



Univerzitet u Nišu  
Mašinski fakultet



**Biljana S. Vučićević**

# **Analiza i ocena održivog razvoja energetskog sistema u zgradarstvu**

---

doktorska disertacija

Niš, 2014.



University of Nis  
Mechanical faculty



**Biljana S. Vucicevic**

**Analysis and evaluation of sustainable  
development of the energy systems in  
buildings**

---

PhD thesis

Nis, 2014.

## **Komisija za ocenu i odbranu doktorske disertacije**

**Mentor:**      **Prof. dr Mladen Stojilković**, redovni profesor  
Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu  
(Uža naučna oblast: Termotehnika, termoenergetika i procesna tehnika)

### **Članovi komisije:**

**Prof. dr Bratislav Blagojević**, redovni profesor  
Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu  
(Uža naučna oblast: Termotehnika, termoenergetika i procesna tehnika)

**Prof. dr Maja Todorović**, vanredni profesor  
Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu  
(Uža naučna oblast: Termotehnika)

**dr Gordana Stefanović**, vanredni profesor  
Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu  
(Uža naučna oblast: Termotehnika, termoenergetika i procesna tehnika)

**dr Marina Jovanović**, naučni saradnik  
Institut za nuklearne nauke Vinča  
(Uža naučna oblast: Termoenergetika)

**Datum odbrane:**

*Mojoj porodici!*

## **Predgovor**

Ovom prilikom želim da se zahvalim svima koji su doprineli izradi ove doktorske disertacije. U prvom redu mentoru profesoru Mladenu Stojiljkoviću na uspešnom vođenju ove teze kroz snažno angažovanje na svakom koraku, od prijavljivanja teme ovog rada, do davanja korisnih sugestija na predloženi rukopis disertacije.

Takođe bih želela da se zahvalim dr Valentini Turanjanin, rukovodiocu projekta tehnološkog razvoja „Razvoj i primena komplementarnih metoda za procenu energetske efikasnosti i indikatora kvaliteta unutrašnjeg prostora stambenih objekata na području Beograda“, u okviru koga su izvedena istraživanja koja se nalaze u osnovi ovog rada. Ona je stalnom motivacijom autora uz snažnu stručnu podršku dala veliki doprinos izradi i kvalitetu ove teze. Ujedno se zahvaljujem i kolegama iz Laboratorije za termotehniku i energetiku Instituta za nuklearne nauke Vinča i spoljnim saradnicima koji su, uzimajući učešće u projektu, bili angažovani na merenjima i na prikupljanju podataka korišćenih u ovom radu. Moram da istaknem da je pomoć dr Marine Jovanović, dr Vukmana Bakića i dr Žarka Stevanovića bila i više od obične kolegijalnosti.

Veliku zahvalnost dugujem profesoru Naimu Afganu. Mnoge spoznaje vezane za ovaj rad su posledica njegove nesebične predaje znanja i iskustva. Njegova pomoć pri izradi ove teze u svim njenim segmentima počevši od upoznavanja sa održivim razvojem kao novom naučnom oblašću, preko formiranja teme i objavljivanja zajedničkih radova, bila je nezamenljiva.

Svojim roditeljima sam neizmerno zahvalna na pružanju snažne potpore u sticanju visokog obrazovanja tokom godina školovanja. Najveću zahvalnost za uspešan završetak rada na ovoj doktorskoj disertaciji dugujem svom suprugu Dejanu, na podršci i veri u mene u svakom trenutku našeg zajedničkog života.

## **Analiza i ocena održivog razvoja energetskog sistema u zgradarstvu**

### **Rezime**

Veliki gradovi spadaju u gusto naseljene urbane oblasti i samim tim predstavljaju velike potrošače finalne energije. Njih karakteriše veliki udeo stambenog sektora u potrošnji energije. Stoga je posebno značajno razmatranje potrošnje energije u stambenom sektoru uporedo sa obezbeđivanjem kvalitetnog i udobnog životnog prostora. Indikatori održivog razvoja predstavljaju važne pokazatelje potrošnje energije u stambenim zgradama.

