekata sa ravnim krovovima postojećeg građevinskog fonda. Međutim, univerzalnost primene integrativnog modela, pored rešavanja problema na globalnom nivou koji se tiču postizanja održivosti i otpornosti urbanih sredina, ogleda se u činjenicama da neminovno dolazi do starenja materijala i elemenata strukture, usled čega je neophodno sprovoditi njihove popravke i zamene u okviru faze eksploatacije, kao i da su aktuelni zahtevi u pogledu toplotne zaštite pooštreni u odnosu na propise iz perioda izgradnje objekata (sl. 6.1). Utvrđeni integrativni model bio bi od značaja inženjerima, naučnicima, investitorima, vlasnicima objekata, itd. prilikom razmatranja remodelovanja ravnih krovova postojećih objekata zelenim krovnim sistemom.

8.2 Definisane konceptualnih modela ravnih krovova

Imajući u vidu uporednu analizu dva načina unapređenja konstrukcije ravnih krovova, definisani su konceptualni modeli, na osnovu kojih se utvrđuju alternative koje predstavljaju predmet odlučivanja. Uspostavljanje prvobitnog stanja krovnog sistema (obnova) odnosi se na promene u

strukturi krova u cilju ispunjavanja uslova funkcionalnosti i aktuelnih zahteva toplotne zaštite. Sprovođenje ove aktivnosti je neophodno, uzimajući u obzir činjenicu da ravni krovovi objekata iz perioda masovne izgradnje nisu adekvatno izvedeni u pogledu primenjenih tehnologija građenja (neadekvatne veze između elemenata strukture dovele su pojave toplotnih mostova) i materijala (prevashodno hidroizolacionog sloja), kao i u pogledu važećih propisa o toplotnoj zaštiti (nepostojanje termoizolacionog sloja ili postojanje sloja nedovoljne debljine, tj. neodgovarajućih karakteristika). Takođe, s obzirom na period izgradnje, došlo je do degradacije i starenja materijala i elemenata obloge što utiče na funkcionalnost krovova. Zbog toga je potrebno razmotriti stanje slojeva i sanirati oštećenja ili zameniti nefunkcionalne elemente. Sa druge strane, predlaže se unapređenje konstrukcije ravnih krovova primenom zelenih krovova, u okviru implementacije novih tehnologija i sistema, uz rešavanje navedenih problema postojećih ravnih krovova.

Kao primer ravnog krova koji je potrebno unaprediti, razmatrana je struktura toplog krova, usled njihove dominantne primene u periodu masovne izgradnje ravnih krovova na našim prostorima (95% ukupnog fonda izgrađenih ravnih krovova) (Denić i Đekić, 1994), i uzeta je u obzir opšta struktura krovova izgrađenih pre donošenja prvih propisa o toplotnoj zaštiti objekata. Na slici 8.1 prikazani su konceptualni modeli unapređenih postojećih ravnih krovova. U zavisnosti od konkretne strukture postojećeg ravnog krova i uslova okruženja, pojedini slojevi se prilikom remodelovanja mogu dodati ili izostaviti (npr. dodavanje sloja za izjednačavanje parnog pritiska ukoliko je vlažnost unutrašnjeg vazduha u rasponu 60% – 80% ili uklanjanje sloja za nagib i izvođenje termoizolacije u padu, itd.). Modeli a1, a2 i a3 odnose se na obnovu ravnog krova. U slučaju kada elementi postojeće obloge ispunjavaju uslove funkcionalnosti, ali ne i uslove toplotne zaštite, na osnovu modela a1 vrši se proračun potrebne debljine dodatnog sloja termoizolacije u odnosu na karakteristike materijala. Ugradnji novih slojeva prethodi uklanjanje teških/poluteških zaštita hidroizolacije. Tako modelovana struktura ravnog krova predstavlja sistem „duo krov“. Ukoliko postojeća obloga krova ne zadovoljava uslove funkcionalnosti, što može biti posledica oštećenja do kojih je došlo u fazi eksploatacije ili životnog veka ravnog krova, sprovode se aktivnosti popravke/sanacije oštećenja, u prvom slučaju, odnosno zamene elemenata, u drugom slučaju. Model a2 predstavlja primer kompletne obnove ravnog krova. Imajući u vidu da su prvi propisi o toplotnoj zaštiti objekata na našim prostorima doneti u periodu kada su građevinske aktivnosti već bile intenzivne, ravni krovovi izgrađeni pre 1967. godine u svojoj strukturi uglavnom nisu sadržali sloj termoizolacije (Popović i dr., 2013).



Slika 8.1. Konceptualni modeli ravnih krovova unapređenih obnovom i implementacijom zelenog krovovog sistema

U slučaju da je struktura ravnih krovova iz perioda pre 1967. godine do danas neizmenjena (obnovom ili nadogradnjom novim etažama/kosom krovnom konstrukcijom), model a3 predstavlja primer obnove dodavanjem potrebnih slojeva preko postojeće strukture, čineći tako sistem inverznog krova, u slučaju funkcionalnih postojećih elemenata. U suprotnom, sprovodi se obnova prema modelu a2. Kada je reč o unapređenju ravnog krova implementacijom zelenog krovnog sistema, razmatraju se tri prethodno navedena slučaja (b1, b2 i b3), s tim da je očekivano potrebna manja debljina termoizolacionog sloja uzimajući u obzir termičke performanse zelenog krova koje su potvrđene brojnim istraživanjima. U zavisnosti od karakteristika zelenog krova (npr. primena intenzivnog sistema koji ima veću termalnu masu u odnosu na ekstenzivni sistem) može se dogoditi da nema potrebe za ugradnjom dodatne termoizolacije, odnosno da se primenom zelenog krova ispunjavaju uslovi toplotne zaštite (b4). Ukoliko se prilikom razmatranja stanja elemenata obloge utvrdi da krov ne ispunjava uslove funkcionalnosti, odnosno da dolazi do prodora atmosferskih padavina, neophodno je proveriti stanje krovne ploče i uzeti u obzir mere sanacije u slučaju oštećenja.

8.3 Uspostavljanje metodologije integrativnog modela

Nakon ukazivanja na probleme u urbanim sredinama i na potencijal zelenih krovova za njihovo rešavanje, kao i definisanja konceptualnih modela ravnih krovova, pristupilo se uspostavljanju metodologije integrativnog modela za izbor optimalnog rešenja konstrukcijskog unapređenja ravnih krovova postojećih objekata. U skladu sa procesom remodelovanja objekata (sl. 8.2), razvijena je metodologija koja obuhvata dve osnovne faze: 1) prikupljanje informacija koje se odnose na ispunjavanje uslova za implementaciju zelenog krova kroz model odluka, i 2) izbor optimalnog rešenja – prioritete alternative na osnovu analitičkog hijerarhijskog procesa kao metode višekriterijumskog odlučivanja.



Slika 8.2. Proces remodelovanja objekata (Mickaityte et al., 2008)

Prikupljanje informacija

U okviru prve faze prikupljaju se informacije na osnovu zadatih kriterijuma, relevantne za obezbeđivanje uspešne implementacije zelenog krova, shodno činjenici da u ovom istraživanju koncept zelenih krovova predstavlja alternativu obnovi za čije sprovođenje postoji neosporna potreba. Drugim rečima, kako je ukazano na neophodnost remodelovanja postojećih objekata (ravnih krovova), primena zelenih krovova se razmatra kao viši stepen unapređenja u odnosu na

uspostavljanje prvobitnog stanja u skladu sa aktuelnim zahtevima. Kriterijumi koji se odnose na opšte uslove za implementaciju zelenog krova mogu se klasifikovati kao kriterijumi na nivou urbane sredine i na nivou objekta.

U pogledu informacija na nivou urbane sredine potrebno je izvršiti analizu geografskih i klimatskih uslova za podobnost primene zelenih krovova. Imajući u vidu činjenicu da se zeleni krovovi uspešno primenjuju u urbanim sredinama u gotovo svim geografskim regijama i klimatskim zonama, analizom konkretnih uslova može se ukazati na prednosti primene pojedinih materijala i elemenata strukture (npr. izbor biljnih vrsta, komponenti supstrata, vrste drenažnog sloja i kapaciteta, itd.). Nakon potvrde podobnosti konkretne urbane sredine za primenu zelenih krovova na osnovu lokalnih uslova u odnosu na relevantna istraživanja u istim ili sličnim uslovima, pristupa se analizi odabaranog objekta.

Prvi kriterijum za primenu zelenog krova na postojećem objektu odnosi se na mogućnost sprovođenja intervencija na krovu u pogledu propisa. Odnosno, proverava se da li je objekat pod zaštitom i da li se dozvoljava implementacija savremenih tehnologija i sistema. Ukoliko su dozvoljene intervencije, vrši se procena trajnosti konstrukcije, u odnosu na period izgradnje i fizičko stanje nosećih elemenata (npr. za krovne ploče pojava prslina, ugiba, itd.), i utvrđuje se da li je procenjena trajnost konstrukcije u skladu sa predviđenim životnim vekom zelenog krova, u kontekstu opravdanosti njegove primene. Imajući u vidu da betonske konstrukcije, koje su predmet istraživanja, imaju duži životni vek u odnosu na životni vek objekta (u pogledu elemenata sekundarne/nenoseće konstrukcije, fiksne opreme i sistema, itd.), primarno je ispunjavanje navedenog uslova jer nakon završetka životnog ciklusa objekta ili njegovih sastavnih delova, moguće je remodelovati kompletni objekat u odnosu na postojeću noseću konstrukciju. U slučaju da je predviđena trajnost konstrukcije manja od predviđenog životnog veka zelenog krova, najpre se razmatra o sanaciji konstrukcije, a ukoliko je ta mogućnost isključena konstatuje se da objekat, između ostalog, nije pogodan za primenu zelenog krova. Procenom preostalog životnog veka objekta utvrđuje se da li je preostali životni vek objekta u skladu sa predviđenim životnim vekom zelenog krova shodno proceni da se pravilnim izvođenjem zelenog krova trajnost krovnog sistema (što se naročito odnosi na trajnost hidroizolacije) dvostruko produžava, odnosno da je životni vek zelenog krova 40 – 50 godina. Za slučaj da se proceni da je životni vek zelenog krova duži u odnosu na preostali životni vek objekta, ne mora se isključiti implementacija zelenog krova jer postoji mogućnost da se zeleni krov zadrži prilikom remodelovanja objekta. Nakon ispunjavanja uslova za primenu zelenog krova koji se odnose na karakteristike objekta, razmatraju se uslovi u vezi sa karakteristikama postojećeg krova. Najpre se analizira preostali životni vek krova u odnosu na period izgradnje ili vremenski period od poslednje intervencije obnove, usled činjenice da najpogodniji trenutak za

primenu novih tehnologija i sistema, razmatrano sa ekonomskog aspekta, predstavlja kraj životnog ciklusa krova (elemenata obloge). Ukoliko planirana intervencija – implementacija zelenog krova nije u skladu sa završetkom životnog ciklusa postojećeg krova ne mora se isključiti izgradnja zelenog krovnog sistema. Primena zelenog krova u „manje povoljnijem“ trenutku može se opravdati postizanjem brojnih benefita neposredno nakon izgradnje, zaštitom elemenata iznad kojih je postavljen čime se produžava trajnost postojeće strukture, kao i činjenicom da se jednostavniji sistemi (pojedini ekstenzivni zeleni krovovi) lako mogu ukloniti demontažom ili dekonstrukcijom zarad sprovođenja sanacije ili zamene nefunkcionalnih slojeva do čega bi došlo tokom eksploatacione faze životnog ciklusa zelenog krova. Nakon analize preostalog životnog veka krovnog sistema razmatra se ispunjavanje uslova za primenu zelenog krova koji se odnosi na dispoziciju, odnosno položaj krova u odnosu na okruženje. Kako orijentacija objekta nema uticaja za ravan krov, mogućnost sprovođenja remodelovanja zelenim krovnim sistemom razmatra se u pogledu izloženosti sunčevom zračenju u odnosu na okruženje. U slučaju celodnevnih senki na krovnim površinama ili na delovima krova na kojim se planira integrisanje vegetacije, koji ukazuje na neodgovarajuće uslove za implementaciju zelenog krova, moguće je razmotriti primenu biljnih vrsta koje opstaju u takvim uslovima (Getter et al., 2009a). Naredni uslov za uspešnu implementaciju zelenog krova odnosi se na raspoloživi prostor ravnih krovnih površina, koji je prevashodno značajan u pogledu razmatranja primene prohodnih zelenih krovnih sistema. Imajući u vidu da su postojeći ravni krovovi uglavnom neprohodni, te da je na njima najčešće smeštena tehnička oprema i pomoćne prostorije, razmatra se da li je raspoloživi prostor krova adekvatan i dovoljan za formiranje prohodnih krovnih bašti. Ukoliko se proceni da konkretni uslovi nisu zadovoljavajući, moglo bi se razmotriti izmeštanje ili redimenzionisanje tehničkih sistema primenom savremenih tehnologija, ili primena neprohodnih zelenih krovova. Nezavisno od činjenice da li se predviđa prohodan ili neprohodan zeleni krov, neophodno je obezbediti pristup krovu za održavanje u pogledu specifičnih zahteva za zasejavanjem, đubrenjem, uklanjanjem korova, navodnjavanjem, košenjem, itd. Kada se postojećem ravnom krovu kao prostoru koji se ne koristi menja namena za aktivno korišćenje, pored izgradnje adekvatnih pristupa, remodelovanjem je potrebno obuhvatiti i izgradnju parapeta i zaštitnih ograda, i evakuacione puteve. Ukoliko je to iz bilo kojih razloga onemogućeno, može se razmotriti primena neprohodnog zelenog krova. Nakon ispunjavanja navedenih uslova analiziraju se karakteristike postojećeg krova koje se odnose na potencijalna oštećenja nastala tokom eksploatacije, koja utiču na funkcionalnost krova. Na osnovu zatečenog stanja obloge definišu se modeli unapređenja postojećeg krova. Dva načina remodelovanja (obnova i implementacija zelenog krova) ne podrazumevaju nužno razmatranje dve alternative, odnosno, u

okviru dva načina remodelovanja može se analizirati više modela/alternativa ravnih krovova. Sve alternative moraju biti modelovane u skladu sa važećim propisima o toplotnoj zaštiti. Sledeći korak odnosi se na ispunjavanje uslova nosivosti i upotrebljivosti konstrukcije za novoprojektovano stanje. Na osnovu svih predviđenih promena, pored promene u strukturi krova, a koje mogu biti prenamena prostora, izgradnja komunikacija za pristup krovu, itd., najpre je potrebno izvršiti analizu opterećenja u okviru analize konstrukcije. Analiza konstrukcije vrši se u skladu je sa postupkom prikazanim na slici 5.24, s tim što je u slučaju razmatranja smanjenja opterećenja promenom u strukturi zelenog krova, zarad ispunjavanja uslova nosivosti i/ili upotrebljivosti, neophodno proveriti ispunjavanje uslova toplotne zaštite novog modelovanog krovnog sistema. Ukoliko uslovi nosivosti i/ili upotrebljivosti nisu ispunjeni razmatraju se mogućnosti i načini ojačanja prema tabeli 5.5. Ukoliko se ustanovi da neki od modela nisu racionalno rešenje za primenu, mogu se isključiti u ovoj fazi istraživanja. Nakon toga definišu se konačne strukture modela unapređenih krovnih sistema, jer postoji mogućnost promena prvobitno definisanih krovova u slučaju ojačanja krovne ploče. Utvrđivanje konačnih struktura krovnih sistema predstavlja kraj prve faze integrativnog modela.

Izbor optimalnog rešenja za remodelovanje ravnog krova

Druga faza integrativnog modela odnosi se na određivanje najpogodnijeg rešenja za remodelovanje ravnog krova uključivanjem i drugih kriterijuma u razmatranje. U ovoj fazi sprovodi se višekriterijumska analiza predloženih unapređenih sistema ravnog krova koja je zasnovana na AHP metodi. AHP metoda je odabrana za predmetno istraživanje jer je uočena jasna hijerarhijska struktura problema odlučivanja. Hijerarhijska struktura se formira na osnovu utvrđenih kriterijuma i potkriterijuma, i prethodno definisanih alternativa. Zatim se formiraju matrice odlučivanja (matrice poređenja u paru) i vrši evaluacija elemenata strukture prema konkretnim/objektivnim podacima. Nakon toga sledi određivanje težinskih faktora elemenata i prioriteta, nakon čije agregacije se vrši izbor optimalnog rešenja za remodelovanje. Značajno je pomenuti da se u okviru integrativnog modela prethodno utvrđeni set kriterijuma i potkriterijuma može proširiti prema potrebi.

8.4 Struktura i algoritam integrativnog modela

Na osnovu izložene metodologije formirana je struktura i algoritam integrativnog modela. Struktura modela može se predstaviti kroz nekoliko ključnih etapa, u okviru kojih su navedeni svi koraci.

Prikupljanje informacija

1. Prikupljanje informacija na nivou urbane sredine

- Geografski i klimatski uslovi

2. Prikupljanje informacija na nivou objekta

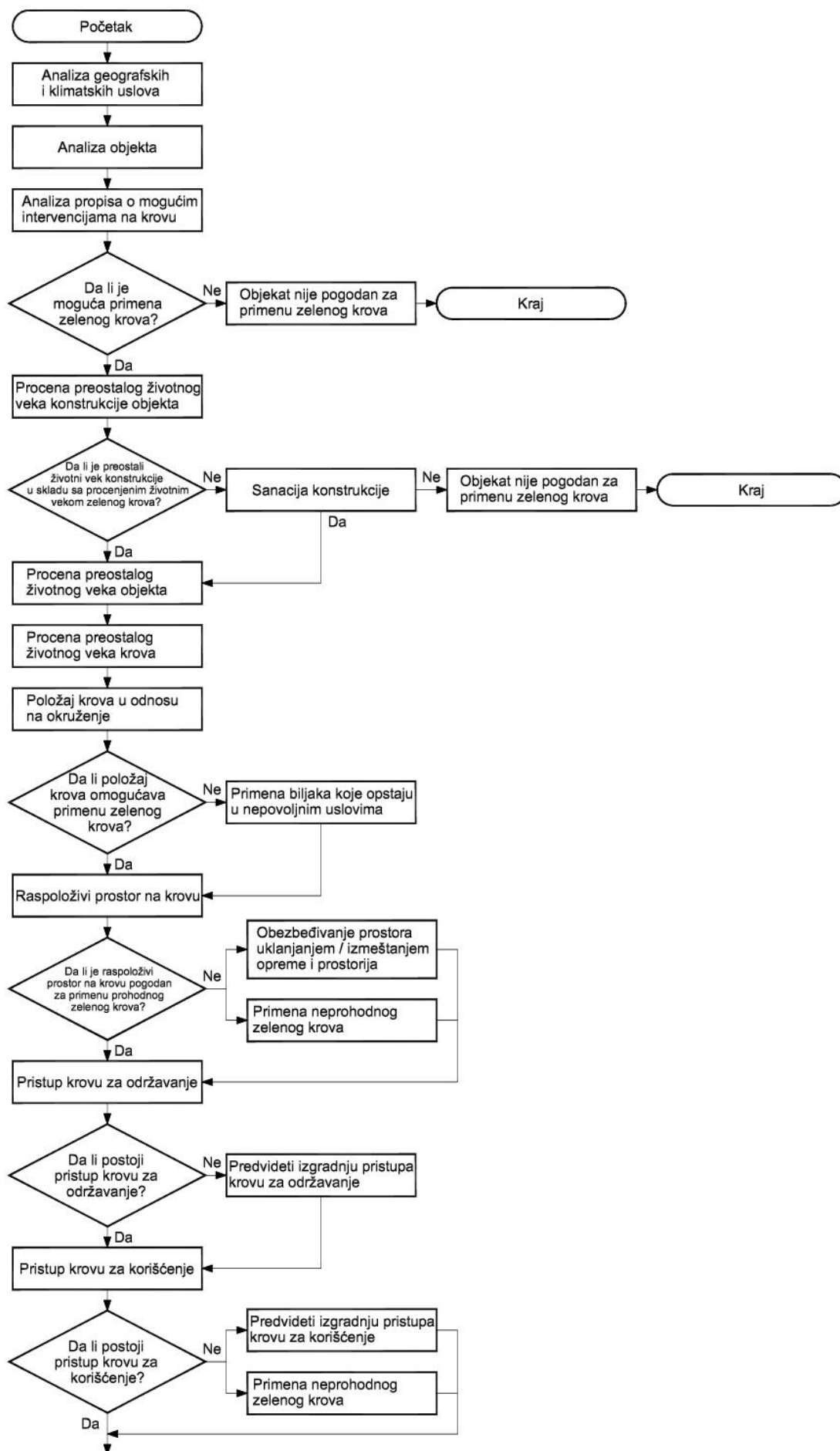
- Mogućnost izgradnje zelenog krova u odnosu na propise o zaštiti objekta
- Procena trajnosti konstrukcije i objekta
 - Mogućnost sprovođenja implementacije zelenog krova u pogledu procene trajnosti konstrukcije
 - Procena preostalog životnog veka objekta
- Karakteristike postojećeg ravnog krova
 - Procena preostalog životnog veka krova u odnosu na period izgradnje ili vremenski period od poslednje intervencije obnove
 - Položaj krova u odnosu na okruženje
 - Raspoloživi prostor na krovu
 - Pristup(i) krovu za održavanje
 - Pristup(i) krovu za korišćenje
 - Funkcionalnost elemenata obloge
- Modelovanje unapređenih krovnih sistema
 - Model(i) obnove i model(i) zelenog krova
 - Provera ispunjavanja uslova toplotne zaštite
- Analiza konstrukcije prema graničnim stanjima nosivosti i upotrebljivosti
 - Analiza opterećenja
 - Novi uticaji u okviru novoprojektovanog stanja
 - Kontrola nosivosti
 - Kontrola upotrebljivosti
 - Razmatranje promena u strukturi zelenog krova ili načina ojačanja konstrukcije ukoliko uslovi nosivosti i upotrebljivosti nisu ispunjeni
- Konačne strukture modela unapređenih krovnih sistema

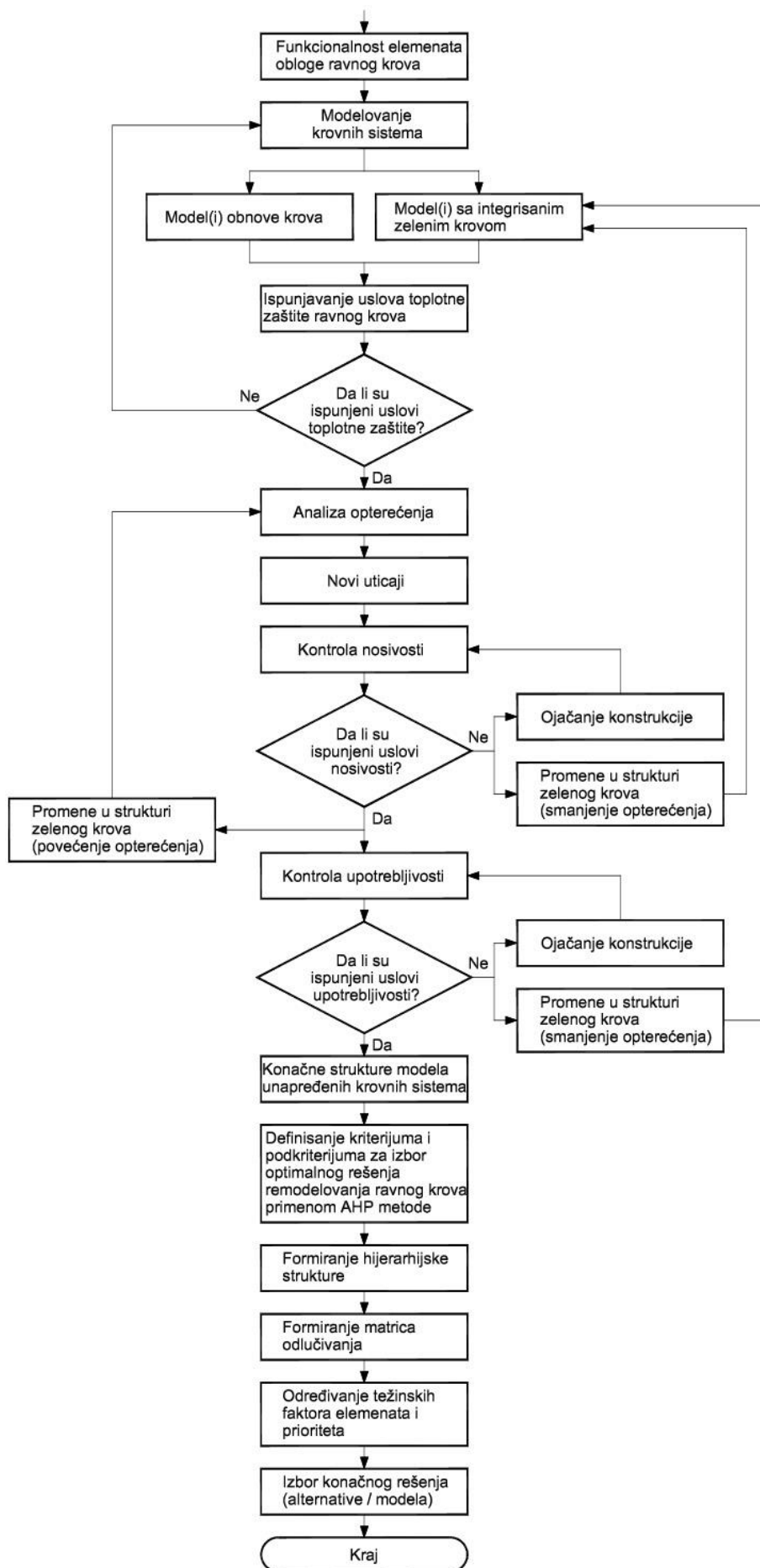
Izbor optimalnog rešenja za remodelovanje ravnog krova

3. Izbor optimalnog rešenja za remodelovanje ravnog krova korišćenjem AHP metode

- Definisane kriterijuma i potkriterijuma
- Formiranje hijerarhijske strukture
- Formiranje matrica odlučivanja
- Određivanje težinskih faktora elemenata hijerarhijske strukture
- Izbor konačnog rešenja (alternative) za remodelovanje ravnog krova

Prema izloženoj strukturi integrativnog modela formiran je algoritam koji je prikazan na slici 8.3.





Slika 8.3. Algoritam izbora optimalnog rešenja za remodelovanje ravnog krova

8.5 Odabir i obrazloženje kriterijuma i potkriterijuma za primenu AHP metode

Nakon ispunjavanja uslova za unapređenje postojećeg krova zelenim krovnim sistemom i definisanja modela krovnih sistema (alternativa), uspostavljeni su kriterijumi na osnovu kojih se određuje optimalno/konačno rešenje pomoću AHP metode. Izbor optimalnog rešenja remodelovanja postojećeg ravnog krova zasnovan je na konceptu održivog razvoja. S tim u vezi, utvrđena su tri kriterijuma: ekološki, ekonomski i socijalni, u skladu sa osnovnim elementima održivog razvoja. Pri izboru potkriterijuma, posebna pažnja posvećena je smanjenju negativnog uticaja objekta na životnu sredinu u okviru ekološke grupe potkriterijuma, ali i ekonomskim faktorima u okviru kojih investiciona ulaganja za sprovođenje remodelovanja krovnog sistema i za potencijalna ojačanja konstrukcije predstavljaju značajno ograničenje. S tim u vezi, vrednovanjem drugih potkriterijuma utvrđuje se da li su opravdani finansijski troškovi za implementaciju zelenog krova.

Izbor kriterijuma i potkriterijuma, kao i njihovo međusobno rangiranje, zasnovano je na aktuelnim problemima u urbanim sredinama koji se odnose na postojeće objekte, a na osnovu relevantnih naučnih publikacija, smernica datih nacionalnim strategijama, propisima i drugim dokumentima, uz konsultovanje eksperata iz odgovarajućih oblasti – arhitekture, urbanizma, građevinarstva, zaštite životne sredine, termoenergetike, itd., kao i predstavnika kompanija koje se bave proizvodnjom zelenih krovova i vodećih građevinskih kompanija.

Grupa ekonomskih potkriterijuma

Kao što je navedeno, primenom zelenih krovova postižu se brojni benefiti sa ekološkog, ekonomskog i socijalnog aspekta, čijom analizom je utvrđena njihova međuzavisnost. Tako se smanjenje potrošnje energije za grejanje i hlađenje objekta može razmatrati sa ekonomskog stanovišta (u pogledu smanjenja troškova), sa ekološkog aspekta (u pogledu poboljšanja kvaliteta vazduha i mikroklimе urbane sredine), kao i sa socijalnog aspekta (u pogledu poboljšanja zdravstvenog stanja stanovnika). U predmetnom istraživanju, ušteda u potrošnji energije, odnosno smanjena potrošnje energije za grejanje i za hlađenje objekta, koja se ostvaruje unapređenjem krovne konstrukcije, razmatrana je sa ekonomskog aspekta. Prekomerna potrošnja energije za postizanje toplotnog komfora na našim prostorima je, između ostalog, posledica karakteristika omotača objekata koje nisu u skladu sa važećim propisima. Novim arhitektonskim rešenjima smanjuje se potrošnja energenata, što predstavlja imperativ savremenog društva, potvrđen nacionalnim dokumentima (*Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada, 2011; Prvi dvogodišnji ažurirani izveštaj, 2016; Prvi izveštaj, 2010*), i pri tome se ostvaruje i finansijska dobit.

Ekonomski potkriterijumi koji su posebno razmatrani odnose se na finansijska ulaganja za sprovođenje remodelovanja krovnog sistema i potrošnju energije za postizanje toplotnog komfora u objektu. S obzirom na činjenicu da remodelovanje krova zelenim krovnim sistemom zahteva veća finansijska ulaganja u odnosu na uspostavljanje prvobitnog stanja krova obnovom, imajući u vidu istu strukturu od krovne ploče do hidroizolacionog sloja, potkriterijumi potrošnje energije, kao i drugi ekološki i socijalni potkriterijumi razmatrani su u cilju utvrđivanja opravdanosti većih finansijskih ulaganja za izgradnju zelenog krova.

1. Finansijska ulaganja za izgradnju krovnog sistema

Odabrani ekonomski potkriterijum podrazumeva finansijska ulaganja za remodelovanje krovnog sistema, pri čemu se ukupni troškovi odnose na elemente obloge, tj. elemente nenoseće/sekundarne konstrukcije i elemente noseće/primarne konstrukcije ukoliko unapređenje krovnog sistema zahteva intervencije ojačanja. Troškovi uspostavljanja novog krovnog sistema obuhvataju finansijsku vrednost upotrebljenih elemenata i izvođenja neophodnih radova. Takođe, u slučaju potrebe za ojačanjem noseće konstrukcije, troškovi podrazumevaju finansijsku vrednost odabranog načina ojačanja i izvođenja. U odnosu na postojeće stanje, unapređenje ravnog krova, bilo da je reč o obnovi ili implementaciji zelenog krovnog sistema, sprovodi se na isti način. Drugim rečima, ukoliko postojeća obloga zadovoljava uslove funkcionalnosti novi elementi strukture biće dodati i u slučaju obnove i u slučaju implementacije zelenog krova, dok se u suprotnom vrši kompletno remodelovanje. Shodno navedenom, osnovnu i najveću razliku u finansijskim ulaganjima za sprovođenje dva načina unapređenja krovnog sistema predstavlja finansijska vrednost zelenog krova i njegovog izvođenja. Detaljnijom analizom utvrđuju se ostale razlike u ceni koje se mogu odnositi na primenu različitih hidroizolacionih materijala, potrebnu različitu debljinu termoizolacionog sloja, itd. Navedeni potkriterijum je kvantitativan i izražava se novčanom jedinicom RSD (Din.) ili EUR (€). Prilikom rangiranja ovog potkriterijuma favorizuju se manja finansijska ulaganja.

2. Potrošnja energije za hlađenje objekta

Potkriterijum koji se odnosi na smanjenu potrošnju energije za hlađenje spada u energetske kriterijume koji su neizostavni prilikom razmatranja unapređenja postojećih objekata (Pombo et al., 2016; Sobotka & Wyatt, 1998; Xu & Chan, 2013). U cilju postizanja energetske efikasnosti postojećih objekata remodelovanjem, veliki broj istraživanja podrazumeva unapređenje omotača objekata (Pombo et al., 2016). Imajući u vidu da sistemi za hlađenje nisu razmatrani prilikom projektovanja i masovne izgradnje objekata sa ravnim krovovima, korisnici/vlasnici su vremenom ugrađivali uređaje koji uglavnom koriste električnu energiju. S tim u vezi, navedeni

kvantitativni kriterijum izražava se brojčanom vrednošću – potrošnjom električne energije za hlađenje objekta na godišnjem nivou, odnosno u našim uslovima u periodu od 15. aprila do 15. oktobra, u jedinici mere kWh/god. Prema *Pravilniku o energetskej efikasnosti zgrada* (2011), za objekte koji su predmet istraživanja (objekti stambenog sektora i sektora javnih i komercijalnih delatnosti) u letnjem periodu je potrebno obezbediti temperaturu unutrašnjeg vazduha od 26°C do 28°C. Ovaj potkriterijum značajan je za procenu uticaja zelenih krovova na smanjenu potrošnju električne energije u letnjem periodu, u konkretnim klimatskim uslovima, u odnosu na analogne efekte koji bi se ostvarili standardnom obnovom postojećeg krova. Vrednovanjem navedenog potkriterijuma favorizuje se manja potrošnje električne energije.

3. Potrošnja energije za grejanje objekta

Smanjenje potrošnje energije za grejanje objekta razmatra se kao poseban potkriterijum iz razloga što je neophodno proceniti ulogu zelenih krovova u zimskom periodu u konkretnim klimatskim uslovima. Kako zeleni krovovi prevashodno imaju značaj za smanjenje potrošnje energije za hlađenje objekata, usled evapotranspiracionih mogućnosti, njihov uticaj u smanjenju potrošnje energije za grejanje objekta je znatno manji, a u nekim slučajevima zeleni krovovi utiču i na povećanu potrošnju enegrije za postizanje toplotnog komfora (Jim & Tsang, 2011; Lanham, 2007). Pozitivni efekti implementacije zelenih krovova svakako bi išli u prilog opravdanosti njihove primene, imajući u vidu da se sistemi grejanja u objektima iz perioda industrijalizovane i industrijske gradnje u našoj zemlji pretežno zasnivaju na potrošnji neobnovljivih izvora energije. Ovaj kvantitativni potkriterijum izražava se potrošnjom energije na godišnjem nivou (kWh/god), odnosno za period korišćenja energije za grejanje objekta koji u Srbiji traje od 15. oktobra do 15. aprila. Minimalna temperatura unutrašnjeg vazduha koju je potrebno obezbediti, u zavisnosti od namene objekta, kreće se od 18°C do 28°C (*Pravilnik o energetskej efikasnosti zgrada*, 2011). Prilikom ocenjivanja ovog potkriterijuma prednost se daje manjoj potrošnji enegrije.

Grupa ekoloških potkriterijuma (grupa potkriterijuma zaštite životne sredine)

Globalni problemi u vezi sa klimatskim promenama prepoznati su i na nacionalnom i na lokalnom nivou, a tiču se povećane produkcije gasova sa efektom staklene bašte i sve učestalijih poplava kao posledice neravnomerne raspodele padavina. Primenom zelenih krovova umanjio bi se negativan uticaj objekata na životnu sredinu, u pogledu smanjenja produkcije energije za postizanje toplotnog komfora (usled termičkih karakteristika sistema), a time i smanjenja emisije CO₂, koji spada u direktne gasove sa efektom staklene bašte. Takođe, zeleni krovovi imaju značajnu ulogu za upravljanje atmosferskim padavinama jer imaju sposobnost zadržavanja vode.

Još jedan značajan problem u vezi sa narušavanjem stanja u životnoj sredini predstavlja količina generisanog otpada na kraju životnog veka antropogenih proizvoda, u ovom slučaju građevinskog otpada na kraju životnog veka krovnog sistema. Zeleni krovovi mogu predstavljati održivo rešenje usled činjenice da su primenjeni materijali u najvećoj meri biorazgradivi i biogeološkog porekla.

Shodno navedenom, ekološki potkriterijumi obuhvaćeni ovim istraživanjem odnose se na smanjenje koncentracije CO₂, odnosno na rezultujuću emisiju CO₂ u odnosu na potrošnju energije za ostvarivanje toplotnog komfora, kapacitet zadržavanja vode krovnog sistema i količinu generisanog otpada.

1. Rezultujuća emisija CO₂ u odnosu na potrošnju energije za ostvarivanje toplotnog komfora

Emisija CO₂ spada u indikatore/kriterijume zaštite životne sredine prema *Pravilniku o nacionalnoj listi indikatora zaštite životne sredine* (2011), i nacionalni dokumenti potvrđuju neophodnost smanjenja emisije CO₂ (*Pravilnik o energetskej efikasnosti zgrada*, 2011; *Prvi dvogodišnji ažurirani izveštaj*, 2016; *Prvi izveštaj*, 2010). Iako postoji direktna zavisnost između potrošnje energije za klimatizaciju objekta i emisije CO₂, navedeni potkriterijumi su razmatrani odvojeno usled potencijala zelenih krovova da dodatno smanje već emitovane količine CO₂ apsorbovanjem, tj. na neposredan način. Navedeni potkriterijum je kvantitativan, tj. merljiv, i izražava se količinom ugljendioksida na godišnjem nivou (kg CO₂/god). Vrednovanjem ovog potkriterijuma prednost se daje manjoj rezultujućoj emisiji CO₂.

2. Kapacitet zadržavanja vode krovnog sistema

U uslovima sve izraženijih posledica klimatskih promena, koje se, između ostalog, odnose na poplave, zeleni krovovi su prepoznati kao održivo rešenje za njihovo ublažavanje. Naime, svi elementi strukture zelenog krova imaju sposobnost zadržavanja vode, od kojih najveći udeo imaju sloj supstrata i drenažno-akumulacioni sloj. Na taj način smanjuje se količina padavina koja se odvodi sa krovne površine i usporava odvođenje viška vode nakon zasićenja zelenog krova. Zadržana količina vode se procesom evapotranspiracije vraća u atmosferu. Ova karakteristika zelenih krovovnih sistema značajna je na nivou urbane sredine, i ukoliko bi se zeleni krovovi primenili u velikoj meri, imali bi uticaja na upravljanje atmosferskim padavinama. Kapacitet zadržavanja vode je kvantitativan potkriterijum i izražava se ukupnom zapreminom zadržane vode (l) ili zapreminom po jedinici površine krova (l/m²), kako navode proizvođači zelenih krovova (Knauf Insulation, ZinCo, itd.). Vrednovanjem ovog potkriterijuma prednost se daje većem kapacitetu zadržavanja vode.

3. Količina generisanog otpada

Ograničeni, i često već dosegnuti, kapaciteti urbanih deponija predstavljaju značajan ekološki problem savremenog društva. Imajući u vidu da se na kraju životnog veka objekta, u ovom slučaju krovnog sistema, generiše građevinski otpad, neophodno je utvrditi količinu i vrstu otpada. Iako zeleni krovovi kao živi sistemi predstavljaju u velikoj meri ekološko rešenje ovog problema, zato što znatan udeo otpada, naročito od složenijih sistema, čine biorazgradivi i biogeološki materijali, ostali elementi strukture, na bazi polimernih materijala, na kraju životnog veka zelenog krova predstavljaju otpad koji zahteva tretman ili odlaganje, što u manjoj ili većoj meri ima negativne posledice na okruženje. S tim u vezi, količina generisanog otpada, kao potkriterijum zaštite životne sredine, odnosi se na ukupnu masu polimernih i drugih industrijskih materijala i elemenata strukture krova, i izražava se u jedinici mase (kg ili t). Ocenjivanjem navedenog potkriterijuma favorizuje se manja količina generisanog otpada.

Grupa socijalnih (društvenih) potkriterijuma

U skladu sa postizanjem održivog razvoja razmatrana je i grupa potkriterijuma u okviru socijalnog domena održivosti. Kao posebni socijalni potkriterijumi sagledani su: namena novog/remodelovanog krova, vizuelni doživljaj i radno angažovanje. Navedeni potkriterijumi imaju kvalitativne vrednosti čime je, između ostalog, potvrđena opravdanost primene AHP metode za višekriterijumsko odlučivanje.

1. Namena krova

Opšti problem u urbanim sredinama, a naročito u gradskim jezgrima, koji se ogleda u nedostatku otvorenih prostora i površina pod zelenilom, kao i činjenica da su postojeći ravni krovovi uglavnom nefunkcionalne/neiskorišćene površine, ukazuju na značaj razmatranja namene novog krova, odnosno prenamene postojećeg krova sa socijalnog aspekta. Prenamena ravnih krovova u korisne prostore pod zelenilom doprinela bi postizanju socijalne održivosti. Namena novog/remodelovanog krova predstavlja kvalitativan kriterijum, za čije se vrednovanje koristi Satijeva skala relativnog značaja. Prilikom opisnog ocenjivanja, koje se prevodi u numeričke vrednosti, prednost se daje ravnim krovovima koji su namenjeni široj populaciji, prevashodno za boravak, ali i za ostvarivanje drugih koristi, u odnosu na određenu (manju) grupu korisnika (stanari, zaposleni, itd.) kojoj se pružaju isti benefiti. Uopšteno govoreći, favorizuju se javne u odnosu na polujavne krovne površine, odnosno javne i polujavne u odnosu na privatne krovne površine.

2. Vizuelni (estetski) doživljaj

Vizuelni ili estetski doživljaj objekta svakako je značajan parametar za ocenu arhitektonskog dela. Težnja autora (arhitekta) je da oblikovanjem istakne konkretno arhitektonsko delo u odnosu na okruženje, ali i da, u isto vreme, postigne sklad sa elementima prirodne i građene sredine u okruženju. Imajući u vidu karakteristike arhitektonskog stvaralaštva prevashodno iz perioda masovne izgradnje objekata svih namena (geometrijski volumeni, ujednačen ritam otvora na fasadama, izostanak detalja u oblikovanju, itd.), kao i karakteristike graditeljskog stvaralaštva koje su uslovile primenu ravnih krovova, remodelovanjem omotača objekta trebalo bi postići dobar estetski kvalitet, čiji se koncept evidentno promenio tokom vremena. Razmatrani socijalni potkriterijum ocenjuje se opisno, primenom Satijeve skale relativnog značaja, tako da se prednost daje krovu na kom su vršene intervencije koje doprinose unapređenju estetskog kvaliteta objekta. Pored ostvarivanja navedenog cilja, potrebno je razmotriti i kome je dostupno ostvarivanje vizuelnog kontakta, odnosno da li je vizuelni doživljaj obezbeđen manjoj grupi korisnika ili široj populaciji, čemu se teži.

3. Radno angažovanje

Pod radnim angažovanjem podrazumeva se održavanje krova, i to: čišćenje, provera stanja i upravljanje zelenim krovom. Ovaj potkriterijum nije sagledan kao ekonomski već kao socijalni parametar. Razlog tome je što u tranzicionim društvima, kakvo je naše, nije opravdano očekivati da investicije izgradnje zelenog krova budu uslovljene prijemom specijalizovane radne snage, čiji bi radni zadaci bili vezani samo za navedene aktivnosti u okviru održavanja krova. Iz tog razloga se u ovoj analizi podrazumeva da bi zadaci bili delegirani korisnicima objekta (stanarima ili zaposlenim) kao (dodatna radna) obaveza. Veći intenzitet poslova smatra se negativnom duštvnom posledicom novonastale promene. S tim u vezi, pri rangiranju, prednost se daje krovnim sistemima koji imaju niži nivo održavanja, uzimajući u obzir relevantnost održavanja za postizanje brojnih benefita. Navedeni socijalni potkriterijum je kvantitativan i ocenjivanje podrazumeva korišćenje odgovarajuće skale vrednovanja.

8.6 Softverska podrška razvoju integrativnog modela

Na osnovu uspostavljene metodologije integrativnog modela i definisanih kriterijuma i potkriterijuma za primenu AHP metode ustanovljena je potreba za softverskom podrškom za dobijanje numeričkih podataka i rezultata. Najpre je korišćen softver *DesignBuilder (Version 5.0.3.007)* za utvrđivanje podobnosti primene predloženih modela krovnih sistema u pogledu parametara toplotnog komfora, kao i za energetska modelovanje objekta, odnosno za proračun potrošnje energije u zimskom i letnjem periodu, uzimajući u obzir različite krovne strukture.

Pomoću programa za statičku i dinamičku analizu konstrukcija *Tower 6* izvršena je analiza konstrukcije objekta shodno predlogu novih krovnih sistema. Na kraju, proračun AHP metode realizovan je primenom programa *MS Excel* u okviru koga je kreiran kalkulator za izbor optimalnog rešenja/alternative/modela krovnog sistema.

9. KONKRETIZACIJA I VALORIZACIJA INTEGRATIVNOG MODELA

9.1 Odabir objekta za primenu integrativnog modela

Uzimajući u obzir konkretne probleme na lokalnom i nacionalnom nivou, koji su u vezi sa neospornom potrebom za unapređenjem performansi postojećih objekata, razvijen je integrativni model za konstrukcijsko unapređenje postojećih ravnih krovova implementacijom zelenih krovnih sistema, pri čemu je ukazano i na univerzalnost njegove primene. Odabir karakterističnog objekta za konkretizaciju i valorizaciju integrativnog modela izvršen je na osnovu nekoliko ključnih kriterijuma. Kriterijumi koji su razmatrani odnose se na: urbanističke uslove, odnosno položaj objekta u odnosu na uže i šire okruženje; starost objekta (ravnog krova), tj. period izgradnje; konstrukcijski sklop; i arhitektonsko oblikovanje forme i omotača – fasade i krova.

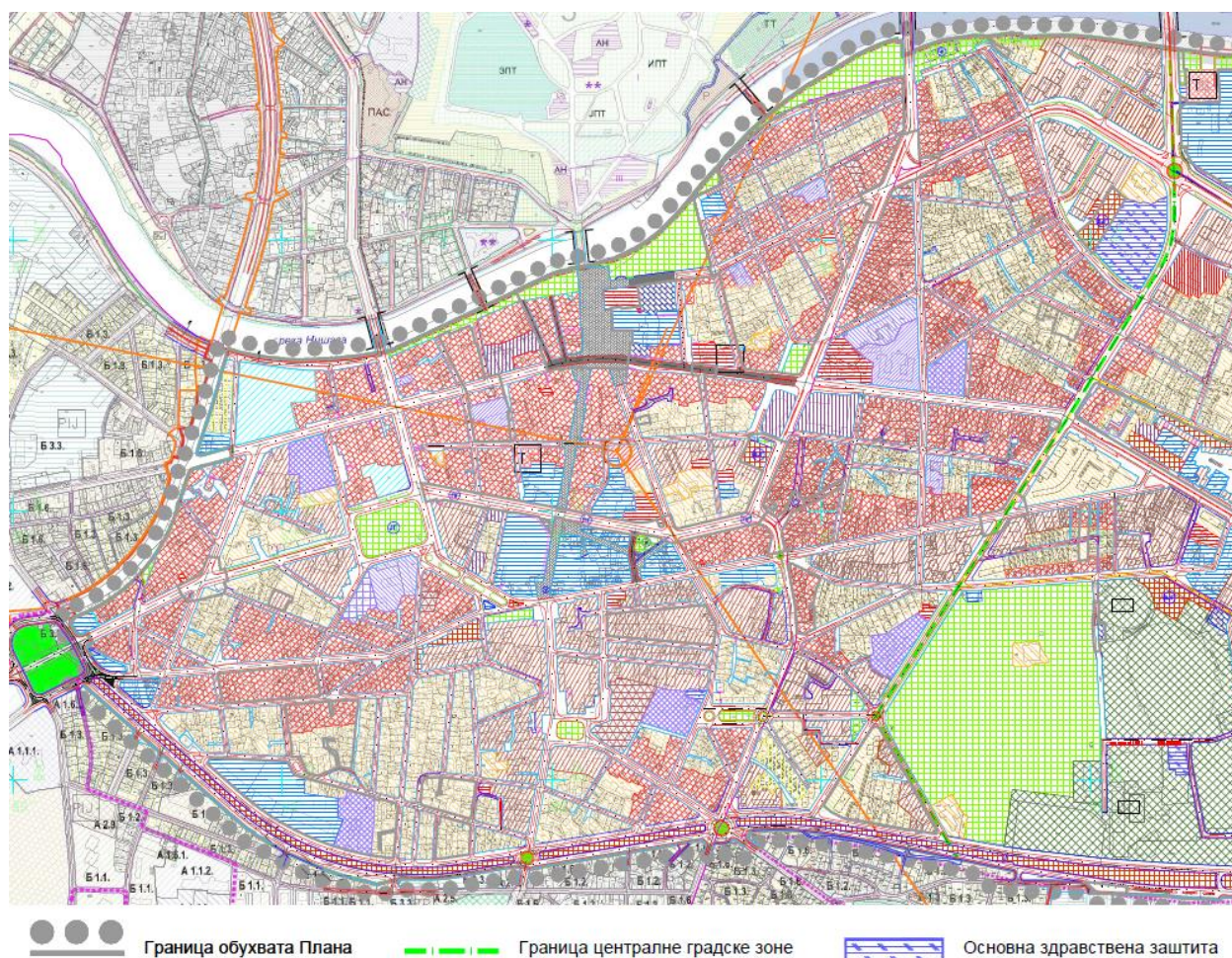
Objekat Dom zdravlja Niš, čije sve krovne konstrukcije čine ravni krovovi odabran je za primenu integrativnog modela. Analizom kriterijuma potvrđena je opravdanost i značaj razmatranja implementacije zelenih krovova ne samo na konkretnom primeru, već i u širem smislu, a na osnovu zajedničkih (opštih) karakteristika postojećih objekata sa ravnim krovovima, nasleđenih iz perioda masovne izgradnje kada su konstrukcije ravnih krovova primenjivane u najvećoj meri.

Urbanistički kriterijumi

Prilikom odabira objekta za analizu najpre su razmatrani urbanistički kriterijumi. Kako gradske sredine, a naročito gradska jezgra, karakteriše velika gustina izgrađenosti i veliko učešće nepropusnih površina, otvoreni prostori pod zelenilom nisu dovoljno zastupljeni, što nije u korelaciji sa postulatima održivog razvoja urbanih sredina. U cilju postizanja održivosti predlaže se implementacija zelenih sistema na ravnim krovovima postojećih objekata čime se opravdava njihova primena u gradskim centrima, prevashodno sa ekološkog aspekta.

Objekat Dom zdravlja Niš u okviru katastarskih parcela koje obuhvata ima namenu osnovne zdravstvene zaštite. Ovaj javni objekat nalazi se na području Gradske opštine Medijana, u centralnoj gradskoj zoni (sl. 9.1). Granice predmetne lokacije čine: ulica Vojvode Tankosića sa južne strane, ulica Vojvode Mišića sa istočne strane, parcela objekta predškolskog obrazovanja „Bambi“ sa severne strane, i objekat spratne javne garaže sa zapadne strane. Prema *Planu generalne regulacije Gradske opštine Medijana* pretežne namene površina u okruženju čine stanovanje velikih gustina u gradskom području (sa zapadne, severne i delom istočne strane), poslovno-stambene zone i stanovanje srednjih gustina (sa južne strane), vatrogasna služba (sa istočne strane), kao i planirani poslovno-trgovinski kompleks i kulturni sadržaji na lokaciji na

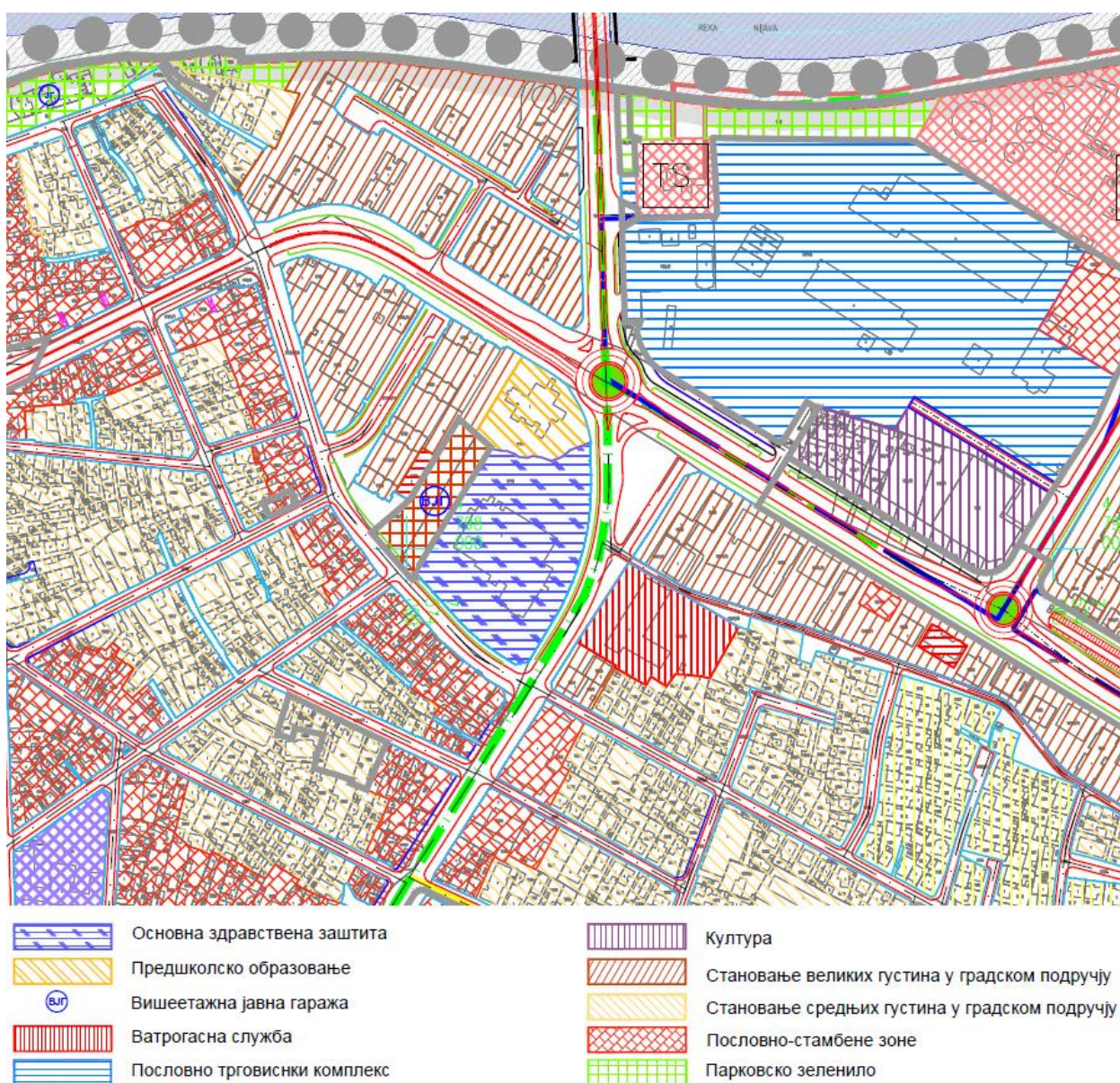
kojoj se nalazio poslovni kompleks preduzeća „Niš ekspres“ (sl. 9.2). Stanovanje je organizovano u blokovskim grupacijama. Spratnost objekata u delu stanovanja sa visokim gustinama kreće se od P + 6 do P + 19, a u delu stanovanja srednjih gustina i poslovno-stambenih zona je od P do P + 9. Blizina značajnih saobraćajnica – ul. Vojvode Mišića i Bulevara Nemanjića ukazuje na povećan obim, kako motornog, tako i nemotornog i pešačkog saobraćaja.



Slika 9.1. Položaj Doma zdravlja u centralnoj gradskoj zoni (Karta 1.1., 2018)

U pogledu zelenih površina, na osnovu prikaza dela Karte 1.1. „Granica plana sa planiranom pretežnom namenom površina“ Drugih izmena i dopuna PGR GO Medijana (2018) (sl. 9.2) može se videti da u neposrednom okruženju one nisu planirane kao zasebne celine, već je zelenilo integrisano u okviru parcela Doma zdravlja i objekta predškolskog obrazovanja, duž saobraćajnica i u okviru stambenih blokova (sl. 9.3). Imajući u vidu da se objekat Doma zdravlja nalazi u centralnoj gradskoj zoni, koju karakterišu najveće gustine izgrađenosti i naseljenosti na području grada Niša, da u neposrednom okruženju nisu planirane nove zelene površine *Planom generalne regulacije Gradske opštine Medijana*, već se postojeće zelenilo smanjuje

unutarblokovskom izgradnjom, može se konstatovati da su javni otvoreni prostori i elementi prirodne sredine u gradskom jezgru ugroženi. Činjenica da se postojeće površine pod zelenilom u okviru nasleđenih višeporodičnih stambenih područja smanjuju predstavlja posledicu ustavnih promena iz 2007. godine. Naime, od sredine prošlog veka stambena politika se zasnivala na nacionalizaciji privatne imovine koja je prešla u vlasništvo države. Od 2007. godine data je mogućnost i privatnog vlasništva nad zemljištem. U okviru stambenih područja došlo je do privatizacije zemljišta ali na način da su se privatne građevinske parcele formirale samo u okviru gabarita postojećih zgrada, dok je svo ostalo zemljište i dalje u vlasništvu države, a ređe grada. Na taj način je omogućena unutarblokovska izgradnja novih stambenih objekata ili objekata drugih namena na račun slobodnih prostora i zelenih površina.



Slika 9.2. Pretežne namene površina u užem okruženju predmetne lokacije (Karta 1.1., 2018)



Slika 9.3. Zelene površine u neposrednom okruženju: a) Doma zdravlja, b) duž saobraćajnice Bulevar Nemanjića, c) blokovsko zelenilo

Na osnovu analize urbanističkih karakteristika dela centralne gradske zone GO Medijana kojoj pripada objekat Doma zdravlja Niš i planskih uslova može se zaključiti da na terestrijalnom nivou nije predviđeno povećanje površina pod zelenilom i da se postojeće zelenilo smanjuje prevashodno usled izgradnje novih stambenih objekata. U takvim okolnostima sistemi integrisanog zelenila, a naročito ponudeni koncept zelenih krovova, predstavljaju jedino rešenje uspostavljanja ravnoteže između izgrađenog prostora i elemenata prirodne sredine u cilju postizanja održivog razvoja. Implementacija zelenih krovova bi neosporno imala značaj za ostvarivanje ekološke održivosti, bilo da je reč o neprohodnim ili prohodnim zelenim krovovima, zatim socijalne održivosti, kreiranjem korisnih zelenih površina (prohodni zeleni krovovi), dok je neophodno detaljnije analizirati benefite sa ekonomskog aspekta (smanjenje troškova za redovno održavanje – sanaciju i obnovu usled produženog životnog veka krovnog sistema, smanjenje troškova usled smanjenja potrošnje energije, itd.) u odnosu na investiciona ulaganja za izgradnju zelenih krovovnih sistema, što predstavlja jedno od primarnih ograničenja njihove široke primene. Drugim rečima, zaključeno je da je opravdano razmatrati primenu zelenih krovova na ravnim krovovnim površinama objekta Doma zdravlja u Nišu, kao i na ravnim krovovima postojećih objekata u okviru centralne gradske zone GO Medijana, u širem smislu, na osnovu urbanističkih uslova.

Starost objekta – starost ravnih krovova

Starost objekta, odnosno starost ravnog krova značajan je, iako ne presudan, kriterijum za opravdanost primene zelenog krovnog sistema. Imajući u vidu da je trajnost ravnog krova manja u odnosu na životni vek objekta, neophodno je sprovesti intervencije obnove krova ili nadgradnje savremenim tehnologijama i sistemima tokom faze eksploatacije objekta, pri čemu je najpogodniji trenutak završetak životnog ciklusa krova. S tim u vezi, Dom zdravlja u Nišu, iako predstavlja konkretan primer, može se smatrati karakterističnim objektom sa ravnim krovovima u odnosu na objekte iz perioda industrijalizovane i industrijske gradnje u pogledu primenjenih materijala, tehnologija građenja i životnog veka ravnih krovova.

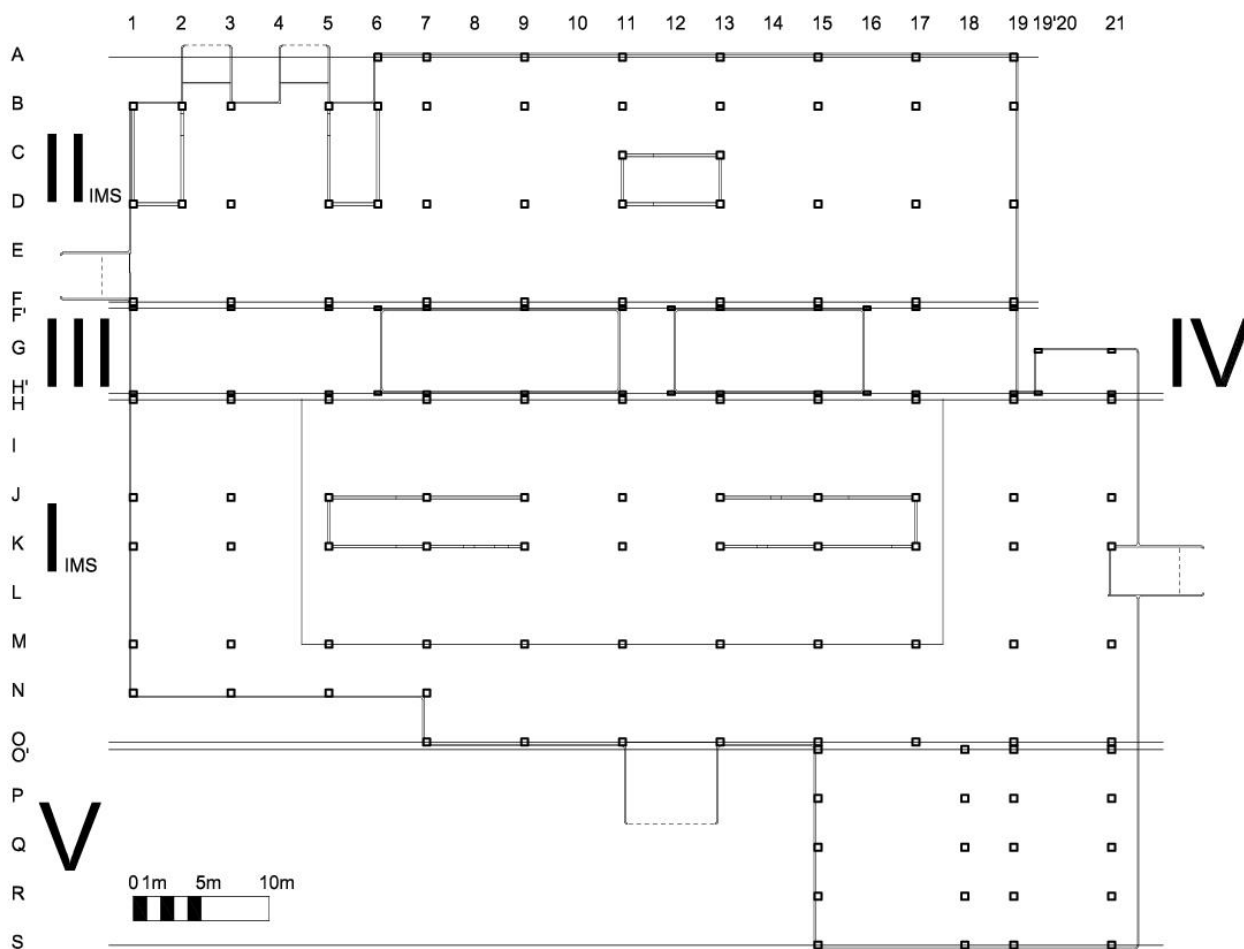
Objekat Dom zdravlja Niš izgrađen je u poslednjoj deceniji perioda masovne produkcije objekata svih namena. Projekti iz druge polovine sedamdesetih godina realizovani su do sredine osamdesetih godina XX veka, odnosno faza eksploatacije je započela krajem 1985. godine. Imajući u vidu činjenice da je procenjena trajnost ravnih krovova približno 20 godina (trajnost hidroizolacionog sloja), a da se intervencije sprovedene u međuvremenu nisu odnosile konkretno na obnovu postojeće strukture krovova, može se zaključiti da je u pogledu starosti ravnih krovova Doma zdravlja neophodno sprovesti njihovo remodelovanje.

Konstruktivski sklop

Dom zdravlja u Nišu izgrađen je kao slobodnostojeći objekat iz pet lamela, u skeletnom IMS sistemu i okvirnom (ramovskom) sistemu. Objekat predstavlja karakterističan primer i u odnosu na ovaj kriterijum, usled činjenice da je nacionalni konstruktivski sistem IMS bio u velikoj meri primenjivan za izgradnju objekata svih namena. Opravdanost remodelovanja ravnih krovova, kao i uopšteno kompletnih objekata građenih u skeletnim sistemima primenom savremenih tehnologija, ogleda se u činjenici da skeletne sisteme odlikuje fleksibilnost. Odnosno, elementi sekundarne konstrukcije, koji su nezavisni od nosećih elemenata, pružaju brojne mogućnosti u pogledu oblikovanja i funkcionalne organizacije prostora, i na taj način mogu se prilagoditi korišćenju u budućnosti.

U pogledu konstruktivskih karakteristika konkretnog primera, Dom zdravlja je višespratna skeletna zgrada građena u armiranom betonu primenom industrijalizovane tehnologije građenja, odnosno kombinacijom gotovih – prefabrikovanih konstruktivskih elemenata i izvođenjem na licu mesta („Investprojekt“ – Niš, 1977a). Što se tiče spratnosti, objekat ima jednu podzemnu etažu, tj. suteran, i nadzemni deo (kota prizemlja je na +1,00 m) od jedne, dve i sedam etaža. Iz konstruktivno-tehničkih razloga, objekat je podeljen u pet lamela, pri čemu su konstruktivske ose, u oba ortogonalna pravca, na rastojanju od 360 cm (sl. 9.4). Lamele I i II izgrađene su u IMS sistemu, dok je za lamele III, IV i V primenjen okvirni sistem. Osnovnu montažnu ćeliju

IMS konstrukcije čine četiri stuba poprečnog preseka 50 x 50 cm i sekundarno prednapregnuta kasetirana tavanica iz tri dela ukupnog raspona 720 cm x 720 cm, sa podnom pločom (7 cm) ukupne visine 36 cm. Korišćeni su i rasponi 360 cm x 720 cm, kao i jedno polje 360 cm x 360 cm u sklopu lamele II. Stabilnost objekta postignuta je primenom betonskih platna između stubova, debljine 20 cm. Osnovne elemente ramovske konstrukcije lamela III, IV i V čine stubovi poprečnog preseka 25 cm x 50 cm i 50 cm x 50 cm, i grede raspona od 312,5 cm do 1080 cm, prilikom čega su rasteri, odnosno dužine greda podužnih ramova 360 cm i 720 cm. Tavanice su pune armiranobetonske ploče, debljina 12 cm, i 15 cm iznad suterena. Elemente temeljne konstrukcije izvedene na licu mesta čine temeljne stope, temeljne trake, kontragrede i kontraploče. Svi krovovi su rešeni kao neprohodne krovne terase, u padu od 2%, sa završnim hidroizolacionim slojem. Činjenica da su obezbeđeni pristupi najvećim krovnim površinama, iznad 1. i 6. sprata, ukazuje na potencijal primene i neprohodnih i prohodnih zelenih krovova, uz prethodnu proveru mogućnosti sprovođenja remodelovanja sa konstrukcijskog aspekta.



Slika 9.4. Osnova Doma zdravlja Niš – raspored lamela

Arhitektonsko oblikovanje

Arhitektonski izraz Doma zdravlja karakterišu kompaktna osnova i svedeni geometrijski volumeni koji prate konstrukcijski sklop objekta (sl. 9.5), što su odlike arhitekture iz perioda industrijalizovane i industrijske gradnje, tako da se konkretan primer može smatrati karakterističnim u odnosu na razmatrane tehnologije građenja.



Slika 9.5. Izgled Doma zdravlja Niš

Formu objekta čine dve osnovne mase kojima je formiran niži i viši deo zgrade. Izuzev dodatih volumena manjih dimenzija, koji naglašavaju pristupe, i prodora u okviru lamele III kojim je formiran atrijum, drugih formi ili prodora u osnovni volumen objekta nema. Na taj način kreirana je jednostavna forma uokvirena ravnim fasadnim elementima. Fasadni omotač čine prefabrikovani sendvič paneli postavljeni u ujednačenom ritmu, tako da njihova visina odgovara spratnoj visini objekta, a širina četvrtini modularnog raspona od 720 cm. Primenjene su dve vrste sendvič panela – sa prozorskim otvorom i puni paneli koji dominiraju na bočnim fasadama višeg dela objekta. Ravni krovovi su po obodu obrađeni prefabrikovanim elementima u funkciji atike. Visine atika, merene od krovnih ploča, iznose 80 cm na nižem delu, odnosno 100 cm na višem delu objekta. Imajući u vidu da su naviše kote krovova na njihovim krajevima, odnosno da se odvođenje padavina vrši preko slivnika kroz objekat, jasno je da krovovi nisu namenjeni korišćenju.

Navedene činjenice ukazuju na mogućnost primene neprohodnih zelenih krovova u sklopu postojećih atika koje svojim oblikovanjem čine sklad sa fasadnim elementima. Sa druge strane, za primenu prohodnih zelenih krovova, neophodno je obezbediti ogradu, veće visine od atika na Domu zdravlja, što se može postići lakom metalnom konstrukcijom kako bi se što manje narušio postojeći sklad.

Imajući u vidu da su krovovi na predmetnom objektu ravni, implementacijom zelenih krovovnih sistema moguće je u velikoj meri nadoknaditi zauzetost tla objektom, koja, prema podacima iz Glavnog projekta Doma zdravlja u Nišu („Investprojekt“ – Niš, 1977a), iznosi 3927 m². U oblikovnom smislu, primenom intenzivnih sistema sa srednjim i visokim rastinjem uveo bi se fokus u odnosu posmatrač-objekat, koji u postojećem arhitektonskom izrazu nije dat. Drugim rečima, opažanje posmatrača bi se sa objekta kao celine, koja u određenim (bilo pozitivnim ili negativnim) relacijama koegzistira sa objektima u okruženju, preusmerilo na pojedinačne elemente objekta. Uzimajući u obzir da je ovakav pristup u oblikovanju u gusto izgrađenim urbanim sredinama poželjan, opravdano je razmatrati primenu zelenih krovova na postojećim objektima, naročito iz perioda masovne izgradnje, usled karakteristika arhitektonskog oblikovanja forme i omotača objekata.

9.2 Ispunjavanje uslova za sprovođenje remodelovanja ravnih krovova objekta Dom zdravlja Niš

Ispunjavanje uslova za sprovođenje remodelovanja ravnih krovova objekta Dom zdravlja Niš predstavlja prvi deo integrativnog modela koji se odnosi na prikupljanje informacija o karakteristikama područja grada Niša i informacija o objektu. Imajući u vidu specifične zahteve za implementaciju zelenih krovova, na osnovu prikupljenih podataka utvrđuje se podobnost njihove primene u konkretnim geografskim i klimatskim uslovima i na konkretnom objektu. Ispunjavanjem navedenih uslova omogućava se sprovođenje drugog dela integrativnog modela koji se tiče primene metode višekriterijumskog odlučivanja.

9.2.1 Prikupljanje informacija na nivou grada Niša

Prikupljanje informacija na nivou grada Niša odnosi se na analizu geografskih i klimatskih karakteristika područja u kontekstu pogodnosti konkretnih uslova za primenu koncepta zelenih krovova, kao i odabira odgovarajućeg zelenog krovovnog sistema, odnosno elemenata strukture, što se prevashodno odnosi na biljne vrste i karakteristike podloge (supstrata) za njihov razvoj.

Grad Niš, treći po veličini grad u Srbiji po broju stanovnika (prema popisu iz 2011. godine), pripada Nišavskoj oblasti Regiona južne i istočne Srbije. Niš je administrativni centar Nišavskog

okruža, Regionalni centar jugoistočne Srbije, kao i važan privredni, univerzitetski i kulturni centar države, što ukazuje na utoliko veći značaj odgovornog planiranja i projektovanja u skladu sa principima održivog razvoja.

U pogledu geografskih karakteristika, Niš se nalazi u Niškoj kotlini i prostire se sa obe strane reke Nišave, blizu njenog ušća u Južnu Moravu, na $43^{\circ}19'$ severne geografske širine i $21^{\circ}54'$ istočne geografske dužine. Niška kotlina spada u veće geografske prostore južne Srbije. Ova plitka kotlina nepravilnog oblika većim delom je ograničena planinama srednje visine. Nalazi se između Seličevice i Malog Jastreba i njihovih ogranaka, i između Svrlijskih planina i Sive planine. Grad Niš, i to uži centar grada je na 194 m nadmorske visine, dok je najniža tačka na ušću Nišave u Južnu Moravu, kod mesta Trupale (173 m nadmorske visine), a najviša tačka gradske teritorije je Sokolov kamen (1523 m nadmorske visine), prema podacima Nišavskog upravnog okruga. Geografske odrednice značajne su iz razloga što je prostorna raspodela parametara klime uslovljena upravo geografskim položajem, reljefom i lokalnim uticajem, kao rezultatom kombinacije reljefa, raspodele vazdušnog pritiska većih razmera, ekspozicijom terena, prisustvom rečnih sistema, vegetacijom, urbanizacijom, itd. (RHMZ, 2016).

U pogledu klimatskih obeležja, podneblje Niške kotline spada u oblast umereno toplih klimata sa izraženim stepenom kontinentalnosti. Kontinentalni uticaji prodiru sa severa, iz oblasti Vlaške (Rumunija) dolinom Timoka preko prevoja Gramade, i iz Panonske nizije Pomoravljem. Osnovne karakteristike umereno kontinentalne klime odnose se na topla i vlažna leta, umereno hladne i snegovite zime i izražena prelazna godišnja doba. Međutim, na osnovu vrednosti srednjih mesečnih i godišnjih temperatura vazduha i količina padavina prikazanih u tabelama 9.1 i 9.2 (preuzetih sa internet stranice Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije) može se uočiti modifikacija klime. Podaci se odnose na teritoriju grada Niša, ali su navedena odstupanja, u većoj ili manjoj meri, karakteristična za celu teritoriju Srbije. Konkretno, u odnosu na period 1961-1990. došlo je do porasta srednje godišnje temperature vazduha, dok su srednje godišnje količine padavina u granicama prosečnih vrednosti za ovo područje ali uz neravnomernu raspodelu. Prelazna godišnja doba su sve manje izražena poslednjih godina. Na osnovu par analiziranih parametara klime nesumnjivo se može zaključiti da su klimatske promene nastupile. Kako je dosadašnjim istraživanjem potvrđeno da zeleni krovovi predstavljaju jednu od mera, i to jedinu prirodnu meru (pored sistema vertikalnog ozelenjavanja), za ublažavanje klimatskih promena, može se konstatovati da je opravdano i potrebno razmatrati njihovu primenu.

Tabela 9.1. Vrednosti srednjih mesečnih i godišnjih temperatura vazduha (°C) za područje grada Niša

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec	God
1961-1990.	-0,2	2,5	6,7	11,9	16,6	19,5	21,3	21,1	17,2	11,9	6,4	1,7	11,4
1981-2010.	0,6	2,4	7,0	12,2	17,1	20,4	22,5	22,3	17,4	12,3	6,4	2,1	11,9
2015.	2,1	3,6	6,9	11,5	18,4	20,2	25,3	25,0	20,1	12,1	7,7	2,9	13
2016.	0,5	9,1	8,3	14,9	15,9	22,5	23,4	21,2	18,1	11,1	7,1	-0,5	12,6
2017.	-4,3	4,9	10,7	11,5	16,9	22,8	24,6	24,4	18,7	12,1	7,3	3,8	12,8

Tabela 9.2. Vrednosti srednjih mesečnih i godišnjih količina padavina (mm) za područje grada Niša

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec	God
1961-1990.	41,3	40,3	45,3	51,3	66,7	69,7	43,6	43,3	43,6	34,1	56,8	53,6	589,6
1981-2010.	33,8	36,8	42,5	56,6	58,0	57,3	44,0	46,7	48,0	45,5	54,8	51,5	580,3
2015.	60,0	45,2	89,5	33,8	40,0	66,0	7,5	44,1	58,5	81,3	60,2	1,7	587,8
2016.	101,3	45,1	73,7	31,2	90,6	37,3	88,6	31,4	43,6	89,5	129,6	9,1	771,0
2017.	16,6	33,6	37,5	77,0	88,8	26,0	23,2	15,1	26,6	87,5	35,0	142,3	609,2

Pogodnosti primene zelenih krovova na našim prostorima utvrđene su prevashodno u odnosu na klimatske prilike zemalja srednje i zapadne Evrope u kojima se ovaj koncept uspešno primenjuje u velikoj meri duži niz godina. Kako su u predmetnom istraživanju potrošnje energije za hlađenje i za grejanje objekta potkriterijumi ekonomskog domena održivosti, jasno je ukazano na značaj implementacije zelenih krovova za postizanje energetske efikasnosti. Analizom srednjih mesečnih temperatura u letnjem mesecima (jun - avgust) i zimskom periodu (decembar - februar) na području Niša (tab. 9.1), može se konstatovati da je leto postojanije godišnje doba u odnosu na zimu. Ova konstatacija se uopšteno odnosi i na celu teritoriju Srbije. Letnji period ima izraženiji „kvalitet i kvantitet“ u poređenju sa zimskim periodom, jer su leta stabilnija, postojanija i dužeg trajanja nego zime (Bilak, 2016). Poređenjem regija Evrope u pogledu pojedinih klimatskih parametara, ukazano je na povoljnije uslove primene zelenih krovova za postizanje energetske efikasnosti za hlađenje objekata na našim prostorima u odnosu na evropske zemlje u kojima se ovi krovni sistemi uspešno primenjuju. Naime, severozapadni, zapadni i jugozapadni delovi Evrope direktno su izloženi uticaju brojnih ciklona sa Atlantika i Mediterana, dok je veći deo južne i jugoistočne Evrope, uključujući i naše podneblje, pod uticajima veoma toplog vazduha sa severa Afrike (Bilak, 2016). U prilog pogodnosti primene zelenih krovova na teritoriji Niša govori i podatak da Niš ima u proseku najveći broj letnjih dana – 111 (sa maksimalnom temperaturom vazduha višom od 25°C), kao i najveći prosečan broj tropskih dana

– 49 (sa maksimalnom temperaturom vazduha višom od 30°C), dok je maksimalan broj tropskih dana – 95, registrovan takođe u Nišu, 2012. godine (RHMZ, 2016). Svakako da je neophodno uzeti u obzir i ostale klimatske parametre kako bi se utvrdile sve pojedinosti u vezi sa primenom koncepta zelenih krovova na konkretnom primeru, međutim sprovedena analiza nedvosmisleno ukazuje na potencijalni uspeh njihove implementacije u pogledu geografskih i klimatskih karakteristika, u odnosu na postavljeni cilj.

Da bi se formiranje zelenog krova smatralo uspešnim, potrebno je pažljivo razmotriti odabir biljnih vrsta, odnosno podloge na kojoj bi se vršilo gajenje odabranog biljnog materijala. Imajući u vidu pretežnu primenu ekstenzivnih zelenih krovova, može se reći da su predstavnici roda *Sedum* (žednjak, fam. Crassulaceae D.C.) najčešće biljke koje se koriste u njihovoj izgradnji. Pogodnost upotrebe pomenutog roda u formiranju zelenih krovova leži u dobroj ekološkoj adaptiranosti njegovih predstavnika na sušne i tople tipove staništa kao što su: kamenjari, stene, peskovite površine, suvi pašnjaci i druga prirodna staništa. Visok nivo otpornosti ovih biljaka na nepovoljne uslove u prirodi prevashodno se zasniva na posebnom obliku metabolizma (CAM, *Crassulacean Acid Metabolism*) kojim se odlikuju (Jovanović et al., 2015). On podrazumeva minimalno korišćenje nutrijenata i visoku sposobnost zadržavanja vode u tkivima i organima (sukulentnost). Zastupljeni su i drugi adaptacioni mehanizmi, poput formiranja debljeg sloja voska na listovima i stablu, što znatno smanjuje odavanje vode sa površine biljnog organizma. U skladu sa postojanjem pomenutih adaptacija sukulentne biljke preživljavaju u nepovoljnim uslovima kao što su: dugotrajni sušni periodi, ekstremno niske ili visoke temperature, snažna insolacija, itd. Takođe, većina vrsta roda *Sedum* ne zahteva isključivo tešku (kamenitu) podlogu za gajenje, već dobro opstaje i na laganom, rastresitom i vodopropusnom supstratu, što je veoma značajan parametar za zelene krovove u pogledu opterećenja krovne konstrukcije. U nizu bitnih osobina ovih biljaka izdvajaju se još i sposobnost brzog vegetativnog razmnožavanja putem puzećih, ukorenjujućih izdanaka, odnosno brzog pokrivanja podloge na kojoj se gaje, postojanje plitkog korenovog sistema, sposobnost fitoremedijacije, i drugo. Veći broj vrsta iz roda *Sedum* karakterističan je za biljni svet Srbije, Balkanskog poluostrva i južne Evrope, kao i za Mediteranski region u širem smislu (Jovanović et al., 2015; Stojanović et al., 2015; Zlatković et al., 2017). Uspešnost primene vrsta iz navedenog roda u okviru zelenih krovova potvrđena je izvedenim primerima (prilog 1, primeri 7, 8 i 9). Raznovrsnost boja i oblika sukulentnih biljaka iz familije Crassulaceae, gde pored roda *Sedum* dobru upotrebnu vrednost mogu imati i druge vrste pomenute familije sa naših prostora (*Sempervivum* L., *Jovibarba* (DC.) Opiz, *Hylotelephium* H. Ohba), pruža ugodnost boravka u urbanom okruženju i poboljšava estetski kvalitet krovnih konstrukcija (sl. 9.6a).

Sa druge strane, u praksi se kao izuzetno korisna pokazala i druga grupa biljaka koje se takođe koriste u formiranju zelenih krovova, a koje se u hortikulturi sreću pod nazivom perene ili trajnice. Tu spada veći broj višegodišnjih biljaka, pre svega vrsta iz familije trava (Poaceae), koje su takođe veoma zastupljene u okviru svih tipova zelenih krovova. Biljke iz ove grupe su veoma dekorativnog, često krupnog, busenastog izgleda, a njihova stabla mogu dosegnuti visinu i preko 2 m. Prednosti primene takvih višegodišnjih zeljastih biljaka ogledaju se u njihovoj trajnosti (3 – 30 godina), pri čemu se nadzemni deo biljke gubi tokom zime i regeneriše u proleće, zatim, u brzom reprodukciji, dobroj pokrovnoj vrednosti, pružanju prijatnog vizuelnog doživljaja (sl. 9.6b), kao i skromnim zahtevima u pogledu zalivanja i drugih oblika nege. Perene su visoko zastupljene u flori naših prostora pri čemu, za razliku od predhodne grupe biljaka, često imaju i značajnu fitocenološku ulogu u prirodi. Pored autohtonih predstavnika, u našoj flori sreće se i veći broj introdukovanih korovskih, ili čak invanzivnih stranih vrsta perena, pre svega trava koje potencijalno predstavljaju rizik po prirodne ekosisteme (Popović i Marković, 2012). S tim u vezi, bez obzira kojoj od pomenutih grupa pripadaju, treba promovisati primenu autohtonih (domaćih) biljnih vrsta, kako u okviru urbanih zelenih površina, tako i za primenu na zelenim krovovima u cilju održivog razvoja urbanih ekosistema.



Slika 9.6. Izgled zelenog krova sa vegetacionim slojem: a) seduma, b) perena

Može se zaključiti da su biljne vrste koje se tradicionalno primenjuju u formiranju vegetacije zelenih krovova u drugim, klimatski sličnim, područjima sveta pogodne za primenu i na našim prostorima, s tim što se prednost daje sukulentnim i drugim višegodišnjim, zeljastim vrstama koje pripadaju ekološkoj grupi kserofita (biljke otporne na sušu i ekstremne temperaturne uslove). Tu se pre svega misli na autohtone predstavnike koji su formirali dobre adaptacione mehanizme na lokalne klimatske i edafske uslove, što se inače predlaže i u komercijalnoj proizvodnji zelenih krovova.

9.2.2 Prikupljanje informacija o objektu Dom zdravlja Niš

9.2.2.1 Mogućnost izgradnje zelenog krova u odnosu na propise o zaštiti objekta

Objekat Dom zdravlja Niš ne spada u objekte pod zaštitom, bar ne u kontekstu vršenja intervencija na krovu. U prilog tome govore podaci o prethodnim remodelovanjima ravnih krovova. Sredinom dvehiljaditih izvršeno je pokrivanje krovova limom na drvenoj potkonstrukciji u cilju rešavanja problema prokišnjavanja, a tokom 2017. i 2018. godine vršene su nove intervencije, koje su se, između ostalog, odnosile i na postavljanje PV panela. Na osnovu navedenog može se zaključiti da nema pravnih ograničenja za sprovođenje remodelovanja krovova Doma zdravlja u Nišu u pogledu izgradnje zelenih krovnih sistema.

9.2.2.2 Procena trajnosti konstrukcije i objekta

Procenu trajnosti konstrukcije Doma zdravlja Niš, odnosno prikupljanje informacija o fizičkom stanju konstrukcije i ocenu podobnosti za upotrebu objekta, neophodno je sprovesti usled predviđenog remodelovanja krovnih sistema.

Imajući u vidu da je upotrebnii vek betonskih konstrukcija za zgrade i slične konstrukcije 50 i više godina (tab. 4.2), a da je Dom zdravlja izgrađen 1985. godine, može se konstatovati da je preostali životni vek konstrukcije prema projektnoj garanciji nešto duži od 15 godina, uzimajući u obzir da tokom perioda eksploatacije nije bilo jačih seizmičkih uticaja koji bi narušili nosivost i stabilnost konstrukcije. Kako je procenjeni životni vek zelenog krova 40 – 50 godina, a trajnost konstrukcije još približno 15 godina, postavlja se pitanje opravdanosti primene zelenih krovnih sistema. Činjenica da Dom zdravlja Niš i predmetni objekat kao centralna baza institucije predstavlja najveći centar primarne zdravstvene zaštite u Srbiji („Dom zdravlja Niš“, n.d.) ukazuje na njegov značaj, te da bi se nakon isteka projektne garancije sprovelo ispitivanje konstrukcije uz predlog odgovarajućih aktivnosti sanacije, u slučaju potrebe. Ukoliko bi seizmički uticaji doveli do narušavanja nosivosti i stabilnosti konstrukcije usled oštećenja elemenata, predmetni objekat bi, kao i ostale zgrade, bio predmet sanacije. Na osnovu navedenog, konstatovano je da je opravdano razmatrati primenu zelenih krovova kao mere unapređenja krovnih sistema u pogledu starosti konstrukcije.

Nakon ispunjavanja uslova za remodelovanje krovova zelenim krovnim sistemima koji se tiče starosti konstrukcije, neophodno je utvrditi stanje materijala i elemenata, odnosno da li je tokom eksploatacije došlo do njihove degradacije. Procena konstrukcije podrazumeva analizu postojeće dokumentacije i pregled objekta, prevashodno kako bi se konstrukcijski elementi verifikovali prema dimenzijama i materijalima (Kostić, 2010c). Pregled objekta obuhvata vizuelnu inspekciju i metode za ispitivanje betonskih elemenata. Najpre se uklanjanjem elemenata nenoseće

konstrukcije vizuelnim pregledom utvrđuje stanje krovnih ploča (prslina, ugibi, itd.), a zatim i ostalih nosećih elemenata (greda, stubova, temelja, itd). Ispitivanje betonskih elemenata, odnosno materijala ugrađenih u armiranobetonske konstrukcije, vrši se najčešće nedestruktivnim metodama, koje obezbeđuju pouzdano utvrđivanje pojedinih karakteristika betona u postojećim konstrukcijama (Muravljev, 2007). Sa druge strane, kombinovanje nedestruktivnih i destruktivnih metoda (koje podrazumevaju uzimanje određenog broja uzoraka/kernova iz postojećih konstrukcija i njihovo laboratorijsko ispitivanje) je poželjno, jer se skup uzoraka svodi na srazmerno mali broj i ovakvim ispitivanjem se dopunjuju rezultati dobijeni primenom samo nedestruktivnih metoda (Muravljev, 2007; Muravljev i dr., 2000). Savremene metode bez razaranja mogu se klasifikovati u nekoliko grupa, u zavisnosti od karakteristika betona koje se ispituju (Muravljev i dr., 2000). Uopšteno, najčešće primenjivane metode na području betona obuhvataju: metodu ultrazvuka, metodu rezonantne frekvencije, metode merenja površinske tvrdoće i metode lokalne destrukcije (Muravljev, 2007). Ukoliko se ispitivanjem materijala utvrdi da konstrukcija ne ispunjava predviđene zahteve predlažu se odgovarajuće aktivnosti sanacije. U vezi sa konstrukcijom predmetnog objekta, a na osnovu intervencija obnove spvođenih 2017. i 2018. godine, kojima je trebalo da prethodi navedeno ispitivanje materijala i elemenata, konstatovano je da je u pogledu fizičkog stanja materijala i konstrukcijskih elemenata opravdano razmatrati remodelovanje krovova primenom zelenih krovnih sistema, kao i da je konstrukcija objekta podobna za dalje korišćenje.

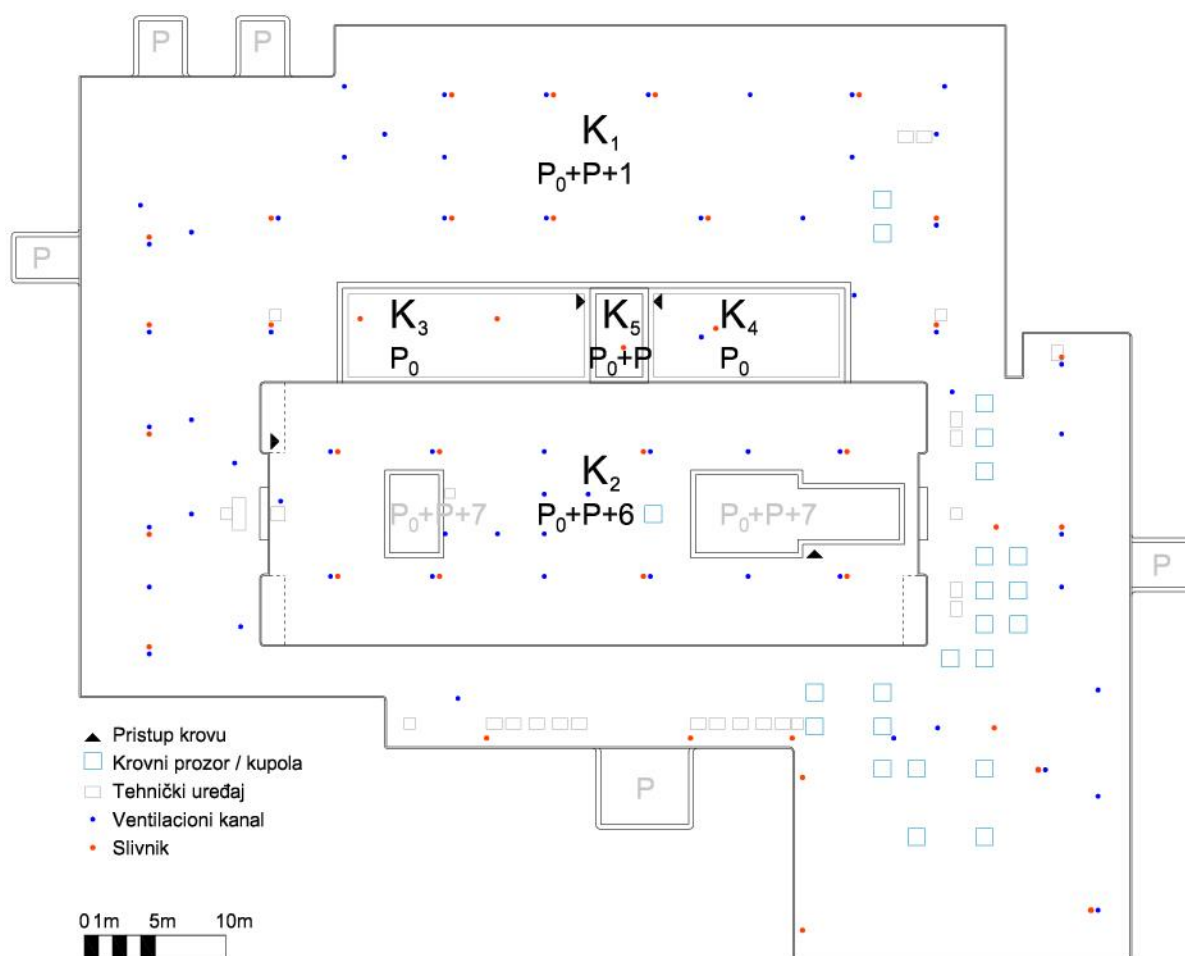
Izgradnju zelenih krovova u kontekstu trajnosti objekta, odnosno preostalog životnog veka objekta, moguće je sprovesti usled činjenice da su u prošlosti, a naročito tokom 2017. i 2018. godine vršene intervencije koje se odnose na sanaciju i obnovu krovova, fasade, sanitarnih čvorova, itd. Sprovedeno remodelovanje, principom „tokom vremena“, ukazuje na tendenciju očuvanja funkcionalnosti Doma zdravlja, u prilog čemu govori i navedeni podatak o značaju ove institucije i predmetnog objekta. S tim u vezi, predloženo remodelovanje krovova zelenim krovnim sistemima je opravdano, imajući u vidu da prethodnim intervencijama nije ispunjena osnovna uloga zaštite od spoljašnjih uticaja. Zeleni krovovi, ukoliko bi se pravilno izveli, doprineli bi očuvanju i trajnosti ne samo elemenata obloge ispod zelenog krova, čime bi se produžio životni vek krova, već i primarnih elemenata konstrukcije.

9.2.2.3 Karakteristike postojećih ravnih krovova

Kriterijumi koji su razmatrani za procenu podobnosti primene zelenih krovnih sistema odnose se na karakteristike postojećih ravnih krovova objekta Doma zdravlja Niš, i to: na procenu preostalog životnog veka krovova u odnosu na period izgradnje (odnosno vremenski period od poslednje intervencije sanacije), položaj krovova u odnosu na okruženje, raspoloživi prostor na

krovovima, postojanje/nepostojanje pristupa krovovima za održavanje i korišćenje, kao i na funkcionalnost elemenata obloge.

Da bi se sprovedla analiza ravnih krovova konkretnog objekta u odnosu na postavljene kriterijume, prethodno su definisane sve krovne površine. Na slici 9.7 prikazana je osnova krovova na kojoj su označeni njihovi nivoi. Najveću krovnu površinu predstavlja krov iznad prvog sprata K_1 ($P_0 + P + 1$) koji obuhvata sve lamele ($P_{K1} = 2691 \text{ m}^2$). Drugi po površini je krov iznad šestog sprata K_2 ($P_0 + P + 6$) u sklopu lamele I ($P_{K2} = 753,37 \text{ m}^2$). Pored navedene dve najveće krovne površine objekta Doma zdravlja, postoje još tri krova u okviru atrijuma lamele III. Dva krova, K_3 i K_4 , imaju položaj iznad suterena (P_0) ($P_{K3} = 98,53 \text{ m}^2$; $P_{K4} = 77,29 \text{ m}^2$), dok je jedna krovna površina, K_5 iznad prizemnog dela ($P_0 + P$) ($P_{K5} = 19,47 \text{ m}^2$). Ravni krovovi nadstrešnica iznad pristupa u objekat (P), kao i krovovi tehničkih prostorija i pristupa krovu na najvišem delu objekta ($P_0 + P + 7$) nisu uzeti u razmatranje jer, iako se mogu utvrditi/kvantifikovati njihove vrednosti sa ekološkog i socijalnog aspekta, oni ne doprinose, ili ne doprinose u dovoljnoj meri, unapređenju performansi objekta, u odnosu na investicione troškove. Takođe, predmet istraživanja odnosi se na (zatvorene) prostore neposredno ispod ravnih krovova koji se aktivno koriste.