U ovom radu je kvalitativna karakterizacija razmatranih objekata izvršena na osnovu perioda izgradnje (1946.-1980. i 1981.-2006. godine), vrste grejanja (struja, daljinsko grejanje i fosilna goriva) i vrste objekta (porodične kuće i stanovi) za grad Beograd. Formiran je reprezentativni uzorak koji je podeljen na devet pogrupa (opcija) na osnovu kvalitativne karakterizacije. Izabrano je jedanaest ekonomskih, socioloških i podindikatora životne sredine i izračunate su njihove vrednosti za sve izabrane opcije tako da predstavi potrošnju energije neophodne da zadovolji potrebe stanara za električnom energijom, grejanjem, toplom vodom, kuvanjem, kvalitetom vazduha, veličinom stambenog prostora itd.

Višekriterijumska analiza, koja nalazi primenu u politici donošenja odluka, upotrebljena je za ocenu održivosti različitih stambenih opcija putem izračunavanja indeksa održivosti. Ovaj matematički postupak se sastojao iz aglomeracije normalizovanih vrednosti podindikatora u ekonomski indikator, indikator životne sredine i sociološki indikator (prvi nivo) i aglomeracije ovih indikatora u indeks održivosti (drugi nivo).

U cilju ispitivanja uticaja nelinearne normalizacije podindikatora na izračunavanje indeksa održivosti, matematički postupak je sproveden i za linearni i za nelinearni tip normalizacije. Normalizovane vrednosti podindikatora dobijene su izborom odgovarajućih linearnih ( $\theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_{11} = 1$ ) i nelinearnih parametara ( $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{11}; \theta_j \neq 1$ ). Indeks održivosti i njegova standardna devijacija izračunati su za različite vrednosti parametra  $\theta$  i svaku odabranu opciju. Dobijene su vrednosti indeksa održivosti i pripadajuće standardne devijacije u zavisnosti od parametra  $\theta$  koji karakteriše način normalizacije.

**Ključne reči:** Indeks održivosti, višekriterijumska analiza, zgradarstvo, nelinearna normalizacija, fazi logika, ASPID metodologija

**Naučna oblast:** Mašinstvo

**Uža naučna oblast:** Termotehnika, termoenergetika i procesna tehnika

**UDK 620.92:697.1:[519.8(043.3)]**

## **Analysis and evaluation of sustainable development of the energy systems in buildings**

### **Abstract**

Cities are very high populated urban areas and consequently very large consumers of final energy. Their main characteristic is the largest share in energy consumed by residential building sector. Therefore, paying attention to the energy use assessment in residential building sector, at the same time with assessing quality of living, is especially important. Indicators of sustainable development represent essential characteristics for evaluating energy consumption and living quality in residential buildings.

In this paper qualitative characterization of the considered objects is performed based on the period of construction (1946-1980 and 1981-2006), type of heating system (electricity, district heating and fossil fuels) and type of object (single family houses and apartments) for the city of Belgrade. Representative sample was taken into account and, based on the qualitative characterization, divided in nine subgroups (options). Eleven economic, social and environmental subindicators were selected and calculated for all chosen options to present energy consumption necessary to meet the needs of occupants for space heating, hot water production, cooking, household electrical appliances, indoor air quality, living space, etc.

Multicriteria analysis, having application in decision making policies, was used to evaluate sustainability of different residential options through sustainability index calculation. This mathematical procedure was conducted by agglomeration of normalized subindicators' values into economic, environmental and social indicators (first level) and agglomeration of indicators into sustainability index (second level).

In order to investigate the effect of nonlinearity on the sub-indicators' agglomeration, the change in nonlinearity was introduced in the procedure. Normalized sub-indicators are obtained by selection of the appropriate linear ( $\theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_{11} = 1$ ) or non-linear parameters ( $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{11}; \theta_j \neq 1$ ). Sustainability index and its standard deviation were calculated for different values of the parameter  $\theta$  and each option. The functional dependence between the sustainability index and the associated standard deviation of the  $\theta$  parameter (characterizing the way of normalization) was obtained.



**Keywords:** Sustainability index, Multicriteria analysis, Buildings, non-linear normalization, fuzzy-logic, ASPID method

**Scientific discipline:** Mechanical engineering

**Scientific subdiscipline:** Thermal Engineering, Thermal Energy and Process Engineering

**UDC 620.92:697.1:[519.8(043.3)**

## **SADRŽAJ:**

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. URBANA SREDINA I POTROŠNJA ENERGIJE .....</b>	<b>6</b>
2.1. Razvoj urbane sredine sa aspekta potrošnje energije.....	6
2.2. Urbana sredina kao moderan energetska sistem.....	8
2.3. Energetski sistem u sektoru zgradarstva.....	9
2.4. Upravljanje energijom u urbanim sredinama sa aspekta zdrave životne sredine	12
<b>3. ODRŽIVI RAZVOJ.....</b>	<b>13</b>
3.1. Koncept održivog razvoja .....	13
3.2. Istorijat održivog razvoja.....	14
<b>4. ODRŽIVI RAZVOJ ENERGETSKIH SISTEMA .....</b>	<b>17</b>
4.1. Održivi razvoj urbane sredine i metode za ocenu održivosti.....	17
4.2. Održivi razvoj u sektoru zgradarstva i metode za ocenu održivosti .....	18
<b>5. INDIKATORI KAO KRITERIJUMI U PROCENI ODRŽIVOSTI.....</b>	<b>23</b>
5.1. Indikatori održivog razvoja.....	23
5.2. Energetski indikatori održivog razvoja.....	25
5.2.1. Ekonomska dimenzija.....	27
5.2.2. Dimenzija životne sredine .....	27
5.2.3. Sociološka dimenzija .....	28
5.3. Energetski indikatori održivog razvoja kao kriterijumi za vrednovanje stambenih objekata u sektoru zgradarstva.....	28
<b>6. PROCENA ODRŽIVOSTI KOMPLEKSNIH SISTEMA NA OSNOVU VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE .....</b>	<b>31</b>
6.1. Metode za odabir kriterijuma za ocenu .....	31
6.1.1. Delfi metod .....	32
6.1.2. Metod najmanjeg srednjeg kvadrata .....	32

6.1.3.	Minmax devijacioni metod .....	33
6.1.4.	Metod korelacionog koeficijenta .....	33
6.2.	<i>Pregled metoda koje se koriste pri višekriterijumskom odlučivanju .....</i>	<i>34</i>
6.2.1.	Metod ponderisanih suma (WSM) .....	36
6.2.2.	Metod ponderisanih proizvoda (WPM) .....	37
6.2.3.	Analitičko hijerarhijski postupak (AHP) .....	37
6.2.4.	Tehnika određivanja prioriteta na osnovu sličnosti idealnih rešenja (TOPSIS).....	39
6.2.5.	„Grey relation“ metod.....	41
6.2.6.	Metod eliminacije i izbora u prihvatanju realnosti (ELECTRE) .....	42
6.2.7.	Metod određivanja ranga alternativa (PROMETEE).....	42
<b>7.</b>	<b><i>VIŠEKRITERIJUMSKI METOD U PROCESU DONOŠENJA ODLUKA .....</i></b>	<b><i>44</i></b>
7.1.	<i>Tehnika sinteze pomoću ' Fuzzy' skupova .....</i>	<i>44</i>
7.2.	<i>Normalizacija podindikatora .....</i>	<i>45</i>
7.3.	<i>Linearna i nelinearna normalizacija .....</i>	<i>46</i>
7.4.	<i>Postupak aglomeracije. Sintezne funkcije.....</i>	<i>49</i>
7.5.	<i>Korišćenje 'ASPID' metode za donošenje odluka .....</i>	<i>50</i>
7.6.	<i>Vrednosti težinskih koeficijenata pri nedostatku informacija. Randomizacija neodređenih težinskih koeficijenata.....</i>	<i>51</i>
7.7.	<i>Indeks održivosti .....</i>	<i>52</i>
<b>8.</b>	<b><i>PRIMENA VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE ZA OCENU ODRŽIVOG RAZVOJA ZGRADARSTVA U BEOGRADU .....</i></b>	<b><i>55</i></b>
8.1.	<i>Građevinski fond Beograda .....</i>	<i>55</i>
8.2.	<i>Struktura građevinskog fonda Beograda .....</i>	<i>57</i>
8.2.1.	<i>Građevine sagrađene u XIX i početkom XX veka .....</i>	<i>58</i>
8.2.2.	<i>Posleratne zgrade (period izgradnje od 1946.-1970.godine).....</i>	<i>58</i>
8.2.3.	<i>Serijska proizvodnja (period izgradnje od 1970.-1980. godine).....</i>	<i>59</i>
8.2.4.	<i>Početak krize (period od 1980.-1990. godine).....</i>	<i>60</i>
8.2.5.	<i>Ekonomska kriza (period od 1990.-1999. godine).....</i>	<i>61</i>
8.3.	<i>Izbor objekata za ocenu .....</i>	<i>61</i>