Slika 9.7. Osnova krovova – prikaz nivoa krovnih površina

Procena preostalog životnog veka krovova

Kako je navedeno u okviru kriterijuma za izbor karakterističnog objekta, starost krovova, tj. procena preostalog životnog veka krovova u odnosu na period izgradnje ili u odnosu na vremenski period od poslednje intervencije obnove ne predstavlja ključni parametar koji utiče na odluku o sprovođenju remodelovanja krovova zelenim krovnim sistemima. Međutim, najpovoljniji trenutak za intervencije svakako je kraj životnog veka postojećih krovova. Imajući u vidu da je procenjena trajnost hidroizolacije približno 20 godina, a da je starost krovova 34 godine, kao i da aktivnosti remodelovanja u međuvremenu nisu podrazumevale intervencije obnove postojećih struktura krovova, može se zaključiti da je opravdano sprovođenje remodelovanja krovnih sistema u pogledu njihove starosti.

Položaj krovova u odnosu na okruženje

U dosadašnjem istraživanju ukazano je na činjenicu da orijentacija objekta nema uticaja na ravne krovove u pogledu izloženosti sunčevom zračenju, te da se samo razmatra dispozicija objekta, odnosno njegov položaj u odnosu na okruženje. Međutim, imajući u vidu formu objekta, potrebno je uzeti u obzir i orijentaciju kako bi se utvrdilo da li stvaranje senki od višeg dela ograničava primenu zelenih krovova na pojedinim delovima nižih krovnih površina. Na slici 9.8, na kojoj je prikazana orijentacija Doma zdravlja, kao i položaj u odnosu na okruženje, može se videti da je objekat prema ortogonalnim osama orijentisan u pravcu severozapad – jugoistok, odnosno severoistok – jugozapad. Drugim rečima, glavne dijagonale Doma zdravlja su u pravcu zapad – istok i sever – jug. Ovakva orijentacija omogućava izgradnju zelenih krovova na svim delovima krovnih površina, što se prevashodno odnosi na krov iznad prvog sprata, kao i na krovove atrijuma, usled činjenice da su sve krovne površine izložene sunčevoj svetlosti, odnosno nisu u senci tokom celog dana, što je skladu sa uslovima opstanka i razvoja prethodno analiziranih biljnih vrsta za vegetacioni sloj zelenih krovova.

Razmatrajući dispoziciju predmetnog objekta, na slici 9.8 može se videti da objekti u okruženju svojim položajem ne ograničavaju primenu zelenih krovova u pogledu stvaranja senki i njihovog uticaja na krovove. Ova konstatacija odnosi se na visinu, odnosno spratnost objekata sa južne i istočne strane (od P + 2 do P + 7), kao i na zanemarljivi uticaj solitera sa zapadne strane koji mogu zasenčiti krovove Doma zdravlja u određenom (popodnevnom) delu dana.

Na osnovu analize orijentacije i dispozicije Doma zdravlja u okviru centralne gradske zone utvrđeno je da se zeleni krovovi mogu uspešno primeniti na svim delovima krovnih površina.



Slika 9.8. Orijentacija i položaj Doma zdravlja u odnosu na okruženje

Raspoloživi prostor na krovovima

Raspoloživi prostor na krovu za implementaciju zelenog krovnog sistema utvrđuje se na osnovu veličine, položaja i broja tehničkih prostorija i uređaja, što se odnosi i na otvore (slivnike, ventilacione kanale i krovne prozore). Veličina i položaj prostorija i uređaja mogu predstavljati izvesno ograničenje za izgradnju prohodnih zelenih krovova, iz razloga što su manje, nekompaktne i nekontinualne površine nepovoljnije za organizaciju krovnih vrtova. U pogledu konkretnog primera, tehničke prostorije se nalaze na krovu iznad šestog sprata, na najvišem delu objekta (sl. 9.7), i njihov položaj je uslovljen položajem vertikalnih komunikacija – stepeništa i liftova. Usled primene električnih liftova, mašinske prostorije su smeštene u vrhu voznog okna. Imajući u vidu da veličina i položaj prostorija na krovu omogućavaju formiranje prohodnih zelenih krovova, u daljem istraživanju nije razmatrano uklanjanje mašinskih prostorija, što je moguće postići, npr. primenom hidruličnih liftova, usled činjenice da su kod ove vrste liftova mašinske prostorije uglavnom locirane pored voznog okna u nivou njegovog najnižeg dela. Kako bi navedena intervencija zahtevala izvesna finansijska ulaganja, neracionalno je razmatrati njeno sprovođenje u kontekstu oslobađanja relativno male krovne površine za izgradnju zelenih

krovova. Sa druge strane, ova mogućnost se svakako ostavlja za razmatranje u okviru budućih aktivnosti remodelovanja objekta. Zadržavanje postojećih prostorija opravdano je i usled obezbeđenog prisupa krovu.

Imajući u vidu da krovne kupole, slivnici, ventilacioni kanali i tehnički uređaji na krovovima utiču na projektovanje prohodnih terasa, na osnovu postojećeg stanja konstatovano je da se, pored neprohodnih zelenih krovova, ovi sistemi mogu primeniti i u okviru prohodnih krovnih terasa.

Pristup krovovima za održavanje

Održavanje krovova, i to najvećih krovnih površina iznad 1. i iznad 6. sprata, kao i krovova iznad suterena u okviru atrijuma, obezbeđeno je pristupima sa viših etaža, tj. u nivou krovova. Na taj način omogućena je primena zelenih krovova u pogledu specifičnih zahteva za održavanjem. Za manju krovnu površinu u atrijumu, iznad prizemlja, nije predviđen izlaz, tako da se tom krovu jedino može pristupiti na posredan način. Imajući u vidu veličinu i položaj krovova u sklopu atrijuma, odnosno činjenice da su ovi krovovi znatno manje površine u odnosu na krovove iznad 1. i 6. sprata, kao i da su uglavnom radne prostorije (ordinacije) orijentisane ka atrijumu, nije razmatrana primena prohodnih niti složenijih zelenih krovnih sistema (intenzivnih krovova) koji zahtevaju visok stepen održavanja i obezbeđivanje adekvatnih pristupa. U skladu sa postojećim stanjem, u odnosu na razmatrani kriterijum, za krovove atrijuma predviđena je izgradnja neprohodnih ekstenzivnih zelenih krovova maksimalne pokrivenosti, uz primenu biljnih vrsta *Seduma*, koje karakteriše nizak stepen održavanja.

Pristup krovovima za korišćenje

Postojeći pristupi najvećim krovnim površinama za odražavnje mogu se iskoristiti i kao pristupi za korišćenje što je u skladu sa funkcionalnom organizacijom Doma zdravlja. Imajući u vidu da je za neprohodan krov iznad 1. sprata predviđen samo jedan pristup (za održavanje), u cilju formiranja korisnih/prohodnih krovnih površina potrebno je razmotriti mogućnost izgradnje dodatnih pristupa čiji broj i položaj zavisi od više faktora, kao što su: željene performanse zelenog krova, funkcionalna organizacija Doma zdravlja, predviđeni broj korisnika i bezbedna evakuaciju u slučaju požara, itd.

Adekvatnim arhitektonskim rešenjem prohodnog zelenog krova iznad 6. sprata, koji bi, shodno površini, bio namenjen manjem broju korisnika u odnosu na prohodan zeleni krov iznad 1. sprata, moguće je ispuniti zahteve u pogledu bezbednosti i jednim, postojećim pristupom.

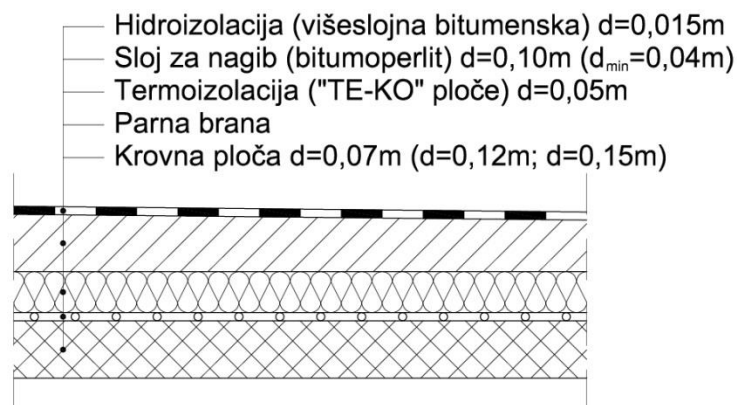
Na osnovu analize postojećeg stanja konstatovano je da postoji mogućnost formiranja prohodnih krovnih površina sa zelenilom.

Funkcionalnost elemenata obloge

Postojeće stanje ravnih krovova u pogledu funkcionalnosti elemenata obloge direktno utiče na strukturu novih krovnih sistema, bilo da je reč o obnovi ili implementaciji zelenih krovova. Tokom dosadašnje faze eksploatacije, u trajanju od 34 godine, sprovedene su intervencije na najvećim krovnim površinama, iznad 1. i 6. sprata, usled prokišnjanja, odnosno gubitka osnovne funkcije, i zarad ispunjavanja zahteva toplotne zaštite. Intervencije su porazumevale dodavanje elemenata zaštite i drugih elemenata strukture sa spoljašnje i unutrašnje strane krovova, pri čemu one nisu vršene u okviru postojećih krovnih konstrukcija. Činjenica da je došlo do prokišnjanja krovova u prošlosti, kao i činjenica da dosadašnje intervencije nisu adekvatno izvedene u pogledu prethodne provere stanja elemenata strukture, ukazuju na potrebu za kompletnim remodelovanjem ravnih krovova Doma zdravlja. Na taj način bi se obezbedila trajnost elemenata strukture ispod sloja završne obrade krovova, a time i zaštita i trajnost elemenata noseće/primarne konstrukcije.

9.2.2.4 Modelovanje unapređenih krovnih sistema

Kako bi se izvršilo modelovanje unapređenih krovnih sistema, najpre su utvrđene strukture postojećih ravnih krovova. Noseću konstrukciju krovova Doma zdravlja čine ravne krovne ploče u horizontalnom položaju, i to: IMS kasetirane tavanice debljine 7 cm, odnosno ukupne debljine 36 cm sa rebrima u oba ortogonalna pravca (u sklopu lamela I i II), i pune ploče debljine 12 cm (u sklopu lamela III, IV i V) i 15 cm (krovovi lamele III u nivou iznad suterena). Elementi obloge razmatranih neprohodnih krovova isti su za krovove svih lamela, i čine ih: parna brana, termoizolacija, sloj za nagib (2%) i hidroizolacija („Investprojekt“ - Niš, 1977a). Viseći plafoni izvedeni su tako da je svetla visina 250 cm. Na slici 9.9 prikazana je struktura ravnih krovova merodavna za termički proračun.

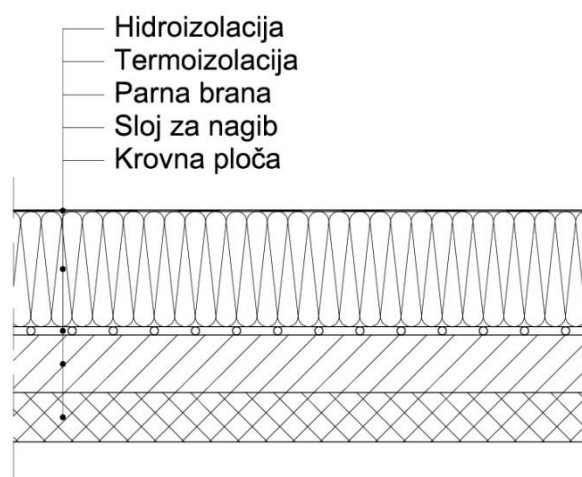


Slika 9.9. Struktura postojećih ravnih krovova

Imajući u vidu period izgradnje Doma zdravlja i propise o toplotnoj zaštiti (*Pravilnik o tehničkim merama i uslovima za toplotnu zaštitu zgrada*, 1970), vrednost koeficijenta prolaza toplote za ravne krovove, $U = 0,39 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ($k = 0,45 \text{ K}_{cal}/\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$), nije u skladu sa aktuelnim zahtevima za maksimalne dozvoljene vrednosti ($U_{max} = 0,20 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ za postojeće objekte), što ukazuje na potrebu za energetsom sanacijom. U prilog činjenici da je neophodno sprovesti intervencije na krovnim konstrukcijama govore i dosadašnje analize na osnovu kojih je predloženo kompletno remodelovanje krovnih sistema, a koje se odnose na starost krovova, oštećenja i nerazmatranje postojećeg stanja strukture prilikom prethodnih remodelovanja. Na osnovu navedenog, kompletno remodelovanje krovova Doma zdravlja predloženo je prema konceptualnim modelima a2 i b2 (sl. 8.1). Drugim rečima, kompletno remodelovanje podrazumeva uklanjanje svih elemenata nenoseće konstrukcije i postavljanje novih slojeva obloge.

Model unapređenja krovova obnovom (model 1)

U odnosu na strukturu postojećih krovova, model obnove odnosi se takođe na neprohodne krovove, uz primenu savremenih materijala i ispunjavanje zahteva toplotne zaštite. Na slici 9.10 prikazana je struktura unapređenih krovova obnovom. Na osnovu razmatrane strukture, materijala i njihovih karakteristika (tab. 9.3), izračunat je koeficijent prolaza toplote, $U = 0,160 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (za „najnepovoljniji slučaj“, odnosno za debljinu sloja za nagib od 4 cm i IMS konstrukcijski sistem – za tavanicu debljine 7 cm) čija je vrednost u granicama dozvoljenih vrednosti za ravne krovove postojećih objekata.



Slika 9.10. Struktura modela unapređenja obnovom

Tabela 9.3. Karakteristike elemenata strukture krovnog sistema za model obnove

Br.	Sloj	Proizvod/ Materijal	Debljina d (m)	Higrotermičke osobine		
				Toplotna provodljivost λ (w/mK)	Specifična toplota c (J/kgK)	Gustina ρ (kg/m ³)
1.	Hidroizolacija	Sarnafil TS 77-18	0,0018	0,17	1400	1100
2.	Termoizolacija	Sikaterm PIR GT	0,14	0,024	1400	32
3.	Parna brana	TL Sarnavap 5000E SA	0,0006	0,23	1700	1050
4.	Sloj za nagib	Bitumoperlit	0,10 (0,04)	1,4	960	600
5.	Krovna ploča	AB ploča	0,07	2,33	960	2500

Modeli unapređenja krovova implementacijom zelenih krovnih sistema

U pogledu unapređenja krovnih sistema primenom zelenih krovova razmatran je veći broj modela/alternativa. Naime, kako je utvrđeno da se na krovovima Doma zdravlja mogu formirati i neprohodni i prohodni zeleni krovni sistemi, definisani su modeli u odnosu na tip zelenog krova, namenu, i uopšteno na različite potencijalne benefite koji bi se postigli njihovom izgradnjom. Na taj način se višekriterijskim odlučivanjem procenjuje prednost primene jedne u odnosu na druge alternative, odnosno vrši se rangiranje predloženih zelenih krovnih sistema u odnosu na postavljene kriterijume. Predloženi veći broj alternativa, u okviru istog načina unapređenja, opravdan je kako bi zeleni krovovi bili konkurentni obnovi, tj. načinu unapređenja koji je inače neophodno sprovesti.

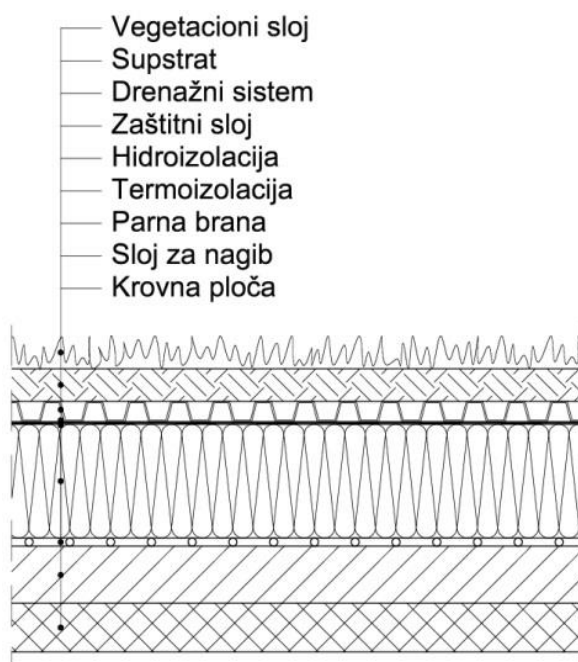
U slučaju neprohodnih krovova predviđena je maksimalna pokrivenost zelenim krovnim sistemom, dok je u slučaju prohodnih krovova predviđeno da su krovovi delom izvedeni kao klasični prohodni krovovi, a delom kao zeleni krovni sistemi. Na taj način smanjuju se finansijska ulaganja, u odnosu na izgradnju kompletnih prohodnih zelenih krovova (sl. 5.21) imajući u vidu da su razmatrane krovne površine relativno velike (ukupna površina je približno 3640 m²).

Shodno sprovedenoj analizi, definisana su tri modela unapređenja zelenim krovovima, i to: neprohodnim ekstenzivnim zelenim krovom, ekstenzivnim zelenim krovom u okviru prohodne terase i „kombinovanim“ – intenzivnim i ekstenzivnim zelenim krovom, takođe u okviru prohodne terase.

Model unapređenja neprohodnim ekstenzivnim zelenim krovom (model 2)

Prvi model unapređenja krovova implementacijom zelenih krovnih sistema predstavlja neprohodni komercijalni ekstenzivni zeleni krov *Urbanscape*, kompanije Knauf Insulation, čiji

vegetacioni sloj čini mešavina više vrsta sedumskog bilja. Ovaj komercijalni sistem odabran je zbog brzog i lakog izvođenja koje ne zahteva angažovanje stručnjaka, relativno niske cene, niskog stepena održavanja i potvrde uspešnih implementacija primerima na našim prostorima (prilog 1). Struktura unapređenog krovnog sistema podrazumeva formiranje *Urbanscape* zelenog krova preko krovnog sistema definisanog kao model obnove, uz primenu odgovarajuće hidroizolacije. Smanjenje debljine sloja termoizolacije nije uzeto u obzir iako je potvrđena uloga ovog zelenog krova u dodatnom smanjenju potrošnje energije za hlađenje objekata sa ravnim krovovima koji ispunjavaju aktuelne zahteve toplotne zaštite u pogledu vrednosti koeficijenta prolaza toplote (U) (Stamenković et al., 2018). Razlog tome je pružanje mogućnosti razmatranja formiranja *Urbanscape* zelenog krova na već obnovljenim ravnim krovovima. Na slici 9.11 prikazana je struktura krova, a u tabeli 9.4 date su karakteristike slojeva potrebne za energetska modelovanje. Na osnovu sprovedenih istraživanja (Dragičević et al., 2017; Gagliano et al., 2017; Padovani et al., 2010; Sailor, 2008), koja se odnose na energetska modelovanje objekata sa zelenim krovovima, korišćenjem softvera *DesignBuilder*, utvrđene su karakteristike vegetacionog sloja (koeficijenti: lisne površine 2,5; reflektivnosti 0,22; apsorptivnosti 0,60; transmisivnosti 0,18; emisivnosti 0,90; i otpornost biljaka na odavanje vlage 96,7 s/m). Dobijena vrednost koeficijenta prolaza toplote ovako modelovanog krovnog sistema, $U = 0,133 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, ukazuje na ispunjavanje uslova i za krovove novoizgrađenih objekata.

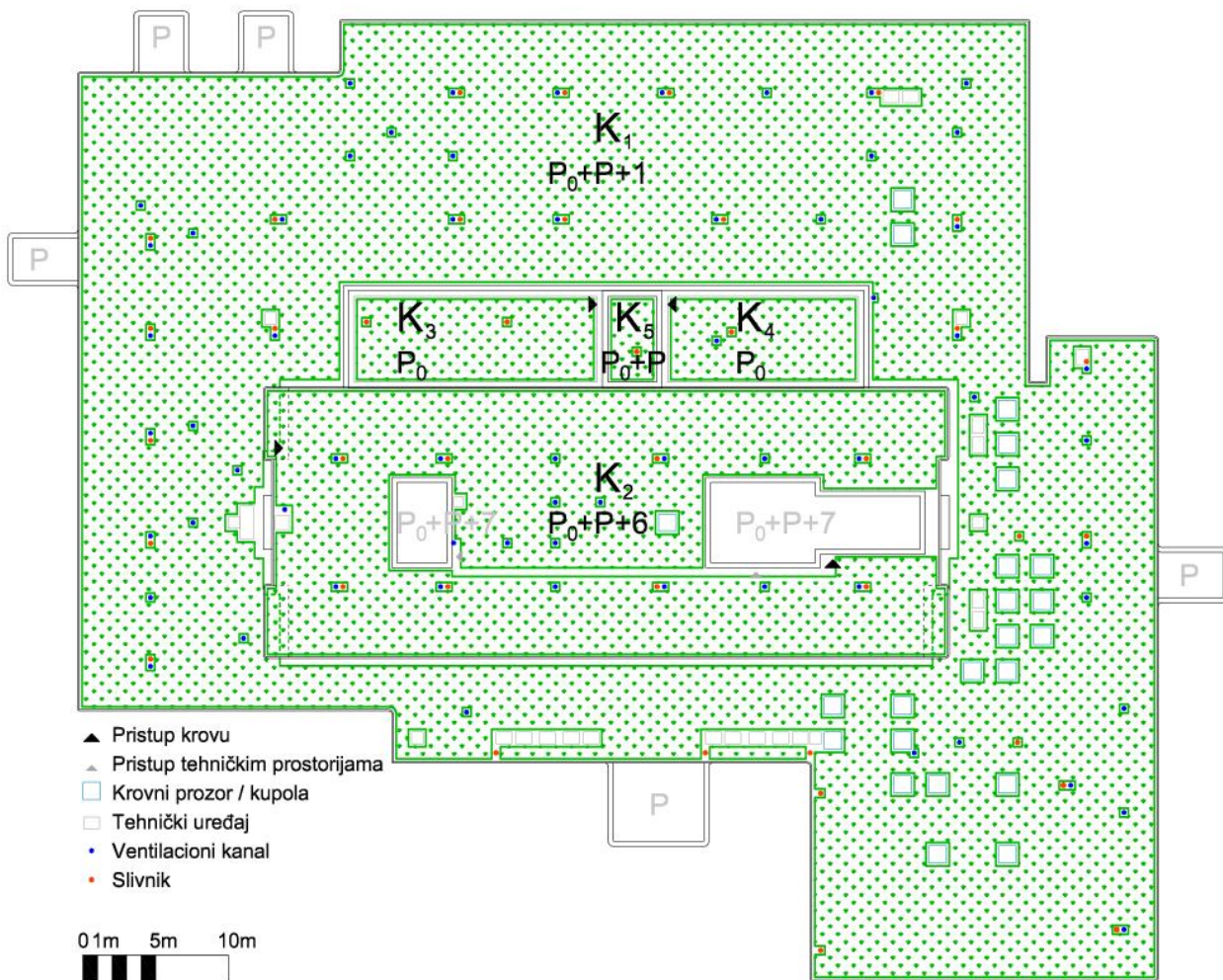


Slika 9.11. Struktura modela unapređenja implementacijom *Urbanscape* zelenog krova

Tabela 9.4. Karakteristike elemenata strukture krovnog sistema sa ekstenzivnim zelenim krovom

Br.	Sloj	Proizvod/ Materijal	Debljina d (m)	Higrotermičke osobine		
				Toplotna provodljivost λ (w/mK)	Specifična toplota c (J/kgK)	Gustina ρ (kg/m ³)
1.	Vegetacioni sloj	<i>Urbanscape</i> prekrivač sa mešavinom seduma	0,04	-	-	-
2.	Supstrat	<i>Urbanscape Green Roll</i> supstrat Standardni	0,04	0,04	840	110
3.	Drenažno-akumulacioni sloj	<i>Urbanscape</i> drenažni sistem sa rezervoarom	0,0005 (h=0,025)	0,21	960	1350
4.	Zaštitni sloj	Geotekstil (200 g/m ²)	0,0014	0,14	1925	140
5.	Hidroizolacija	Sarnafil TS 66-18	0,0018	0,17	1700	1000
6.	Termoizolacija	Sikaterm PIR GT	0,14	0,024	1400	32
7.	Parna brana	TL Sarnavap 5000E SA	0,0006	0,23	1700	1050
8.	Sloj za nagib	Bitumoperlit	0,10 (0,04)	1,4	960	600
9.	Krovnna ploča	AB ploča	0,07	2,33	960	2500

Primenom *Urbanscape* sistema predviđena je gotovo maksimalna pokrivenost krovnih površina. Predloženo arhitektonsko rešenje (sl. 9.12) u skladu je sa preporukom za izvođenje konkretnog zelenog krova koja se odnosi na postavljanje sloja šljunka, u minimalnoj širini od 20 cm, po obodu krovnih površina i oko slivnika, ventilacionih kanala, krovnih kupola i tehničkih uređaja. Na taj način ostvarena je pokrivenost zelenilom u udelu 91% (3300 m²) od ukupne površine razmatranih krovova (3640 m²).



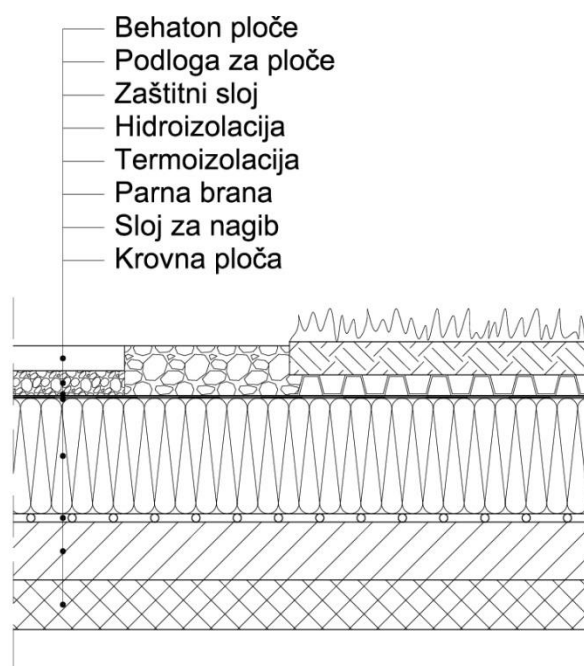
Slika 9.12. Predlog rešenja osnove krovova primenom Urbanscape zelenog krovnog sistema

Model unapređenja ekstenzivnim zelenim krovom u okviru prohodnih terasa (model 3)

Drugi model unapređenja krovova primenom zelenih krovnih sistema odnosi se na *Urbanscape* sistem u okviru prohodnih krovnih terasa. Struktura krova prikazana je na slici 9.13. Kako je utvrđeno da je koeficijent prolaza toplote za model ekstenzivnih zelenih krovova u granicama dozvoljenih vrednosti, u tabeli 9.5 prikazane su karakteristike elemenata strukture prohodnih delova krovova, na osnovu kojih je $U = 0,159 W/m^2 K$.

Prilikom projektovanja prohodnih terasa, primarni kriterijum odnosio se na što veću zastupljenost zelenih površina. Imajući u vidu da najveća krovna površina, iznad 1. sprata (K_1), ima jedan pristup, u okviru novoprojektovanog rešenja predviđena su još dva izlaza (sl. 9.14). Kako je 2. sprat tehnička etaža, postoji mogućnost pregrađivanja tehničkih prostorija za formiranje novih pristupa krovu, čime se ne bi narušila postojeća funkcionalna organizacija Doma zdravlja. Novi izlazi su u neposrednoj blizini vertikalnih komunikacija što olakšava pristup krovu, a shodno njihovom položaju i predviđenim centrima okupljanja omogućena je i efikasna evakuacija korisnika. Pešačke staze projektovane su u dva ortogonalna pravca, u širini

od 120 cm, a proširenja komunikacija predstavljaju centre okupljanja. Prostor duž atrijuma, sa severne strane, namenjen je većem broju korisnika, dok je za manji broj korisnika predviđeno okupljanje u okviru lamele V na južnoj strani. Položaj komunikacija, kao i samo projektno rešenje zelenog krova u okviru prohodnih krovnih terasa bilo je uslovljeno položajem ventilacionih kanala, slivnika, krovnih kupola i tehničkih uređaja.



Slika 9.13. Struktura modela unapređenja implementacijom Urbanscape zelenog krova u okviru prohodnih terasa

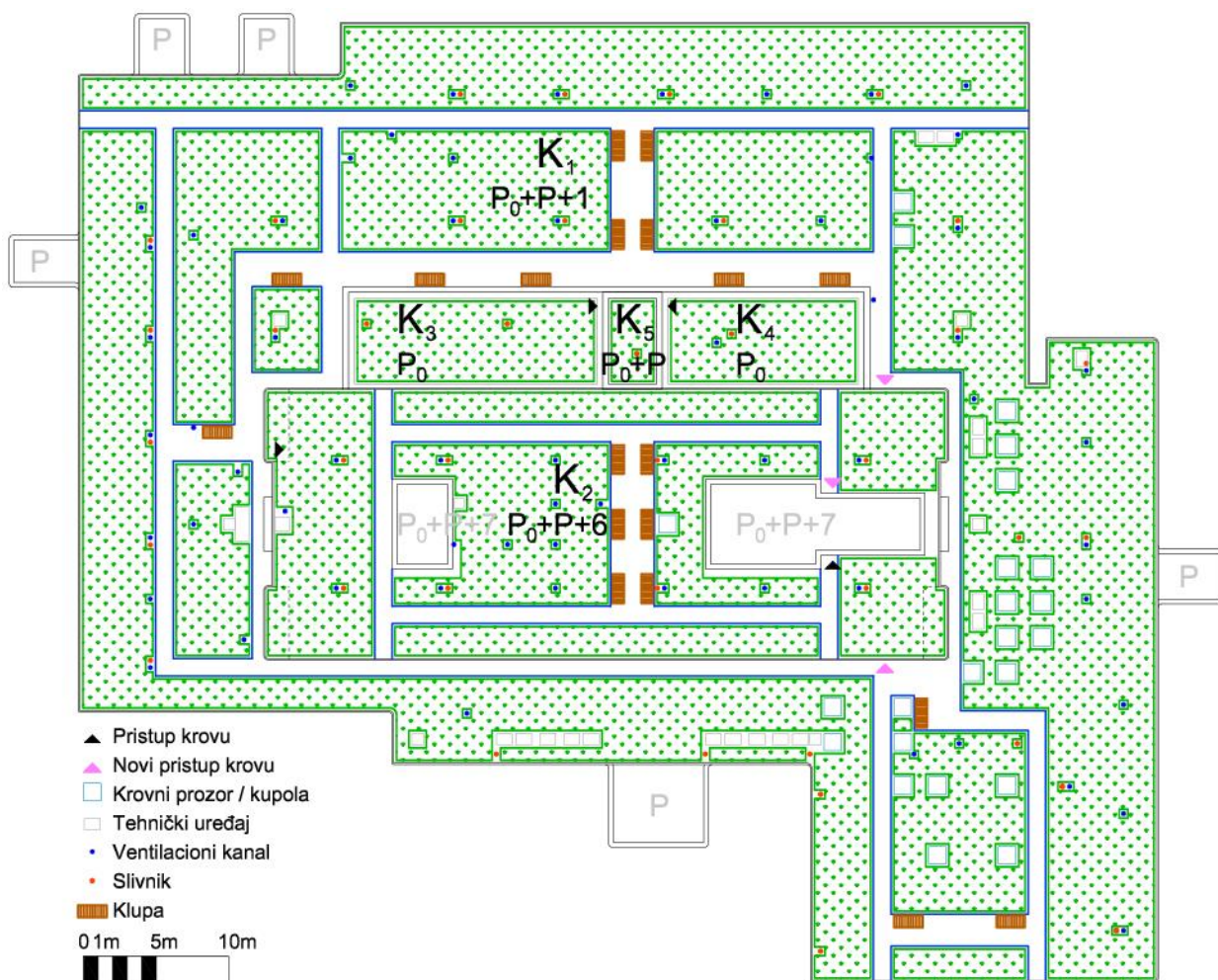
Za drugu po veličini krovnu površinu, iznad 6. sprata (K_2), pored postojećeg, predviđen je još jedan pristup (sl. 9.14). Razlog tome je položaj veće tehničke prostorije na krovu, koji onemogućava formiranje kružne veze komunikacija, a time i brzu i efikasnu evakuaciju korisnika. Vodeći računa o što većoj zastupljenosti zelenih površina, položaju ventilacionih kanala, slivnika, krovne kupole, tehničkih prostorija i uređaja, kao i o već definisanim ortogonalnim pravcima komunikacija, projektovane su prešačke staze u širini od 120 cm sa centrom okupljanja u vidu proširene komunikacije duž kraće ose, u središnjem delu krovne površine.

Imajući u vidu da su krovovi K_1 i K_2 namenjeni korišćenju, predviđene su zaštitne ograde duž postojećih atika – po obodu krovova i oko atrijuma. Kao što je već navedeno i obrazloženo, krovovi atrijuma (K_3 , K_4 i K_5) nisu namenjeni korišćenju, tako da su projektovani kao neprohodni ekstenzivni zeleni krovovi.

Predloženim projektom rešenjem zelene površine su zastupljene 70% (2551 m²) u ukupnoj površini krovova (3640 m²).

Tabela 9.5. Karakteristike elemenata strukture prohodnih delova krovova

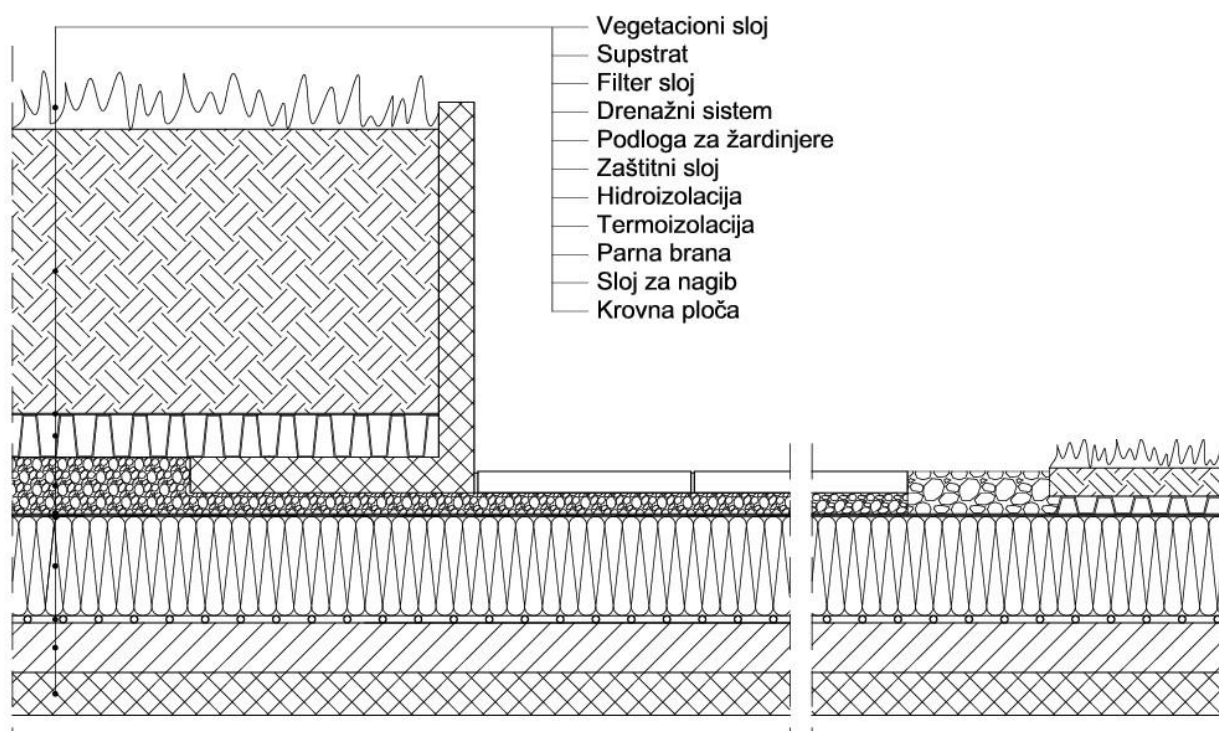
Br.	Sloj	Proizvod/ Materijal	Debljina d (m)	Higrotermičke osobine		
				Toplotna provodljivost λ (w/mK)	Specifična toplota c (J/kgK)	Gustina ρ (kg/m ³)
1.	Behaton ploče	Beton	0,025	1,16	920	2000
2.	Podloga za ploče	Šljunak	0,03	1,3	840	1800
3.	Zaštitni sloj	Geotekstil (200 g/m ²)	0,0014	0,14	1925	140
4.	Hidroizolacija	Sarnafil TS 66-18	0,0018	0,17	1700	1000
5.	Termoizolacija	Sikaterm PIR GT	0,14	0,024	1400	32
6.	Parna brana	TL Sarnavap 5000E SA	0,0006	0,23	1700	1050
7.	Sloj za nagib	Bitumoperlit	0,10 (0,04)	1,4	960	600
8.	Krovna ploča	AB ploča	0,07	2,33	960	2500



Slika 9.14. Predlog rešenja osnove krovova primenom Urbanscape zelenog krovnog sistema u okviru prohodnih terasa

Model unapređenja intenzivnim i ekstenzivnim zelenim krovovima u okviru prohodnih terasa (model 4)

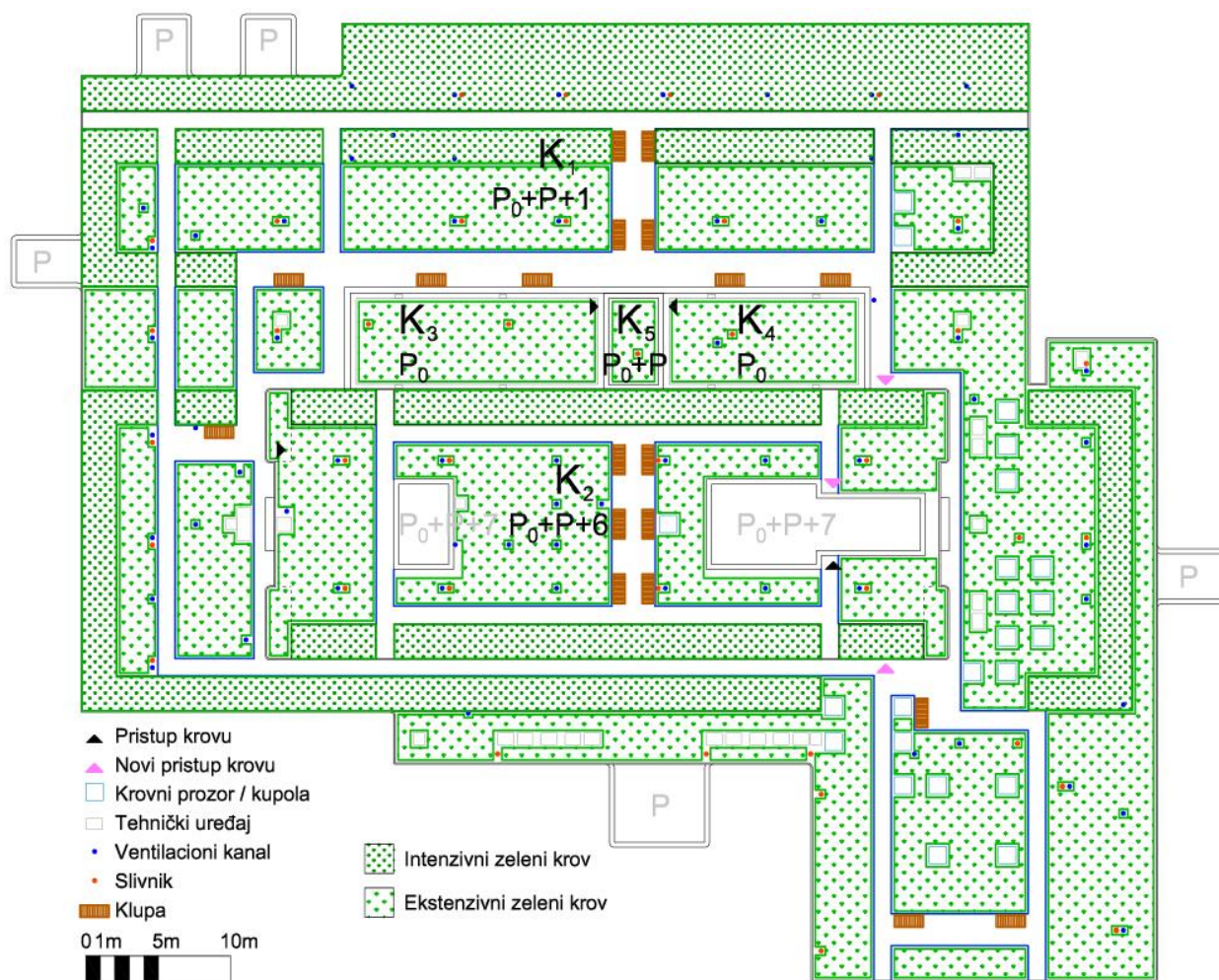
Treći model unapređenja zelenim krovovima predstavlja implementacija intenzivnih i ekstenzivnih (*Urbanscape*) zelenih krovovih sistema u okviru prohodnih terasa. Intenzivni sistem produkt je domaće kompanije *Green Decor*. *Green Decor* intenzivni zeleni krov odabran je u cilju promocije domaćih sistema, što se u ovom slučaju odnosi na sastav supstrata. Više desetina izvedenih zelenih krovova ove kompanije, što je naročito intenzivirano poslednjih godina, ukazuje na uspešnu izgradnju i eksploataciju. Na slici 9.15 prikazana je struktura *Green Decor* intenzivnog zelenog krova u kombinaciji sa *Urbanscape* sistemom u okviru prohodne terase. Na osnovu podataka dobijenih od proizvođača, kao i podataka o higrotermičkim osobinama podloga za vegetaciju sličnog sastava (Sailor et al., 2008; Zhao et al., 2013) utvrđene su karakteristike supstrata koje su sa karakteristikama ostalih slojeva prikazane u tabeli 9.6. U pogledu vegetacionog sloja, odabrane su domaće biljne vrste perena, i to: Kalina (*Ligustrum vulgare*), Balkanska forsitija (*Forsythia europaea*), Baštenska ruta (*Ruta graveolens L.*), Santolina (*Santolina chamaecuparissus L.*), Zimzelena ognjica (*Iberis sempervirens L.*), Zdravac (*Geranium macrorrhizum L.*), Zimzelen (*Vinca minor L.*) i Zečija šapa (*Geum coccineum Sm.*). Prednost njihove primene ogleda se u činjenici da ne dolazi do narušavanja stanja u ekosistemu, a ostvaruje se estetski kvalitet, odnosno vizuelni doživljaj boja i oblika. Imajući u vidu da u do sada sprovedenim istraživanjima (Dragičević et al., 2017; Gagliano et al., 2017; Sailor, 2008) akcenat nije bio na konkretnim biljnim vrstama, na osnovu analiza naučnih radova utvrđene su karakteristike biljaka potrebne za energetska modelovanje intenzivnih zelenih krovova (koeficijenti: lisne površine 5,0; reflektivnosti 0,22; apsorptivnosti 0,60; transmisivnosti 0,18; emisivnosti 0,95; i otpornost biljaka na odavanje vlage 180 s/m). Dobijena vrednost koeficijenta prolaza toplote $U = 0,117 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, korišćenjem softvera *DesignBuilder*, ukazuje na najviši stepen termoizolovanosti intenzivnog zelenog krova u odnosu na prethodno analizirane strukture. U pogledu arhitektonskog rešenja krovova primenom *Urbanscape* i *Green Decor* krovovih sistema u okviru prohodnih terasa, položaj zelenih površina i komunikacija isti je kao u prethodnom slučaju, s tim što je odnos zastupljenosti intenzivnih i ekstenzivnih krovova približno u odnosu 40% : 60% (977 m² intenzivnih i 1602 m² ekstenzivnih zelenih krovova). I ovim arhitektonskim rešenjem predviđeno je da su krovovi atrijuma (K₃, K₄ i K₅) neprohodni ekstenzivni sistemi. Predlog rešenja osnove krovova dat je na slici 9.16.



Slika 9.15. Struktura modela unapređenja implementacijom Urbanscape i Green Decor zelenih krovova u okviru prohodnih terasa

Tabela 9.6. Karakteristike elemenata strukture krovnog sistema sa intenzivnim zelenim krovom

Br.	Sloj	Proizvod/ Materijal	Debljina d (m)	Higrotermičke osobine		
				Toplotna provodljivost λ (w/mK)	Specifična toplota c (J/kgK)	Gustina ρ (kg/m ³)
1.	Vegetacioni sloj	Više vrsta perena	0,6	-	-	-
2.	Supstrat	Green Decor supstrat	0,4	0,2	1100	845
3.	Filterski sloj	Geotekstil (300 g/m ²)	0,0019	0,14	1925	160
4.	Drenažno-akumulacioni sloj	DiaDrain-60H (h=0,06)	0,00125	0,22	1400	1040
5.	Podloga za žardinjere/ drenažni sloj	Šljunak	0,08	1,3	840	1800
6.	Zaštitni sloj	Geotekstil (200 g/m ²)	0,0014	0,14	1925	140
7.	Hidroizolacija	Sarnafil TS 66-18	0,0018	0,17	1700	1000
8.	Termoizolacija	Sikaterm PIR GT	0,14	0,024	1400	32
9.	Parna brana	TL Sarnavap 5000E SA	0,0006	0,23	1700	1050
10.	Sloj za nagib	Bitumoperlit (0,04)	0,10	1,4	960	600
11.	Krovna ploča	AB ploča	0,07	2,33	960	2500



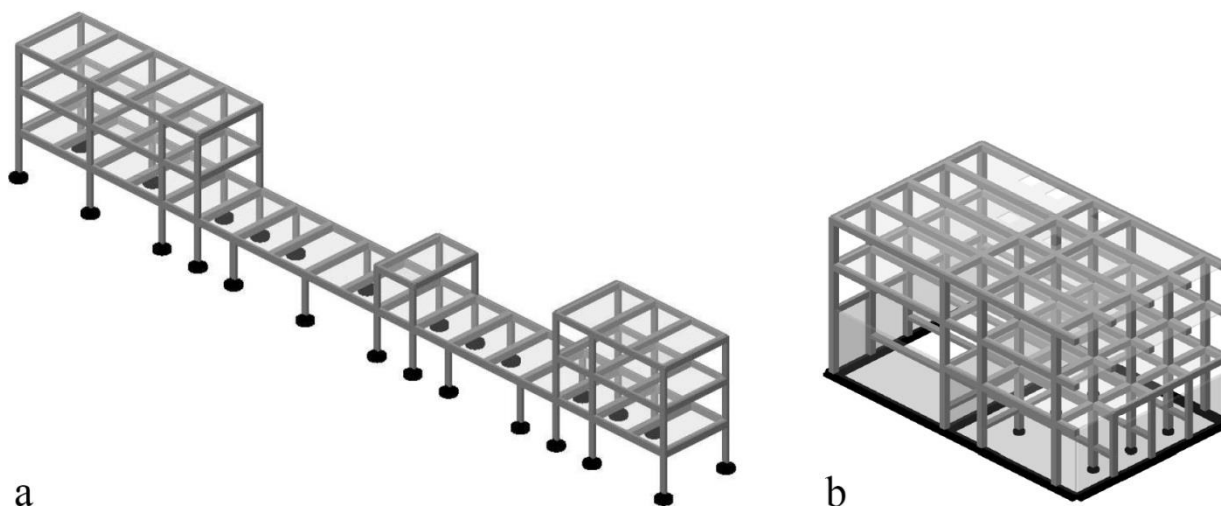
Slika 9.16. Predlog rešenja osnove krovova primenom Urbanscape i Green Decor zelenog krovnog sistema u okviru prohodnih terasa

9.2.2.5 Analiza konstrukcije prema graničnim stanjima nosivosti i upotrebljivosti

Nakon modelovanja krovnih sistema (četiri modela u okviru dva načina unapređenja) izvršena je analiza konstrukcije objekta Doma zdravlja. Analizom su obuhvaćene lamele III i V, zbog nedostupnosti podataka za IMS konstrukciju, odnosno za lamele I i II (sl. 9.4). Korišćenjem softvera *Tower 6* izvršen je proračun postojećih delova objekta kao prostornih modela (sl. 9.17) i prikazani su dominantni uticaji na osnovu kojih je sprovedeno dimenzionisanje konstrukcije (prilog 2). Konstatovano je da elementi primarne konstrukcije ispunjavaju uslove u pogledu globalne stabilnosti objekta.