8.4.	<i>Izbor opcija za ocenu održivosti .....</i>	65
8.5.	<i>Podaci o objektima korišćeni za ocenu održivosti .....</i>	69
8.6.	<i>Izbor indikatora (atributa) za razmatrane objekte .....</i>	70
8.6.1.	<i>Ekonomski podindikator .....</i>	72
8.6.2.	<i>Podindikator održivosti životne sredine. Uslovi komfora u stambenim objektima. ....</i>	78
8.6.3.	<i>Sociološki podindikator .....</i>	81
8.7.	<i>Odredjivanje numeričkih vrednosti indikatora i podindikatora .....</i>	83
8.8.	<i>Linearna i nelinearna normalizacija podindikatora.....</i>	85
8.9.	<i>Aglomeracija indikatora i podindikatora .....</i>	95
8.10.	<i>Fortranski program .....</i>	97
<b>9.</b>	<b><i>ODREĐIVANJE PRIORITETA RAZMATRANIH OPCIJA SA STANOVIŠTA ODRŽIVOG RAZVOJA ENERGETSKOG SISTEMA .....</i></b>	<b>98</b>
9.1.	<i>Ocena prioriteta objekata pri različitim uslovima za određivanje težinskih koeficijenata i različitim tipovima normalizacije .....</i>	98
9.1.1.	<i>Ec &gt; En = Sc .....</i>	100
9.1.2.	<i>En &gt; Ec = Sc .....</i>	109
9.1.3.	<i>Sc &gt; Ec = En .....</i>	117
<b>10.</b>	<b><i>ZAKLJUČAK.....</i></b>	<b>126</b>
	<b><i>REFERENCE .....</i></b>	<b>131</b>
	<b><i>PRILOG 1: Merenja .....</i></b>	<b>142</b>
	<b><i>PRILOG 2: Upitnik.....</i></b>	<b>158</b>
	<b><i>PRILOG 3: Izračunavanje brojnih vrednosti podindikatora opcije 2 .....</i></b>	<b>165</b>
	<b><i>PRILOG 4: Algoritam.....</i></b>	<b>180</b>

## SPISAK OZNAKA

$a_{ij}$	-	apsolutne vrednosti podindikatora, [-]
$A_i$	-	površina $i$ -tog objekta u okviru jedne opcije, [m <sup>2</sup> ]
$A_{ki}$	-	površina $i$ -tog objekta koja je klimatizovana, [m <sup>2</sup> ]
$C_v$	-	koeficijent varijacije, [-]
$CO_2$	-	srednja dnevna koncentracija ugljen-dioksida u vazduhu, [ppm]
$Ec1$	-	ekonomski podindikator potrošnje električne energije, [kWh/god./dom.]
$Ec2$	-	ekonomski podindikator potrošnje toplotne enegije, [kWh/god./m <sup>2</sup> ]
$Ec3$	-	ekonomski podindikator potrošnje tople vode, [m <sup>3</sup> /god./čl.dom.]
$Ec4$	-	ekonomski podindikator potrošnje električne energije za kuvanje, [kWh/dom./god.]
$Ec1_n$	-	normalizovana vrednost ekonomskog podindikatora potrošnje električne energije, [kWh/god./dom.]
$Ec2_n$	-	normalizovana vrednost ekonomskog podindikatora potrošnje toplotne enegije, [kWh/god./m <sup>2</sup> ]
$Ec3_n$	-	normalizovana vrednost ekonomskog podindikatora potrošnje tople vode, [m <sup>3</sup> /god./čl.dom.]
$Ec4_n$	-	normalizovana vrednost ekonomskog podindikatora potrošnje električne energije za kuvanje, [kWh/dom./god.]
$En1$	-	podindikator temperature vazduha, [°C]
$En2$	-	podindikator relativne vlažnosti, [%]
$En3$	-	podindikator koncentracije ugljendioksida, [ppm]
$En1_n$	-	normalizovana vrednost podindikatora temperature vazduha, [-]
$En2_n$	-	normalizovana vrednost podindikatora relativne vlažnosti, [-]
$En3_n$	-	normalizovana vrednost podind. koncentracije ugljendioksida, [-]
$Eee_i$	-	električna energija koja se u jednom domaćinstvu utroši u toku jedne godine, [kWh/god.]
$Ete_i$	-	toplotna energija koja se u jednom domaćinstvu utroši u toku jedne godine, [kWh/god.]

$EcI_{agl}$	-	aglomerisane vrednosti ekonomskog indikatora, [-]
$EnI_{agl}$	-	aglomerisane vrednosti ekološkog indikatora, [-]
$e$	-	željeni nivo preciznosti ili margina greške, [-]
$h$	-	preciznost unutar koraka, [-]
$\Pi$	-	neegzaktna intervalna informacija, [-]
$k$	-	broj objekata u okviru jedne opcije, [-]
$k_{ui}$	-	broj nedeljnih uključenja mašina za pranje veša u $i$ -tom domaćinstvu posmatrane opcije, [-]
$k_{ng}$	-	broj nedelja u toku jedne godine, [-]
$k_{ve}$	-	količina vode u $m^3$ koju 1kWh električne energije zagreje od $19^\circ C$ do $60^\circ C$ , [ $m^3/kWh$ ]
$k_{ki}$	-	koeficijent koji zavisi od broja dana kada se kuva u nedelji $i$ -tom domaćinstvu, [-]
$k_{dsm}$	-	broj domaćinstava u okviru posmatrane opcije koji koriste sudomašinu, [-]
$m', m'', m'''$	-	ukupan broj odabranih podindikatora (kriterijuma) za svaki od indikatora (ekonomski, životne sredine, sociološki), [-]
$n$	-	broj delova na koji je podeljen segment od 0 -1, [-]
$n$	-	veličina reprezentativnog uzorka, [-]
$n_{di}$	-	broj članova $i$ -tog domaćinstva u okviru posmatrane opcije, [-]
$n_h$	-	veličina podgrupe (stratuma), [-]
$N_h$	-	veličina populacije podgrupe (stratuma), [-]
$N$	-	veličina cele populacije, [-]
$NNN$	-	nenumeričke, neegzaktne i nepotpune informacije, [-]
$OI$	-	nenumeričke informacije (ordinalne informacije), [-]
$P(i,l;I)$	-	mera pouzdanosti (verovatnoća), [-]
$p$	-	procenjena proporcija nekog atributa koji je prisutan u populaciji, [-]
$q_{ij}$	-	normalizovane vrednosti podindikatora
$Q_+(q;w)$	-	aditivna sintezna funkcija, [-]
$\bar{Q}_+^{(i)}(I)$	-	srednje vrednosti opšteg indeksa održivosti, [-]

$r_{ij}$	- koeficijent korelacije, [-]
$r_{ij}^*, r_{ii}^*$ i $r_{jj}^*$	- algebarski komplementi (kofaktori), [-]
$Rh_{sr}$	- srednja dnevna relativna vlažnost posmatrane opcije, [%]
Sc1	- sociološki podindikator stambenog prostora, [m <sup>2</sup> /čl.dom.]
Sc2	- sociološki podindikator klimatizacije stambenog prostora, [%]
Sc3	- sociološki podindikator zastupljenosti sudomašina, [%]
Sc4	- sociološki podindikator kvaliteta vazduha, [-]
Sc1 <sub>n</sub>	- normalizovana vrednost sociološkog podindikatora stambenog prostora, [-]
Sc2 <sub>n</sub>	- normalizovana vrednost sociol. podindikatora klimatizacije stambenog prostora, [-]
Sc3 <sub>n</sub>	- normalizovana vrednost sociološkog podindikatora zastupljenosti sudomašina, [-]
Sc4 <sub>n</sub>	- normalizovana vrednost sociološkog podindikatora kvaliteta vazduha, [-]
ScI <sub>agl</sub>	- aglomerisane vrednosti sociološkog indikatora, [-]
sd	- standardna devijacija podindikatora, [-]
SD	- standardna devijacija indeksa održivosti, [-]
SI <sub>sr</sub>	- srednja vrednost indeksa održivosti, [-]
sr	- srednja vrednost podindikatora, [-]
t <sub>sr</sub>	- srednja dnevna temperature posmatrane opcije, [°C]
U	- koeficijenta prolaza toplote, [W/m <sup>2</sup> K]
V <sub>pv</sub>	- količina vode potrebna za jedno pranje, [m <sup>3</sup> ]
w	- težinski koeficijent (relativna težina specifičnog kriterijuma), [-]
w <sub>Ec</sub>	- težinski koeficijenti za aglomeraciju ekonomskog indikatora, [-]
w <sub>En</sub>	- težinski koeficijenti za aglomeraciju indikatora životne sredine, [-]
w <sub>sc</sub>	- težinski koeficijenti za aglomeraciju sociološkog, [-]
w <sub>s</sub>	- odnos broja objekata sa svežim vazduhom u odnosu na ukupan broj objekata, [-]