Na osnovu uporedne analize opterećenja neprohodnih krovnih sistema – postojećeg stanja, unapređenja obnovom i unapređenja ekstenzivnim zelenim krovom, koja potiču od težine elemenata sekundarne konstrukcije (stalna vertikalna opterećenja) (tab. 9.7, tab. 9.8 i tab. 9.9), konstatovano je da nosivost i stabilnost konstrukcije nije ugrožena usled manjih vrednosti opterećenja od novih sistema u odnosu na postojeće (projektovano) stanje. Iz tog razloga, dalja analiza konstrukcije nije sprovedena, za model unapređenja obnovom i model unapređenja

neprohodnim ekstenzivnim zelenim krovom. Kako je za dva navedena modela opterećenje na krovne ploče manje, može se zaključiti da nosivost i stabilnost objekta u celini nije ugrožena. Lamela IV nije posebno analizirana iz razloga što su za sve slučajeve unapređenja novoprojektovana opterećenja na krovnu ploču od elemenata obloge manja u odnosu na postojeće stanje, odnosno, za sve modele unapređenja krov lamele IV predstavlja neprohodnu krovnu površinu.



Slika 9.17. Prostorni modeli: a) lamela III, b) lamela V

Tabela 9.7. Stalno vertikalno opterećenje na krovnu ploču – postojeće stanje („Investprojekt“ – Niš, 1977b)

Br.	Sloj	Proizvod/ Materijal	Debljina d (m)	Gustina ρ (kg/m ³)	Opterećenje g (kg/m ²)
1.	Zaštitni sloj	Šljunak	0,03	1800	60
2.	Hidroizolacija	Višeslojna bitumenska			30
3.	Sloj za nagib	Bitumoperlit	0,10	600	60
4.	Plafon	Armstrong plafon			30
Ukupno stalno vertikalno opterećenje na krovnu ploču					180 (1,8 kN/m ²)

Tabela 9.8. Stalno vertikalno opterećenje na krovnu ploču – unapređenje obnovom

Br.	Sloj	Proizvod/ Materijal	Debljina d (m)	Gustina ρ (kg/m ³)	Opterećenje g (kg/m ²)
1.	Hidroizolacija	Sarnafil TS 77-18	0,0018	1100	1,98
2.	Termoizolacija	Sikaterm PIR GT	0,14	32	4,48
3.	Parna brana	TL Sarnavap 5000E SA	0,0006	1050	0,7
4.	Sloj za nagib	Bitumoperlit	0,10	600	60
5.	Plafon	Armstrong plafon			30
Ukupno stalno vertikalno opterećenje na krovnu ploču					97 (1,0 kN/m ²)

Tabela 9.9. Stalno vertikalno opterećenje na krovnu ploču – unapređenje ekstenzivnim zelenim krovom (u zasićenom stanju)

Br.	Sloj	Proizvod/ Materijal	Debljina d (m)	Gustina ρ (kg/m ³)	Opterećenje g (kg/m ²)
1.	Vegetacioni sloj	Urbanscape prekrivač sa mešavinom seduma	0,04		23
2.	Supstrat	Urbanscape Green Roll supstrat Standardni	0,04	110	33,4
3.	Drenažno-akumulacioni sloj	Urbanscape drenažni sistem sa rezervoarom	0,0005 (h=0,025)	1350	13,15
4.	Zaštitni sloj	Geotekstil (200 g/m ²)	0,0014	140	0,4
5.	Hidroizolacija	Sarnafil TS 66-18	0,0018	1000	1,8
6.	Termoizolacija	Sikaterm PIR GT	0,14	32	4,48
7.	Parna brana	TL Sarnavap 5000E SA	0,0006	1050	0,7
8.	Sloj za nagib	Bitumoperlit	0,10	600	60
9.	Plafon	Armstrong plafon			30
Ukupno stalno vertikalno opterećenje na krovnu ploču					167 (1,7 kN/m ²)

U slučaju modela ekstenzivnih zelenih krovova u okviru prohodnih terasa, opterećenje od elemenata obloge prohodnih delova veće je u odnosu na projektovano stanje (tab. 9.10), i uzeto je u obzir korisno dejstvo od prisustva ljudi i urbanog mobilijara ($p = 2,00 \text{ kN/m}^2$).

Tabela 9.10. Stalno vertikalno opterećenje na krovnu ploču od prohodnih delova (staza) – unapređenje ekstenzivnim zelenim krovom u okviru prohodnih terasa

Br.	Sloj	Proizvod/ Materijal	Debljina d (m)	Gustina ρ (kg/m ³)	Opterećenje g (kg/m ²)
1.	Behaton ploče	Beton	0,025	2000	50
2.	Podloga za ploče	Pesak	0,03	1800	54
3.	Zaštitni sloj	Geotekstil (200 g/m ²)	0,0014	140	0,4
4.	Hidroizolacija	Sarnafil TS 66-18	0,0018	1000	1,8
5.	Termoizolacija	Sikaterm PIR GT	0,14	32	4,48
6.	Parna brana	TL Sarnavap 5000E SA	0,0006	1050	0,7
7.	Sloj za nagib	Bitumoperlit	0,10	600	60
8.	Plafon	Armstrong plafon			30
Ukupno stalno vertikalno opterećenje na krovnu ploču					201 (2,0 kN/m ²)

Na osnovu navedenog, izvršen je proračun uticaja od novog krovnog sistema za upoređivanje sa uticajima u modelu postojećeg stanja. Imajući u vidu dejstva na konstrukciju: stalno opterećenje (I), korisno opterećenje (II), sneg (III) i korisno opterećenje na krovu/stazama (IV), kao i seizmičke uticaje u oba ortogonalna pravca, zadato je nekoliko kombinacija opterećenja: I; I + II; I + III; I + II + III; I + IV; I + II + IV. Na osnovu proračuna konstatovano je da je dominantno

opterećenje kombinacija stalnog, korisnog i snega (I + II + III), odnosno slučaj kada je na ravan krov zadato opterećenje od snega ($s = 1,00 \text{ kN/m}^2$) po celoj površini, koje nije u kombinaciji sa korisnim opterećenjem na prohodne delove krova (staze).

Krovne ploče iznad 1. sprata lamela III i V su pune armiranobetonske ploče dimenzionisane da prime opterećenje od $5,8 \text{ kN/m}^2$ (sa sopstvenom težinom i snegom). Kako je usvojena armatura skoro kao računski potrebna, nema mnogo rezerve u nosivosti krovne ploče. Opterećenje od elemenata obloge na krovne ploče do $\approx 2,10 \text{ kN/m}^2$ moguće je primeniti bez dodatnih intervencija na konstrukciji, dok je za veća opterećenja neophodno izvršiti dodatne provere i po potrebi ojačati. S obzirom na činjenicu da su u modelu ekstenzivnih zelenih krovova u okviru prohodnih terasa opterećenja od sekundarne konstrukcije $1,70 \text{ kN/m}^2$ za zeleni krov, i $2,00 \text{ kN/m}^2$ za prohodne delove (staze), zaključeno je da nosivost krovnih ploča iznad 1. sprata lamela III i V, a time i navedenih konstrukcija u celini nije ugrožena. U pogledu krovova atrijuma lamele III (K_3 , K_4 i K_5), koji predstavljaju neprohodne zelene površine, nosivost krovnih ploča takođe nije ugrožena usled manjih vrednosti opterećenja u odnosu na postojeće/projektovano stanje.

Predloženi krovni sistem – ekstenzivni zeleni krovovi u okviru prohodnih terasa ne remeti globalnu stabilnost objekta, što se može videti iz uticaja u svim elementima konstrukcije (prilog 2). Zamenom elemenata obloge krovova masa objekta ostaje gotovo ista, čime je potvrđeno da ne nastaju bitne promene u odnosu na postojeći objekat. Prema članu 115a *Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima* (1990) pod bitnim promenama smatra se, pored povećanja i smanjenja gabarita, povećanje ili smanjenje mase objekta za više od 10%.

Analizom upotrebljivosti karakterističnih elemenata noseće konstrukcije lamela III i V utvrđeno je da funkcionalnost konstrukcije nije ugrožena primenom ekstenzivnih zelenih krovova u okviru prohodnih terasa (prilog 2).

Za unapređenje intenzivnim i ekstenzivnim zelenim krovovima u okviru prohodnih terasa predviđeno je da su ekstenzivni sistemi i prohodni delovi krovova zastupljeni kao u prethodnom modelu (ekstenzivni zeleni krovovi u okviru prohodnih terasa) za lamele III, IV i V. Intenzivni sistemi, čijom bi primenom stalno opterećenje na krovnu ploču bilo $g = 7,5 \text{ kN/m}^2$ (tab. 9.11), predviđeni su za krovove lamela I i II.

Kako analiza IMS konstrukcije nije obuhvaćena statičkim proračunom, izvršena je provera napona u tlu od vertikalnog opterećenja i utvrđeno je minimalno prekoračenje vrednosti ($\sigma_{tla} = 391 \text{ kN/m}^2 > \sigma_{dop} = 380 \text{ kN/m}^2$) za najopterećenije temeljne stope (TB-9/15/17) (sl. 9.4 i 9.16). Konstatovano je da za prekoračenje od 3% nije potrebno sprovesti intervencije na temeljnim stopama, imajući u vidu da je objekat relativno dugo u upotrebi usled čega je već došlo do

konsolidacije tla. Sa druge strane, za pojedine ostale elemente noseće konstrukcije (ploče, grede i stubove) očekivane su intervencije ojačanja. Kako ojačanja utiču na povećanje stalnog opterećenja od sopstvene težine konstrukcije, bilo bi potrebno proveriti napone u tlu nakon odabira adekvatnog načina ojačanja.

Tabela 9.11. Stalno vertikalno opterećenje na krovnu ploču – unapređenje intenzivnim zelenim krovom (u zasićenom stanju)

Br.	Sloj	Proizvod/ Materijal	Debljina d (m)	Gustina ρ (kg/m ³)	Opterećenje g (kg/m ²)
1.	Vegetacioni sloj	Više vrsta perena	0,6		10
2.	Supstrat	<i>Green Decor</i> supstrat	0,4	845	466,13
3.	Filterski sloj	Geotekstil (300 g/m ²)	0,0019	160	0,55
4.	Drenažno-akumulacioni sloj	DiaDrain-60H	0,00125 (h=0,06)	1040	30,2
5.	Podloga za žardinjere/ drenažni sloj	Šljunak	0,08	1800	144
6.	Zaštitni sloj	Geotekstil (200 g/m ²)	0,0014	140	0,4
7.	Hidroizolacija	Sarnafil TS 66-18	0,0018	1000	1,8
8.	Termoizolacija	Sikaterm PIR GT	0,14	32	4,48
9.	Parna brana	TL Sarnavap 5000E SA	0,0006	1050	0,7
10.	Sloj za nagib	Bitumoperlit	0,10	600	60
11.	Plafon	Armstrong plafon			30
Ukupno stalno vertikalno opterećenje na krovnu ploču					750 (7,5 kN/m ²)

Imajući u vidu da predloženi krovni sistemi, u pogledu strukture i primenjenih materijala i elemenata, nisu jedine moguće opcije, kao ni ponuđena arhitektonska rešenja, a značajno je sprovesti univerzalnu verifikaciju integrativnog modela kako bi se došlo do opštih zaključaka, u ovoj fazi istraživanja nije razmatrano ojačanje konstrukcije i nivo intervencija za primenu četvrtog modela, kao ni odbacivanje ovog predloga unapređenja, što je realno očekivati usled činjenice da je neracionalno sprovesti ojačanje jednog dela konstrukcije (u okviru lamela I i II) objekta Doma zdravlja zarad primene zelenog krova. Model unapređenja intenzivnim i ekstenzivnim zelenim krovovima u okviru prohodnih terasa uzet je u obzir za dalju analizu, jer je u cilju univerzalnosti značajno ponuditi i ovakav krovni sistem, iz razloga što postoji mogućnost da neki objekti, u skladu sa konstrukcijskim karakteristikama, ponuđenim krovnim sistemom i arhitektonskim rešenjem, prihvate novo opterećenje.

9.2.2.6 Konačne strukture modela unapređenih krovnih sistema

Na osnovu prethodno sprovedene analize, za dalji tok istraživanja usvojeno je da sva četiri modela unapređenja krovnog sistema budu alternative problema odlučivanja. U pogledu strukture krovnih sistema, prilikom analize konstrukcije nisu razmatrane promene, i to: povećanje opterećenja od ekstenzivnih zelenih krovova, i smanjenje opterećenja od intenzivnih zelenih krovova. Kako je evidentno da postoji mogućnost primene složenijeg ekstenzivnog zelenog krova, predloženi krovni sistem je usvojen kao konačan, iz raloga što je u pitanju komercijalni zeleni krov kod koga je prethodno definisana struktura, kao i zbog ranije navedenih benefita njegove primene. U strukturi intenzivnog zelenog krova najveće opterećenje je od supstrata, i smanjenje debljine sloja bi u najvećoj meri uticalo na smanjenje stalnog opterećenja. Iako postoji takva mogućnost, usled činjenice da je predloženi zeleni krov nekomercijalni sistem, nije razmatrano smanjenje debljine sloja zato što je debljina podloge od 40 cm potrebna za opstanak i razvoj odabranih biljnih vrsta. Sa druge strane, analizom konstrukcije utvrđeno je (za modele 1, 2 i 3) i usvojeno (za model 4), u ovoj fazi istraživanja, da nema intervencija na krovnim pločama, što bi u suprotnom imalo uticaja na strukturu krovnog sistema. Shodno navedenom, konstatovano je da nema promena u strukturama krovova.

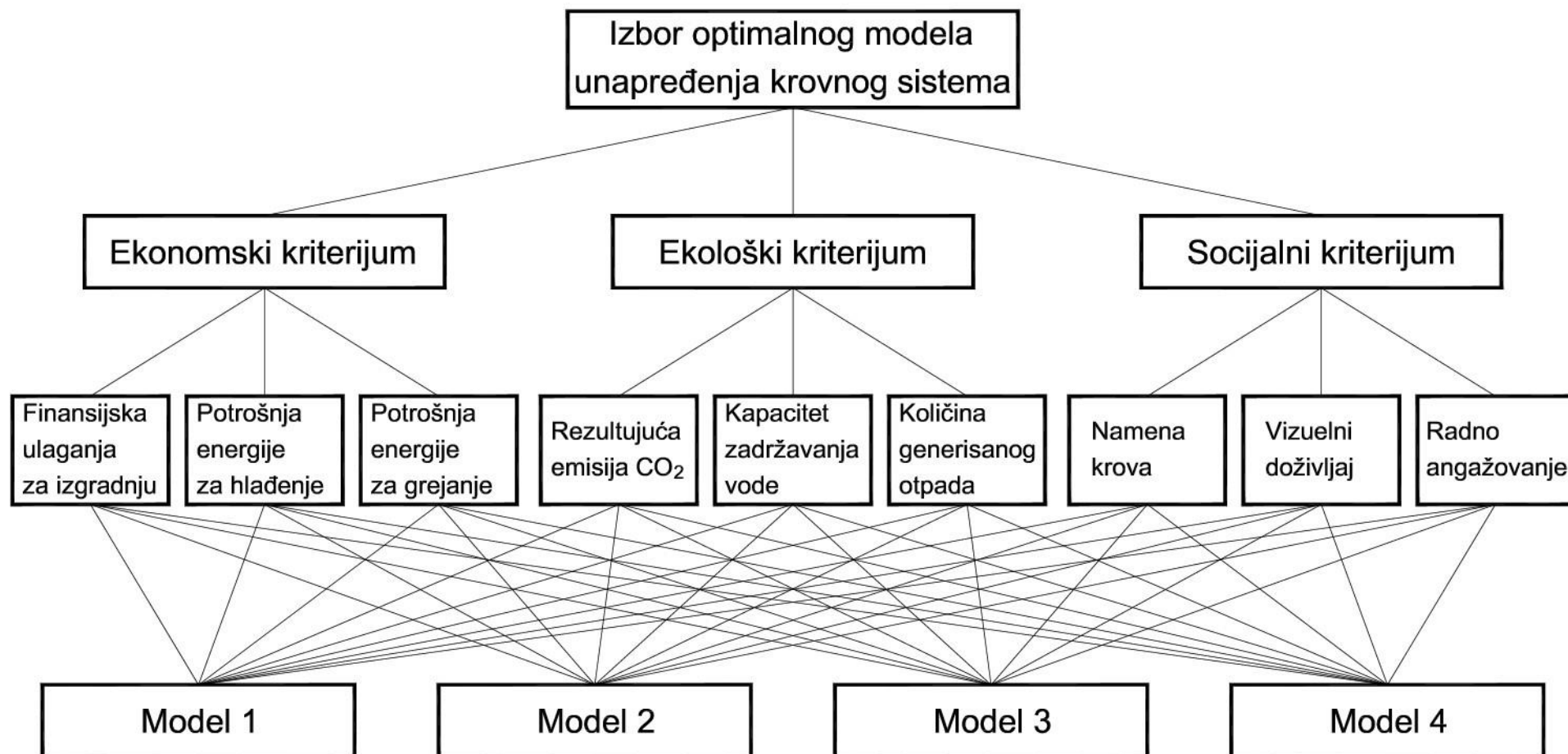
9.3 Primena AHP metode

Kako su ustanovljena četiri modela unapređenja krovnih sistema, kao i arhitektonska rešenja, sprovedena je druga faza integrativnog modela koja se odnosi na primenu AHP metode. Najpre je problem odlučivanja hijerarhijski strukturiran i dati su ulazni podaci. Zatim je izvršeno poređenje u parovima i formirane su matrice odlučivanja za dobijanje težinskih faktora (w), uz proveru konzistentnosti. Težinski faktori elemenata po svim nivoima hijerarhije korišćeni su za dobijanje kompozitnih relativnih težinskih faktora elemenata u nižim nivoima, na osnovu kojih je, na kraju, izvršen odabir alternative sa najvećom vrednošću kompozitnog težinskog koeficijenta.

9.3.1 Strukturiranje problema odlučivanja u hijerarhijski model

Na osnovu definisanog cilja, kriterijuma, potkriterijuma i alternativa, problem odlučivanja je složen u hijerarhijsku strukturu (sl. 9.18). Za potrebe istraživanja korišćena je AHP metoda koja podrazumeva kompletnu hijerarhiju sa dva srednja nivoa (kriterijumi i potkriterijumi).

Vrednosti i podaci za potkriterijume neophodni za izbor optimalnog modela unapređenja krovnog sistema prikazani su u tabeli 9.12. Za svaki od potkriterijuma izvršena je analiza dobijenih vrednosti/podataka.



Slika 9.18. Hijerarhijska struktura odlučivanja za izbor optimalnog modela unapređenja krovnog sistema

Tabela 9.12. Vrednosti i podaci za potkriterijume korišćeni za izbor optimalnog modela unapređenja krovnog sistema

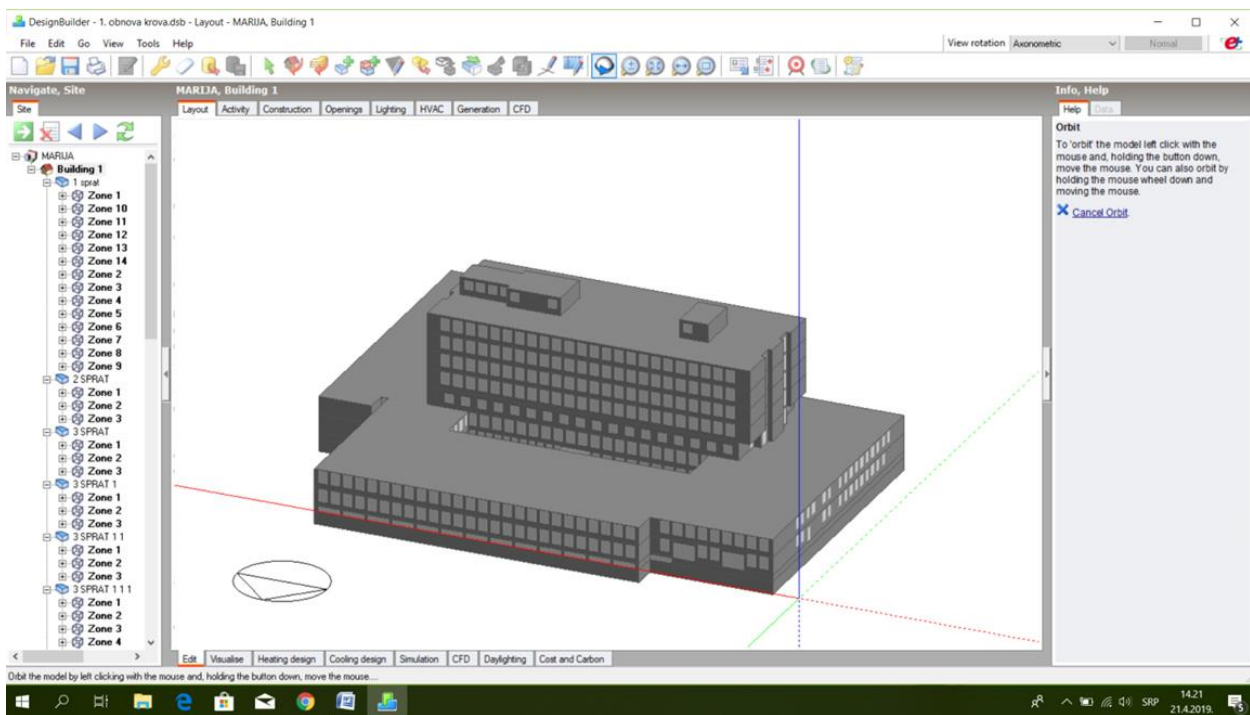
Alternative	Ekonomski potkriterijumi			Ekološki potkriterijumi			Socijalni potkriterijumi		
	Finansijska ulaganja za izgradnju (€)	Potrošnja energije za hlađenje (kWh/god)	Potrošnja energije za grejanje (kWh/god)	Rezultujuća emisija CO ₂ (kWh/god)	Kapacitet zadržavanja vode (l/m ²)	Količina generisanog otpada (kg)	Namena krova	Vizuelni doživljaj	Radno angažovanje
Model 1	131.040,00	141.698,25 (13,25 kWh/m ² /god)	812.954,31 (76,04 kWh/m ² /god)	237.691,00	0,05	21.622,00	Krov se ne koristi	Nema efekta	Najniži stepen održavanja
Model 2	232.878,00	139.499,51 (13,05 kWh/m ² /god)	810.274,12 (75,79 kWh/m ² /god)	232.657,00	45,33	26.255,00	Krov se ne koristi, ali poseduje ekološke kvalitete	Manji broj korisnika, sa distance; raznovrsnost vegetacije	Nizak stepen održavanja
Model 3	204.940,00	139.521,66 (13,05 kWh/m ² /god)	810.325,12 (75,80 kWh/m ² /god)	233.435,00	35,06	56.598,00	Ekstenzivni zeleni krov u okviru prohodnih terasa	Manji broj korisnika, iz okruženja; raznovrsnost vegetacije	Viši stepen održavanja
Model 4	262.231,00	139.456,98 (13,04 kWh/m ² /god)	806.626,34 (75,45 kWh/m ² /god)	213.562,00	64,97	114.512,00	Složeniji zeleni krovni sistem u okviru prohodnih terasa	Veći broj korisnika sa distance; manji broj korisnika iz okruženja; veća raznovrsnost vegetacije	Najviši stepen održavanja

Finansijska ulaganja za izgradnju krovnog sistema

Shodno činjenici da ojačanje konstrukcije za primenu četvrtog modela unapređenja nije razmatrano za sprovođenje AHP analize, finansijska ulaganja za izgradnju krovnih sistema odnose se na cenu elemenata strukture, transport do gradilišta i izvođenje. Elementi krovne strukture koji se nalaze između krovne ploče i hidroizolacionog sloja, i to: sloj za pad, parna brana i termoizolacija, nisu uzeti u obzir za proračun, zato što se u slučaju kompletnog remodelovanja ovaj deo krovne konstrukcije izvodi na isti način za sve modele unapređenja i podrazumeva iste materijale, količine i debljine slojeva. Finansijska ulaganja predviđena su za trajnost krovne konstrukcije od 50 godina, jer je toliko procenjen životni vek odabranih zelenih krovova od strane proizvođača i distributera – „Green Decor d.o.o.“ i „Knauf Insulation d.o.o.“ (Knauf Insulation, 2016). Kako je projektna garancija za životni vek hidroizolacije primenjena u modelu obnove 15 godina, prema navodima proizvođača, a očekivano je da traje i duže, usvojeno je da, za isti period od 50 godina, hidroizolacioni sloj bude ugrađen i zamenjen dva puta. U tabeli 9.12 prikazane su vrednosti u novčanoj jedinici EUR (€) za svaku od alternativa za životni vek krova od 50 godina, dok je proračun dat u prilogu 3. Podaci za proračun pribavljeni su od kompanija: „Knauf Insulation d.o.o.“, „Green Decor d.o.o.“, „Rasadnik Mali Vrt“, „Rasadnik Marković“, „Rasadnik Vasić“, „Sika Srbija d.o.o.“, „Vagres Ing d.o.o.“, „Pro Beton“ i „MSV ograde Nikolić“.

Potrošnja energije za hlađenje i za grejanje objekta

Za proračun potrošnje energije za hlađenje i grejanje objekta korišćen je softver *DesignBuilder* (Version 5.0.3.007). Najpre je objekat modelovan u ovom programu (sl. 9.19), i definisane su strukture termičkog omotača i unutrašnjih pregrada (prilog 3) kako bi se formirale toplotne zone. Imajući u vidu da je Dom zdravlja objekat primarne zdravstvene zaštite, u zimskom periodu je potrebno obezbediti temperaturu vazduha 20°C, a u letnjem periodu do 26°C. Energenti koji se koriste za ostvarivanje toplotnog komfora su zemni gas za grejanje, odnosno električna energija za hlađenje. Ostali parametri potrebni za proračun zadati su shodno nameni objekta. Dobijene vrednosti potrošnje energije za grejanje i za hlađenje na godišnjem nivou korišćenjem softvera *DesignBuilder*, kao i potrošnje energije za nekoliko poslednjih godina pribavljene iz službe Doma zdravlja date su u prilogu 3. Značajno je napomenuti da su svi parametri, sem strukture krovova, identični za sva četiri modela objekta, odnosno da su razlike u rezultatima posledica primene različitih krovnih sistema.



Slika 9.19. Objekat Doma zdravlja modelovan u programu DesignBuilder

Rezultujuća emisija CO₂ u odnosu na potrošnju energije za ostvarivanje toplotnog komfora

Emisija CO₂, u predmetnom istraživanju, odnosi se na količinu CO₂ (kg) emitovanog usled potrošnje energije za ostvarivanje toplotnog komfora u toku jedne godine. Kako zeleni krovovi imaju sposobnost direktnog smanjenja koncentracije CO₂ apsorbovanjem, rezultujuća emisija predstavlja vrednost emisije CO₂ umanjenu za količinu apsorbovanog CO₂ od strane biljaka, na godišnjem nivou. Proračun za dobijene vrednosti dat u prilogu 3.

Kapacitet zadržavanja vode krovnog sistema

Zadržavanje kišnice je svojstvo zelenih krovova, i predstavlja značajan ekološki benefit. Iako zeleni krov inicijalno sadži određeni procenat vlažnosti, vrednosti ovog potkriterijuma izražene su maksimalnim kapacitetom zadržavanja vode, koji predstavlja razliku u masi krovnog sistema u zasićenom i suvom stanju. Tako je kapacitet zadržavanja vode ekstenzivnog zelenog krova *Urbanscape* 50 l/m², a predloženog *Green Decor* sistema 160 l/m². Imajući u vidu da krovni sistem sa završnim hidroizolacionim slojem, kao čvrstom površinom, ne zadržava kišnicu, za sprovođenje AHP metode potrebno je usvojiti određenu minimalnu vrednost. Zadržavanje vode se u tom slučaju odnosi na količinu vode koja ne stigne do odvoda već se procesom isparavanja vrati u atmosferu. Odvođenje vode, a sa druge strane zadržavanje, zavise od brojnih faktora kao što su: intenzitet i količina padavina, vreme trajanja padavina, nagib slivnih površina, distribucija padavina sa slivnih površina do odvoda, i drugi meteorološki i klimatski uslovi koji utiču na isparavanje, kao npr. temperatura, vetar, relativna vlažnost vazduha i godišnje doba. Takođe,

zadržavanje vode može biti i posledica neadekvatnog izvođenja krova, a neravnine mogu nastati i tokom eksploatacije. Shodno navedenom, usvojena je srednja vrednost zadržavanja vode za krov unapređen obnovom, kao i za ostale površine u sklopu modela unapređenja zelenim krovovima, a da nisu živi sistemi, koja iznosi $0,05 \text{ l/m}^2$. Vrednost se smatra merodavnom za AHP analizu zato što oscilacije ovog parametra ($0,01 \text{ l/m}^2 - 0,1 \text{ l/m}^2$) ne utiču na rang alternativa, odnosno na težinske faktore.

Kapacitet zadržavanja vode može se izraziti jedinicom zapremine, za celu krovnu površinu (l) ili preko srednje vrednosti, odnosno zapremine po jedinici površine krova (l/m^2). Kako i u jednom i u drugom slučaju težinski faktori imaju iste vrednosti, kapacitet zadržavanja vode izražen je preko srednje vrednosti, za koje je proračun dat u prilogu 3.

Količina generisanog otpada

Odabrani ekološki potkriterijum uzet je u razmatranje kako bi se procenila količina građevinskog otpada na kraju životnog ciklusa krova, u odnosu na utvrđene načine i modele unapređenja, konkretno zelenim krovnim sistemima, na šta utiču i arhitektonska rešenja. U obzir su uzeti elementi strukture od hidroizolacionog sloja i period od 50 godina. To znači da će u modelu obnove otpad predstavljati hidroizolacioni materijal, odnosno količina će biti tri puta veća, jer se procena vrši za period od 50 godina, zbog predviđene trajnosti primenjenih zelenih krovnih sistema. U slučaju *Urbanscape* zelenog krova, udeo građevinskog otpada će biti 28,4 % ($5,95 \text{ kg/m}^2$ industrijskih materijala i 15 kg/m^2 biljnog/biorazgradivog materijala). Arhitektonsko rešenje uzrok je znatne količine otpada koji će nastati na kraju životnog veka krovova unapređenih intenzivnim i ekstenzivnim zelenim krovovima u okviru prohodnih terasa, u najvećoj meri zato što su intenzivni sistemi predviđeni u sklopu betonskih žardinjera. Inače, intenzivni zeleni krov *Green Decor* prema projektovanoj strukturi sadrži 0,5% materijala koji na kraju životnog veka zahtevaju tretman ili odlaganje (ne uzimajući u obzir žardinjere), odnosno 95,5% biorazgradivog i biogeološkog materijala, što ukazuje na činjenicu da su zeleni krovovi ekološki ispravno rešenje. Proračun predviđenih količina otpada dat je u prilogu 3.

Namena krova

U okviru ovog potkriterijuma razmatrana je upotrebna vrednost krovova, u skladu sa činjenicom da su svi krovni sistemi privatne površine. Iako se prva dva modela unapređenja odnose na neprohodne krovove, a treći i četvrti model na prohodne krovne sisteme, uočena je razlika u pogledu upotrebni vrednosti. Naime, model unapređenja obnovom nema upotrebnu vrednost, dok model unapređenja ekstenzivnim zelenim krovom poseduje izvesne ekološke kvalitete.

Takođe, model unapređenja intenzivnim i ekstenzivnim zelenim krovovima u okviru prohodnih krovnih sistema ima veću upotrebnu vrednost u odnosu na model unapređenja ekstenzivnim zelenim krovom u okviru prohodnih krovnih sistema, zato što je po mnogim parametrima najpribližniji parkovskoj površini. Podaci za namenu krova su kvalitativni i dati su opisno.

Vizuelni (estetski) doživljaj

Vizuelni doživljaj sagledan je kroz način ostvarivanja vizuelnog kontakta (sa distance ili iz okruženja), vizuelnu dostupnost (u kontekstu broja korisnika kojima je omogućen vizuelni doživljaj) i raznovrsnost u uređenju i doživljaju boja, oblika, mirisa, itd. Za svaku od alternativa unapređenja krovnog sistema podaci su dati opisno.

Krov unapređen obnovom nema efekta u odnosu na postavljeni potkriterijum. Za drugi krovni sistem, vizuelni kontakt omogućen je sa distance, i to korisnicima objekta i stanarima zgrada iz okruženja (sl. 9.20). U pogledu raznovrsnosti vegetacije, odnosno efekta u doživljaju boja, prevashodno, primenjene biljne vrste seduma u toku godine menjaju boju. Kako je treći krovni sistem prohodan, pored vizuelnog kontakta sa distance (sl. 9.21), korisnicima objekta omogućen je pristup i vizuelni doživljaj iz prirodnog okruženja (sl. 22). Četvrti krovni sistem, takođe vizuelno dostupan sa distance (sl. 9.23), korisnicima objekta pruža najveću raznovrsnost u pogledu biljnih vrsta i uređenja krovne površine, a time i najveću raznovrsnost u doživljaju boja, oblika, mirisa, zvuka i tekstura (sl. 9.24). Neograničenom broju ljudi, prolaznicima, daje se naznaka uređenja krova elementima prirodne sredine, ali bez celokupne slike (sl. 9.23).



Slika 9.20. Izgled neprohodnog ekstenzivnog zelenog krova



Slika 9.21. Izgled ekstenzivnog zelenog krova u okviru prohodnih terasa sa distance



Slika 9.22. Izgled ekstenzivnog zelenog krova u okviru prohodnih terasa iz okruženja



Slika 9.23. Izgled intenzivnih i ektenzivnih zelenih krovova u okviru prohodnih terasa sa distance



Slika 9.24. Izgled intenzivnih i ektenzivnih zelenih krovova u okviru prohodnih terasa iz okruženja



Slika 9.25. Vizuelni efekat objekta pružen neograničenom broju ljudi

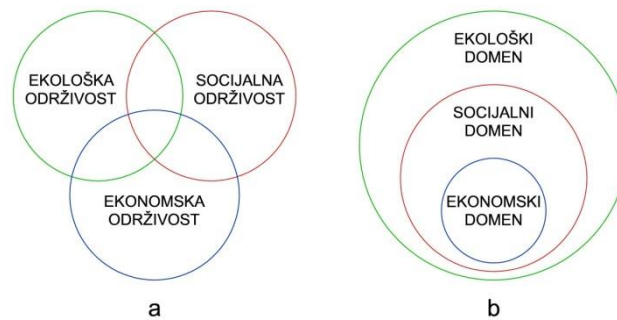
Radno angažovanje

Kroz ovaj potkriterijum sagledane su potrebe za održavanjem krovnih sistema, i podaci za svaku od alternativa dati su opisno. Konstatovano je da krov unapređen obnovom zahteva povremenu proveru stanja i čišćenje po potrebi, što je klasifikovano kao najniži stepen održavanja. Neprohodni ekstenzivni zeleni krov, konkretno *Urbanscape* sistem, u pogledu održavanja podrazumeva proveru stanja i navodnjavanje po potrebi (u sušnom delu godine), što predstavlja nizak stepen održavanja. Ekstenzivni zeleni krov u okviru prohodnih terasa karakteriše viši stepen održavanja, koji se odnosi i na učestalije čišćenje usled predviđenog korišćenja. Najsloženiji krovni sistem koji čine intenzivni i ekstenzivni zeleni krovovi u okviru prohodnih terasa podrazumeva i najviši stepen održavanja, koji se ogleda u učestalim aktivnostima provere stanja, navodnjavanja, zasejavanja ogoljenih površina, fertilizacije, uklanjanja korova, oblikovanja i čišćenja zbog korišćenja krovne površine.

9.3.2 Poređenje kriterijuma u parovima u odnosu na cilj odlučivanja

Poređenje elemenata u parovima potrebno je sprovesti na svakom nivou, počevši od vrha hijerarhijske strukture. Najpre su vrednovani kriterijumi u odnosu na cilj odlučivanja korišćenjem Satijeve skale relativnog značaja. Prilikom vrednovanja kriterijuma u parovima, prednost je data ekološkoj komponenti održivosti i u odnosu na ekonomski i u odnosu na socijalni domen. Razlog tome može se objasniti dijagramom održivog razvoja pod nazivom „model zavisnosti“ (eng. *nested-dependencies model*) (Doppelt, 2008). Naime, u odnosu na Venov dijagram održivog razvoja (sl. 9.26a) koji prikazuje preklapanje/presek tri kruga istovetnog značaja, model zavisnosti (sl. 9.26b) ukazuje na primarni značaj ekološkog domena

održivog razvoja usled činjenice da ekosistemi održavaju društva koja upravljaju ekonomskim razvojem (Doppelt, 2008).



Slika 9.26. Odnos komponenti održivog razvoja: a) Venov dijagram, b) model zavisnosti (Doppelt, 2008)

Sa druge strane, prednost je data ekonomskom u odnosu na socijalni kriterijum, imajući u vidu značaj ekonomske komponente koja predstavlja osnovni motivacioni faktor i preduslov za realizaciju (ekoloških) projekata, naročito u tranzicionim društvima, što je, između ostalog, potvrđeno nacionalnim dokumentima o promeni klime (*Prvi dvogodišnji ažurirani izveštaj*, 2016; *Prvi izveštaj*, 2010). Postavljanje socijalne dimenzije u inferiorni položaj u odnosu na ekološku i ekonomsku održivost ne ukazuje na njenu najmanju ulogu za ostvarivanje opšteg cilja, već je iz navedenih razloga (identifikovanih primarnih problema na lokalnom i nacionalnom nivou) prednost data ekološkom i ekonomskom kriterijumu.

Prema metodologiji opisanoj u poglavlju 7.2, formirana je matrica odlučivanja i izvršen je proračun težinskih faktora kriterijuma u odnosu na cilj, uz proveru stepena konzistentnosti koji je u granicama dozvoljenih vrednosti ($CR < 0,1$) (tab. 9.13).

Tabela 9.13. Poređenje kriterijuma u parovima u odnosu na cilj odlučivanja

	Ekonomski kriterijum	Ekološki kriterijum	Socijalni kriterijum	w
Ekonomski kriterijum	1	1/2	2	0,310833
Ekološki kriterijum	2	1	2	0,493334
Socijalni kriterijum	1/2	1/2	1	0,195833
Σ				1,000000
CR				0,046336

9.3.3 Poređenje potkriterijuma u parovima u odnosu na kriterijum

Druga faza poređenja elemenata u parovima odnosi se na vrednovanje potkriterijuma u odnosu na kriterijum. U slučaju ekonomske grupe (tab. 9.14), prednost je data finansijskim ulaganjima za izgradnju krovnog sistema u odnosu na potrošnje energije u letnjem i zimskom periodu za ostvarivanje toplotnog komfora. Razlog tome su znatna finansijska ulaganja u odnosu na

očekivane minimalne razlike u potrošnji energije, odnosno minimalna unapređenja implementacijom zelenih krovova u odnosu na model obnove. Potkriterijum potrošnje energije za hlađenje objekta favorizovan je u odnosu na potrošnju energije za grejanje usled činjenice da su leta postojanija i dužeg trajanja u odnosu na zime.

Vrednovanjem potkriterijuma zaštite životne sredine (tab. 9.15), najveći značaj dodeljen je rezultujućoj emisiji CO₂, odnosno rezultujućoj emisiji CO₂ i kapacitetu zadržavanja vode, u odnosu na količinu generisanog otpada. Ovakvo vrednovanje u skladu je sa činjenicom da se primenom zelenih krovova ostvaruju trenutne, ali i dugoročne koristi, u okviru prva dva potkriterijuma, a da će se utvrđena količina otpada generisati za 50 godina.

Sa socijalnog aspekta održivosti, nameni krova data je prednost u odnosu na druga dva potkriterijuma zbog primarnog značaja izgradnje dodatnog korisnog prostora, dok je vizuelni doživljaj favorizovan u odnosu na radno angažovanje za potrebe održavanja krovnih površina (tab. 9.16).

Tabela 9.14. Poređenje potkriterijuma u parovima u okviru ekonomske grupe

	Finansijska ulaganja	Potrošnja en. za hlađenje	Potrošnja en. za grejanje	w
Finansijska ulaganja	1	3	4	0,625005
Potrošnja en. za hlađenje	1/3	1	2	0,238490
Potrošnja en. za grejanje	1/4	1/2	1	0,136505
Σ				1,000000
CR				0,015802

Tabela 9.15. Poređenje potkriterijuma u parovima u okviru ekološke grupe

	Rezultujuća emisija CO ₂	Kapacitet zadržavanja vode	Količina generisanog otpada	w
Rezultujuća emisija CO ₂	1	2	4	0,558418
Kapacitet zadržavanja vode	1/2	1	3	0,319620
Količina generisanog otpada	1/4	1/3	1	0,121962
Σ				1,000000
CR				0,015802

Tabela 9.16. Poređenje potkriterijuma u parovima u okviru socijalne grupe

	Namena krova	Vizuelni doživljaj	Radno angažovanje	w
Namena krova	1	2	4	0,558417
Vizuelni doživljaj	1/2	1	3	0,319621
Radno angažovanje	1/4	1/3	1	0,121962
Σ				1,000000
CR				0,015802

9.3.4 Određivanje težinskih faktora alternativa u odnosu na potkriterijume

Određivanje težinskih faktora alternativa izvršeno je na osnovu prethodno navedenih ulaznih podataka za svaki od razmatranih potkriterijuma. Za kvantitativne podatke korišćena je normalizacija, koja se odnosi na izračunavanje sume vrednosti (po kolonama), nakon čega se svaka vrednost podeli sa odgovarajućom sumom. Kod potkriterijuma kod kojih se prilikom ocenjivanja prednost daje manjoj vrednosti ulaznog podatka, proračun je prilagođen kako bi najveći težinski faktor odgovarao najboljoj alternativni. U tabelama 9.17 – 9.22. prikazane su normalizacije ulaznih podataka i težinski faktori za alternative u odnosu na ekonomske i ekološke potkriterijume.

Tabela 9.17. Određivanje težinskih faktora alternativa u odnosu na finansijska ulaganja za izgradnju krovnog sistema

Alternative	Vrednost (kWh/god)	Normalizacija			w
Model 1	131.040,00	831.089,00 / 131.040,00	6,342254	6,342254 / 17,135609	0,370121
Model 2	232.878,00	831.089,00 / 232.878,00	3,568774	3,568774 / 17,135609	0,208267
Model 3	204.940,00	831.089,00 / 204.940,00	4,055280	4,055280 / 17,135609	0,236658
Model 4	262.231,00	831.089,00 / 262.231,00	3,169301	3,169301 / 17,135609	0,184954
Σ	831.089,00		17,135609		1,000000

Tabela 9.18. Određivanje težinskih faktora alternativa u odnosu na potrošnju energije za hlađenje objekta

Alternative	Vrednost (kWh/god)	Normalizacija			w
Model 1	141.698,25	560.176,40 / 141.698,25	3,953305	3,953305 / 16,000739	0,247070
Model 2	139.499,51	560.176,40 / 139.499,51	4,015616	4,015616 / 16,000739	0,250964
Model 3	139.521,66	560.176,40 / 139.521,66	4,014878	4,014878 / 16,000739	0,250925
Model 4	139.456,98	560.176,40 / 139.456,98	4,016840	4,016840 / 16,000739	0,251041
Σ	560.176,40		16,000739		1,000000

Tabela 9.19. Određivanje težinskih faktora alternativa u odnosu na potrošnju energije za grejanje objekta

Alternative	Vrednost (kWh/god)	Normalizacija			w
Model 1	812.954,31	3.240.179,89 / 812.954,31	3,985685	3,985685 / 16,000124	0,249103
Model 2	810.274,12	3.240.179,89 / 810.274,12	3,998869	3,998869 / 16,000124	0,249927
Model 3	810.325,12	3.240.179,89 / 810.325,12	3,998617	3,998617 / 16,000124	0,249912
Model 4	806.626,34	3.240.179,89 / 806.626,34	4,016953	4,016953 / 16,000124	0,251058
Σ	3.240.179,89		16,000124		1,000000

Tabela 9.20. Određivanje težinskih faktora alternativa u odnosu na rezultujuću emisiju CO₂

Alternative	Vrednost (kgCO ₂ /god)	Normalizacija			w
Model 1	237.691,00	917.345,00 / 237.691,00	3,859401	3,859401 / 16,027525	0,240798
Model 2	232.657,00	917.345,00 / 232.657,00	3,942907	3,942907 / 16,027525	0,246008
Model 3	233.435,00	917.345,00 / 233.435,00	3,929766	3,929766 / 16,027525	0,245189
Model 4	213.562,00	917.345,00 / 213.562,00	4,295451	4,295451 / 16,027525	0,268005
Σ	917.345,00		16,027525		1,000000

Tabela 9.21. Određivanje težinskih faktora alternativa u odnosu na kapacitet zadržavanja vode krovnog sistema

Alternative	Vrednost (l/m ²)	Normalizacija	w
Model 1	0,05	0,05 / 145,41	0,000344
Model 2	45,33	45,33 / 145,41	0,311739
Model 3	35,06	35,06 / 145,41	0,241111
Model 4	64,97	64,97 / 145,41	0,446806
Σ	145,41		1,000000

Tabela 9.22. Određivanje težinskih faktora alternativa u odnosu na količinu generisanog otpada

Alternative	Vrednost (kg)	Normalizacija			w
Model 1	21.622,00	218.987,00 / 21.622,00	10,127972	10,127972 / 24,250260	0,417644
Model 2	26.255,00	218.987,00 / 26.255,00	8,340773	8,340773 / 24,250260	0,343946
Model 3	56.598,00	218.987,00 / 56.598,00	3,869165	3,869165 / 24,250260	0,159551
Model 4	114.512,00	218.987,00 / 114.512,00	1,912350	1,912350 / 24,250260	0,078859
Σ	218.987,00		24,250260		1,000000

Imajući u vidu da su ulazni podaci za socijalnu grupu potkriterijuma dati opisno, korišćene su skale vrednovanja kako bi se kvalitativni podaci preveli u numeričke vrednosti. Za potkriterijume „namena krova“ i „vizuelni doživljaj“ alternative su vrednovane prema Satijevoj skali relativnog značaja poređenjem u parovima. Matrice odlučivanja i težinski faktori, tj. rangovi alternativa u odnosu na navedene potkriterijume prikazani su u tabelama 9.23 i 9.24.

Tabela 9.23. Poređenje alternativa u parovima u odnosu na namenu krova

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	w
Model 1	1	1/2	1/4	1/5	0,077810
Model 2	2	1	1/3	1/4	0,124807
Model 3	4	3	1	1/2	0,305556
Model 4	5	4	2	1	0,491827
Σ					1,000000
CR					0,017983

Tabela 9.24. Poređenje alternativa u parovima u odnosu na vizuelni doživljaj

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	w
Model 1	1	1/3	1/5	1/7	0,056380
Model 2	3	1	1/2	1/5	0,131048
Model 3	5	2	1	1/3	0,238848
Model 4	7	5	3	1	0,573724
Σ					1,000000
CR					0,029036

Za ocenu alternativa u odnosu na radno angažovanje, uspostavljena je skala vrednovanja (tab. 9.25). Kako se u ovom slučaju favorizuje niži stepen održavanja krova, najpre je proračun prilagođen prilikom normalizacije vrednosti, a uključen je tzv. „faktor relevantnosti“, imajući u vidu da nije isti značaj održavanja definisanih krovni sistema. U odnosu na benefite koje (zeleni) krovni sistem može da pruži korisnicima (na nivou objekta i na nivou urbane sredine), koji su analizirani u okviru poglavlja 2.5.1., utvrđeno je koji modeli unapređenja ispunjavaju navedene kriterijume. Tako na primer, ušteda u potrošnji energije ostvaruje se primenom svih razmatranih krovni sistema, dok povećanje tržišne vrednosti objekta nema značaja, zbog namene objekta. Vrednosti faktora relevantnosti su: 1/12 za prvi model, 9/12 za drugi model i 10/12 za treći i četvrti model unapređenja krovni sistema. Normalizacija proračuna i težinski faktori alternativa prikazani su u tabeli 9.26.

Tabela 9.25. Skala vrednovanja radnog angažovanja

Radno angažovanje za održavanje krovova	Broj bodova
Najniži stepen održavanja: neprohodan krov – provera stanja i čišćenje	1
Nizak stepen održavanja: neprohodan ekstenzivni zeleni krov <i>Urbanscape</i> – provera stanja, navodnjavanje po potrebi (u sušnom delu godine)	2
Nizak stepen održavanja: neprohodan ekstenzivni zeleni krov – provera stanja, po potrebi: navodnjavanje, zasejavanje ogoljenih površina, fertilizacija, uklanjanje korova	3
Viši stepen održavanja: ekstenzivni zeleni krov <i>Urbanscape</i> u okviru prohodnih terasa – provera stanja, po potrebi navodnjavanje (u sušnom delu godine), čišćenje (zbog korišćenja)	4
Viši stepen održavanja: ekstenzivni zeleni krov u okviru prohodnih terasa – provera stanja, po potrebi navodnjavanje, zasejavanje ogoljenih površina, fertilizacija, uklanjanje korova, čišćenje (zbog korišćenja)	5
Visok stepen održavanja: složeni (intenzivni i ekstenzivni) zeleni krov u okviru prohodnih terasa; manja raznovrsnost u biljnom materijalu – provera stanja, učestalo navodnjavanje, zasejavanje ogoljenih površina, fertilizacija, uklanjanje korova, čišćenje (zbog korišćenja)	6
Najviši stepen održavanja: složeni (intenzivni i ekstenzivni) zeleni krov u okviru prohodnih terasa; veća raznovrsnost u biljnom materijalu – provera stanja, učestalo navodnjavanje, zasejavanje ogoljenih površina, fertilizacija, uklanjanje korova, oblikovanje, čišćenje (zbog korišćenja)	7

Tabela 9.26. Određivanje težinskih faktora alternativa u odnosu na radno angažovanje

Alternative	Vrednost	Normalizacija				w
Model 1	1	14 / 1	14 x 1/12	1,166666	1,166666 / 11	0,106060
Model 2	2	14 / 2	7 x 9/12	5,250000	5,250000 / 11	0,477273
Model 3	4	14 / 4	3,5 x 10/12	2,916667	2,916667 / 11	0,265152
Model 4	7	14 / 7	2 x 10/12	1,666667	1,666667 / 11	0,151515
Σ	14			11,000000		1,000000

9.3.5 Izbor optimalnog krovnog sistema

Nakon što su utvrđeni težinski faktori svih elemenata strukture, vrednosti za svaki elemenat istog nivoa korišćeni su za određivanje kompozitnih težinskih faktora u nižim nivoima. Na slici 9.27 prikazani su rezultati primene AHP metode za koje je proračun urađen u *MS Excell*-u.

Vrednosti A2-C5 predstavljaju sopstveni vektor alternativa u odnosu na ekonomske potkriterijume, koji se množi sopstvenim vektorom ekonomskih potkriterijuma (D2-D4), da bi se dobio konačni prioritet alternativa u odnosu na ekonomske potkriterijume (kompozitni težinski faktori) (E2-E5). Postupak je ponovljen za proračun konačnih prioriteta alternativa u odnosu na ekološke i socijalne potkriterijume. Konačni prioritet alternativa u odnosu na cilj odlučivanja

određen je množenjem vektora koji čine kompozitni težinski faktori alternativa po kriterijumima (A17-C20) i sopstvenog vektora kriterijuma u odnosu na cilj odlučivanja (D17-D19).

	A	B	C	D	E
1	Konačni prioritet alternativa u odnosu na ekonomske potkriterijume				
2	0,370121	0,247070	0,249103	0,625005	0,324255
3	0,208267	0,250964	0,249927	0,238491	0,224136
4	0,236658	0,250925	0,249912	0,136505	0,241870
5	0,184954	0,251041	0,251058		0,209739
6	Konačni prioritet alternativa u odnosu na ekološke potkriterijume				
7	0,240798	0,000344	0,417644	0,558417	0,185513
8	0,246008	0,311739	0,343946	0,319620	0,278962
9	0,245189	0,241111	0,159551	0,121962	0,233441
10	0,268005	0,446806	0,078859		0,302084
11	Konačni prioritet alternativa u odnosu na socijalne potkriterijume				
12	0,077811	0,056380	0,106060	0,558417	0,074406
13	0,124807	0,131048	0,477273	0,319620	0,169789
14	0,305556	0,238848	0,265152	0,121962	0,279307
15	0,491827	0,573724	0,151515		0,476498
16	Konačni prioritet alternativa u odnosu na cilj				
17	0,324255	0,185513	0,074406	0,310833	0,206880
18	0,224136	0,278962	0,169789	0,493333	0,240541
19	0,241870	0,233441	0,279307	0,195833	0,245043
20	0,209739	0,302084	0,476498		0,307536

Slika 9.27. Rezultati primene AHP metode

Na osnovu prikazanog ranga alternativa u odnosu na cilj odlučivanja, može se zaključiti je da je model unapređenja intenzivnim i ekstenzivnim zelenim krovovima u okviru prohodnih terasa alternativa prvog prioriteta. Međutim, kako je prethodno konstatovano da je realno očekivati da pojedini elementi konstrukcije budu ojačani za primenu ovog modela unapređenja u skladu sa arhitektonskim rešenjem, a da ojačanja nisu uzeta u razmatranje u okviru potkriterijuma „finansijska ulaganja za izgradnju krovnog sistema“, neophodno je uključiti i ovaj parametar u cilju izbora najoptimalnijeg rešenja. S tim u vezi, rezultati sprovođenja AHP metode podvrgnuti su mehanizmu *cost-benefit* analize (Haas & Meixner, 2005).

Imajući u vidu da finansijska vrednost ojačanja konstrukcije nije uzeta u obzir (usled nedostupnosti podataka), usvojen je „konstrukcijski faktor“ koji se odnosi na opterećenja na ploču od sekundarne konstrukcije za svaki krovni sistem. Kako su u slučaju modela obnove (model 1) i modela unapređenja neprohodnim ekstenzivnim zelenim krovom (model 2) stalna opterećenja na krovnu ploču $1,0 \text{ kN/m}^2$, odnosno $1,7 \text{ kN/m}^2$, ove brojne vrednosti usvojene su za konstrukcijski faktor. U slučaju modela unapređenja ekstenzivnim zelenim krovom u okviru prohodnih terasa (model 3), 70% krovne površine čine zeleni krovovi i 30% prohodni delovi – staze, odnosno, opterećenja na krovnu ploču su $1,7 \text{ kN/m}^2$ i $2,0 \text{ kN/m}^2$. Za potrebe određivanja konstrukcijskog faktora, ove vrednosti su ponderisane i koeficijent iznosi 1,8. Uzimajući u obzir

procentualnu zastupljenost ekstenzivnih zelenih površina (44%), intenzivnih zelenih površina (27%) i staza (29%) u modelu 4, i opterećenja od 1,7 kN/m², 7,5 kN/m² i 2,0 kN/m², ponderisanjem vrednosti dobijen je konstrukcijski faktor 3,4.

Shodno činjenici da za primenu krovnih sistema u okviru modela unapređenja 1, 2 i 3 nisu potrebna ojačanja konstrukcije, odnosno da su ispunjeni uslovi nosivosti i upotrebljivosti, u tri navedena slučaja neophodno je utvrditi isti konstrukcijski faktor. Za konstrukcijski faktor usvojena je ponderisana vrednost 1,5.

Da bi se odredilo konačno rešenje problema, najpre je izvršena normalizacija vrednosti konstrukcijskog faktora, nakon čega su vrednosti benefita (težinski faktori) alternativa (R_n) podeljeni odgovarajućim konstrukcijskim faktorima (fk_n) (tab. 9.27).

S obzirom na činjenicu da potreba za ojačanjem konstrukcije predstavlja jedno od primarnih ograničenja primene zelenih krovova, nakon sprovedene dodatne analize utvrđen je novi rang alternativa, na osnovu kojeg je model unapređenja ekstenzivnim zelenim krovom u okviru prohodnih terasa (model 3) najpogodnije i konačno rešenje.

Tabela 9.27. Izbor konačnog rešenja – optimalnog modela unapređenja krovnog sistema

Alternative	Konstr. faktor fk _n	Normalizacija		Rn / fk _n	Rang alternativa
Model 1	1,5	1,5 / 7,9	0,189873	0,206880 / 0,189873	1,089570
Model 2	1,5	1,5 / 7,9	0,189873	0,240541 / 0,189873	1,266852
Model 3	1,5	1,5 / 7,9	0,189873	0,245043 / 0,189873	1,290563
Model 4	3,4	3,4 / 7,9	0,430381	0,307536 / 0,430381	0,714569
Σ	7,9		1,000000		

9.4 Diskusija rezultata

Integrativni model, kao podrška odlučivanju pri izboru optimalnog načina unapređenja krovne konstrukcije, obuhvata dve faze usled kompleksnosti rešavanja problema. U prvoj fazi potvrđeno je ispunjavanje utvrđenih uslova za implementaciju zelenih krovova, na nivou urbane sredine i na nivou objekta. Četiri modela u okviru dva načina unapređenja predstavljali su predmet sprovođenja AHP analize, odnosno alternative koje su vrednovane u odnosu na postavljene potkriterijume, kriterijume i cilj odlučivanja. Konkretizacija i valorizacija integrativnog modela dala je rezultate koji ukazuju na prednost načina unapređenja krovova primenom zelenih krovnih sistema u odnosu na način unapređenja obnovom.

Kako su predložena tri modela unapređenja zelenim krovovima, na osnovu rezultata sprovođenja AHP analize konstatovano je da su svi zeleni krovni sistemi rangirani više u odnosu na krov unapređen obnovom, odnosno krovni sistem koji u funkcionalnom pogledu odgovara prethodnom/postojećem stanju, uz ispunjavanje uslova toplotne zaštite. Dobijeni rang alternativa

AHP analizom posledica je, prevashodno, utvrđenih kriterijuma i potkriterijuma, koji se odnose na očekivane benefite primenom zelenih krovova, zatim, tačnosti ulaznih podataka i predloženih arhitektonskih rešenja. Tačnost ulaznih podataka se prevashodno odnosi na finansijsku vrednost zelenih krovovnih sistema i ostalih elemenata strukture koja je je podložna promeni. Imajući u vidu da arhitektonska rešenja za prohodne krovove mogu znatno uticati na izbor optimalnog modela unapređenja, prilikom projektovanja prohodnih krovova (u okviru modela unapređenja 3 i 4), postavljen je uslov što veće zastupljenosti zelenih površina. Kako bi krovni sistemi bili konkurentni, uspostavljen je isti odnos zelenih površina i staza, tj. položaj staza je isti za oba rešenja.

Shodno činjenici da je obezbeđivanje nosivosti i upotrebljivosti konstrukcije postojećih objekata jedan od ključnih faktora za implementaciju zelenih krovova, utvrđeno je da prva tri modela unapređenja ispunjavaju navedene uslove, dok je za primenu četvrtog modela izvesno očekivati intervencije ojačanja pojedinih konstrukcijskih elemenata, što se u najvećoj meri odnosi na krovne ploče. Kako analiza načina ojačanja nije obuhvaćena AHP metodom, bilo je potrebno uključiti i taj, neizostavni faktor prilikom odabira optimalnog rešenja. Nakon dobijenih rezultata na osnovu AHP metode, korišćen je mehanizam *cost-benefit* analize, koji predstavlja jedan od načina upravljanja benefitima (iskazanih težinskim faktorima alternativa u okviru rezultata AHP analize) i finansijskim ulaganjima. Kako se pod intervencijama ojačanja podrazumevaju dodatna finansijska ulaganja za izgradnju krovnog sistema, opravdano je naknadno uključiti ovaj kriterijum, iz razloga što razmatranje benefita i finansijske vrednosti ponekad može da ima brojne negativne konotacije u organizacionom, legislativnom ili emocionalnom pogledu. S tim u vezi, novi kriterijum je uključen u proračun, na osnovu koga je dobijen novi rang alternativa, koji ukazuje da drugorangirana alternativa, na osnovu rezultata AHP metode, predstavlja konačno/optimalno rešenje problema odlučivanja.

U slučaju dostupnosti svih relevantnih podataka o konstrukciji, intervencije ojačanja i kompletna finansijska ulaganja za izvođenje krovnog sistema bile bi uzete u obzir za AHP analizu. Unapređenje intenzivnim i ekstenzivnim zelenim krovovima u okviru prohodnih terasa razmatrano je zbog univerzalne validacije modela, jer se preferencije donosioca odluke mogu razlikovati u odnosu na utvrđene kriterijume. Takođe, struktura problema odlučivanja može se proširiti uvođenjem novih kriterijuma i/ili potkriterijuma, ali bi to zahtevalo veće napore u obradi podataka, što se prevashodno odnosi na ispunjavanje uslova konzistentnosti odluka.

Rezultati validacije ukazuju na univerzalnu primenljivost integrativnog modela za studije slučaja, usled definisanog seta kriterijuma i potkriterijuma koji je zasnovan na postizanju održivosti, i tiče se aktuelnih globalnih, nacionalnih i lokalnih problema u cilju zaštite životne sredine, a time i obezbeđivanja zdravijeg života stanovnika u urbanim sredinama.

10. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Tokovi savremenog urbanog razvoja doveli su do narušavanja stanja u životnoj sredini, koje se manifestuje globalnim klimatskim promenama, i ekološkom i energetsom krizom, nastalim usled nekontrolisane urbanizacije, industrijske ekspanzije, upotrebe neefikasnih tehnologija i prekomernog korišćenja neobnovljivih izvora energije. Zadatak arhitektonske nauke je da, kroz interdisciplinarni pristup, odgovori na rastuće izazove, ali i da se, usled već ispoljenih promena, prilagodi trenutnom stanju okruženja kroz nova rešenja. Kako prirodna sredina obezbeđuje različite vrste koristi, koje su na raspolaganju čoveku, i direktno utiču na zdravlje i kvalitet života, neophodno je uspostaviti ravnotežu između građene i prirodne sredine zarad postizanja održivosti i otpornosti urbanog ekosistema. Ovim je direktno ukazano na značaj postojanja, očuvanja, unapređenja i povećanja urbanog zelenila. Međutim, imajući u vidu već gusto izgrađene urbane sredine, naročito gradska jezgra, kao i činjenicu da se površine pod zelenilom smanjuju, premanemom zemljišta, zaključeno je da su sistemi integrisanog zelenila u postojećim objektima jedini način povećanja zelenih površina. U odnosu na koncept vertikalnog ozelenjavanja, prednost koncepta zelenih krovova ogleda se u njihovoj široj upotrebi (koja je posledica razvoja tehnologija), lakšem izvođenju (u pogledu složenijih sistema), nižem stepenu održavanja i manjim finansijskim ulaganjima za izgradnju, a posebno u mogućnosti za formiranje dodatnog korisnog prostora pod zelenilom. U vezi sa navedenim, predložen je koncept zelenih krovova kao mera unapređenja stanja u životnoj sredini. Na osnovu analize strukture zelenih krovova i koristi koje se postižu njihovom primenom, zaključeno je da ispunjavanje pojedinih uslova umanjuje zadovoljenje drugih, te stoga pažljivo treba razmotriti prioritete, odnosno ciljeve zelenih krovova, i s tim u vezi odabrati odgovarajući zeleni krovni sistem u pogledu tipologije, materijala, komponenti supstrata i biljnih vrsta.

Imajući u vidu značaj zelenih krovova za urbane sredine, neophodno je razumevanje njihovog razvoja, strukture, potencijalnih benefita i ograničenja primene, kako bi ovaj koncept bio prihvaćen u javnosti i praksi, i regulisan propisima. Potvrdom potencijala za primenu zelenih krovova na lokalnom, nacionalnom i regionalnom nivou, na osnovu zastupljenosti ravnih krovova i klimatskih karakteristika, koje pogoduju ostvarivanju prevashodno ekoloških, ali i ekonomskih benefita, stvorena je osnova za uspostavljanje propisa. Primena zelenih krovova u Republici Srbiji uglavnom se zasniva na volji investitora i predstavlja pojedinačne projekte koji zahtevaju veća finansijska ulaganja u odnosu na konvencionalne tehnike građenja. Imajući u vidu da je savremeni pristup primene zelenih krovova u začetku u domaćoj graditeljskoj praksi i da se još uvek na nacionalnom i lokalnom nivou ne prepoznaje uloga i značaj ovog koncepta, evidentno je nepostojanje odgovarajućih mehanizama upravljanja njihovom primenom. Analizom zakonskih okvira na nivou Evropske unije ukazano je na oblasti zakonodavstva koje

uređuju implementiranje zelenih krovova, sa kojima bi, između ostalog, Republika Srbija trebalo da usaglasi regulativu. Ključno pitanje je uvođenje zelene infrastrukture, čije je upravljanje od značaja za postizanje održivosti, kao aktuelne problematike na globalnom nivou. Analizom nacionalnih i lokalnih politika zelenih krovova, kao i stanja u oblasti primene, ukazano je na mogućnosti rešavanja mnogih problema, na nivou objekta i na nivou urbane sredine, sa ciljem promocije koncepta na našim prostorima. Pored osnovnih kriterijuma za odabir zemalja i gradova za analizu, koji se odnose na teritoriju Evrope i razvijenu implementaciju zelenih krovova, može se zaključiti da je ostvaren uspeh u podnebljima sa, više ili manje, sličnim klimatskim karakteristikama, što ukazuje na potencijal i za naše prostore. S obzirom na činjenicu da se u dosadašnjoj praksi razlozi za izgradnju zelenih krovova odnose prevashodno na unapređenje estetskih kvaliteta, kao i da se primenjuju na novim objektima, neophodno je prepoznavanje sveobuhvatnih benefita i podsticanje na primenu u većoj meri, što podrazumeva postojeći građevinski fond. Postavljene ciljeve moguće je ispuniti uvođenjem *Zakona o zaštiti i unapređenju zelenih površina*, izradom *Pravilnika za izgradnju zelenih krovova*, obezbeđivanjem podsticaja, razvijanjem svesti javnosti kroz informisanje i edukaciju, kao i neizostavnim uključivanjem interesnih grupa u procese odlučivanja.

Kako je ukazano na značaj koncepta zelenih krovova za postojeće objekte, koji su nastali primenom konvencionalne prakse projektovanja i građenja, razmatrane su mogućnosti transformacije takvih, tehničkih sistema po ugledu na prirodne sisteme u fazi eksploatacije, bazirane na principu regenerativnog dizajna. S obzirom na činjenicu da tokom faze eksploatacije dolazi do narušavanja prvobitnog stanja objekata usled degradacije i starenja primenjenih materijala i elemenata, zeleni krovovi se razmatraju za remodelovanje krovne konstrukcije, u okviru unapređenja implementacijom novih tehnologija i sistema. Unapređenje krovne konstrukcije podrazumeva najpre obezbeđivanje funkcionalnosti krova, a u slučaju zelenih krovovnih sistema i zaštitu i produženi vek trajanja, kako elemenata obloge (sekundarne konstrukcije) koji se nalaze ispod zelenog krova, tako i elemenata noseće konstrukcije. Imajući u vidu da se predmet istraživanja prevashodno odnosi na objekte izgrađene od druge polovine XX veka do kraja osamdesetih godina, kada su tehnologije građenja i primena konstrukcijskih sistema usloveli izgradnju ravnih krovova, unapređenje krovne konstrukcije podrazumeva i ispunjavanje uslova toplotne zaštite, shodno činjenici da u periodu izgradnje do 1967. godine propisi nisu postojali, a da su aktuelni zahtevi pooštreni u odnosu na pravilnike i standarde iz navedenog perioda. Na osnovu higrotermičkih karakteristika materijala, vrši se proračun potrebne debljine termoizolacionog sloja, koja je u slučaju primene zelenog krova manja, u odnosu na krovni sistem unapređen obnovom, što je potvrđeno konkretnim primerima. U predmetnom istraživanju koeficijent prolaza toplote za model unapređenja obnovom iznosi

$U = 0,160 W/m^2 K$, a za model unapređenja ekstenzivnim zelenim krovom $U = 0,133 W/m^2 K$, prilikom čega su, u oba slučaja, svi elementi strukture isti do hidroizolacionog sloja. U kontekstu konstrukcijskog unapređenja, značajno je napomenuti da je koncept zelenih krovova, pored koncepta vertikalnog ozelenjavanja, jedina održiva mera koja ima vizuelni uticaj.

Imajući u vidu da je osnovni cilj istraživanja kreiranje integrativnog modela konstrukcijskog unapređenja postojećih objekata za primenu koncepta zelenih krovova, nakon sveobuhvatne analize i potvrde značaja primene ovog koncepta, uspostavljena je metodologija integrativnog modela koja obuhvata dve osnovne faze. Prva faza podrazumeva ispunjavanje uslova za primenu zelenih krovova kroz model odluka, dok se druga faza odnosi na izbor optimalnog načina unapređenja na osnovu višekriterijumske analize. U okviru studije slučaja, u prvoj fazi potvrđeno je ispunjavanje uslova za primenu i ekstenzivnih i intenzivnih sistema, koji se odnose na geografske i klimatske uslove, mogućnost primene zelenih krovova u pogledu propisa o zaštiti objekta, procenu trajnosti konstrukcije i objekta, i karakteristike postojećih ravnih krovova. Na osnovu stanja elemenata obloge zaključeno je da je potrebno sprovesti kompletno remodelovanje krovnih sistema. Shodno činjenici da su ispunjeni uslovi za primenu i ekstenzivnih i intenzivnih sistema, predložena su tri modela unapređenja zelenim krovovima, kako bi ovaj način bio konkurentan unapređenju obnovom, što je inače neophodno sprovesti. Jedan od ključnih kriterijuma za primenu zelenih krovova je obezbeđivanje nosivosti i upotrebljivosti konstrukcije, usled izmene postojećeg stanja remodelovanjem. Za model unapređenja obnovom (model 1), model unapređenja neprohodnim zelenim krovom (model 2) i model unapređenja ekstenzivnim zelenim krovom u okviru prohodnih terasa (model 3) potvrđeno je ispunjavanje uslova nosivosti i upotrebljivosti, dok je za model unapređenja intenzivnim i ekstenzivnim zelenim krovovima u okviru prohodnih terasa (model 4) realno očekivati ojačanja pojedinih elemenata konstrukcije, ali je ovaj krovni sistem uzet u obzir za višekriterijumsku analizu zbog značaja univerzalne verifikacije integrativnog modela. To se prvenstveno odnosi na mogućnost drugih objekata da prihvate novo opterećenje, u skladu sa konstrukcijskim karakteristikama, arhitektonskim rešenjem i strukturom zelenog krova. Potencijal predstavljaju objekti kod kojih primenom zelenog krova ne bi nastale bitne promene, koje se odnose na povećanje mase objekta do 10%, što je značajno za seizmičku stabilnost, ali bi za noseću konstrukciju, odnosno elemente konstrukcije, bilo neophodno izvršiti kontrolu nosivosti i upotrebljivosti.

Analitički hijerarhijski proces, kao metoda višekriterijumskog odlučivanja, korišćen je pri izboru optimalnog rešenja unapređenja krovova remodelovanjem. S obzirom na činjenicu da je izbor optimalnog rešenja zasnovan na konceptu održivog razvoja, u skladu sa tim su utvrđeni kriterijumi (ekološki, ekonomski i socijalni kriterijum), a odabir potkriterijuma odnosi se na

ključne probleme u urbanim sredinama i na nivou objekata. Na osnovu AHP analize dobijen je konačni rang alternativa, po kome je alternativa prvog prioriteta model unapređenja 4. Međutim, kako je konstatovano da primena ovog modela unapređenja zahteva izvesna ojačanja konstrukcijskih elemenata, koja nisu obuhvaćena AHP analizom, bilo je neophodno izvršiti dodatnu analizu koja uključuje i ovaj kriterijum. Za primenu *cost-benefit* mehanizma, ustanovljen je konstrukcijski faktor. Nakon sprovedenog proračuna dobijen je novi rang alternativa, na osnovu kojeg je model unapređenja 3 najpogodnije rešenje.

Imajući u vidu studiju slučaja, zaključeno je da nije racionalno razmatrati ojačanje konstrukcije za primenu intenzivnog zelenog krova. Sa druge strane, opravdano je uzeti u obzir izgradnju složenijih zelenih krovnih sistema, u slučaju kada su prethodno planirane značajnije intervencije na objektu, u pogledu dogradnje, nadziđivanja, promene namene, itd., odnosno, kada se već predviđa ojačanje konstrukcije. Takođe, ojačanje konstrukcije bilo bi opravdano, ako bi primena zelenih krovova postala zakonska obaveza. U vezi sa navedenim, istraživanjem je obuhvaćena i analiza ojačanja betonskih konstrukcija, a sistematizacija ojačanja, kao jedan od rezultata istraživanja predstavlja osnovu za uspostavljanje metodologije remodelovanja objekata.

Rezultati ostvareni predmetnim istraživanjem u skladu su sa postavljenim ciljevima. Naime, ispunjen je osnovni cilj koji se odnosi na razvoj integrativnog modela konstrukcijskog unapređenja postojećih objekata za primenu koncepta zelenih krovova, prilikom čega su razmatrane koristi koje se mogu ostvariti njegovom primenom na lokalnom, nacionalnom i regionalnom nivou sa aspekta održivosti. U okviru postavljenih potciljeva, najpre je identifikovana potreba za sprovođenjem remodelovanja postojećih ravnih krovova, u odnosu na period izgradnje objekata, primenu neadekvatnih tehnologija i (ne)funkcionalnost elemenata obloge. Takođe, zaključeno je da najveću opravdanost za remodelovanje imaju objekti izgrađeni u skeletnim i panelnim sistemima (sa poprečnim pravcem pružanja noseće konstrukcije), zato što se odlikuju fleksibilnošću u pogledu sekundarne konstrukcije, odnosno mogućnostima oblikovanja i funkcionalne organizacije prostora, u cilju njihovog korišćenja u budućnosti. Izvršena je sistematizacija ojačanja elemenata betonskih konstrukcija, i uspostavljena je metodologija remodelovanja ravnih krovova za primenu koncepta zelenih krovova, koja je prethodila kreiranju integrativnog modela. Razmatranjem procene uticaja i benefita zelenih krovova, na osnovu kvantifikacije vrednosti za utvrđene alternative u odnosu na ekološke, ekonomske i socijalne kriterijume, u okviru studije slučaja, uočene su prednosti primene zelenih krovnih sistema (modeli 2, 3 i 4) za remodelovanje u odnosu na obnovu krovova (model 1). U pogledu ekološkog potkriterijuma „rezultujuća emisija CO₂“, rezultati istraživanja pokazuju smanjenje koncentracije CO₂ primenom zelenih krovova, i to za 2,12% (model 2), 1,79% (model 3) i 10,15% (model 4) u odnosu na model obnove (model 1). Kako za potkriterijum „kapacitet

zadržavanja vode“ krov unapređen obnovom (model 1) nema efekta, odnosno u pitanju su neznatne vrednosti, dobijeni rezultati ukazuju na znatno veći potencijal modela 4, i to za 30,23% (model 2) i 46,03% (model 3). Razmatranjem potkriterijuma „količina generisanog otpada“, konstatovano je da je znatno veća vrednost za model 4, što je posledica odabranog arhitektonskog rešenja u pogledu primene betonskih žardinjera. Inače, prema projektovanoj strukturi, intenzivni zeleni krov sadrži 0,5% materijala koji na kraju životnog veka krova zahtevaju tretman ili odlaganje, a odabrani ekstenzivni zeleni krov 28,4%. U okviru ekonomskih potkriterijuma, najznačajniji faktor predstavljaju „finansijska ulaganja za izgradnju krovnog sistema“. Na osnovu vrednosti po alternativama, konstatovano je da su potrebna znatno veća ulaganja za izgradnju zelenih krovnih sistema u odnosu na obnovu krova (model 1), i to za 44% (model 2), 36% (model 3) i 50% (model 4), za period od 50 godina. Imajući u vidu vrednosti u odnosu na ovaj potkriterijum, kao i rezultate AHP analize, zaključeno je da su opravdana veća finansijska ulaganja postizanjem drugih benefita, što je bio i jedan od ciljeva istraživanja. Razmatrajući odnos dobijenih rezultata za potrošnju energije za hlađenje objekta, uočeno je da je smanjena potrošnja energije primenom zelenih krovova, i to za: 1,55% (model 2), 1,54% (model 3) i 1,58% (model 4) u odnosu na model obnove (model 1), što je u granicama očekivanih vrednosti (Niachou et al., 2001). U pogledu potrošnje energije za grejanje objekta, ostvarene su manje uštede primenom zelenih krovova, i to za: 0,33% (model 1), 0,32% (model 2) i 0,78% (model 3) u poređenju sa modelom obnove (model 1). Ovi rezultati takođe su u skladu sa do sada sprovedenim istraživanjima, koja ukazuju na neznatno smanjenje potrošnje energije ili da primena zelenih krovova nema efekta za zimski period (Vijayaraghavan, 2016). Razmatranjem socijalnih potkriterijuma „namena krova“ i „vizuelni doživljaj“, konstatovano je da model obnove nema efekata, a više su vrednovani prohodni krovovi (modeli 3 i 4) u odnosu na model 2, odnosno model 4 u odnosu na model 3. Rang alternativa za „radno angažovanje“, ukazuje da je model 2 najpogodnija alternativa, u smislu da ovaj način unapređenja zahteva najniži stepen održavanja, imajući u vidu relevantnost, odnosno značaj održavanja. Dalje slede model 3, zatim model 4, i na kraju model 1. Iako načelno krovni sistem u okviru modela 1 zahteva najniži stepen održavanja, rangiran je kao poslednji usled najmanjeg značaja radnog angažovanja za održavanje.

U pogledu valorizacije predloženih modela unapređenja krovnih sistema, na osnovu sprovedene AHP analize, zaključeno je da su svi modeli unapređenja sa zelenim krovovima rangirani više u odnosu na model unapređenja obnovom. Međutim, uzimajući u obzir konstrukcijski faktor, koji se odnosi na ojačanje konstrukcije, konačni rang alternativa ukazuje da bi prilikom odabira načina remodelovanja prednost bila data modelu 1 u odnosu na model 4. Razlog tome je, kao što je navedeno, činjenica da je neracionalno razmatrati ojačanje konstrukcije samo za primenu

intenzivnog zelenog krovnog sistema, a sa druge strane, moguće je primeniti ekstenzivni zeleni krov, takođe u okviru prohodnih terasa.

Rezultati istraživanja u skladu su i sa postavljenim hipotezama. Potvrđeno je da postoji opšta potreba za unapređenjem konstrukcija ravnih krovova, kao i da se primenom zelenih krovova ostvaruju brojne koristi u kontekstu održivosti. Takođe, kreiran je primenljiv model unapređenja krovnih sistema postojećih objekata za primenu zelenih krovova, kroz analizu prednosti u odnosu na način unapređenja obnovom. Analiza funkcionalnosti izloženog modela izlazi iz okvira do sada primenjivanih metodologija u ovoj oblasti, uključivanjem brojnih parametara – ekoloških, ekonomskih i socijalnih kriterijuma. Cilj integrativnog modela nije da zameni donosioca odluke, već da olakša izbor rešenja kroz efikasnije sagledavanje parametara od uticaja.

Intuitivni kriterijumi (potkriterijumi) poput perioda za povratak investicija ili perioda za sprovođenje intervencija, nisu uzeti u obzir usled složenih analiza i nedostupnih parametara.

Smernice za dalja istraživanja i preporuke za unapređenje integrativnog modela formulisane su shodno činjenici da metodološki okvir integrativnog modela odlikuje fleksibilnost i mogućnost prilagođavanja različitim potrebama. S tim u vezi, pored razmatranog koncepta zelenih krovova istraživanje se može proširiti na koncept vertikalnog ozelenjavanja i procenu sveobuhvatnih benefita, imajući u vidu da svaki način povećanja zelenih površina ima pozitivne efekte na životno okruženje, prevashodno sa ekološkog aspekta. Takođe, mogli bi se razmotriti i drugi načini unapređenja krovova u okviru implementacije savremenih tehnologija i sistema, u kombinaciji sa konceptom zelenih krovova. U pogledu odabira parametara za vrednovanje, u okviru AHP metode, moguće je isključiti finansijska sredstva za izgradnju krovnih sistema, i tek ih naknadno razmotriti, kao što je u predmetnom istraživanju bio slučaj sa ojačanjima konstrukcije, koja se odnose na dodatna finansijska ulaganja. Moguće je i proširiti uspostavljeni set kriterijuma i potkriterijuma, kao i razmotriti primenu drugih metoda višekriterijumskog odlučivanja.

LITERATURA

ACROS Fukuoka. (2011). Preuzeto februara 2017. sa:

<http://ojsanJake.blogspot.rs/2011/04/acros-fukuoka.html#.WLqhq32y2M9>

Aćimović, A. (2011). Vrednost i održivost urbanih oaza. U Spasić, S. (Ur.), *Održiva gradnja i urbane oaze* (str. 91-99). Beograd, RS: Organizacija civilnog društva „Ekoist“.

Agarski, B. (2014). *Razvoj sistema za inteligentnu višekriterijumsku procenu opterećenja životne sredine kod ocenjivanja životnog ciklusa proizvoda i procesa*. (Doktorska disertacija). Novi Sad, RS: Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka.

Aguilar, A. (n.d.). *The Seismic Rehabilitation of Historic Buildings*. Preuzeto maja 2018. sa: <https://www.nps.gov/tps/how-to-preserve/briefs/41-seismic-rehabilitation.htm>

Ahern, J. (2011). From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. *Landscape and Urban Planning*, 100(4), 341-343.

Ahmad, T., Thaheem, M. J., & Anwar, A. (2016). Developing a green-building design approach by selective use of systems and techniques. *Architectural Engineering and Design Management*, 12(1), 29-50.

Aksamija, A. (2016). Regenerative design and adaptive reuse of existing commercial buildings for net-zero energy use. *Sustainable Cities and Society*, 27, 185-195.

Aktas, G., & Gunaslan, S. E. (2017). Strengthening methods for reinforced concrete sections with Fiber reinforced polymers. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 14(6), 17-22.

Akturk, A. (2016). *Regenerative Design and Development for a Sustainable Future: Definitions and Tool Evaluation* (Thesis). Minneapolis, MN: University of Minnesota.

Al Horr, Y., Arif, M., Kaushik, A., Mazroei, A., Katafygiotou, M., & Elsarrag, E. (2016). Occupant productivity and office indoor environment quality: A review of the literature. *Building and Environment*, 105, 369-389.

Alanne, K. (2004). Selection of renovation actions using multi-criteria “knapsack” model. *Automation in Construction*, 13(3), 377-391.

Alexandri, E. (2006). *Investigations into mitigating the heat island effect through green roofs and green walls*. (Doctoral dissertation). Cardiff, GB: Cardiff University, Welsh School of Architecture.

Alkhrdaji, T., & Thomas, J. (n.d.). Design and Application Techniques to Successful Structural Strengthening Projects. Preuzeto novembra 2017. sa:

<https://www.structuraltechnologies.com/article/design-and-application-techniques-key-successful-structural-strengthening-projects>

- Amasyali, K., & El-Gohary, N. M. (2018). A review of data-driven building energy consumption prediction studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *81*, 1192-1205.
- Ascione, F., Bianco, N., de' Rossi, F., Turni, G., & Vanoli, G. P. (2013). Green roofs in European climates. Are effective solutions for the energy savings in air-conditioning?. *Applied Energy*, *104*, 845-859.
- Astmarsson, B., Jensen, P. A., & Maslesa, E. (2013). Sustainable renovation of residential buildings and the landlord/tenant dilemma. *Energy Policy*, *63*, 355-362.
- Ayemba, D. (2017). *Utilizing FRPs for concrete strengthening*. Preuzeto maja 2018. sa: <https://constructionreviewonline.com/2017/05/utilizing-frps-concrete-strengthening/>
- Bajrami, Š. (2014). Electre i AHP–sistemi za podršku višekriterijumskom odlučivanju. *Zbornik radova XIII Međunarodnog naučno-stručnog simpozijuma INFOTEH-Jahorina* (str. 599-604). Jahorina, BA.
- Baltus, R. (2015). City centre rooftops: go green, classify or densify? Preuzeto juna 2017. sa: <https://rogerbaltuscolumn.tumblr.com/post/120762732544/to-the-point-roger-baltus-column-city-centre>
- Baranka, G. (2013). Evaluation of Urban Heat Island Effects in Budapest, Hungary in the Framework of an International Project. Preuzeto juna 2017. sa: <http://www.cbks.cz/SbornikSkalice2013/pdf/Baranka.pdf>
- Barković, D. (2009). *Menadžersko odlučivanje*. Osijek, HR: Ekonomski fakultet u Osijeku.
- Baumann, N. (2006). Ground-nesting birds on green roofs in Switzerland: preliminary observations. *Urban Habitats*, *4*(1), 37-50.
- Belal, M. F., Mohamed, H. M., & Morad, S. A. (2015). Behavior of reinforced concrete columns strengthened by steel jacket. *HBRC Journal*, *11*(2), 201-212.
- Belton, V., & Gear, T. (1983). On a short-coming of Saaty's method of analytic hierarchies. *Omega*, *11*(3), 228-230.
- Berardi, U., GhaffarianHoseini, A., & GhaffarianHoseini, A. (2014). State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy*, *115*, 411-428.
- Berndtsson, J. C., Emilsson, T., & Bengtsson, L. (2006). The influence of extensive vegetated roofs on runoff water quality. *Science of the Total Environment*, *355*(1), 48-63.
- Besir, A. B., & Cuce, E. (2018). Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *82*, 915-939.
- Bianchini, F., & Hewage, K. (2012a). How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. *Building and Environment*, *48*, 57-65.
- Bianchini, F., & Hewage, K. (2012b). Probabilistic social cost-benefit analysis for green roofs: a lifecycle approach. *Building and Environment*, *58*, 152-162.

- Bilak, V. (2016). O našoj umereno-kontinentalnoj klimi. Preuzeto avgusta 2018. sa:
<http://www.meteorologos.rs/o-nasoj-umereno-kontinentalnoj-klimi/>
- Birgani, Y. T., Yazdandoost, F., & Moghadam, M. (2013). Role of resilience in sustainable urban stormwater management. *Journal of Hydraulic Structures*, 1(1), 42-50.
- Bjegović, D. (2011). Tehnologija sanacija i ojačanja. Preuzeto februara 2016. sa:
<https://www.scribd.com/document/347860010/1-Predavanje-Uvod-pdf>
- Blagojević, P., Živković, D., i Šutanovac, A. (n.d.). Izvodi sa predavanja iz predmeta Betonske konstrukcije I. Niš, RS: Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet.
- Blank, L., Vasl, A., Levy, S., Grant, G., Kadas, G., Dafni, A., & Blaustein, L. (2013). Directions in green roof research: A bibliometric study. *Building and Environment*, 66, 23-28.
- Blank, L., Vasl, A., Schindler, B. Y., Kadas, G. J., & Blaustein, L. (2017). Horizontal and vertical island biogeography of arthropods on green roofs: a review. *Urban Ecosystems*, 1-7.
- Bogdanović, V. i Vasov, M. (2015). Izvodi sa predavanja Ravni krovovi iz predmeta Arhitektonske konstrukcije II. Niš, RS: Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet.
- Bogdanović, V., i Kostić, D. (2015). Izvodi sa predavanja Konstruktivni sklopovi zgrada iz predmeta Građevinske konstrukcije 1. Niš, RS: Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet.
- Borchers, B., Chow, C., Doelp, M., Ent, L., Hakes, R., Heo, C., Hunsley, K., Sinha, S., Swaim, C., & Whittaker, A. (2015). *Evaluating the Feasibility of Implementing a Green Roof Retrofit on Pitched Residential Roofs*. (Thesis). College Park, MD: University of Maryland.
- Boyle, C., Mudd, G., Mihelcic, J. R., Anastas, P., Collins, T., Culligan, P., Edwards, M., Gabe, J., Gallagher, P., Handy, S., Kao, J., Krumdieck, S., Lyles, L. D., Mason, I., Mcdowall, R., Pearce, A., Riedy, C., Russell, J., Schnoor, J. L., Trotz, M., Venables, R., Zimmerman, J. B., Fuchs, V., Miller, S., Page, S., & Reeder-Emery, K. (2010). Delivering sustainable infrastructure that supports the urban built environment. *Environmental Science and Technology*, 44, 4836-4840.
- Brudermann, T., & Sangkakool, T. (2017). Green roofs in temperate climate cities in Europe – An analysis of key decision factors. *Urban Forestry & Urban Greening*, 21, 224-234.
- Brujić, Z. (2001). Izvodi sa predavanja iz predmeta Montažne betonske konstrukcije. Novi Sad, RS: Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka.
- Buergel-Goodwin, E., Ferrara, C., & Eric, P. E. (2005). Survival functions of buildings and building elements. In *Proc. of IODBMC International Conference On Durability of*

- Building Materials and Elements, Lyon, France.* Preuzeto marta 2016. sa:
https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC24952.pdf
- Cabot Hall. (n.d.). Preuzeto maja 2018. sa:
<http://www.structuralsystemsuk.com/projects/CabotHall.php>
- Carter, T., & Keeler, A. (2008). Life-cycle cost–benefit analysis of extensive vegetated roof systems. *Journal of environmental management*, 87(3), 350-363.
- Castleton, H. F., Stovin, V., Beck, S. B., & Davison, J. B. (2010). Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and buildings*, 42(10), 1582-1591.
- Charko, C. (2013). The roof garden, Derry and Toms, summer 1973. Preuzeto februara 2017. sa:
<https://kasiacharko.wordpress.com/2013/05/05/the-roof-garden-derry-and-toms-summer-1973/>
- Chemisana, D., & Lamnatou, C. (2014). Photovoltaic-green roofs: An experimental evaluation of system performance. *Applied Energy*, 119, 246-256.
- Clark, C., Talbot, B., Bulkley, J., & Adriaens, P. (2005). Optimization of green roofs for air pollution mitigation. In *Proc. of 3rd North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities, Washington, DC* (pp. 4-6).
- Coffman, R. R. (2007). *Vegetated roof systems: design, productivity, retention, habitat, and sustainability in green roof and ecoroof technology* (Doctoral dissertation). Columbus, OH: The Ohio State University.
- Column strengthening using carbon fiber. (n.d.). Preuzeto maja 2018. sa:
<http://svc92.com/Structural-Rehabilitation.html>
- Connelly, M., & Hodgson, M. (2008). Sound transmission loss of extensive green roofs-Field test results. *Canadian Acoustics*, 36(3), 74-75.
- Connelly, M., & Hodgson, M. (2011). Laboratory experimental investigation of the acoustical characteristics of vegetated roofs. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(4), 2393-2393.
- Connelly, M., & Hodgson, M. (2013). Experimental investigation of the sound transmission of vegetated roofs. *Applied Acoustics*, 74(10), 1136-1143.
- Conway, D., Li, C. Q., Wolch, J., Kahle, C., & Jerrett, M. (2010). A spatial autocorrelation approach for examining the effects of urban greenspace on residential property values. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 41(2), 150-169.
- Cook-Patton, S. C., & Bauerle, T. L. (2012). Potential benefits of plant diversity on vegetated roofs: a literature review. *Journal of environmental management*, 106, 85-92.
- Crnčević, T., & Sekulić, M. (2012). Zeleni krovovi u kontekstu klimatskih promena-pregled novih iskustava. *Arhitektura i urbanizam*, 36, 57-67.

- Csete, M., & Buzasi, A. (2016). Managing local adaptation processes in Hungary. *International Journal of Management Cases*, 18(1), 13-22.
- Curran, W., & Hamilton, T. (2012). Just green enough: Contesting environmental gentrification in Greenpoint, Brooklyn. *Local Environment*, 17(9), 1027-1042.
- Čarapina, H. S, Drakulić, N. Ž., Mihajlov, A., i Radovanović I. Č. (2014). MFA i LCA kao analitički instrumenti u oblasti životne sredine. *LIMES plus*, 1, 27-41.
- Čupić, M., & Suknović, M. (2010). *Odlučivanje*. Beograd, RS: Fakultet organizacionih nauka.
- de Mendonça, T. N. M., Henriques, V. M., & de Melo, A. B. (2015). Extensive green roofs (modulars, continuous and aerial) supported on premolded concrete bases. *International Journal of Engineering and Technology*, 7(5), 370-376.
- Del Barrio, E. P. (1998). Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. *Energy and buildings*, 27(2), 179-193.
- Denić, N., i Đekić, A. (1994). *Priručnik za hidroizolaciju zgrada ispod nivoa terena i ravni krovovi*. Kanjiža, RS: Fabrika izolacionih materijala (FIM) Kanjiža.
- Derkzen, M. L., Teeffelen, A. J., & Verburg, P. H. (2015). REVIEW: Quantifying urban ecosystem services based on high-resolution data of urban green space: an assessment for Rotterdam, the Netherlands. *Journal of Applied Ecology*, 52(4), 1020-1032.
- Dimitrijević, R., i Gavrilović, B. (2000). *Montažni prednapregnuti skelet u savremenom zgradarstvu – sistem IMS*. Beograd, RS: Institut za ispitivanje materijala IMS – Beograd.
- Dimitrijević, R. i Petrović, G. (2010). Izazovi većih raspona u IMS tehnologiji građenja. U Popović, Z., i Petrović, G. (Ur.), *Zbornik međunarodnog naučno-stručnog skupa – Istraživanja, projekti i realizacije u graditeljstvu* (str. 125-132). Beograd, RS: Institut IMS a.d.
- Dom zdravlja Niš. (n.d.). Preuzeto juna 2018. godine sa:
<http://www.domzdravljanis.co.rs/najvecidom.php>
- Doppelt, B. (2008). *The power of sustainable thinking: How to create a positive future for the climate, the Planet, your organization and your life*. Earthscan Publishing.
- Dragičević, S., Marjanović, M., & Šutić, B. (2017). Dynamics simulations of thermal behavior of conventional and green roofs. In *Proceedings of 10th International Scientific Conference "Science and Higher Education in Function of Sustainable Development"* (pp. 10-17.). Mečavnik, Užice, Serbia.
- Dunnett, N., & Kingsbury, N. (2008). *Planting green roofs and living walls*. Portland, OR: Timber Press.
- Dunnett, N., Nagase, A., Booth, R., & Grime, P. (2008). Influence of vegetation composition on runoff in two simulated green roof experiments. *Urban Ecosystems*, 11(4), 385-398.