$w_o$	- odnos broja objekata sa optimalnim vazduhom u odnosu na ukupan broj objekata, [-]
$w_z$	- odnosa broja objekata sa lošim kvalitetom vazduha u odnosu na ukupan broj objekata, [-]
$W(m,n)$	- skup svih mogućih težinskih koeficijenta, [-]
$W(I, m,n)$	- skup svih prihvatljivih težinskih koeficijenta, [-]
$Z$	- koeficijent pouzdanosti, [-]

### **Grčki simboli**

$\theta$	- stepen normalizacije
$\zeta_{ij}$	- parcijalni koeficijent korelacije

### **Najčešće korišćeni indeksi**

$j$	- <i>ti</i> kriterijum
$i$	- <i>ta</i> opcija
$sr$	- srednja vrednost
$Ec$	- ekonomski
$En$	- životne sredine
$Sc$	- sociološki
$agl$	- aglomerisano
$n$	- normalizovano

### **SKRAĆENICE**

<b>AHP</b>	- Analitički hijerarhijski proces ( <i>Analytic Hierarchy Process</i> )
<b>ASPID</b>	- Analiza i sinteza parametara usled nedostatka informacija ( <i>Analysis and Synthesis of Parameters under Information Deficiency</i> )
<b>BREEAM</b>	- ( <i>Building Research Establishment's Environmental Assessment</i> )



*Method)*

- CASBEE** - Sveobuhvatna procena ekološke efikasnosti zgrada (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*)
- CBA** - Analiza troškova i koristi (*Cost Benefit Analysis*)
- CEA** - Analiza isplativosti (*Cost-effectiveness Analysis*)
- CSD** - Komisija za održivi razvoj (*Commission on Sustainable Development*)
- EA** - Ekološki proračun (*Environmental Accounting*)
- EEA** - Evropska agencija za životnu sredinu (*European Environmental Agency*)
- EF** - Metod ekološkog otiska (*Ecological Footprints*)
- EIA** - Metod procene uticaja na životnu sredinu (*Environmental Impact Assessment*)
- EISD** - Energetski indikatori održivog razvoja (*Energy Indicators for Sustainable Development*)
- ELECTRE** - Metod eliminacije i izbor u prihvatanju realnosti (*Elimination and Choice Expressing Reality*)
- EPBD** - Direktive o energetske performansi zgrada (*Energy Performance of Buildings Directive*)
- ER** - Metod ekološkog ranca (*The Ecological Rucksack*)
- GB Tool** - Alati zelene gradnje (*Green Building Tool*)
- GP** - Metod zelenog postera (*The Green Poster*)
- IAEA** - Međunarodna Agencija za Atomske Energije (*International Atomic Energy Agency*)
- IEA** - Međunarodna agencija za energiju (*International Energy Agency*)

<b>ISD</b>	-	Indikatori održivog razvoja ( <i>Indicators of Sustainable Development</i> )
<b>LCA</b>	-	Metod analize životnog veka ( <i>Life cycle analysis</i> )
<b>LEED</b>	-	Program liderstva u oblasti energetike i projektovanju životne sredine ( <i>Leadership in Energy and Environmental Design</i> )
<b>MADM</b>	-	Višeatributno odlučivanje ( <i>Multi-attribute Decision Making Method</i> )
<b>MCDA</b>	-	Višekriterijumska analiza odlučivanja ( <i>Multicriteria decision analysis</i> )
<b>MCDM</b>	-	Višekriterijumske metode za donošenje odluka ( <i>Multicriteria Decision Making</i> )
<b>MODM</b>	-	Višeobjektno odlučivanje ( <i>Multi-objective Decision Making Method</i> )
<b>NNN</b>	-	nenumerička, neegzaktna, nekompletna ( <i>non-numeric, non-exact, non-complete</i> )
<b>PROMETHEE</b>	-	Metod određivanja ranga alternativa ( <i>Preference Ranking Organization method of Enrichment Evaluation</i> )
<b>SEA</b>	-	Metod strateške procene životne sredine ( <i>Strategic Environmental Assessment</i> )
<b>SIA</b>	-	Procena sociološkog uticaja ( <i>Social Impact Assessment</i> )
<b>SEIA</b>	-	Procena socio-ekonomskog uticaja ( <i>Socio Economic Impact Assessment</i> )
<b>SI</b>	-	Indeks održivosti ( <i>Sustainability Index</i> )
<b>TOPSIS</b>	-	Tehnika određivanja prioriteta na osnovu sličnosti idealnih rešenja ( <i>The Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions</i> )
<b>UNDESA</b>	-	Odeljenje za ekonomske i socijalne poslove Ujedinjenih Nacija