- Dvorak, B. (2011). Comparative analysis of green roof guidelines and standards in Europe and North America. *Journal of Green Building*, 6(2), 170-191.
- Dvorak, B., & Volder, A. (2010). Green roof vegetation for North American ecoregions: a literature review. *Landscape and urban planning*, 96(4), 197-213.
- Dyer, J. S. (1990). Remarks on the analytic hierarchy process. *Management science*, 36(3), 249-258.
- EFB – European Federation of Green Roofs and Walls. (2015). White paper. Preuzeto maja 2017. sa: http://efb-greenroof.eu/wp-content/uploads/2016/12/efb_whitepaper_2015.pdf
- Elbakry, H. M., & Allam, S. M. (2015). Punching strengthening of two-way slabs using external steel plates. *Alexandria Engineering Journal*, 54(4), 1207-1218.
- Elevated thinking: the High Line in New York city. (2014). Preuzeto februaru 2017. sa: <http://greatmuseums.org/explore/more/elevated-thinking-the-high-line-in-new-york-city>
- Emilsson, T., Berndtsson, J. C., Mattsson, J. E., & Rolf, K. (2007). Effect of using conventional and controlled release fertiliser on nutrient runoff from various vegetated roof systems. *Ecological engineering*, 29(3), 260-271.
- Eumorfopoulou, E., & Aravantinos, D. (1998). The contribution of a planted roof to the thermal protection of buildings in Greece. *Energy and buildings*, 27(1), 29-36.
- European Commission. (2013a). *Building a Green Infrastructure for Europe*. Preuzeto maja 2017. sa: http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/green_infrastructure_broc.pdf
- European Commission. (2013b). *Technical information on Green Infrastructure (GI) accompanying the document Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Green Infrastructure (GI) - Enhancing Europe's Natural Capital*. Preuzeto maja 2017. sa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013SC0155&from=EN>
- European Commission. (2016a). *Background on Green Infrastructure*. Preuzeto maja 2017. sa: <http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/background.htm>
- European Commission. (2016b). *Supporting the Implementation of Green Infrastructure – Final Report*. Preuzeto maja 2017. sa: http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/green_infrastructures/GI%20Final%20Report.pdf
- Fawcett, T., & Mayne, R. (2012). Exploring an 'over time' model of eco-renovation. In *Retrofit 2012 conference, Salford, United Kingdom*. Preuzeto marta 2016. sa: www.academia.edu/download/16755224/Retrofit2011-TFRM-final.doc

- Feng, C., Meng, Q., & Zhang, Y. (2010). Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs. *Energy and buildings*, 42(6), 959-965.
- Fibre reinforced polymer (FRP) strengthening and software development (n.d.). Preuzeto novembra 2017. sa: http://www.bow-ingenieure.de/HTML_deutsch/03_projekte/30_projektseiten/1998-078_CFK_Lamellen/1998-078_CFK_Lamellen_engl.htm
- FLL – Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau. (2008). *Guidelines for the Planting, Construction and Maintenance of Green Roofing: Green Roofing Guideline*. Bonn, DE: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau.
- Foraboschi, P. (2016). Versatility of steel in correcting construction deficiencies and in seismic retrofitting of RC buildings. *Journal of Building Engineering*, 8, 107-122.
- Francis, R. A., & Lorimer, J. (2011). Urban reconciliation ecology: the potential of living roofs and walls. *Journal of environmental management*, 92(6), 1429-1437.
- Fuller, B. (2017). We are called to be architects of the future, not its victims. Preuzeto marta 2017. sa: <https://primalgroup.com/power-regenerative-systems/>
- Furundžić, A. K., Kosić, T., i Kosorić, V. (2013). Procena različitih scenarija unapređenja energetske performansi prefabrikovanog višeporodičnog objekta. U Pucar, M., Dimitrijević, B., i Marić, I. (Ur.), *Klimatske promene i izgrađeni prostor: Politika i praksa u Škotskoj i Srbiji* (255-281). Beograd, RS: Institut za arhitekturu i urbanizam Srbije.
- Gabrych, M., Kotze, D. J., & Lehvävirta, S. (2016). Substrate depth and roof age strongly affect plant abundances on sedum-moss and meadow green roofs in Helsinki, Finland. *Ecological Engineering*, 86, 95-104.
- Gagliano, A., Detommaso, M., & Nocera, F. (2017). Assessment of the Green Roofs Thermal Dynamic Behavior for Increasing the Building Energy Efficiencies. In *Smart Energy Control Systems for Sustainable Buildings* (pp. 37-59). Springer, Cham.
- Garcia, E. R. F. (2014). *Comparison of the Perception of Facility Managers on Green Roofs Attributes and Barriers to their Implementation* (Master thesis). Galveston, TX: Texas A&M University.
- Garric, A. (2013). Paris shopping centre opens green roof as French cities make room for nature. Preuzeto juna 2017. sa: <https://www.theguardian.com/environment/2013/may/04/paris-green-roofs-building-climate-environment>
- Generalni urbanistički plan Niša 2010 – 2025. (2016). Službeni list grada Niša, br. 43/2011 i 136/2016.

- Georgi, J. N., & Dimitriou, D. (2010). The contribution of urban green spaces to the improvement of environment in cities: Case study of Chania, Greece. *Building and Environment*, 45(6), 1401-1414.
- Getter, K. L., & Rowe, D. B. (2008). Media depth influences Sedum green roof establishment. *Urban Ecosystems*, 11(4), 361.
- Getter, K. L., Rowe, D. B., Andresen, J. A., & Wichman, I. S. (2011). Seasonal heat flux properties of an extensive green roof in a Midwestern US climate. *Energy and Buildings*, 43(12), 3548-3557.
- Getter, K. L., Rowe, D. B., & Cregg, B. M. (2009a). Solar radiation intensity influences extensive green roof plant communities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 8(4), 269-281.
- Getter, K. L., Rowe, D. B., Robertson, G. P., Cregg, B. M., & Andresen, J. A. (2009b). Carbon sequestration potential of extensive green roofs. *Environmental science & technology*, 43(19), 7564-7570.
- Global Emissions. (2017). Preuzeto maja 2018. sa: <https://www.c2es.org/content/international-emissions/>
- Gold, C. A. & Martin A. J. (1999). *Refurbishment of Concrete Buildings: Structural & Services Options*. Bracknell, UK: The Building Research and Information Association.
- Gómez-Baggethun, E., & Barton, D. N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86, 235-245.
- Goode, D. (2006). *Green infrastructure report to the Royal Commission on Environmental Pollution*. London, GB: Royal Commission on Environmental Pollution.
- Gou, Z., & Xie, X. (2017). Evolving green building: triple bottom line or regenerative design?. *Journal of Cleaner Production*, 153, 600-607.
- Graceson, A., Hare, M., Monaghan, J., & Hall, N. (2013). The water retention capabilities of growing media for green roofs. *Ecological engineering*, 61, 328-334.
- Grant, A., & Ries, R. (2013). Impact of building service life models on life cycle assessment. *Building Research & Information*, 41(2), 168-186.
- Grant, E. J. (2007). *A decision-making framework for vegetated roofing system selection* (Doctoral dissertation). Blackburg, VA: State University, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute.
- Greater London Authority. (2008). *Living Roofs and Walls: Technical Report Supporting London Plan Policy*. London, UK: Greater London Authority.
- Green Roof Blocks (n.d.). *Green roof blocks*. Preuzeto februara 2017. sa: <http://greenroofblocks.com/products/green-roof-blocks/>

- Green Roof Outfitters (n.d.). *Modular green roof systems*. Preuzeto februara 2017. sa:
<http://greenroofoutfitters.com/green-roofing-products/modular-green-roof-system/>
- Green roof Technology (n.d.). *Green roof types*. Preuzeto februara 2017. sa:
<http://www.greenrooftechnology.com/green-roof-types>
- Haas, R., & Meixner, O. (2005). An illustrated guide to the analytic hierarchy process. Vienna, AT: University of Natural Resources and Applied Life Sciences.
- Haefeli, P., Lachal, B., & Weber, W. (2014). Experiences with green roofs in Switzerland. In Maldonado, E., & Yannis, S. (Eds.), *In Proceedings of the PLEA* (Vol. 98, pp. 365-368). Abingdon, UK: Routledge.
- Harker, P. T., & Vargas, L. G. (1987). The theory of ratio scale estimation: Saaty's analytic hierarchy process. *Management Science*, 33(11), 1383-1403.
- Harris, W. (n.d.). Two Toronto Parks Win Green Design Awards. Preuzeto februara 2017. sa:
<http://www.where.ca/blog/check-in/toronto-parks-green-design-awards/>
- Hassan, S. A. (2007). *Mechanical performance of carbon fibre reinforced vinyl ester composite plate bonded concrete exposed to tropical climate* (Doctoral dissertation). Skudai, MY: Universiti Teknologi Malaysia.
- Henderson, B. T. (2003). *Human-Driven Extensive Greenroof Design* (Master thesis). Blackburg, VA: Virginia Polytechnic Institute & State University.
- Heusinger, J., & Weber, S. (2017). Extensive green roof CO₂ exchange and its seasonal variation quantified by eddy covariance measurements. *Science of The Total Environment*, 607, 623-632.
- Ho, W., & Ma, X. (2018). The state-of-the-art integrations and applications of the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 267, 399-414.
- Houx, D. & de Boer, I. (2016). Una breve storia sui tetti verdi / Short history of the green roofs. Preuzeto juna 2017. sa:
http://www.aivep.it/images/stories/documenti/Breve_storia_dei_tetti_verdi.pdf
- Hsueh, S. L., & Yan, M. R. (2013). A multimethodology contractor assessment model for facilitating green innovation: the view of energy and environmental protection. *The Scientific World Journal*, 2013.
- Hui, S. C., & Chan, S. C. (2011). Integration of green roof and solar photovoltaic systems. In *Proceedings of Joint Symposium 2011: Integrated Building Design in the New Era of Sustainability* (pp. 1-12). Kowloon, Hong Kong.
- Ichihara, K., & Cohen, J. P. (2011). New York City property values: what is the impact of green roofs on rental pricing?. *Letters in spatial and resource sciences*, 4(1), 21-30.

- IGRA – International Green Roof Association (n.d.). *Green roof types*. Preuzeto januara 2017. sa: http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php
- Imperatore, S., Lavorato, D., Nuti, C., Santini, S., & Sguerri, L. (2012). Shear performance of existing reinforced concrete T-beams strengthened with FRP. In *CICE 2012-Conference on Composites in Civil Engineering*. Preuzeto maja 2018. sa: https://www.iifc.org/proceedings/CICE_2012/01_FRP%20Strengthening%20of%20Concrete%20Structures,%20Historic%20Structures,%20Masonry%20Structures,%20Timber%20Structur/01_788_Nuti,Santini%20et%20al_SHEAR%20PERFORMANCE%20OF%20EXISTING%20REINFORCED.pdf
- Investprojekt – Niš. (1977a). Glavni projekat Doma zdravlja u Nišu.
- Investprojekt – Niš. (1977b). Dom zdravlja – Statički proračun.
- Inženjerska komora Srbije. (n.d.). Savremeni koncept obezbeđivanja trajnosti betonskih konstrukcija – projektovanje prema upotrebnom veku. Preuzeto februara 2016. sa: http://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/trajnost_1478522049453.pdf
- Jagarajan, R., Asmoni, M. N. A. M., Mohammed, A. H., Jaafar, M. N., Mei, J. L. Y., & Baba, M. (2017). Green retrofitting—A review of current status, implementations and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 1360-1368.
- Jang, A., Seo, Y., & Bishop, P. L. (2005). The removal of heavy metals in urban runoff by sorption on mulch. *Environmental pollution*, 133(1), 117-127.
- Jawaharlal, D., & Kala, T. F. (2017). Comprehensive study on methods of strengthening og reinforced cement concrete structures. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(7), 1-12.
- Jensen, P. A., & Maslesa, E. (2015). Value based building renovation—A tool for decision-making and evaluation. *Building and Environment*, 92, 1-9.
- Jim, C. Y. (2013). Sustainable urban greening strategies for compact cities in developing and developed economies. *Urban Ecosystems*, 16(4), 741-761.
- Jim, C. Y., & Tsang, S. W. (2011). Biophysical properties and thermal performance of an intensive green roof. *Building and Environment*, 46(6), 1263-1274.
- Johnston, J., & Newton, J. (1993). *Building green: a guide to using plants on roofs, walls and pavements*. Ecology Unit.
- Jones, R. J., Hiederer, R., Rusco, E., & Montanarella, L. (2005). Estimating organic carbon in the soils of Europe for policy support. *European Journal of Soil Science*, 56(5), 655-671.
- Jovanović, J., Grbić, J., & Petrović, D. (2012). Prefabricated Construction in Former Yugoslavia. Visual and Aesthetic Features and Technology of Prefabrication. In Herold, S., & Stefanovska, B. (Eds.), *45+ Post-War Modern Architecture in Europe* (pp. 175-187).

- Berlin, DE: Graue Reihe des Instituts für Stadt- und Regionalplanung, und Technische Universität Berlin.
- Jovanović, S. Č., Zlatković, B. K., & Stojanović, G. S. (2015). Distribution and Variability of n-Alkanes in Epicuticular Waxes of Sedum Species from the Central Balkan Peninsula: Chemotaxonomic Importance. *Chemistry & biodiversity*, 12(5), 767-780.
- Jumaat, M. Z., & Alam, M. A. (2007). *Strengthening of Reinforced Concrete Structures*. Preuzeto novembra 2017. sa: <http://dspace.unimap.edu.my/dspace/bitstream/123456789/13793/1/28-29-strengthening.pdf>
- Jungels, J., Rakow, D. A., Allred, S. B., & Skelly, S. M. (2013). Attitudes and aesthetic reactions toward green roofs in the Northeastern United States. *Landscape and Urban Planning*, 117, 13-21.
- Juric, M. (2016). *The perception of advantages and disadvantages of green roof design in Riverside County, California* (Master thesis). Pomona, CA: California State Polytechnic University.
- Kaiser, A. S., Zamora, B., Mazón, R., García, J. R., & Vera, F. (2014). Experimental study of cooling BIPV modules by forced convection in the air channel. *Applied Energy*, 135, 88-97.
- Karta 1.1. „Granica plana sa planiranom pretežnom namenom površina“ Drugih izmena i dopuna PGR GO Medijana. (2018). Službeni list Grada Niša, br. 72/12, 105/15 i 26/18.
- Katukiza, A. Y., Ronteltap, M., Niwagaba, C. B., Kansime, F., & Lens, P. N. L. (2014). A two-step crushed lava rock filter unit for grey water treatment at household level in an urban slum. *Journal of environmental management*, 133, 258-267.
- Kazmierczak, A., & Carter, J. (2010). *Adaptation to climate change using green and blue infrastructure. A database of case studies*. Manchester, GB: University of Manchester.
- Kearney, A. R. (2006). Residential development patterns and neighborhood satisfaction: Impacts of density and nearby nature. *Environment and Behavior*, 38(1), 112-139.
- Keys to success: Structural repair and strengthening techniques for concrete facilities. (2014). Preuzeto novembra 2017. sa: <https://csengineermag.com/article/keys-to-success-structural-repair-and-strengthening-techniques-for-concrete-facilities/>
- Khan, S. U., Rafeeqi, S. F. A., & Ayub, T. (2013). Strengthening of RC beams in flexure using ferrocement. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 37(C), 353-365.

- Kikuchi, S., & Koshimizu, H. (2013). A comparison of green roof systems with conventional roof for the storm water runoff. In *Spatial Planning and Sustainable Development* (pp. 287-303). Springer Netherlands.
- Klašnja, Ž. (1988). *Industrial and Prefabricated Systems in Yugoslav Housing Construction*. Beograd, RS: Eksportpres.
- Knauf Insulation (n.d.). *Urbanscape modularni sistem zelenih krovova*. Preuzeto septembra 2016. sa: <http://www.knaufinsulation.rs/sites/rs.knaufinsulation.com/files/Urbanscape-Modularni-sistem-zelenih-krovova.pdf>
- Knauf Insulation (2016). *Environmental product declaration. Urbanscape Extensive Green Roof System*. Berlin, DE: Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU).
- Koçak, A., Önal, M. M., & Sönmez, K. (2007). Repairing and strengthening methods for RC structural members. In *Proceedings of the 6th. International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures* (pp. 1111-1121).
- Köhler, M. (1990). The living conditions of plants on the roofs of buildings. A preliminary report. *Urban ecology. Plants and plant communities in urban environments*. SPB Academic Publishing, The Hague, 195-207.
- Köhler, M., & Poll, P. H. (2010). Long-term performance of selected old Berlin greenroofs in comparison to younger extensive greenroofs in Berlin. *Ecological Engineering*, 36(5), 722-729.
- Kostić, D. (2010a). Izvodi sa predavanja Opterećenja iz Predmeta Arhitektonsko-konstruktivski dizajn. Niš, RS: Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet.
- Kostić, D. (2010b). Izvodi sa predavanja Sanacija betonskih konstrukcija iz predmeta Rekonstrukcija i revitalizacija zgrada. Niš, RS: Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet.
- Kostić, D. (2010c). Izvodi sa predavanja Primena, obim i proces procene konstrukcije iz predmeta Rekonstrukcija i revitalizacija zgrada. Niš, RS: Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet.
- Kostić, D., Savić, J., i Milošević, V. (2013). Uticaj naprednih materijala na energetska efikasnost prostora ispod krova. U Grdić, Z. (Ur.), *Fasade i krovovi u zgradarstvu – savremeni i tradicionalni materijali i sistemi u funkciji energetske efikasnosti, trajnosti i estetike* (str. 113-126). Beograd, RS: Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije.
- Kumar, A., Sah, B., Singh, A. R., Deng, Y., He, X., Kumar, P., & Bansal, R. C. (2017). A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 596-609.

- Kuzmanov, L. (2009). Posledice procesa nadogradnji stambenih zgrada u Novom Sadu. *Nauka+ Praksa*, 12(2), 12-15.
- Kuzmanović, A., i Prolić, G. (2013). Ravni i kosi krovovi grejanih prostora – nova rešenja sa aspekta ostvarenja energetske efikasnosti i zaštite od požara. U Grdić, Z. (Ur.), *Fasade i krovovi u zgradarstvu – savremeni i tradicionalni materijali i sistemi u funkciji energetske efikasnosti, trajnosti i estetike* (str. 127-142). Beograd, RS: Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije.
- Lal, R., Negassa, W., & Lorenz, K. (2015). Carbon sequestration in soil. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 15, 79-86.
- Lamnatou, C., & Chemisana, D. (2015). A critical analysis of factors affecting photovoltaic-green roof performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 264-280.
- Lanham, J. K. (2008). *Thermal performance of green roofs in cold climates* (Master thesis). Kingston, Ontario, CAN: Queen's University.
- Lazović, Z., Đokić, V., i Bobić, A. (n.d.). *Mrtvoudice klimatskih promena: situacija arhitekturnih istraživanja u Srbiji*. Preuzeto maja 2018. sa:
https://www.researchgate.net/profile/Aleksandar_Bobic/publication/277330031_Mrtvoudice_klimatskih_promena_situacija_arhitekturnih_istrazivanja_u_Srbiji_Climate_Change_Gap_The_Situation_of_Architectural_Research_in_Serbia/links/556885e308aefcb861d547ab/Mrtvoudice-klimatskih-promena-situacija-arhitekturnih-istrazivanja-u-Srbiji-Climate-Change-Gap-The-Situation-of-Architectural-Research-in-Serbia.pdf
- Lazzarin, R. M., Castellotti, F., & Busato, F. (2005). Experimental measurements and numerical modelling of a green roof. *Energy and Buildings*, 37(12), 1260-1267.
- Li, J. F., Wai, O. W., Li, Y. S., Zhan, J. M., Ho, Y. A., Li, J., & Lam, E. (2010). Effect of green roof on ambient CO₂ concentration. *Building and Environment*, 45(12), 2644-2651.
- Li, Y., & Babcock, R. W. (2014). Green roofs against pollution and climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(4), 695-705.
- Liu, K., & Baskaran, B. (2003). Thermal performance of green roofs through field evaluation. In *Proceedings for the First North American Green Roof Infrastructure Conference, Awards and Trade Show* (pp. 1-10).
- Liu, K. S., Hsueh, S. L., Wu, W. C., & Chen, Y. L. (2012). A DFuzzy-DAHP decision-making model for evaluating energy-saving design strategies for residential buildings. *Energies*, 5(11), 4462-4480.
- Lootsma, F. A. (1999). *Multi-criteria decision analysis via ratio and difference judgement*. Dordrecht, NL: Kluwer Academic Publishers.

- Lotteau, M., Loubet, P., Pousse, M., Dufrasnes, E., & Sonnemann, G. (2015). Critical review of life cycle assessment (LCA) for the built environment at the neighborhood scale. *Building and Environment*, 93, 165-178.
- Luković, A. V. (2016). *Razvoj modela za upravljanje tokovima industrijskog otpada zasnovanog na formiranju eko-industrijskih mreža*. (Doktorska disertacija). Niš, RS: Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu.
- Luo, H., Liu, X., Anderson, B. C., Zhang, K., Li, X., Huang, B., Li, M., Mo, Y., Fan, L., Shen, Q., Chen, F., & Jiang, M. (2015). Carbon sequestration potential of green roofs using mixed-sewage-sludge substrate in Chengdu World Modern Garden City. *Ecological indicators*, 49, 247-259.
- Lyle, J.T. (1994). *Regenerative Design for Sustainable Development*. New York, NY: John Wiley and Sons.
- MacKerron, G., & Mourato, S. (2013). Happiness is greater in natural environments. *Global Environmental Change*, 23(5), 992-1000.
- Mairie de Paris. (2014). *The Paris Greening Programme*. Preuzeto juna 2017. sa: http://www.energy-cities.eu/db/Paris_Programme-vegetalisation_2014_en.pdf
- Majumder, M. (2015). *Impact of urbanization on water shortage in face of climatic aberrations*. Singapore, SG: Springer.
- Makki, R. F., & Nimnim, S. T. (2015). Rehabilitation of structural columns by using steel angles. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 1(6), 981-987.
- Mardani, A., Jusoh, A., MD Nor, K., Khalifah, Z., Zakwan, N., & Valipour, A. (2015). Multiple criteria decision-making techniques and their applications—a review of the literature from 2000 to 2014. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 28(1), 516-571.
- Marić, I., Crnčević, T., & Cvetić, J. (2015). Green infrastructure planning for cooling urban communities: Overview of the contemporary approaches with special reference to Serbian experiences. *Spatium*, 33, 55-61.
- Marković, B. (2003). Izvodi sa predavanja iz predmeta Montažne zgrade. Niš, RS: Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet.
- Martinović, M. (Ur). (1977). *O ravnim krovovima*. Beograd, RS: Građevinsko specijalizovano preduzeće „Izolacija“.
- Marušić, D. (2010). Referentne prednosti sistema IMS u arhitektonsko-urbanističkom projektovanju. U Popović, Z., i Petrović, G. (Ur.), *Zbornik međunarodnog naučno-stručnog skupa – Istraživanja, projekti i realizacije u graditeljstvu* (str. 69-74). Beograd, RS: Institut IMS a.d.

MCDM Methods. (n.d.). Preuzeto juna 2018. godine sa:

http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/2896/12/12_chapter%205.pdf

- Mecanov, D. (2016). The influence of prefabricated construction systems on Belgrade's architecture. *Nasleđe*, (17), 97-124.
- Mickaityte, A., Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., & Tupenaite, L. (2008). The concept model of sustainable buildings refurbishment. *International Journal of Strategic Property Management*, 12(1), 53-68.
- Milanović, B. (2016). *Razvoj hibridnog modela za ocenjivanje životnog ciklusa proizvoda i procesa*. (Doktorska disertacija). Novi Sad, RS: Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Inženjerstvo zaštite životne sredine.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis*, World Resources Institute, Washington, DC.
- Milić, B. (2008). *Elementi i konstrukcije zgrada, tom 2*. Podgorica, ME: Univerzitet Crne Gore, Arhitektonski i Građevinski fakultet u Crnoj Gori.
- Miller, R. W., Hauer, R. J., & Werner, L. P. (2015). *Urban forestry: planning and managing urban greenspaces* (3rd ed.). Waveland press.
- Moran, A., Hunt, B., & Jennings, G. (2003). A North Carolina field study to evaluate greenroof runoff quantity, runoff quality, and plant growth. In *World Water & Environmental Resources Congress 2003* (pp. 1-10).
- Mourad, S. M., & Shannag, M. J. (2012). Repair and strengthening of reinforced concrete square columns using ferrocement jackets. *Cement and concrete composites*, 34(2), 288-294.
- Muravljev, M. (2007). *Građevinski materijali*. Beograd, RS: Građevinska knjiga a.d.
- Muravljev, M. (2010). Branko Žeželj – Stvaralaštvo inženjera i naučnika. U Popović, Z., i Petrović, G. (Ur.), *Zbornik međunarodnog naučno-stručnog skupa – Istraživanja, projekti i realizacije u graditeljstvu* (str. 7-38). Beograd, RS: Institut IMS a.d.
- Muravljev, M., Živković, S., i Zakić, D. (2000). Savremene metode i tehnike ispitivanja betona i betonskih konstrukcija. *Materijali i konstrukcije*, 43(1-2), 5-11.
- Nagase, A., & Dunnett, N. (2011). The relationship between percentage of organic matter in substrate and plant growth in extensive green roofs. *Landscape and Urban Planning*, 103(2), 230-236.
- Nagase, A., & Dunnett, N. (2012). Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species, diversity and plant structure. *Landscape and Urban Planning*, 104(3), 356-363.
- Nagase, A., Dunnett, N., & Choi, M. S. (2013). Investigation of weed phenology in an establishing semi-extensive green roof. *Ecological engineering*, 58, 156-164.

- Najdanović, D. (1995). *Betonske konstrukcije*. Beograd, RS: Grosknjiga, d.o.o.
- Najdanović, D. (n.d.). Izvodi sa predavanja Konstrukcijske sanacije i ojačavanje iz predmeta Sanacije, rekonstrukcije i održavanje betonskih konstrukcija u visokogradnji. Beograd, RS: Građevinski fakultet univerziteta u Beogradu. Preuzeto novembra 2017. sa: http://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/2_prezentacija_sanacije_i_ojacanja_1387902455865.pdf
- Nathan Philips Square Toronto City Hall podium green roof. (n.d.). Preuzeto februara 2017. sa: <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1121>
- Ngan, G. (2004). *Green roof policies: tools for encouraging sustainable design*. Toronto, CA: Landscape Architecture Canada Foundation.
- Niachou, A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A., & Mihalakakou, G. (2001). Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and buildings*, 33(7), 719-729.
- Nikolić, J. (2015). *Refurbishment scenarios for post-war industrialized housing in Beograd* (Doctoral dissertation). Barcelona, ES: Polytechnic University of Catalonia, Faculty of Architecture.
- Niu, H., Clark, C., Zhou, J., & Adriaens, P. (2010). Scaling of economic benefits from green roof implementation in Washington, DC. *Environmental science & technology*, 44(11), 4302-4308.
- Nunez, E. (2015). Photo(s) of the week the High Line, then and now. Preuzeto februara 2017. sa: <http://www.thehighline.org/blog/2015/08/14/photo-s-of-the-week-the-high-line-then-and-now>
- Nurmi, V., Votsis, A., Perrels, A., & Lehvävirta, S. (2013). *Cost-benefit analysis of green roofs in urban areas: case study in Helsinki*. Helsinki, FI: Finnish Meteorological Institute.
- Olivieri, F., Di Perna, C., D'Orazio, M., Olivieri, L., & Neila, J. (2013). Experimental measurements and numerical model for the summer performance assessment of extensive green roofs in a Mediterranean coastal climate. *Energy and Buildings*, 63, 1-14.
- Opterećenja. (2015). Preuzeto maja 2017. sa: http://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/predavanje_2_1457087370074.pdf
- Optigreen. (n.d.). *Green roof system solutions*. Preuzeto februara 2017. sa: <http://www.optigreen.co.uk/system-solutions/>
- Osmundson, T. (1999). *Roof gardens: history, design, and construction*. New York, NY: W. W. Norton & Company, Inc.

- Ouldboukhitine, S. E., Belarbi, R., & Djedjig, R. (2012). Characterization of green roof components: Measurements of thermal and hydrological properties. *Building and Environment*, 56, 78-85.
- Padovani, R., Jensen, C., & Hes, D. (2010). Approach to thermal modelling innovative green building elements: Green roof and phase change plasterboard. In *AUBEA 2010 - Proceedings of the 2010 conference of the Australasian Universities Building Education Association* (Vol. 1, No. 1, p. A080).
- Pakvor, A., i Folić, R. (Ur.). (1995). *Zbirka jugoslovenskih pravilnika i standarda za građevinske konstrukcije, knjiga 1 Dejstva na konstrukcije*. Beograd, RS: Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Pan, N. F., Dzung, R. J., & Yang, M. D. (2011). Decision making behaviors in planning green buildings. In *Proceedings of International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring* (pp. 1710-1713). Changsha, CN: IEEE.
- Peck, S. W. (2012). Green roof industry begins era of triple digit growth. *Living Architecture Monitor. Green Roofs for Healthy Cities, Toronto*.
- Peck, S. W., Callaghan, C., Kuhn, M. E., & Bass, B. (1999). *Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada*. CMHC.
- Peniwati, K. (1996). The Analytic Hierarchy Process: The possibility theorem for group decision making. In *Proceedings of the Fourth International Symposium on the Analytic Hierarchy Process* (pp. 202-214). Burnaby, CA: Simon Fraser University.
- Pérez, G., Coma, J., Solé, C., Castell, A., & Cabeza, L. F. (2012a). Green roofs as passive system for energy savings when using rubber crumbs as drainage layer. *Energy Procedia*, 30, 452-460.
- Pérez, G., Vila, A., Rincón, L., Solé, C., & Cabeza, L. F. (2012b). Use of rubber crumbs as drainage layer in green roofs as potential energy improvement material. *Applied energy*, 97, 347-354.
- Peri, G., Traverso, M., Finkbeiner, M., & Rizzo, G. (2012). The cost of green roofs disposal in a life cycle perspective: Covering the gap. *Energy*, 48(1), 406-414.
- Perini, K., & Rosasco, P. (2016). Is greening the building envelope economically sustainable? An analysis to evaluate the advantages of economy of scope of vertical greening systems and green roofs. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20, 328-337.
- Petrović, B., i Folić, R. (1989). Proračun i konstruisanje montažnih betonskih zgrada pregled stanja i pravci razvoja. *Zbornik radova 5. jugoslovenskog naučnog skupa iNDiS '89 – Industrijska izgradnja stanova*, opšti deo, knjiga III. (str. 49-91). Novi Sad, RS: Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu.

- Petrović, D. D., Jović, J. J., i Đorić, V. D. (2017). Istraživanje uticaja vremenskih uslova na nastajanje kretanja u gradovima Evrope. *Tehnika – Saobraćaj*, 64(2), 251-256.
- Philippi, P. M. (2005). Introduction To The German FLL-Guideline For The Planning, Execution and Upkeep of Green Roof Sites. In *The Third Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference*.
- Pianella, A., Bush, J., Chen, Z., Williams, N. S., & Aye, L. (2016). Green roofs in Australia: review of thermal performance and associated policy development. In Zuo, J., Daniels, L., & Soebarto, V. (Eds.), In *Proceedings of Fifty years later: Revisiting the role of architectural science in design and practice: 50th International Conference of the Architectural Science Association 2016* (pp. 1-10). Adelaide, AU: The University of Adelaide.
- Pianella, A., Clarke, R. E., Williams, N. S., Chen, Z., & Aye, L. (2016). Steady-state and transient thermal measurements of green roof substrates. *Energy and Buildings*, 131, 123-131.
- Pombo, O., Rivela, B., & Neila, J. (2016). The challenge of sustainable building renovation: assessment of current criteria and future outlook. *Journal of Cleaner production*, 123, 88-100.
- Pompeii II, W. C. (2010). *Assessing urban heat island mitigation using green roofs: a hardware scale modeling approach* (Master thesis). Shippensburg, PA: Shippensburg University, Department of Geograph and Earth Science.
- Popović, M. J., i Ignjatović, D. (2003). U Popović, M. J. (Ur.), *Energetska optimizacija zgrada u kontekstu održive arhitekture, faza 1 – Analiza strukture građevinskog fonda* (str. 1-24). Beograd, RS: Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Popović, M. i Marković, M. (2012). Analiza asortimana perena u cvetnjacima beogradskih parkova sa posebnim osvrtom na invanzivne taksone. *Glasnik Šumarskog fakulteta*, 106, 169-182.
- Popović, M. J., Ignjatović, D., Radivojević, A., Rajčić, A., Đukanović, Lj., Ignjatović, N. Č., i Nedić, M. (2013). *Atlas višeporodičnih zgrada Srbije*. Beograd, RS: Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Pravilnik BAB 87 – Pravilnik o tehničkim normativima za beton i armirani beton. (1987). Službeni list SFRJ, br 07-719/1.
- Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada. (2011). Službeni glasnik RS, br. 61/2011.
- Pravilnik o jugoslovenskim standardima za toplotnu tehniku u građevinarstvu. (1980). Službeni list SFRJ, br. 3/80.

- Pravilnik o minimalnim tehničkim uslovima za izgradnju stanova. (1967). Službeni list SFRJ, br. 45/67.
- Pravilnik o nacionalnoj listi indikatora zaštite životne sredine (2011). Službeni glasnik RS, br. 37/2011.
- Pravilnik o tehničkim merama i uslovima za toplotnu zaštitu zgrada. (1970). Službeni list SFRJ, br. 35/70.
- Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima. (1990). Službeni list SFRJ, br. 31/81, 49/82, 29/83, 21/88 i 52/90.
- Pravilnik o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetske svojstvima zgrada. (2012). Službeni glasnik RS, br. 69/2012.
- Prince, B.(2015). World's largest green roof is unprecedented 30-acres, self-sustaining. Preuzeto februara 2017. sa: <https://ouexplorers.com/worlds-largest-green-roof/>
- Prosinečki, J. (2015). Stambena kriza i industrijalizacija građevinarstva u Jugoslaviji. *Montažna gradnja u Zagrebu 1950-ih i 1960-ih – montažni sistemi poduzeća Jugomont* (Teza). Zagreb, HR: Sveučilište u Zagrebu, Filozofski fakultet.
- Prvi dvogodišnji ažurirani izveštaj Republike Srbije prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih nacija o promeni klime. (2016). Beograd, RS: Ministarstvo poljoprivrede i zaštite životne sredine.
- Prvi izveštaj Republike Srbije prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih nacija o promeni klime. (2010). Beograd, RS: Ministarstvo životne sredine i prostornog planiranja.
- Radivojević, A. (2003). Iskustva i pravci razvoja standarda iz oblasti termičke zaštite kod nas i u svetu. U Popović, M. J. (Ur.), *Energetska optimizacija zgrada u kontekstu održive arhitekture, faza 1 – Analiza strukture građevinskog fonda* (str. 99-123). Beograd, RS: Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Ramanathan, R. (2001). A note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact assessment. *Journal of environmental management*, 63(1), 27-35.
- Rauf, A., & Crawford, R. H. (2015). Building service life and its effect on the life cycle embodied energy of buildings. *Energy*, 79, 140-148.
- Razzaghmanesh, M., & Beecham, S. (2014). The hydrological behaviour of extensive and intensive green roofs in a dry climate. *Science of the Total Environment*, 499, 284-296.
- Redi, I., Redi, A., Daničić, D., i Russo, M. (2011). Urbani eko-sistemi: Holistički pristup prema regenerativnoj arhitekturi. U Spasić, S. (Ur.), *Održiva gradnja i urbane oaze* (str. 27-34). Beograd, RS: Organizacija civilnog društva „Ekoist“.
- Reed, B. (2007). Shifting from 'sustainability' to regeneration. *Building Research & Information*, 35(6), 674-680.

- Regenerative Architecture, Beyond Sustainability – Design to Actively Heal the Environment. (2013). Preuzeto februara 2017. sa: <https://hubpages.com/education/Regenerative-Architecture>
- Reparacija i zaštita armiranog betona – Sika, U skladu sa Evropskim standardom EN 1504. (n.d.). Beograd, RS: Sika, d.o.o.
- Retrofit. (n.d.). Preuzeto maja 2018. sa: http://www4.kke.co.jp/stde/en/consulting/reinforce_design.html
- RHMZ – Republički hidrometeorološki zavod Srbije. (2016). Klimatske karakteristike Srbije. Preuzeto avgusta 2018. sa: http://www.hidmet.gov.rs/podaci/meteorologija/Klimatske_karakteristike_Srbije_prosirena_verzija.pdf
- Riaz, M. R. (2011). *Retrofitting – Seismic Design of Structures*. Preuzeto novembra 2017. sa: <https://www.slideshare.net/rizwansamor/retrofitting>
- Rowe, D. B. (2011). Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution*, 159(8), 2100-2110.
- Rowe, B. (2017). Carbon Sequestration and Storage: The Case for Green Roofs in Urban Areas. In Charlesworth, S. M., & Booth, C. A. (Eds.), *Sustainable Surface Water Management: A Handbook for SuDS* (pp. 193-204). Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Rowe, D. B., Getter, K. L., & Durhman, A. K. (2012). Effect of green roof media depth on Crassulacean plant succession over seven years. *Landscape and Urban Planning*, 104(3), 310-319.
- Saadatian, O., Sopian, K., Salleh, E., Lim, C. H., Riffat, S., Saadatian, E., ... & Sulaiman, M. Y. (2013). A review of energy aspects of green roofs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 155-168.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26.
- Saaty, T. L. (2000). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process (Analytic Hierarchy Process Series, Vol. 6)*. Pittsburgh, PA: RWS Publications.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98.
- Sailor, D. J. (2008). A green roof model for building energy simulation programs. *Energy and buildings*, 40(8), 1466-1478.

- Sailor, D. J., Elley, T. B., & Gibson, M. (2012). Exploring the building energy impacts of green roof design decisions—a modeling study of buildings in four distinct climates. *Journal of Building Physics*, 35(4), 372-391.
- Sailor, D. J., Hutchinson, D., & Bokovoy, L. (2008). Thermal property measurements for ecoroof soils common in the western US. *Energy and Buildings*, 40(7), 1246-1251.
- Sanacije, rekonstrukcije i održavanje betonskih konstrukcija u visokogradnji. (n.d.). Preuzeto novembra 2017. sa: https://kupdf.com/download/prezentacija-sanacija_5afedb25e2b6f5531f406714_pdf
- Santamouris, M. (2014). Cooling the cities—a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 103, 682-703.
- Sari, A., Tuzen, M., Citak, D., & Soylak, M. (2007). Adsorption characteristics of Cu (II) and Pb (II) onto expanded perlite from aqueous solution. *Journal of Hazardous Materials*, 148(1), 387-394.
- Seismic retrofitting. (n.d.). Preuzeto maja 2018. sa: <http://www.radyab.co/en/retrofit>
- Seismic retrofitting using precast elements. (n.d.). Preuzeto maja 2018. sa: <https://www.slideshare.net/discorajan/seismic-retrofitting-using-precast-elements>
- Sekulić, M. (2013). *Razvoj i transformacije krovnog vrta od nastanka do savremenih tendencija* (Doktorska disertacija). Novi Sad, RS: Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu.
- Semaan, M., & Pearce, A. (2016). Assessment of the Gains and Benefits of Green Roofs in Different Climates. *Procedia Engineering*, 145, 333-339.
- Sessa, O. (2015). Green roof Art school in Singapore. Preuzeto februara 2017. sa: <https://designdautore.blogspot.rs/2015/02/green-roof-art-school-in-singapore.html#.WLrP3X2y2M8>
- Shafique, M., Kim, R., & Rafiq, M. (2018). Green roof benefits, opportunities and challenges – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 757-773.
- Shiah, G. C. (2011). The green roof promotion strategies for the municipalities. *Applied Mechanics and Materials*, 71-78, 3892-3895.
- Si, J., Marjanovic-Halburd, L., Nasiri, F., & Bell, S. (2016). Assessment of building-integrated green technologies: a review and case study on applications of Multi-Criteria Decision Making (MCDM) method. *Sustainable Cities and Society*, 27, 106-115.
- Silvestre, J. D., De Brito, J., & Pinheiro, M. D. (2014). Environmental impacts and benefits of the end-of-life of building materials – calculation rules, results and contribution to a “cradle to cradle” life cycle. *Journal of Cleaner Production*, 66, 37-45.

- Sistonen, E., & Al-Neshawy, F. (2016). *Strengthening of building structures*. Preuzeto novembra 2017. sa: https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/198600/mod_resource/content/2/2016-03-14_Strengthening.pdf
- Skabelund, L. R., DiGiovanni, K., & Starry, O. (2015). Monitoring abiotic inputs and outputs. In Sutton, R. (Ed.), *Green Roof Ecosystems* (pp. 27-62). Springer International Publishing.
- Sobotka, A., & Wyatt, D. P. (1998). Sustainable development in the practice of building resources renovation. *Facilities*, 16(11), 319-325.
- Speak, A. F. (2013). *Quantification of the environmental impacts of urban green roofs* (Doctoral dissertation). Manchester, GB: University of Manchester, Faculty of Humanities.
- Specht, K., Siebert, R., Hartmann, I., Freisinger, U. B., Sawicka, M., Werner, A., Thomaier, S., Henckel, D., Walk, H., & Dierich, A. (2014). Urban agriculture of the future: an overview of sustainability aspects of food production in and on buildings. *Agriculture and human values*, 31(1), 33-51.
- Sperling, L. H. (2005). *Introduction to physical polymer science*. John Wiley & Sons.
- Srđević, B., i Jandrić, Z. (2000). *Analitički hijerarhijski proces u strateškom gazdovanju šumama*. Novi Sad, RS: J.P. Srbijašume, Šumsko gazdinstvo Novi Sad.
- Srđević, B., i Srđević, Z. (2004). Standardni i multiplikativni AHP. *Letopis naučnih radova Poljoprivrednog fakulteta*, 28(1), 5-15.
- Stamenković, M., i Kostić, D. (2017). Analiza karakteristika i primene IMS sistema gradnje. *Izgradnja*, 1-2, 48-55.
- Stamenković, M., & Vujičić, T. (2018). Thinking Sustainability + resilience _ Built Environment in transition. In Fikfak, A., Kosanović, S., Konjar, M., & Anguillari, E. (Eds.), *Sustainability and Resilience: Socio – Spatial Perspective* (pp. 73-87), I part of the book series: Reviews of Sustainability and Resilience of the Built environment for Education, Research and Design. Delft, NL: TU Delft Open.
- Stamenković, M. G., Miletić, M. J., Kosanović, S. M., Vučković, G. D., & Glišović, S. M. (2018). Impact of a building shape factor on space cooling energy performance in the green roof concept implementation. *Thermal Science*, 22(1B), 687-698.
- Steel and Carbon Fibre Plate Bonding. (n.d.). Preuzeto novembra 2017. sa: <http://www.ramservices.co.uk/structural-repair-refurbishment/plate-bonding/>
- Stewart, C. (2015). Thinking Above the Box: Green Roof History and Systems. Preuzeto novembra 2016. sa: <https://extension.tennessee.edu/publications/Documents/W293-A.pdf>
- Stojanović, G. S., Jovanović, S. Č., & Zlatković, B. K. (2015). Distribution and Taxonomic Significance of Secondary Metabolites Occurring in the Methanol Extracts of the

- Stonecrops (*Sedum* L., Crassulaceae) from the Central Balkan Peninsula. *Natural product communications*, 10(6), 941-944.
- Structural & Earthquake Strengthening: Commercial & Industrial Infrastructure. (n.d.). Preuzeto maja 2018. sa: <http://meccanico.co.nz/services/structural-earthquake-strengthening/>
- Susca, T., Gaffin, S. R., & Dell'Osso, G. R. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental pollution*, 159(8-9), 2119-2126.
- Sustania Buildings: Exploring the sustainable buildings of tomorrow. (n.d.). Preuzeto juna 2017. sa: http://www.sustania.me/sustania-award/buildings_sector_guide.pdf
- Szoke, A., Szabo, D., Forro, E., & Gerzson, L. (2013). Developing Hungarian cadastral database of green roofs and the trends in green roof construction industry. *Review on Agriculture and Rural Development*, 2(1), 455-460.
- Šešlija, D. (2011). "Zeleni krovovi" kao metoda ekoremedijacije urbanih ekosistema. U Spasić, S. (Ur.), *Održiva gradnja i urbane oaze* (str. 47-56). Beograd, RS: Organizacija civilnog društva „Ekoist“.
- Takebayashi, H., & Moriyama, M. (2007). Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment*, 42(8), 2971-2979.
- Tan, P. Y., & Sia, A. (2005, May). A pilot green roof research project in Singapore. In *Proceedings of third annual greening rooftops for sustainable communities conference, Awards and Trade Show, Washington, DC* (pp. 1-13).
- Tang, X., & Qu, M. (2016). Phase change and thermal performance analysis for green roofs in cold climates. *Energy and Buildings*, 121, 165-175.
- The incredible vertical forest residential towers in Milan, Italy. (2016). Preuzeto februara 2017. sa: <http://twistedstifter.com/2016/06/vertical-forest-residential-towers-in-milan-by-boeri-studio/>
- The IMS – Žeželj prestressed concrete framework assembly construction system. (1966). Belgrade, RS: Institut of Serbia for testing materials (IMS).
- The Roman house: elementary conspectus. (n.d.). Preuzeto januara 2017. sa: http://people.duke.edu/~wj25/UC_Web_Site/pliny/villas/house-conspectus.html
- Thrope, D. (2010). *Sustainable Home Refurbishment: The Earthscan Expert Guide to Retrofitting Homes for Efficiency*. London, UK: Earthscan.
- Thuring, C. E. (2015). *Ecological dynamics on old extensive green roofs: vegetation and substrate > twenty years since installation* (Doctoral dissertation). Sheffield, GB: The University of Sheffield, Faculty of Social Sciences.
- Tilman, D., Hill, J., & Lehman, C. (2006). Carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass. *Science*, 314(5805), 1598-1600.

- Todić, D., i Grbić, V. (2014). Zemlje u razvoju i politika u oblasti klimatskih promena. *Međunarodni problemi*, 1-2, 160-182.
- Tomalty, R., Komorowski, B., & Doiron, D. (2010). *The monetary value of the soft benefits of green roofs*. Ottawa, CAN: Canada Mortgage and Housing Corporation.
- Tošić, I., i Unkašević, M. (2013). *Klimatske promene u Srbiji*. Beograd, RS: Narodna biblioteka Srbije.
- Urbanscape (n.d.). *Green roof modular system*. Preuzeto februara 2017. sa: <http://www.greenurbanscape.com/en/solutions/green-roof-modular-system>
- Van Mechelen, C., Dutoit, T., & Hermy, M. (2015). Adapting green roof irrigation practices for a sustainable future: A review. *Sustainable Cities and Society*, 19, 74-90.
- Van Renterghem, T., & Botteldooren, D. (2008). Numerical evaluation of sound propagating over green roofs. *Journal of Sound and Vibration*, 317(3), 781-799.
- Van Renterghem, T., & Botteldooren, D. (2011). In-situ measurements of sound propagating over extensive green roofs. *Building and environment*, 46(3), 729-738.
- Van Seters, T., Rocha, L., Smith, D., & MacMillan, G. (2009). Evaluation of Green Roofs for Runoff Retention, Runoff Quality, and Leachability. *Water Quality Research Journal of Canada (Canadian Association on Water Quality)*, 44(1), 33-47.
- Van Tuijl, E., Hospers, G. J., & Van Den Berg, L. (2018). Opportunities and Challenges of Urban Agriculture for Sustainable City Development. *European Spatial Research and Policy*, 25(2), 5-22.
- Vesuviano, G. M. (2014). *A two-stage runoff detention model for a green roof* (Doctoral dissertation). Sheffield, GB: University of Sheffield, Department of Civil and Structural Engineering.
- Vijayaraghavan, K. (2016). Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 740-752.
- Vijayaraghavan, K., & Joshi, U. M. (2014). Can green roof act as a sink for contaminants? A methodological study to evaluate runoff quality from green roofs. *Environmental Pollution*, 194, 121-129.
- Vijayaraghavan, K., Joshi, U. M., & Balasubramanian, R. (2012). A field study to evaluate runoff quality from green roofs. *Water research*, 46(4), 1337-1345.
- Vijayaraghavan, K., & Raja, F. D. (2014). Design and development of green roof substrate to improve runoff water quality: Plant growth experiments and adsorption. *Water research*, 63, 94-101.

- Vranic, P., Vasilevska, Lj., & Haas, T. (2016). Hybrid spatialities: Multi-storey extensions of socialist blocks of flats under post-socialist transition in Serbia, the case of Niš. *Urban Studies*, 53(6), 1261-1277.
- Vučičević, B. S. (2014). *Analiza i ocena održivog razvoja energetskeg sistema u zgradarstvu* (Doktorska disertacija). Niš, RS: Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet.
- Vukov, J. (1966). The influence of rapid industrialization on housing problems in Yugoslavia. In *Proceedings from the Second CIB Congress Innovation in Building* (pp. 125-144). Cambridge. Preuzeto maja 2017. sa: <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB14919.pdf>
- Walkable green roofs: 13 accesible top-level gardens. (2014). Preuzeto februara 2017. sa: <http://webecoist.momtastic.com/2014/05/05/walkable-green-roofs-13-accessible-top-level-gardens/>
- Walker, B., & Salt, D. (2012). *Resilience thinking: sustaining ecosystems and people in a changing world*. Washington, D.C., USA: Island Press.
- Walters, S., & Stoelzle Midden, K. (2018). Sustainability of Urban Agriculture: Vegetable Production on Green Roofs. *Agriculture*, 8(11), 168.
- Wang, X., Tian, Y., & Zhao, X. (2017). The influence of dual-substrate-layer extensive green roofs on rainwater runoff quantity and quality. *Science of The Total Environment*, 592, 465-476.
- Wang, Y., Bakker, F., De Groot, R., & Wörtche, H. (2014). Effect of ecosystem services provided by urban green infrastructure on indoor environment: A literature review. *Building and Environment*, 77, 88-100.
- Wark, C. G., & Wark, W. W. (2003). Green roof specifications and standards. *The Construction Editor*, 56(8).
- Whittinghill, L. J., Rowe, D. B., Schutzki, R., & Cregg, B. M. (2014). Quantifying carbon sequestration of various green roof and ornamental landscape systems. *Landscape and Urban Planning*, 123, 41-48.
- Wilkinson, S., & Dixon, T. (2016). Looking to the Future. In Wilkinson, S., & Dixon, T. (Eds.), *Green Roof Retrofit: Building Urban Resilience* (pp. 379-398). Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Wilkinson S., & Fetiosa, R. C. (2016). Technical and Engineering Issues in Green Roof Retrofit. In Wilkinson, S., & Dixon, T. (Eds.), *Green Roof Retrofit: Building Urban Resilience* (pp. 48-79). Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Wilkinson, S., Lamond, J., Proverbs, D. G., Sharman, L., Heller, A., & Manion, J. (2015). Technical considerations in green roof retrofit for stormwater attenuation in the central business district. *Structural Survey*, 33(1), 36-51.

- Wilkinson, S. J., & Reed, R. (2009). Green roof retrofit potential in the central business district. *Property Management*, 27(5), 284-301.
- Wise, S., Braden, J., Ghalayini, D., Grant, J., Kloss, C., MacMullan, E., Morse, S., Montalto, F., Ness, D., Nowak, D., Peck, S., Shaikh & Yu, C. (2010). Integrating valuation methods to recognize green infrastructure's multiple benefits. In *Low Impact Development 2010: Redefining Water in the City* (pp. 1123-1143).
- Wolch, J. R., Byrne, J., & Newell, J. P. (2014). Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'. *Landscape and Urban Planning*, 125, 234-244.
- Wong, G. K., & Jim, C. Y. (2014). Quantitative hydrologic performance of extensive green roof under humid-tropical rainfall regime. *Ecological Engineering*, 70, 366-378.
- Wong, J. K. W., & Lau, L. S. K. (2013). From the 'urban heat island' to the 'green island'? A preliminary investigation into the potential of retrofitting green roofs in Mongkok district of Hong Kong. *Habitat International*, 39, 25-35.
- Woo, J., Tang, N., Suen, E., Leung, J., & Wong, M. (2009). Green space, psychological restoration, and telomere length. *The Lancet*, 373(9660), 299-300.
- World Housing Encyclopedia: A Resource on Construction in Earthquake Regions. (n.d.). Preuzeto maja 2018. sa: http://db.world-housing.net/pdf_view/103/
- Xiao, M., Lin, Y., Han, J., & Zhang, G. (2014). A review of green roof research and development in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 633-648.
- Xu, P., & Chan, E. H. (2013). ANP model for sustainable Building Energy Efficiency Retrofit (BEER) using Energy Performance Contracting (EPC) for hotel buildings in China. *Habitat International*, 37, 104-112.
- Yang, H. S. (2013). *Outdoor noise control by natural/sustainable materials in urban areas* (Doctoral dissertation). Sheffield, GB: The University of Sheffield, School of Architecture.
- Yang, H. S., Kang, J., & Choi, M. S. (2012). Acoustic effects of green roof systems on a low-profiled structure at street level. *Building and Environment*, 50, 44-55.
- Yang, J., Yu, Q., & Gong, P. (2008). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric environment*, 42(31), 7266-7273.
- Yavuz, M., Gode, F., Pehlivan, E., Ozmert, S., & Sharma, Y. C. (2008). An economic removal of Cu 2+ and Cr 3+ on the new adsorbents: pumice and polyacrylonitrile/pumice composite. *Chemical Engineering Journal*, 137(3), 453-461.
- Yoneda, Y. (2011). 9 enchanting gardens, green roofs and planted walls we spotted around Japan. *Inhabitat*. Preuzeto februara 2017. sa: <http://inhabitat.com/9-enchanting-gardens-green-roofs-and-planted-walls-we-spotted-around-japan/9-enchanting-japanese-gardens/>

- Zakon o planiranju i izgradnji. (2014). Službeni glasnik RS, br. 72/2009,81/2009 – ispr., 64/2010 – odluka US, 24/2011, 121/2012, 42/2013 – odluka US, 50/2013 – odluka US, 98/2013 – odluka US, 132/2014 i 145/2014.
- Zakon o prostornom planu Republike Srbije od 2010. do 2020. godine. (2010). Službeni glasnik RS, br. 88/2010.
- Zakon o zaštiti prorode. (2016). Službeni glasnik RS, br. 36/2009, 88/2010, 91/2010 – ispr. i 14/2016.
- Zakon o zaštiti životne sredine. (2016). Službeni glasnik RS, br. 135/04, 36/2009, 36/2009 – dr. zakon, 72/2009 – dr. zakon, 43/2011 – odluka US RS i 14/2016.
- Zelena infrastruktura. (2013). Preuzeto maja 2017. sa: <http://mreza.rs/zelena-infrastruktura-2/>
- Zhao, M., & Srebric, J. (2012). Assessment of green roof performance for sustainable buildings under winter weather conditions. *Journal of Central South University*, 19(3), 639-644.
- Zhao, M., Tabares-Velasco, P. C., Srebric, J., & Komarneni, S. (2013). Comparison of green roof plants and substrates based on simulated green roof thermal performance with measured material properties. In *13th Conference of International Building Performance Simulation Association* (pp. 817-823). Chambéry, France.
- ZinCo. (n.d.). *Green Roof Systems*. Preuzeto maja 2017. sa: <https://zinco-greenroof.com/>
- Zhou, X., & Parves Rana, M. (2012). Social benefits of urban green space: A conceptual framework of valuation and accessibility measurements. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 23(2), 173-189.
- Zlatković, B., Mitić, Z. S., Jovanović, S., Lakušić, D., Lakušić, B., Rajković, J., & Stojanović, G. (2017). Epidermal structures and composition of epicuticular waxes of *Sedum album sensu lato* (Crassulaceae) in Balkan Peninsula. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 151(6), 974-984.

PRILOG 1. Studija slučaja – Primeri izvedenih zelenih krovova

1. Garaža Pionirski park, ul. Dragoslava Jovanovića 2, Beograd

(Izvor podataka: Sekulić, 2013)

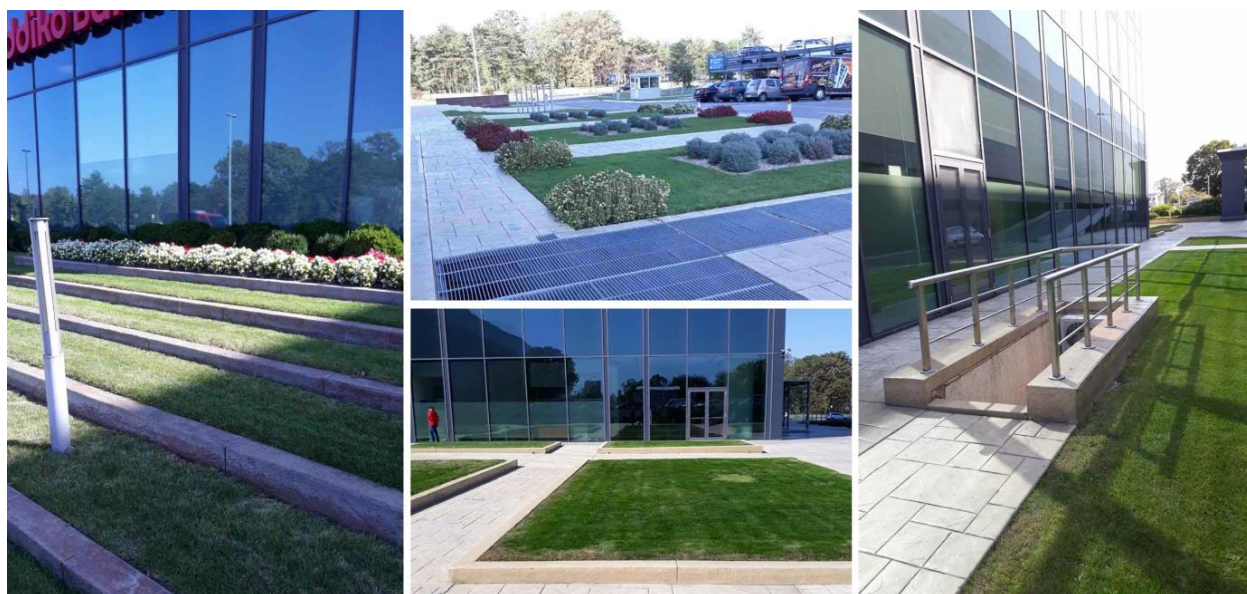
Namena objekta:	Garaža – objekat javne namene
Vlasništvo:	Lokalna samouprava
Investitor:	Grad Beograd – Gradska uprava Sekretarijat za komunalne i stambene poslove
Godina izvođenja zelenog krova:	2005.
Novoprojektovani/postojeći objekat:	Novoprojektovani objekat
Razlog za izgradnju zelenog krova:	Parter iznad garaže je sastavni deo Pionirskog parka, koji čini zaštićenu okolinu nepokretnih kulturnih dobara – objekata u okruženju. Izgradnja zelenog krova predstavlja meru očuvanja zelenih površina.
Pristupačnost:	Da
Nivo zelenog krova:	U nivou terena
Tip zelenog krova:	Intenzivni
Komercijalni/nekomercijalni zeleni krov:	Nekomercijalni
Debljina supstrata:	60 – 185 cm
Održavanje:	Redovno zalivanje, čišćenje i provera stanja. Održavanje na nivou lokalne samouprave.
Površina objekta (zauzetosti tla/krova):	4270 m ²
Površina zelenog krova:	2263 m ²
Površina pod biljnim materijalom:	2263 m ² (53%)
Komentar:	Supstrat čini mešavina peska (60%), treseta (20%) i zemlje (20%), a drenažni sloj debljine 10 cm čini šljunak granulacije 20-40 mm. Zeleni krov se aktivno koristi kao parkovska površina.



Parter ispred Skupštine Grada – zeleni krovovi podzemne garaže

2. Parter poslovnog centra Ušće, ul. Bulevar Mihajla Pupina 6, Beograd
(Izvor podataka: Sekulić, 2013)

Namena objekta:	Poslovna zgrada
Vlasništvo:	Privatno, deo pacele se javno koristi
Investitor:	European Construction d.o.o.
Godina izvođenja zelenog krova:	2005.
Novoprojektovani/postojeći objekat:	Postojeći objekat
Razlog za izgradnju zelenog krova:	Potreba za unapređenjem estetskog kvaliteta završne obrade podzemnog dela objekta.
Pristupačnost:	Da
Nivo zelenog krova:	U nivou terena
Tip zelenog krova:	Ekstenzivni
Komercijalni/nekomercijalni zeleni krov:	Nekomercijalni
Debljina supstrata:	10 – 12 cm
Održavanje:	Redovno zalivanje, čišćenje i provera stanja.
Površina objekta (zauzetosti tla/krova):	3590 m ²
Površina zelenog krova:	1691,20 m ²
Površina pod biljnim materijalom:	1691,20 m ² (47%)
Komentar:	Rekonstrukcijom partera poslovnog centra Ušće, koji čini krovnu konstrukciju podzemnog dela objekta, površina nekadašnjeg zelenog krova je umanjena na račun parking prostora sa asfaltnom podlogom. Zeleni krov ima funkciju javnog zelenila.



Parterno uređenje poslovnog centra Ušće – zeleni krovovi iznad podzemnih delova objekta

3. Stambeno-poslovni kompleks Forum, ul. Bulevar kralja Aleksandra 520, Beograd

(Izvor podataka: Sekulić, 2013)

Namena objekta:	Stambeno-poslovne zgrade
Vlasništvo:	Privatno, deo pazele se javno koristi
Investitor:	Okruglica IGM d.o.o.
Godina izvođenja zelenog krova:	2007.
Novoprojektovani/postojeći objekat:	Novoprojektovani objekti
Razlog za izgradnju zelenog krova:	Usled visinske razlike između ulica Bulevar kralja Aleksandra i Živka Davidovića od 4-6 m, iznad garaža i magacinskog prostora na nižim etažama su formirani zeleni krovovi u dva nivoa, iznad betonske ploče od 30 cm, kao prostori za socijalizaciju i zbog ispunjavanja procentualnog učešća pod zelenilom u okviru parcele.
Pristupačnost:	Da
Nivo zelenog krova:	U nivou terena
Tip zelenog krova:	Intenzivni
Komercijalni/nekomercijalni zeleni krov:	Nekomercijalni
Debljina supstrata:	20 – 35 cm
Održavanje:	Zalivanje, čišćenje i provera stanja po potrebi.
Površina objekta (zauzetosti tla/krova):	2271 m ²
Površina zelenog krova:	773 m ²
Površina pod biljnim materijalom:	773 m ² (34%)
Komentar:	Pejzažno uređenje nije izvedeno prema projektu. Izgrađene su samo površine pod niskim zelenilom.



Zeleni krov na višem platou – prostor javne namene

4. **Belgrade Office Park**, ul. Đorđa Stanojevića 12, Beograd

(Podatke ustupio Mandino Kokir, upravnik objekta Belgrade Office Park; Sekulić, 2013)

Namena objekta:	Poslovna zgrada
Vlasništvo:	Privatno
Investitor:	TM Immo d.o.o.
Godina izvođenja zelenog krova:	2009.
Novoprojektovani/postojeći objekat:	Novoprojektovani objekat
Razlog za izgradnju zelenog krova:	Usled velike izgrađenosti parcele, funkcionalnom organizacijom objekta je predviđeno 8 nezavisnih krovnih terasa pod zelenilom u cilju obezbeđivanja produženog boravka na otvorenom u prirodnom okruženju.
Pristupačnost:	4 prohodna zelena krova orjentisana ka atrijumu i 4 neprohodna zelena krova ka spoljašnjosti bloka.
Nivo zelenog krova:	P+1
Tip zelenog krova:	Ekstenzivni
Komercijalni/nekomercijalni zeleni krov:	Nekomercijalni
Debljina supstrata:	10 cm
Održavanje:	Zalivanje, čišćenje i provera stanja po potrebi.
Površina objekta (zauzetosti tla/krova):	5500 m ²
Površina zelenog krova:	841,97 m ² (15%)
Površina pod biljnim materijalom:	742,96 m ² (13,5%)
Komentar:	Nakon rekonstrukcije 2016. godine, nekadašnja dva objekta – I i II, koji su činili kompleks su, između ostalog, povezani čineći celinu u okviru koje su zadržani zeleni krovovi.



Prohodni zeleni krovovi na većim terasama orjentisanim ka atrijumu

5. Stambeno-poslovni objekat Soko Štark, između ulica: Sterijine, Mitorpolita Petra i Miše Vujića, Beograd

(Izvor podataka: Sekulić, 2013)

Namena objekta:	Stambeno-poslovna zgrada
Vlasništvo:	Privatno, deo parcele se javno koristi
Investitor:	Metropolitan Project d.o.o.
Godina izvođenja zelenog krova:	2011.
Novoprojektovani/postojeći objekat:	Novoprojektovani objekat
Razlog za izgradnju zelenog krova:	Iznad podzemne garaže i skloništa u unutrašnjem dvorištu parcele, izgrađen je zeleni krov u nivou terena kao prostor za socijalizaciju i zbog ispunjavanja procentualnog učešća pod zelenilom.
Pristupačnost:	Da
Nivo zelenog krova:	U nivou terena
Tip zelenog krova:	Intenzivni
Komercijalni/nekomercijalni zeleni krov:	Nekomercijalni
Debljina supstrata:	28 – 146 cm
Održavanje:	Zalivanje, čišćenje i provera stanja po potrebi.
Površina objekta (zauzetosti tla/krova):	1834,40 m ²
Površina zelenog krova:	1397,20 m ²
Površina pod biljnim materijalom:	1397,20 m ² (76%)
Komentar:	Zeleni krovovi čine 80,06% ukupne površine pod zelenilom u bloku. Imajući u vidu da je skoro 60% površine zelenih krovova stalno u senci, njihov kvalitet je znatno opao vremenom.



Zelene površine u unutrašnjosti parcele – zeleni krovovi podzemnih delova objekata

6. ProCredit banka, ul. Vizantijski Bulevar bb, Niš

(Podatke ustupila ProCredit banka)

Namena objekta:	Poslovna zgrada
Vlasništvo:	Privatno
Investitor:	ProCredit Bank
Godina izvođenja zelenog krova:	2013.
Novoprojektovani/postojeći objekat:	Novoprojektovani objekat
Razlog za izgradnju zelenog krova:	Estetski
Pristupačnost:	Ne
Nivo zelenog krova:	U nivou tehničkog krova P+2
Tip zelenog krova:	Ekstenzivni i intenzivni (žardinjere)
Komercijalni/nekomercijalni zeleni krov:	Komercijalni - Dorcken
Debljina supstrata:	20 cm i žardinjere 50 cm
Održavanje:	Zalivanje jednom mesečno, sistem „kap po kap“, uz prskanje prehranom (đubrivom) i orezivanje.
Površina objekta (zauzetosti tla/krova):	257,25 m ²
Površina zelenog krova:	81 m ² (31,5%)
Površina pod biljnim materijalom:	46,20 m ² (18%)
Komentar:	Na ravnom krovu su, u okviru zelenog krova, instalirani solarni paneli sa pripadajućim instalacijama za grejanje sanitarne vode, što predstavlja odličan primer hibridnog sistema. Pored estetske funkcije, zeleni krov doprinosi i povećanju energetske efikasnosti PV sistema.

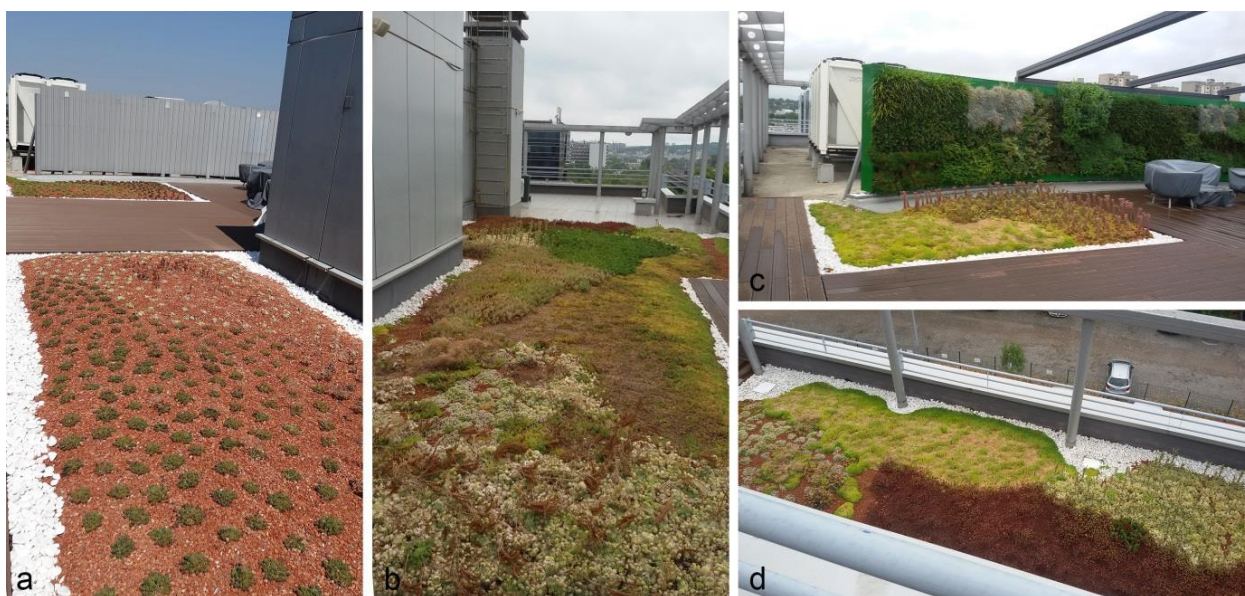


Neprohodni zeleni krov

7. Magna Pharmacia, ul. Milutina Milankovića 7b, Beograd

(Podatke ustupio Kosta Bolbođerski, ZinCo – predstavništvo za Srbiju, Bosnu i Hercegovinu i Crnu Goru)

Namena objekta:	Poslovna zgrada
Vlasništvo:	Privatno
Investitor:	Magna Pharmacia d.o.o.
Godina izvođenja zelenog krova:	2015.
Novoprojektovani/postojeći objekat:	Novoprojektovani objekat
Razlog za izgradnju zelenog krova:	Estetski
Pristupačnost:	Da
Nivo zelenog krova:	P+3 i P+4
Tip zelenog krova:	Ekstenzivni
Komercijalni/nekomercijalni zeleni krov:	Komercijalni – ZinCo zeleni krovni sistem
Debljina supstrata:	10 cm
Održavanje:	U toku prve godine formiranja zelenog krova potrebno je učestalo zalivanje zasejavanje ogoljenih površina, đubrenje po potrebi, uklanjanje korova, orošavanje, košenje, plevljenje, nakon čega se aktivnosti smanjuju i obavljaju po potrebi.
Površina objekta (zauzetosti tla/krova):	1018,88 m ²
Površina zelenog krova:	508,41 m ² (50%)
Površina pod biljnim materijalom:	214,62 m ² (21%)
Komentar:	U okviru primenjene tehnologije gradnje zelenog krova, biljke su sađene u sloj supstrata. Zeleni krov ima namenu otvorene površine za boravak korisnika objekta.



Izgledi zelenih krovova – u nivou P+4: a) nakon instalacije, b) i c) u fazi eksploatacije, nakon formiranja biljnog pokrivača, d) u nivou P+3 (slike ustupio ZinCo)

8. Upravna zgrada Knauf Insulation, ul. Batajnički drum 16b, Zemun

(Podatke ustupio Knauf Insulation d.o.o.)

Namena objekta:	Poslovna zgrada
Vlasništvo:	Privatno
Investitor:	Knauf Insulation d.o.o.
Godina izvođenja zelenog krova:	2015.
Novoprojektovani/postojeći objekat:	Postojeći objekat
Razlog za izgradnju zelenog krova:	Promocija zelenih krovova
Pristupačnost:	Da
Nivo zelenog krova:	U nivou krova, iznad poslednje etaže objekta spratnosti P+2
Tip zelenog krova:	Ekstenzivni
Komercijalni/nekomercijalni zeleni krov:	Komercijalni – Urbanscape zeleni krovni sistem
Debljina supstrata:	4 cm
Održavanje:	Sezonsko održavanje i zalivanje u letnjem periodu po potrebi
Površina objekta (zauzetosti tla/krova):	305,36 m ²
Površina zelenog krova:	20 m ²
Površina pod biljnim materijalom:	20 m ² (6,5%)
Komentar:	U okviru primenjenog Urbanscape sistema zelenih krovova, biljni pokrivač sa mešavinom seduma se postavlja preko Green Roll supstrata, koji se vremenom povezuju preko korenskog sistema. Zeleni krov nije predviđen za korišćenje – izveden je na tehničkom krovu.



Izgled Urbanscape zelenog krova

9. Societe Generale banka, ul. Zorana Đinđića 48v, Beograd

(Podatke ustupio Knauf Insulation d.o.o. i Imel Group d.o.o.)

Namena objekta:	Poslovna zgrada
Vlasništvo:	Privatno
Investitor:	Societe Generale banka i Imel Group d.o.o.
Godina izvođenja zelenog krova:	2016.
Novoprojektovani/postojeći objekat:	Novoprojektovani objekat
Razlog za izgradnju zelenog krova:	Promocija zelenih krovova
Pristupačnost:	Da
Nivo zelenog krova:	P+5+P _s
Tip zelenog krova:	Ekstenzivni
Komercijalni/nekomercijalni zeleni krov:	Komercijalni – Urbanscape zeleni krovni sistem
Debljina supstrata:	4 cm
Održavanje:	Sezonsko održavanje i zalivanje u letnjem periodu po potrebi
Površina objekta (zauzetosti tla/krova):	1138 m ²
Površina zelenog krova:	129 m ² (11,5%)
Površina pod biljnim materijalom:	129 m ² (11,5%)
Komentar:	U okviru primenjenog Urbanscape sistema zelenih krovova, biljni prekrivač sa mešavinom seduma se postavlja preko Green Roll supstrata, koji se vremenom povezuju preko korenskog sistema. Zeleni krov nije predviđen za korišćenje – izveden je na tehničkom krovu.



Izgled Urbanscape zelenog krova (sliku ustupio Knauf Insulation)

10. **Poslovni kompleks Sirius Offices (Faza 1)**, ul. Bulevar Arsenija Černojevića 114/1, Beograd

(Podatke ustupio Immorent Singidunum d.o.o. i Ivana Đurić Bilić, dia)

Namena objekta:	Poslovni kompleks
Vlasništvo:	Privatno
Investitor:	Immorent Singidunum d.o.o.
Godina izvođenja zelenog krova:	2017.
Novoprojektovani/postojeći objekat:	Novoprojektovani objekat
Razlog za izgradnju zelenog krova:	Estetski
Pristupačnost:	Ne
Nivo zelenog krova:	P+2 (Objekat A) i P+1 (Objekat B)
Tip zelenog krova:	Ekstenzivni
Komercijalni/nekomercijalni zeleni krov:	Komercijalni – Optigreen zeleni krovni sistem
Debljina supstrata:	10 cm
Održavanje:	U toku prve godine formiranja zelenog krova potrebno je učestalo zalivanje, zasejavanje ogoljenih površina, đubrenje po potrebi, uklanjanje korova, orošavanje, košenje, plevljenje, nakon čega se aktivnosti smanjuju i obavljaju po potrebi.
Površina objekta (zauzetosti tla/krova):	$P_A = 1591,3 \text{ m}^2$; $P_B = 1026,6 \text{ m}^2$; $P_\Sigma = 2618 \text{ m}^2$
Površina zelenog krova:	$P_{Azk} = 159,6 \text{ m}^2$; $P_{Bzk} = 87,6 \text{ m}^2$; $P_\Sigma = 247,2 \text{ m}^2$ (9,5%)
Površina pod biljnim materijalom:	$P_A = 133,8 \text{ m}^2$; $P_B = 78,5 \text{ m}^2$; $P_\Sigma = 212,3 \text{ m}^2$ (8%)
Komentar:	U okviru tehnologije gradnje zelenih krovova, vršeno je sejanje semena u sloj supstrata. Zeleni krov se ne koristi aktivno za boravak.



Izgledi zelenih krovova u početnoj fazi, nakon zasejavanja: a) u nivou P+2 – Objekat A, b) u nivou P+1 – Objekat B (slike ustupio Immorent Singidunum)

11. **Stambeno-poslovni kompleks ABlok**, ugao ulica Jurija Gagarina i Omladinskih brigada, blok 67a, Beograd

(Podatke ustupio Goran Puhalac, Ex ing B&P i Beovrt d.o.o.)

Namena objekta:	Stambeno-poslovni kompleks
Vlasništvo:	Privatno, deo platoa se javno koristi
Investitor:	Deka Inženjering d.o.o.
Godina izvođenja zelenog krova:	2017.
Novoprojektovani/postojeći objekat:	Novoprojektovani objekat
Razlog za izgradnju zelenog krova:	Parkovska površina i ispunjavanje procentualnog učešća pod zelenilom u okviru parcele.
Pristupačnost:	Da
Nivo zelenog krova:	P+1
Tip zelenog krova:	Intenzivni - žardinjere
Komercijalni/nekomercijalni zeleni krov:	Nekomercijalni
Debljina supstrata:	40 – 180 cm
Održavanje:	U toku prve godine formiranja zelenog pokrivača potrebno je učestalo održavanje i nega, nakon čega se aktivnosti smanjuju i obavljaju po potrebi. Održavanje vrši Beovrt d.o.o.
Površina objekta (zauzetosti tla/krova):	$P = 5500 \text{ m}^2$
Površina zelenog krova:	$P = 660 \text{ m}^2$
Površina pod biljnim materijalom:	$P = 660 \text{ m}^2$ (12%)
Komentar:	U cilju optimizacije opterećenja konstrukcije od težine zelenog krova, naročito sloja supstrata neophodnog za razvoj visokog zelenila, primenjene su kalote – dodatni sloj supstrata za drveće. Drenažni sloj debljine 15 cm čini šljunak.



Zeleni krovovi u funkciji parka: a) javno korišćenje; b) privatno korišćenje

12. Stambeno-poslovni kompleks Sun City, ugao ulica Jurija Gagarina i Gandijeve, blok 63, Beograd

(Podatke ustupio Merin Asset Management d.o.o.)

Namena objekta:	Stambeno-poslovni kompleks
Vlasništvo:	Privatno
Investitor:	Sun City d.o.o.
Godina izvođenja zelenog krova:	2017.
Novoprojektovani/postojeći objekat:	Novoprojektovani objekat
Razlog za izgradnju zelenog krova:	Estetski i privatno korišćenje zelenih površina, u nivou atrijuma, u funkciji produženog boravka na otvorenom.
Pristupačnost:	Da – u nivou atrijuma; Ne – u nivou krova
Nivo zelenog krova:	P+1 i iznad poslednje etaže objekta P+7
Tip zelenog krova:	Ekstenzivni i intenzivni – žardinjere
Komercijalni/nekomercijalni zeleni krov:	Nekomercijalni
Debljina supstrata:	14 – 50 cm
Održavanje:	U toku prve godine formiranja zelenog pokrivača potrebno je učestalo održavanje i nega, nakon čega se aktivnosti smanjuju i obavljaju po potrebi.
Površina objekta (zauzetosti tla/krova):	$P = 3444 \text{ m}^2$
Površina zelenog krova:	$P = 1224 \text{ m}^2$
Površina pod biljnim materijalom:	$P = 1224 \text{ m}^2$ (35,5%)
Komentar:	Zeleni krovni sistem je klasično izveden, sa drenažnim slojem šljunka debljine 10 i 25 cm, i slojem humusa od 20 i 50 cm. Biljni pokrivač čini trava i ukrasno šiblje.



Izgledi unutrašnjeg dvorišta – zeleni krov atrijuma u nivou P+1

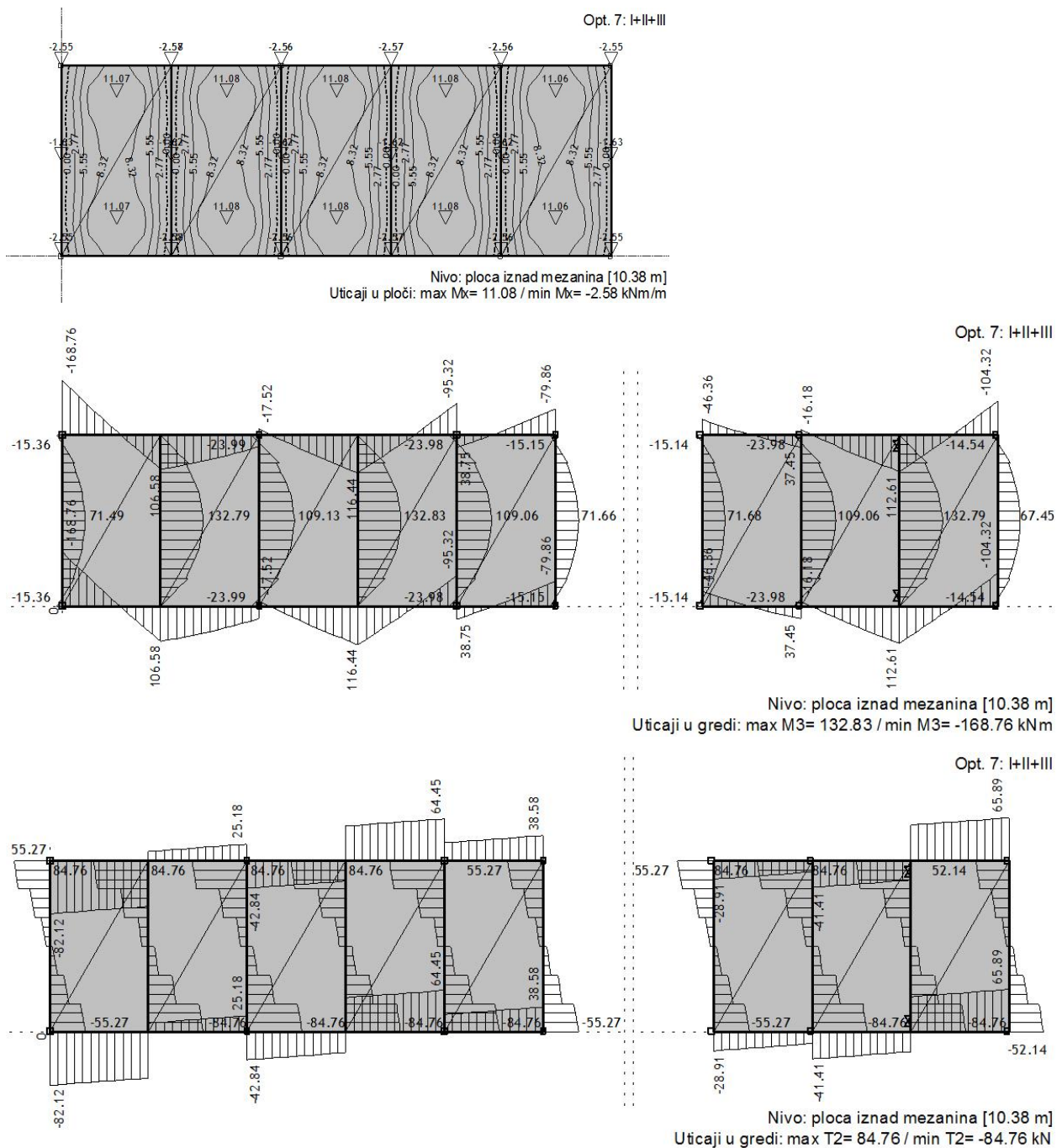
PRILOG 2. Rezultati analize konstrukcije

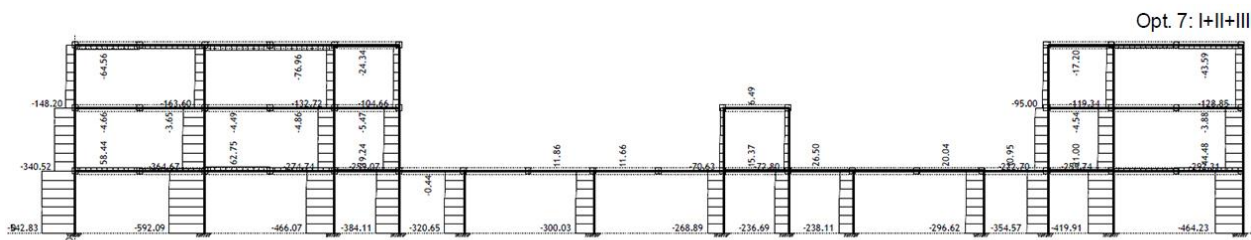
U prilogu 2 prikazani su rezultati analize konstrukcija lamela III i V, za postojeće i novoprojektovano stanje, koje se odnosi na unapređenje krovova ekstenzivnim zelenim krovnim sistemom u okviru prohodnih terasa (model unapređenja 3).

KONTROLA NOSIVOSTI

Za kontrolu nosivosti prikazani su dijagrami uticaja za krovne ploče (momenti savijanja M), grede (momenti savijanja M i transferzalne sile T) i stubove (normalne sile N) za poređenje dobijenih vrednosti.

Lamela III – Postojeće stanje

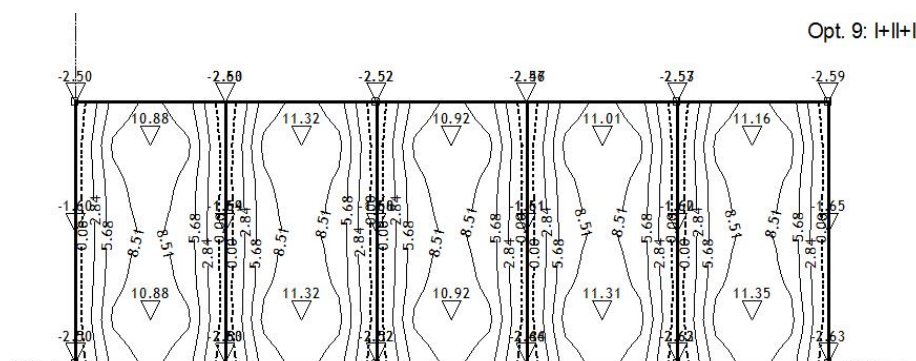




Opt. 7: I+II+III

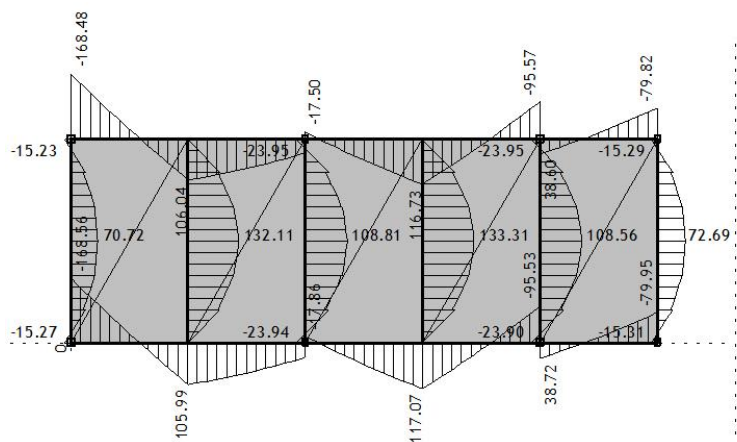
Ram: ram Fprim
 Uticaji u stubu max N1= 62.75 / min N1= -592.09 kN

Lamela III – Novoprojektovano stanje



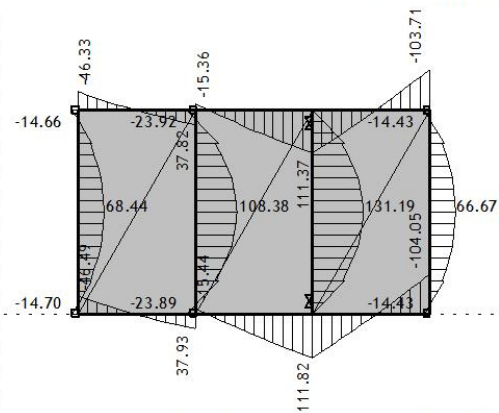
Opt. 9: I+II+III

Nivo: ploca iznad mezanina [10.38 m]
 Uticaji u ploči: max Mx= 11.35 / min Mx= -2.64 kNm/m



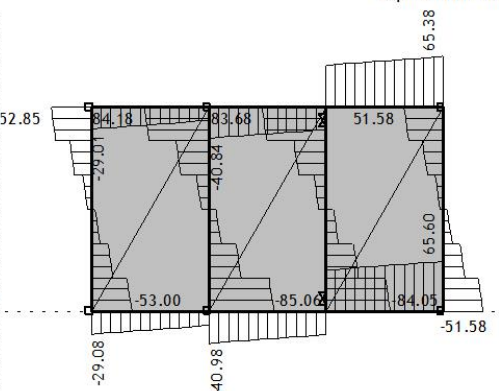
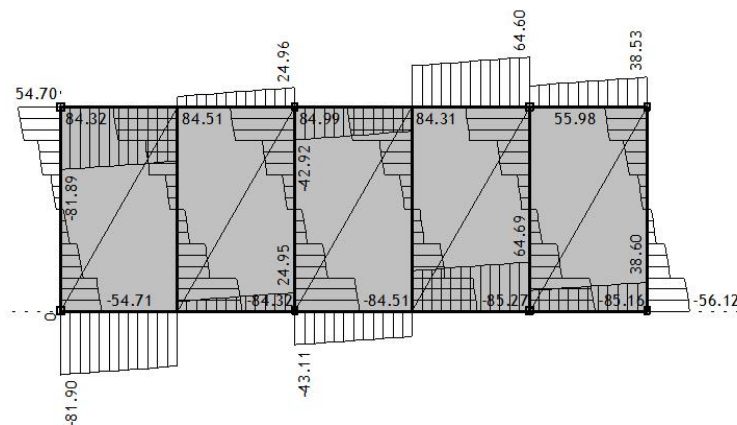
Opt. 9: I+II+III

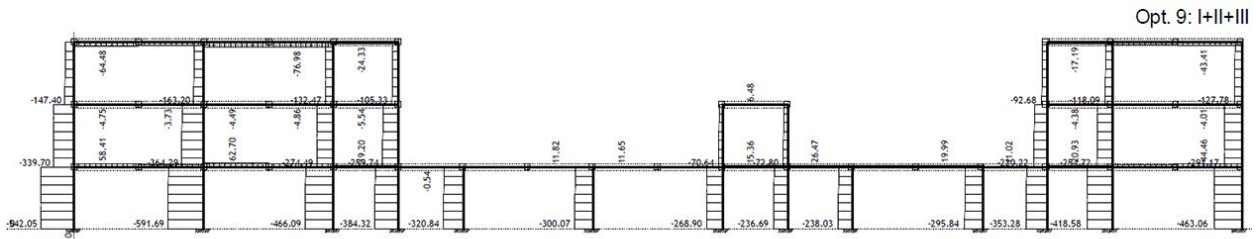
Nivo: ploca iznad mezanina [10.38 m]
 Uticaji u gredi: max M3= 133.31 / min M3= -168.56 kNm



Opt. 9: I+II+III

Nivo: ploca iznad mezanina [10.38 m]
 Uticaji u gredi: max T2= 84.99 / min T2= -85.27 kN

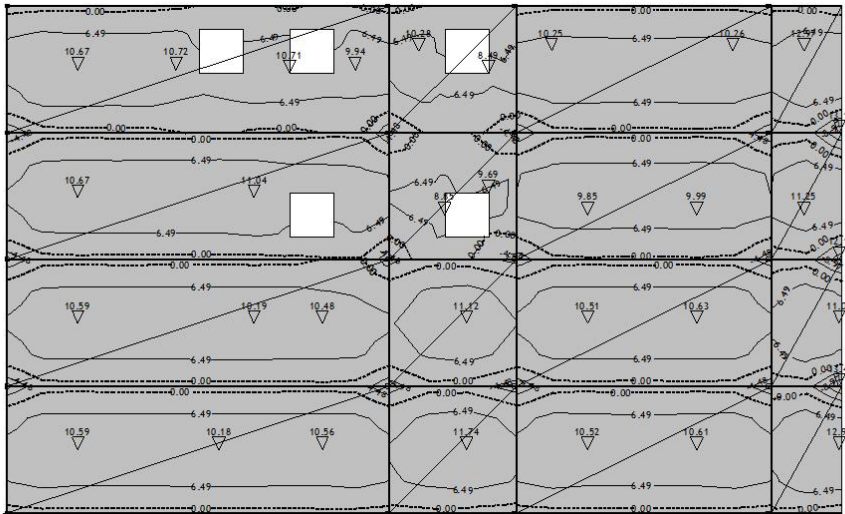




Opt. 9: I+II+III

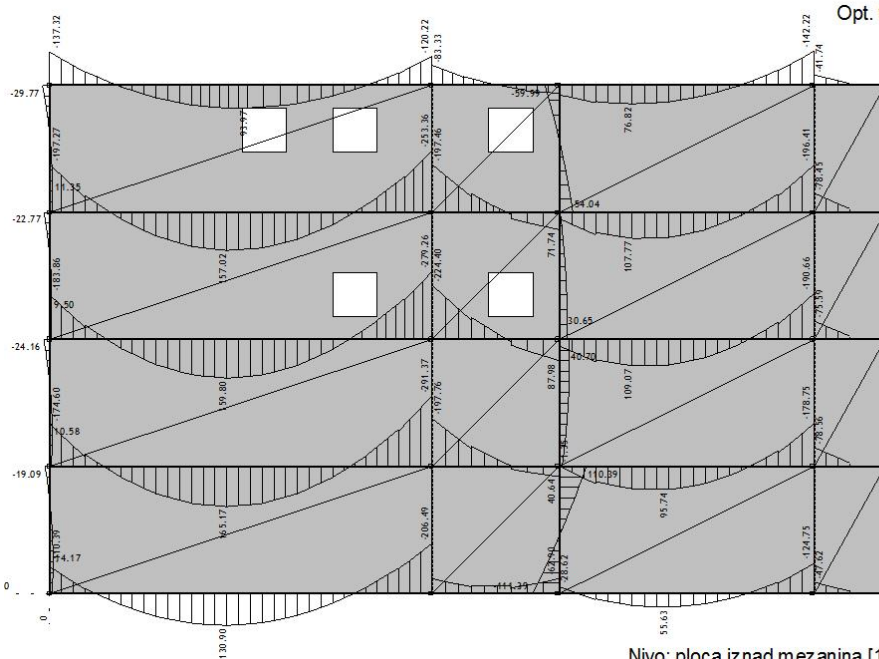
Ram: ram Fprim
 Uticaji u stubu max N1= 62.70 / min N1= -591.69 kN

Lamela V – Postojeće stanje



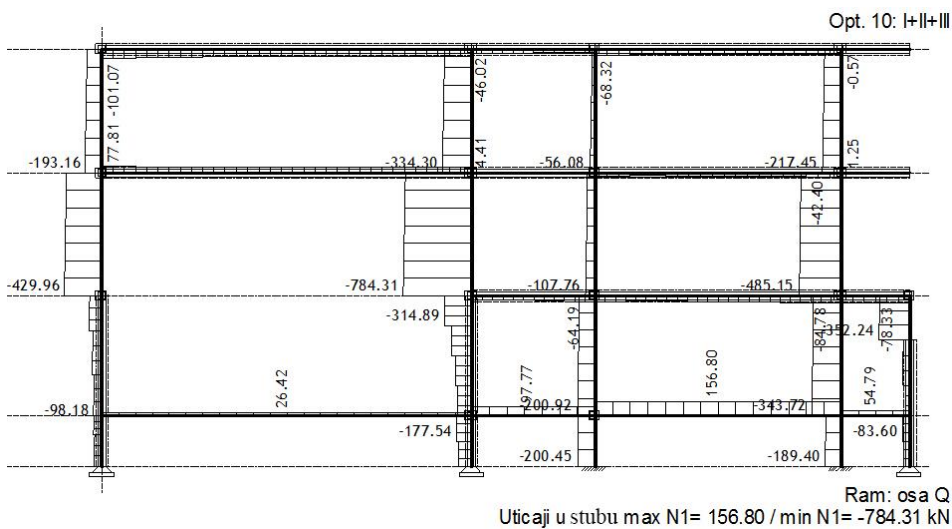
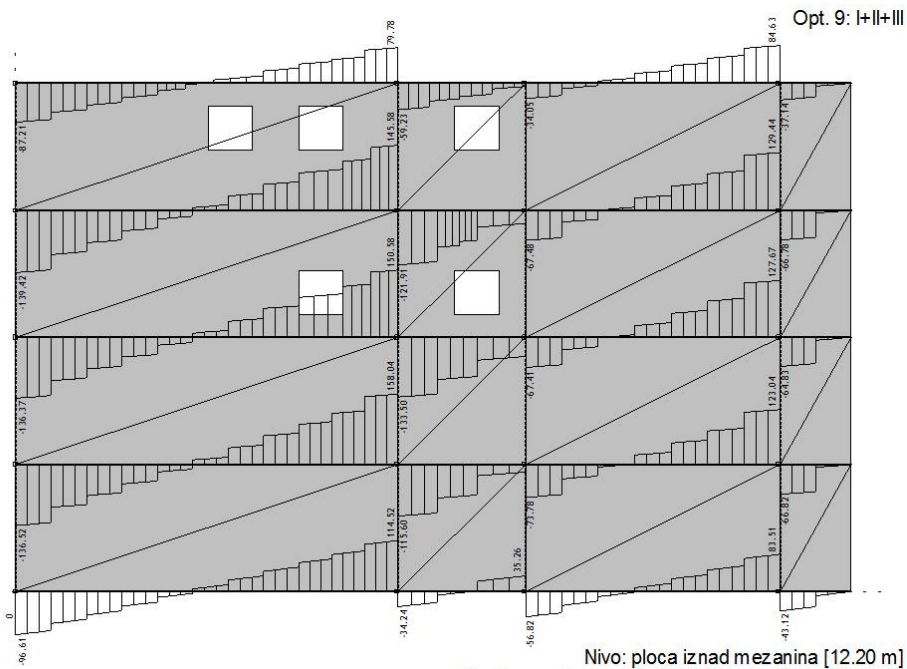
Opt. 9: I+II+III

Nivo: ploca iznad mezanina [12.20 m]
 Uticaji u ploči: max M_y = 12.97 / min M_y = -13.45 kNm/m

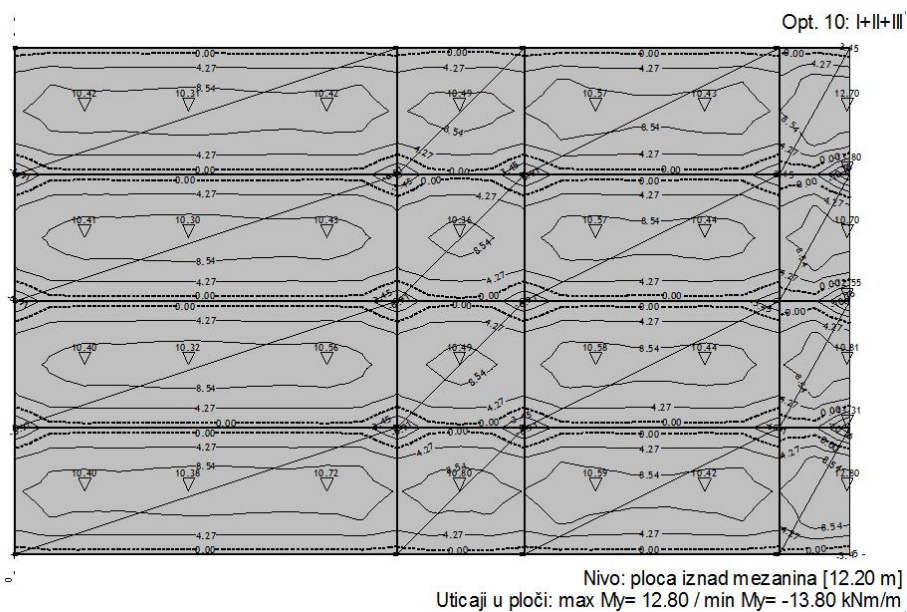


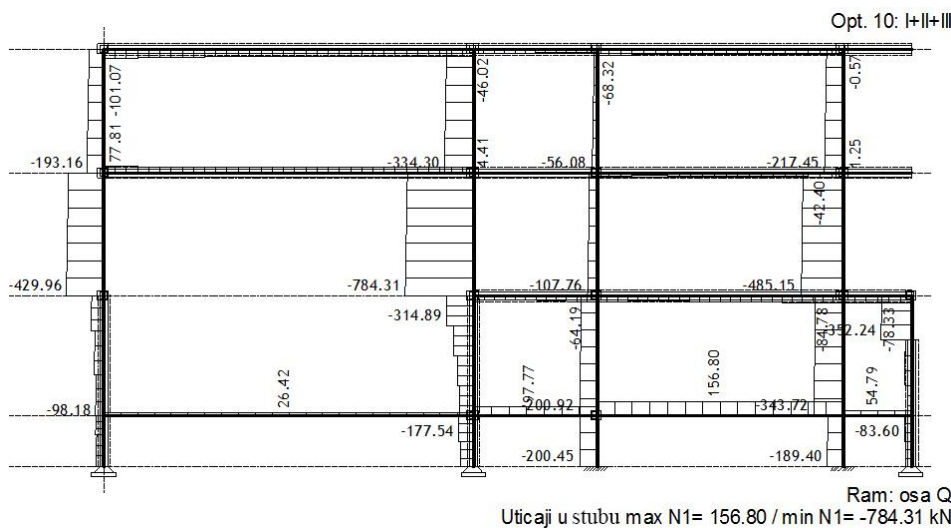
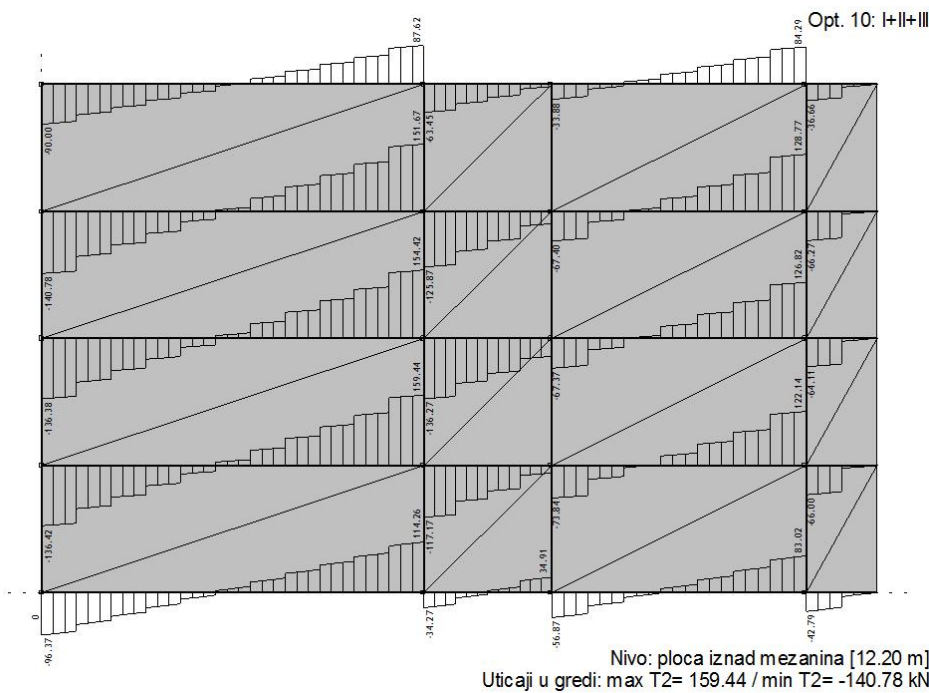
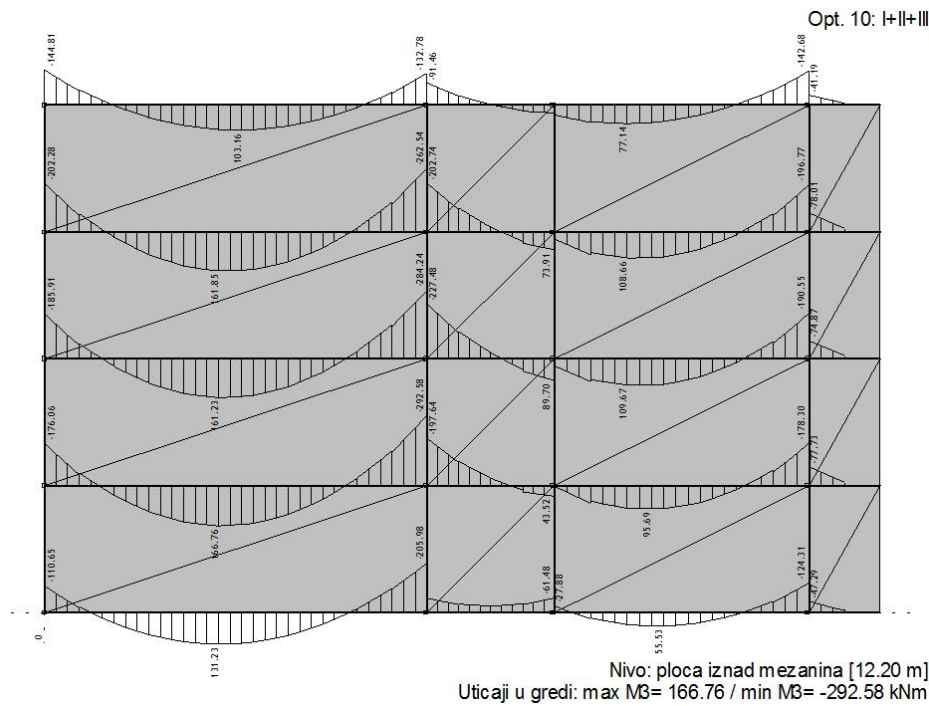
Opt. 9: I+II+III

Nivo: ploca iznad mezanina [12.20 m]
 Uticaji u gredi: max M_3 = 165.17 / min M_3 = -291.37 kNm



Lamela V – Novoprojektovano stanje



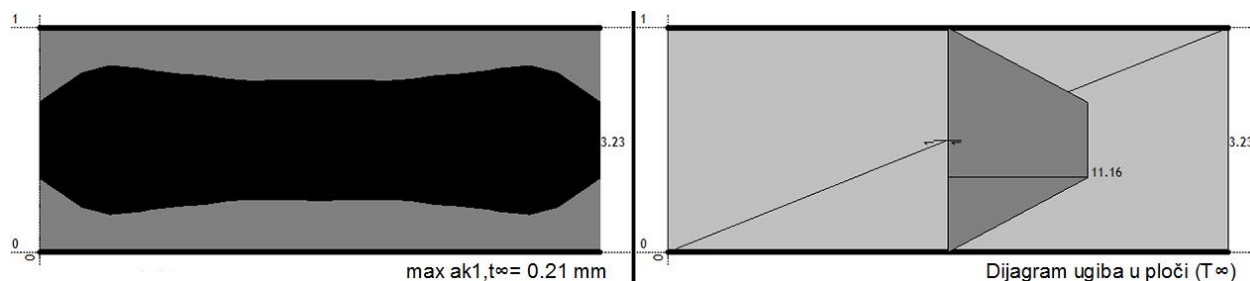


KONTROLA UPOTREBLJIVOSTI

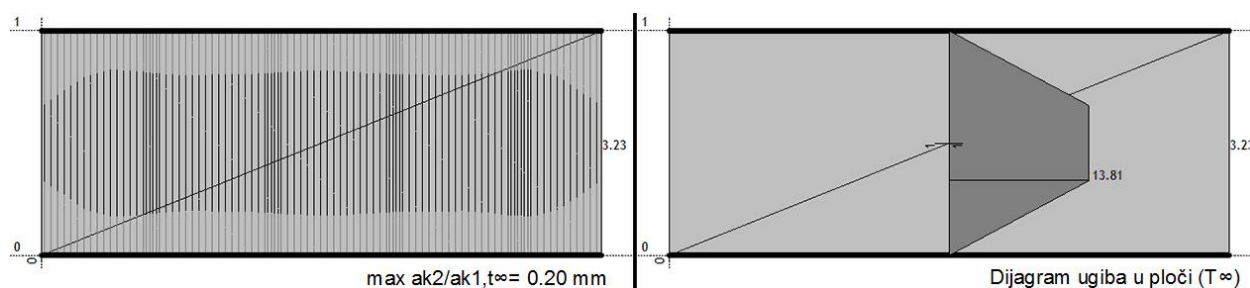
Za kontrolu upotrebljivosti urađen je proračun prslina i ugiba za ploču i karakteristične grede, i proračun prslina za stubove.

Lamela III i V – prsline i ugibi: krovna ploča ($ak \leq 0,4$ mm; $ug(t^\infty) \leq 11$ mm)

Postojeće stanje



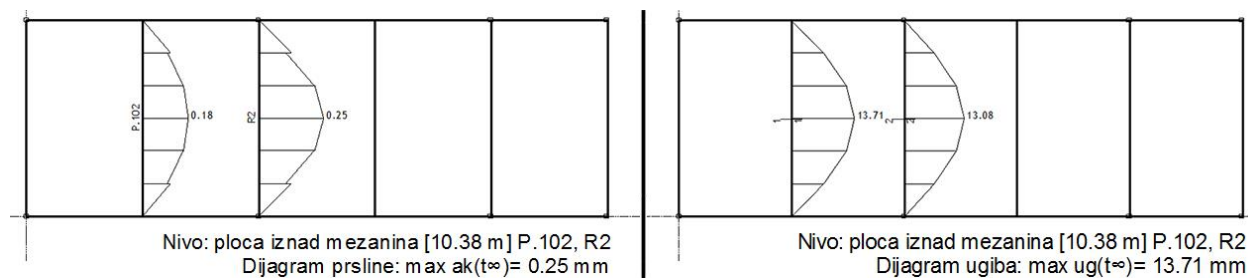
Novoprojektovano stanje



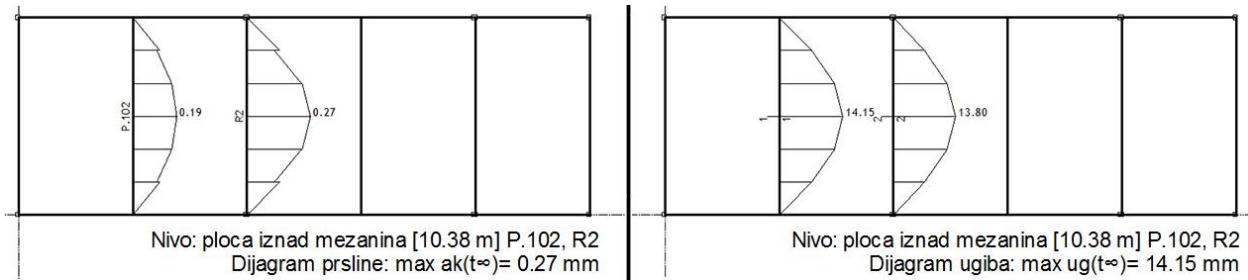
Komentar: Ugib krovne ploče za postojeće stanje je u granicama dozvoljenih vrednosti (neznatno odstupanje posledica je različitih načina proračuna sprovedenih prilikom dimenzionisanja i prilikom kontrole, kada je korišćen prostorni model objekta), a prekoračenje vrednosti za novoprojektovano stanje toleriše se jer je proračun sproveden za najnepovoljniju kombinaciju opterećenja na prohodnom delu – stazi. Kako staze čine relativno mali udeo u ukupnoj krovnoj površini, i predviđene su u širini od 120 cm, konstatovano je da funkcionalnost konstrukcije nije ugrožena.

Lamela III – prsline i ugibi: grede ($ak \leq 0,4$ mm; $ug(t^\infty) \leq 21$ mm)

Postojeće stanje

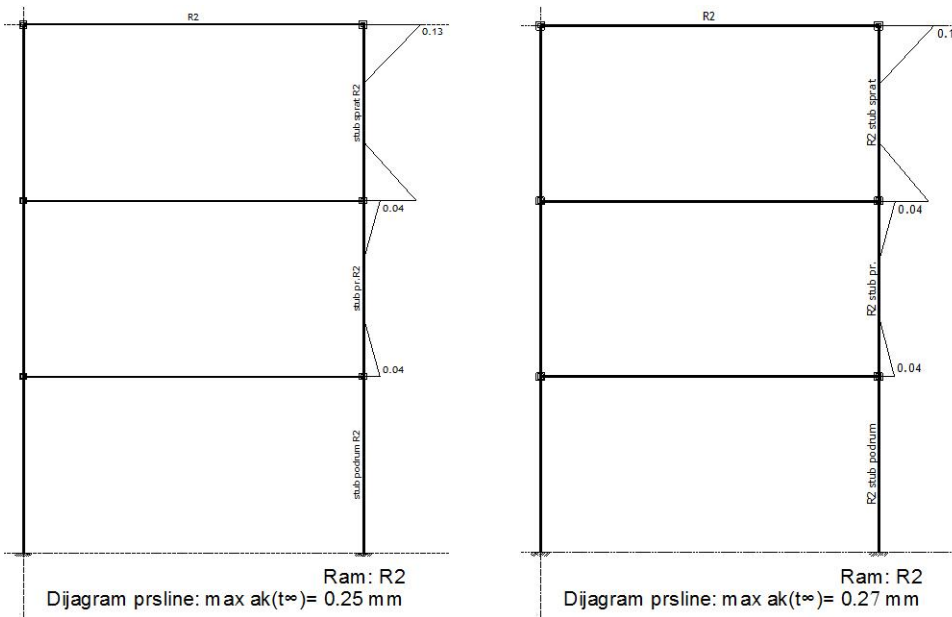


Novoprojektovano stanje



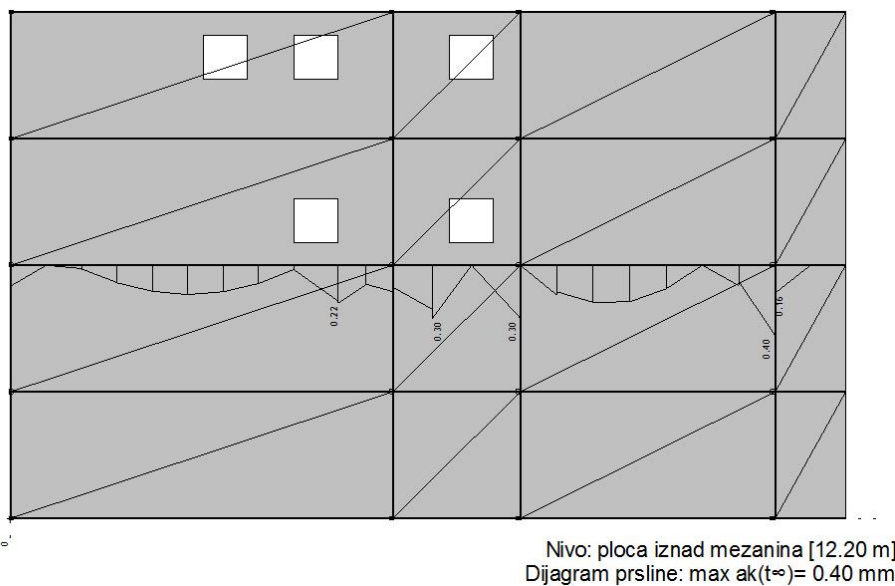
Lamela III – prsline: stubovi ($a_k \leq 0,4$ mm)

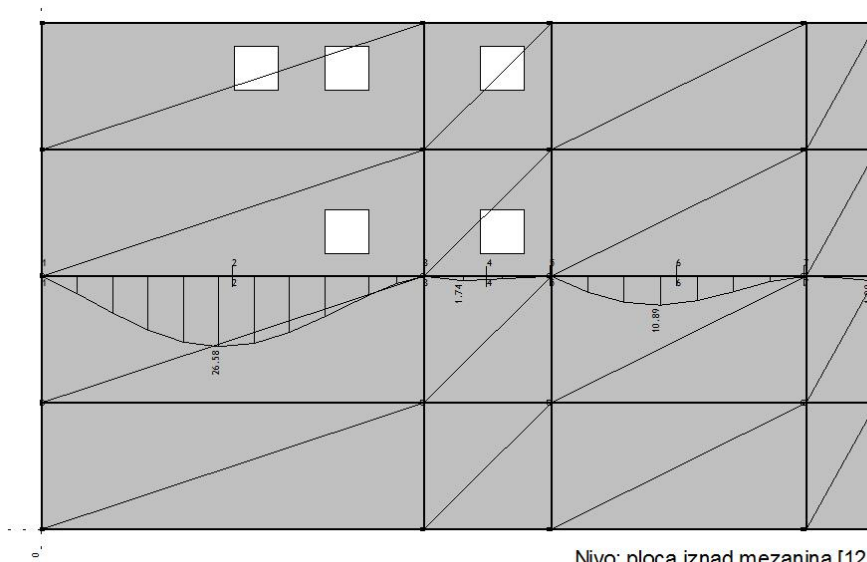
Postojeće i novoprojektovano stanje



Lamela V – prsline i ugibi: grede ($a_k \leq 0,4$ mm; $u_g \max(t^\infty) \leq 36$ mm)

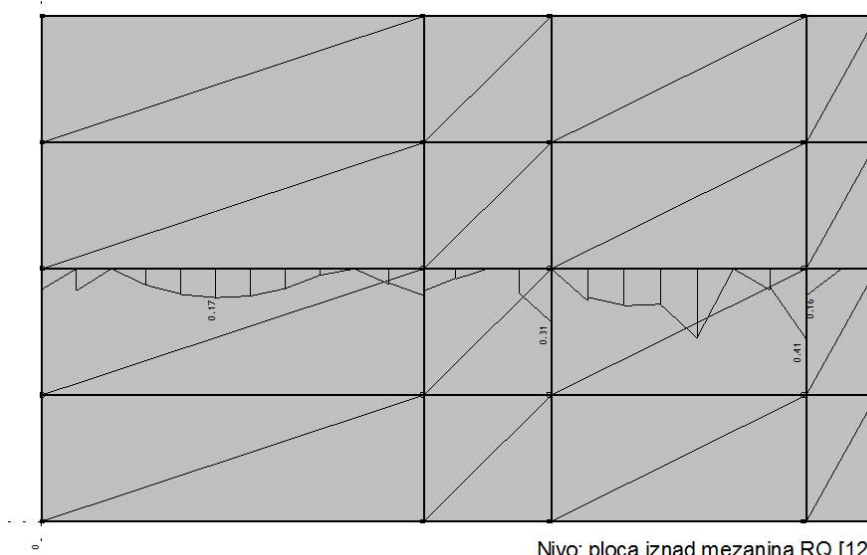
Postojeće stanje



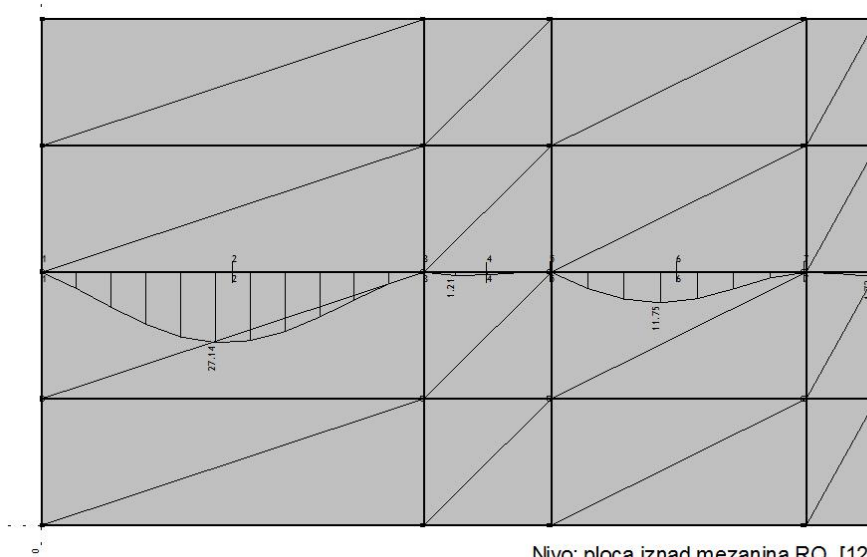


Nivo: ploca iznad mezanina [12.20 m]
 Dijagram ugiba: max $u_g(t \rightarrow \infty) = 26.58$ mm

Novoprojektovano stanje



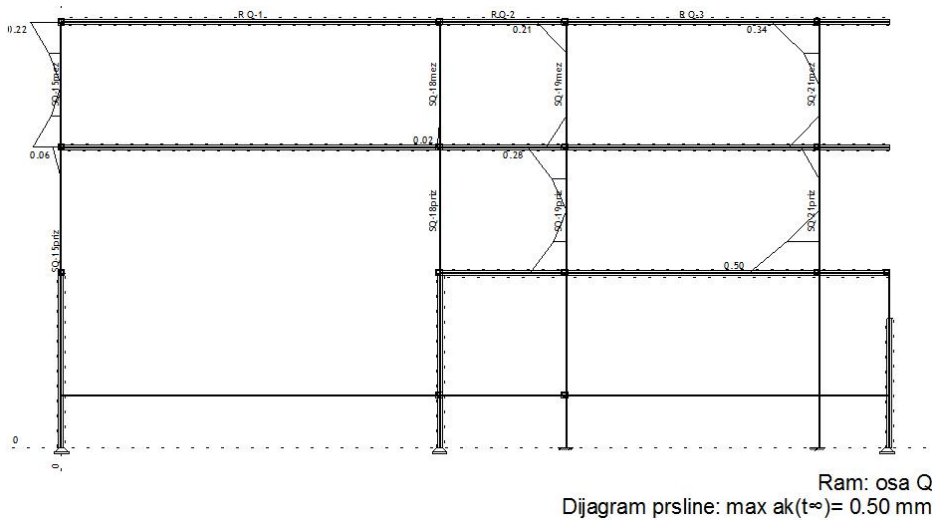
Nivo: ploca iznad mezanina RQ [12.20 m]
 Dijagram prsline: max $a_k(t \rightarrow \infty) = 0.41$ mm



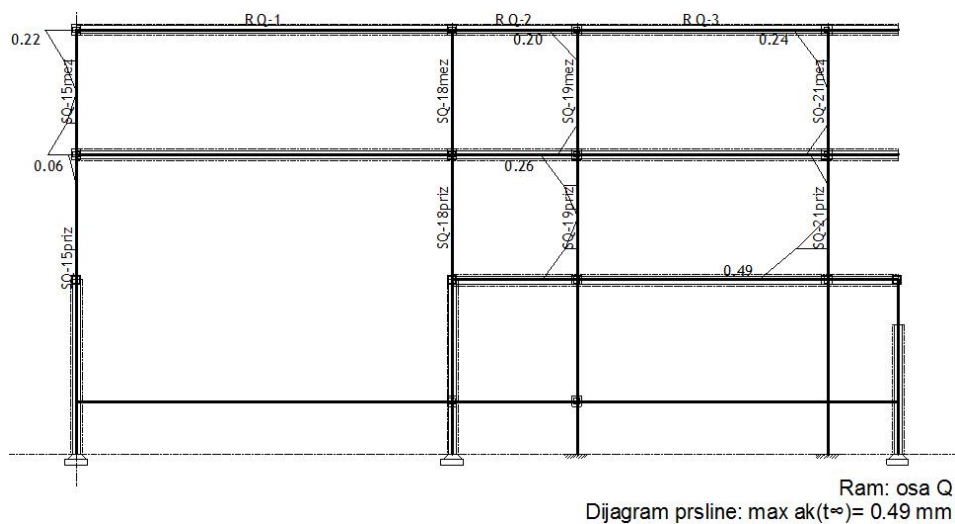
Nivo: ploca iznad mezanina RQ [12.20 m]
 Dijagram ugiba: max $u_g(t \rightarrow \infty) = 27.14$ mm

Lamela V – prsline: stubovi ($ak \leq 0,4$ mm)

Posrojeće stanje



Novoprojektovano stanje



Komentar: Na osnovu prikazanih dijagrama prsline u stubovima može se videti da su vrednosti i za postojeće i za novoprojektovano stanje prekoračene (čak su prekoračenja veća za postojeće stanje). Razlog tome je drugačiji način sprovođenja proračuna. U prostornom modelu, koji je korišćen za potrebe analize konstrukcije uzeti su u obzir i podrumski zidovi, i zbog njihove krutosti, u celom modelu došlo je do drugačije raspodele uticaja od seizmičkih sila, u odnosu na model koji je računat prilikom dimenzionisanja konstrukcije, kao ram u ravni. Konstatovano je da, generalno, konstrukcija ima rezerve da prihvati i raspodeli uticaje od seizmičkih sila.

PRILOG 3. Proračuni za dobijanje ulaznih podataka po izabranim potkriterijumima za AHP analizu

Ekonomski potkriterijumi

1. Finansijska ulaganja za izgradnju krovnog sistema

Model 1 – unapređenje krovova obnovom

Br.	Elementi strukture / Proizvod	Jed. mere	Cena proizvoda po jed. mere	Cena prevoza	Cena ugradnje po jed. mere	Količina po jed. mere	Cena proizvoda (€)
1.	Hidroizolacija	m ²	8,5 €/m ²	/	3,5 €/m ²	3640 m ²	43.680,00
							x 3
Cena krovnog sistema							131.040,00

Model 2 – unapređenje neprohodnim ekstenzivnim zelenim krovom

Br.	Elementi strukture / Proizvod	Jed. mere	Cena proizvoda po jed. mere	Cena prevoza	Cena ugradnje po jed. mere	Količina po jed. mere	Cena proizvoda (€)
1.	<i>Urbanscape</i>	m ²	52 €/m ²	/	3 €/m ²	3300 m ²	181.500,00
2.	Rizla/šljunak	m ²	0,539 €/m ²	105 €	10 €/m ²	306 m ²	3.330,00
3.	Zaštitni sloj	m ²	1,3 €/m ²	/	0,4 €/m ²	3640 m ²	6.188,00
4.	Hidroizolacija	m ²	8 €/m ²	/	3,5 €/m ²	3640 m ²	41.860,00
Cena krovnog sistema							232.878,00

Rizla (Kamenolom Crvena reka, Bela Palanka)

Količina: 20 m³ x 1800 kg/m³ = 36 t

Cena proizvoda: 36 t x 550 din/t = 19.800,00 din (165 €); 165 € / 306 m² = 0,539 €/m²

Cena transporta: 3 kamiona x 35 km x 1 €/km = 105 €

Model 3 – unapređenje ekstenzivnim zelenim krovom u okviru prohodnih terasa

Br.	Elementi strukture / Proizvod	Jed. mere	Cena proizvoda po jed. mere	Cena prevoza	Cena ugradnje po jed. mere	Količina po jed. mere	Cena proizvoda (€)
1.	<i>Urbanscape</i>	m ²	52 €/m ²	/	3 €/m ²	2551 m ²	140.305,00
2.	Rizla/šljunak	m ²	0,539 €/m ²	140 €	10 €/m ²	362 m ²	3.995,00
3.	Behaton ploče	m ²	6,667 €/m ²	173 €	4 €/m ²	693 m ²	7.732,00
4.	Pesak		0,176 €/m ²	45 €			
5.	Zaštitni sloj	m ²	1,3 €/m ²	/	0,4 €/m ²	3640 m ²	6.188,00
6.	Hidroizolacija	m ²	8 €/m ²	/	3,5 €/m ²	3640 m ²	41.860,00
7.	Ograda Panel Stub	kom. kom.	1300 din 800 din	/	400 din/m	188 kom 195 kom	588.400,00 din (4.900,00 €)
Cena krovnog sistema							204.940,00

Rizla (Kamenolom Crvena reka, Bela Palanka)

Količina: $23,53 \text{ m}^3 \times 1800 \text{ kg/m}^3 = 42,4 \text{ t}$

Cena proizvoda: $42,4 \text{ t} \times 550 \text{ din/t} = 23.320,00 \text{ din}$ (195 €); $195 \text{ €} / 362 \text{ m}^2 = 0,539 \text{ €/m}^2$

Cena transporta: $4 \text{ kamiona} \times 35 \text{ km} \times 1 \text{ €/km} = 140 \text{ €}$

Behaton ploče („Probeton“, Niš)

Cena proizvoda: $693 \text{ m}^2 \times 800 \text{ din}$ ($6,67 \text{ €/m}^2$) = $554.400,00 \text{ din}$ (4620 €)

Cena prevoza: $(1500 \text{ din za } 50 \text{ m}^2) \times 30 \text{ din/m}^2 \times 693 \text{ m}^2 = 20790$ (173 €)

Pesak

Količina: $20,79 \text{ m}^3 \times 1800 \text{ kg/m}^3 = 37,4 \text{ t}$

Cena proizvoda: $20,79 \text{ m}^3 \times 700 \text{ din/m}^3 = 14.553,00 \text{ din}$ (122 €); $122 \text{ €} / 693 \text{ m}^2 = 0,176 \text{ €/m}^2$

Cena transporta: $3 \text{ kamiona} \times 15 \text{ km} \times 1 \text{ €/km} = 45 \text{ €}$

Ograda Euro panel 1030 x 2500 x 4 mm („MSV Nikolić ograde“, Pančevo)

Broj panela: $470 \text{ m} / 2,5 \text{ m} = 188$ panela; Broj stubova: 195

Model 4 – unapređenje intenzivnim i ekstenzivnim zelenim krovovima u okviru prohodnih terasa

Br.	Elementi strukture / Proizvod	Jed. mere	Cena proizvoda po jed. mere	Cena prevoza	Cena ugradnje po jed. mere	Količina	Cena proizvoda (€)
1.	Urbanscape	m ²	52 €/m ²	/	3 €/m ²	1602 m ²	88.110,00
2.	Rizla/šljunak	m ²	0,539 €/m ²	105 €	10 €/m ²	306 m ²	3.330,00
3.	Green Decor Vegetacija Supstrat Navodnjavanje Filterski sloj Drenažno-akumulacioni sloj	m ²	65,8 €/m ² 7,5 €/m ² 40 €/m ² 2 €/m ² 1,3 €/m ² 15 €/m ²	/	20 €/m ²	977 m ²	83.827,00
4.	Drenažni sloj šljunka	m ²	0,408 €/m ²	165 €	12 €/m ²	1005 m ²	12.635,00
5.	Žardinjere	m	20 €/m	224 €	5 €/m	537 m	13.649,00
6.	Behaton ploče	m ²	6,667 €/m ²	173 €	4 €/m ²	693 m ²	7.732,00
7.	Pesak		0,176 €/m ²	45 €			
8.	Zaštitni sloj	m ²	1,3 €/m ²	/	0,4 €/m ²	3640 m ²	6.188,00
9.	Hidroizolacija	m ²	8 €/m ²	/	3,5 €/m ²	3640 m ²	41.860,00
10.	Ograda Panel Stub	 kom. kom.	 1300 din 800 din	/	400 din/m	 188 kom 195 kom	 588.400,00 din (4.900,00 €)
Cena krovnog sistema							262.231,00

Šljunak (drenažni sloj)

Količina: $70,23 \text{ m}^3 \times 1800 \text{ kg/m}^3 = 126,4 \text{ t}$

Cena proizvoda: $70,23 \text{ m}^3 \times 700 \text{ din/m}^3 = 49.161,00 \text{ din}$ (410 €); $410 \text{ €} / 1005 \text{ m}^2 = 0,408 \text{ €/m}^2$

Cena transporta: $11 \text{ kamiona} \times 15 \text{ km} \times 1 \text{ €/km} = 165 \text{ €}$

Žardinjere („Probeton“, Niš)

Cena proizvoda: 20 €/kom = 20 €/m

Cena transporta: (1500 din za 30 kom) 50 din/kom x 537 kom = 26850 din (224 €)

2. i 3. Potrošnja energije za hlađenje i grejanje objekta

Rezultati potrošnje energije za grejanje dobijeni korišćenjem softvera *DesignBuilder*:

DesignBuilder - 1. obnova krova.dsb - Layout - MARJA, Building 1

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	812954.31	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	0.00	0.00	0.00	0.00	812954.31	0.00

Note: District heat appears to be the principal heating source based on energy usage.

End Uses By Subcategory

	Subcategory	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	General	0.00	0.00	0.00	0.00	812954.31	0.00
Cooling	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Lighting	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

DesignBuilder - 2. e neprohodni zeleni krov.dsb - Layout - MARJA, Building 1

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	810274.12	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

DesignBuilder - 3. e prohodni zeleni krov.dsb - Layout - MARJA, Building 1

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	810325.12	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

DesignBuilder - 4. intenzivni zeleni krov.dsb - Layout - MARJA, Building 1

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	806626.34	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Rezultati potrošnje energije za hlađenje dobijeni korišćenjem softvera *DesignBuilder*:

End Uses	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	141698.25	0.00	0.00

End Uses	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	139499.51	0.00	0.00

End Uses	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	139521.66	0.00	0.00

End Uses	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	139456.98	0.00	0.00

Podaci o potrošnji energije za grejanje dobijeni iz Doma zdravlja:

Godina	Potrošnja energije (kWh)	Potrošnja energije (kWh/m ²)
2017.	897.549,98	83,95
2016.	863.550,00	80,77
2015.	1.131.830,00	105,87

Napomena: Vrednosti potrošnje energije za daljinsko grejanje su za period pre sprovođenja intervencija na unapređenju omotača objekta (tokom 2017. i 2018. godine). Prilikom modelovanja objekta uzeti su obzir novi elementi strukture za fasade, kao i za zidove i plafon garaže. Iako su moguća odstupanja, zbog pojednostvaljenja modela, rezultati se mogu smatrati relevantnim, zato što su strukture termičkog omotača (sem krovnog sistema) i unutrašnjih pregrada iste za sva četiri razmatrana modela objekta. Takođe, dobijeni rezultati su u granicama očekivanih vrednosti, odnosno, ukazuju na smanjenu potrošnju energije objekta usled remodelovanja krovnih sistema.

Strukture termičkog omotača i unutrašnjih pregrada

1. Fasadni zid – termopanel:

fiberglas (d = 0,002 m), tvrdi poliuretan (d = 0,10 m), fiberglas (d = 0,002 m)

2. Fasadni zid – suteran:

malter (d = 0,025 m), AB zid (d = 0,30 m), bitumen (d = 0,004 m), kamena vuna (d = 0,10 m), malter (d = 0,015 m)

3. Fasadni zid – atrijum:

malter (d = 0,025 m), stiropor (d = 0,05 m), opeka (d = 0,25 m), PVC laminat (d = 0,018 m)

4. Fasadni zid – 3. sprat (tehnički sprat) i 7. sprat (tehničke prostorije na krovu K₂):

malter (d = 0,025 m), stiropor (d = 0,05 m), opeka (d = 0,25 m), malter (d = 0,015 m)

5. Unutrašnji zid ka negrejanom prostoru – suteran:

malter (d = 0,025 m), kamena vuna (d = 0,10 m), opeka (d = 0,25 m), malter (d = 0,015 m)

6. Pod na tlu:

AB ploča (d = 0,15 m), bitumen (d = 0,004 m), tvrdi poliuretan (d = 0,04 m), cementni estrih (d = 0,04 m), vinil pod (d = 0,003 m)

7. Međuspratna konstrukcija iznad negrejanog prostora:

malter (d = 0,025 m), kamena vuna (d = 0,10 m), AB ploča (d = 0,07 m), pluta (d = 0,02 m), cementni estrih (d = 0,04 m), vinil pod (d = 0,003 m)

8. Unutrašnji zid:

PVC laminat (d = 0,018 m), opeka (d = 0,065 m), PVC laminat (d = 0,018 m)

9. Unutrašnji zid – suteran:

malter (d = 0,015 m), opeka (d = 0,065 m), malter (d = 0,015 m)

10. Međuspratna konstrukcija:

AB ploča (d = 0,07/0,12 m), pluta (d = 0,02 m), cementni estrih (d = 0,04 m), vinil pod (d = 0,003 m)

11. Prozori i vrata:

aluminijumska spoljna građevinska stolarija (d = 0,07 m), niskoemisiono staklo (d = 4/15/4 mm)

Ekološki potkriterijumi

1. Rezultujuća emisija CO₂ u odnosu na potrošnju energije za ostvarivanje toplotnog komfora

Specifične emisije CO₂

Energent	Po jedinici energije
Električna energija	0,53 kg/kWh
Zemni gas	0,20 kg/kWh

Emisija CO₂

	Potrošnja energije za hlađenje (kWh/god)	Specifična emisija CO ₂ (kg CO ₂ /kWh)	Potrošnja energije za grejanje (kWh/god)	Specifična emisija CO ₂ (kg CO ₂ /kWh)	Emisija CO ₂ (kg CO ₂ /god)
Model 1	141.698,25	0,53	812.954,31	0,20	237.690,93
Model 2	139.499,51		810.274,12		235.989,56
Model 3	139.521,66		810.325,12		236.011,50
Model 4	139.456,98		806.626,34		235.237,47

Apsorpcija CO₂ po jedinici površine u odnosu na tipologiju zelenih krovova (vrednosti su usvojene na osnovu analize u poglavlju 6.4)

	kg C/m ² god	kg CO ₂ /m ² god
Ekstenzivni zeleni krov	0,275	1,01
Intenzivni zeleni krov	5,60	20,53

Apsorpcija CO₂

	Ekstenzivni zeleni krov		Intenzivni zeleni krov		Ukupna apsorpcija (kg CO ₂ /god)
	Apsorpcija CO ₂ (kg CO ₂ /m ² god)	Površina (m ²)	Apsorpcija CO ₂ (kg CO ₂ /m ² god)	Površina (m ²)	
Model 2	1,01	3300	20,53	/	3.333,00
Model 3		2551		/	2.576,51
Model 4		1602		977	21.675,83

Rezultujuća emisija CO₂

	Emisija CO ₂ (kg CO ₂ /god)	Aps. CO ₂ (kg CO ₂ /god)	Rez. emisija (kg CO ₂ /god)
Model 1	237.691,00	/	237.691
Model 2	235.989,56	3.333,00	232.657
Model 3	236.011,50	2.576,51	233.435
Model 4	235.237,47	21.675,83	213.562

2. Kapacitet zadržavanja vode krovnog sistema

Model 1

Neprohodni krov		Kapacitet zadržavanja vode
Površina	K. z. v.	
3640 m ²	0,05 l/m ²	182 l

Model 2

Ekstenzivni zeleni krov <i>Urbanscape</i>		Rizla		Kapacitet zadržavanja vode
Površina	K. z. v.	Površina	K. z. v.	
3300 m ²	50 l/m ²	340 m ²	0,05 l/m ²	165.017 l
Srednja vrednost za krovni sistem				45,33 l/m ²

Model 3

Ekstenzivni zeleni krov <i>Urbanscape</i>		Staze i rizla		Kapacitet zadržavanja vode
Površina	K. z. v.	Površina	K. z. v.	
2551 m ²	50 l/m ²	1089 m ²	0,05 l/m ²	127.604 l
Srednja vrednost za krovni sistem				35,06 l/m ²

Model 4

Intenzivni zeleni krov <i>Green Decor</i>		Ekstenzivni zeleni krov <i>Urbanscape</i>		Staze i rizla		Kapacitet zadržavanja vode
Površina	K. z. v.	Površina	K. z. v.	Površina	K. z. v.	
977 m ²	160 l/m ²	1602 m ²	50 l/m ²	1061 m ²	0,05 l/m ²	236.473 l
Srednja vrednost za krovni sistem						64,97 l/m ²

3. Količina generisanog otpada

Model 1

Br.	Element strukture	Težina (kg/m ²)	Površina (m ²)	Količina (kg)
1.	Hidroizolacija	1,98	3640	7207,2
				x 3
Ukupno				21.622

Model 2

Br.	Elementi strukture	Težina (kg/m ²)	Površina (m ²)	Količina (kg)
1.	Supstrat	4,40	3300	14.520
2.	Drenažno-akumulacioni sloj	1,35	3300	4.455
3.	Zaštitni sloj	0,2	3640	728
4.	Hidroizolacija	1,8	3640	6.552
Ukupno				26.255

Model 3

Br.	Model 3	Težina (kg/m ²)	Površina (m ²)	Količina (kg)
1.	Supstrat	4,40	2551	11.224,40
2.	Drenažno-akumulacioni sloj	1,35	2551	3.443,85
3.	Zaštitni sloj	0,2	3640	728
4.	Hidroizolacija	1,8	3640	6.552
5.	Behaton ploče	50	693	34.650
Ukupno				56.598

Model 4:

Br.	Model 4	Težina (kg/m ²)	Površina (m ²)	Količina (kg)
1.	Supstrat (ekstenzivni zeleni krov)	4,40	1602	7.048,8
2.	Drenažno-akumulacioni sloj (ekstenzivni zeleni krov)	1,35	1602	2.162,7
3.	Filterski sloj	0,3	977	293,1
4.	Drenažno-akumulacioni sloj (intenzivni zeleni krov)	1,87	977	1.827
5.	Žardinjere	2500 kg/m ³	24,5 m ³	61.250
6.	Zaštitni sloj	0,2	3640	728
7.	Hidroizolacija	1,8	3640	6.552
8.	Behaton ploče	50	693	34.650
Ukupno				114.512

BIOGRAFIJA AUTORA

Marija Stamenković rođena je 1981. godine u Knjaževcu. Osnovno i srednje obrazovanje završila je Nišu. Zvanje diplomirani inženjer arhitekture stekla je po zavšetku studija na Građevinsko-arhitektonskom fakultetu Univerziteta u Nišu, na kojem je nastavila dalje akademsko usavršavanje na doktorskim studijama. Tema doktorske disertacije „Razvoj integrativnog modela konstrukcijskog unapređenja postojećih objekata za primenu koncepta zelenih krovova“ odobrena joj je 2017. godine.

U profesionalnom pogledu, tokom 2008. godine, kao i od sredine 2009. i početkom 2010. godine, radila je u JP Direkciji za izgradnju grada Niša, na projektima iz oblasti zaštite životne sredine, u zvanju diplomiranog inženjera arhitekture, na poziciji Koordinatora projekta. U međuvremenu, u zimskom semestru 2008/09. godine, bila je angažovana u svojstvu saradnika u nastavi na Građevinsko-arhitektonskom fakultetu. Krajem 2011. i početkom 2012. godine, radila je u Istraživačko-razvojnom centru Alfatec d.o.o., na poziciji istraživača u tehničko-tehnološkim naukama. Od marta 2012. godine, zaposlena je na Fakultetu tehničkih nauka Univerziteta u Prištini sa privremenim sedištem u Kosovskoj Mitrovici, na radnom mestu saradnika-asistenta za užu naučnu oblast Arhitektonske konstrukcije, materijali i fizika zgrada. Angažovana je u nastavi na osnovnim, master i specijalističkim akademskim studijama.

Učestvovala je na radionicama, seminarima i kursevima za unapređenje znanja u oblasti arhitekture i drugih komplementarnih naučnih oblasti, u svojstvu učesnika i predavača. Učesnik je i više međunarodnih i nacionalnih projekata, od kojih je od posebnog značaja Erasmus+ projekat izgradnje kapaciteta u visokom obrazovanju „Stvaranje mreže laboratorija znanja za održive i otporne sredine (KLABS)“, Univerziteta u Prištini sa privremenim sedištem u Kosovskoj Mitrovici, finansiran od strane EU. Autor i koautor je većeg broja naučnih i stručnih radova, publikovanih u nacionalnim i međunarodnim časopisima i zbornicima konferencija.

IZJAVA O AUTORSTVU

Izjavljujem da je doktorska disertacija, pod naslovom

RAZVOJ INTEGRATIVNOG MODELA KONSTRUKCIJSKOG UNAPREĐENJA POSTOJEĆIH OBJEKATA ZA PRIMENU KONCEPTA ZELENIH KROVOVA

koja je odbranjena na Građevinsko-arhitektonskom fakultetu Univerziteta u Nišu:

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada;
- da ovu disertaciju, ni u celini, niti u delovima, nisam prijavljivala na drugim fakultetima, niti univerzitetima;
- da nisam povredila autorska prava, niti zloupotrebila intelektualnu svojinu drugih lica.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci, koji su u vezi sa autorstvom i dobijanjem akademskog zvanja doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada, i to u katalogu Biblioteke, Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Nišu, kao i u publikacijama Univerziteta u Nišu.

U Nišu, 10.07.2019. godine

Potpis autora disertacije:


Marija G. Stamenković

IZJAVA O KORIŠĆENJU

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Nikola Tesla“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Nišu unese moju doktorsku disertaciju, pod naslovom:

RAZVOJ INTEGRATIVNOG MODELA KONSTRUKCIJSKOG UNAPREĐENJA POSTOJEĆIH OBJEKATA ZA PROMENU KONCEPTA ZELENIH KROVOVA

Disertaciju sa svim prilogima predala sam u elektronskom obliku, pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju, unetu u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Nišu, mogu koristiti svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons), za koju sam se odlučila.

1. Autorstvo (CC BY)
2. Autorstvo – nekomercijalno (CC BY-NC)
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade (CC BY-NC-ND)
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima (CC BY-NC-SA)
5. Autorstvo – bez prerade (CC BY-ND)
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

U Nišu, 10.07.2019. godine

Potpis autora disertacije:


Marija G. Stamenković

**IZJAVA O ISTOVETNOSTI ELEKTRONSKOG I ŠTAMPANOG OBLIKA
DOKTORSKE DISERTACIJE**

Naslov disertacije:

**RAZVOJ INTEGRATIVNOG MODELA KONSTRUKCIJSKOG UNAPREĐENJA
POSTOJEĆIH OBJEKATA ZA PRIMENU KONCEPTA ZELENIH KROVOVA**

Izjavljujem da je elektronski oblik moje doktorske disertacije, koju sam predala za unošenje u **Digitalni repozitorijum Univerziteta u Nišu**, istovetan štampanom obliku.

U Nišu, 10.07.2019. godine

Potpis autora disertacije:



Marija G. Stamenković