*(United Nations Department of Economic and Social Affairs)*

- VOC** - Gorive isparive materije (*Volatile Organic Compounds*)
- WCED** - Svetska komisija za životnu sredinu i razvoj (*World Commission on Environment and Development*)
- WPM** - Metod ponderisanih proizvoda (*Weighted Product method*)
- WSM** - Metod ponderisanih suma (*Weighted Sum Method*)

## ***1. UVOD***

Obezbeđivanje odgovarajućih pouzdanih energetske servisa koji po pristupačnim cenama snabdevaju korisnike, uz očuvanje životne sredine i usaglašenost sa socijalnim i ekonomskim razvojnim potrebama je suštinski element održivog razvoja. Dostupnost odgovarajućih vidova energije je od vitalnog značaja za iskorenjivanje siromaštva, poboljšanje blagostanja i podizanja životnog standarda. Međutim, većina tehnologija koje se danas koriste za proizvodnju finalne energije, spada u neodržive. Mnoge oblasti u svetu nemaju pouzdan i siguran način snabdevanja energijom što je ograničavajući faktor njihovog ekonomskog razvoja, dok u drugim sredinama, degradacija životne sredine kao posledica korišćenja fosilnih goriva za dobijanje energije, koči njihov održivi razvoj.

Globalna urbana tranzicija koja se odvija u poslednjih nekoliko decenija je pojava sa kojom se, više ili manje, susreće celokupna populacija naše planete. Po prvi put u istoriji čovečanstva, 2008. godine je više od polovine svetske populacije živelo u urbanim područjima, a prema sadašnjim projekcijama, do 2050.g. u urbanim sredinama će živeti oko 70% stanovnika što se pretežno odnosi na regione kojima pripadaju zemlje u razvoju. Ovo ujedno predstavlja i veliki problem jer se najveći urbani rast odvija u zemljama koje su najmanje u stanju da ulažu u razvoj urbane infrastrukture (električna energija, voda, kanalizacija, putevi, rasveta, grejanje i dr.).

Dostupnost odgovarajućih vidova energije predstavlja esencijalni faktor dostizanja održivog razvoja jedne sredine. Zemlje koje teže tom cilju, preispituju svoje energetske sisteme u cilju budućeg planiranja u energetici i strategija koje su na liniji sa održivim razvojnim ciljevima.

Strukturu potrošnje energije u većini evropskih gradova, pa i kod nas, karakteriše veoma visoko učešće stambenog sektora u finalnoj potrošnji energije, pri čemu se najviše energije troši na zagrevanje objekata u zimskom periodu i rashlađivanje u letnjem. Stoga je izgradnja kvalitetnih građevinskih objekata čiji termički omotač čine dobro izolovani spoljašnji zidovi, kvalitetna stolarija i materijali građevinske konstrukcije, kao i redovno održavanje i poboljšavanje svih ugrađenih tehničkih sistema koji troše ili izmenjuju energiju, osnova za uštedu energije i smanjenje emisije ugljendioksida u atmosferu u sektoru zgradarstva.

Grad Beograd zauzima blizu 4% teritorije zemlje i u njemu živi oko 21% od ukupnog broja stanovnika u blizu 600 hiljada domaćinstava. Umereno kontinentalna klima sa oštrim zimama diktira projektne temperature koje se razmatraju prilikom izrade proračuna toplotnih gubitaka stambenih objekata. Spoljašnja projektna temperatura od  $-12.1^{\circ}\text{C}$  i unutrašnja projektna temperatura od  $+20^{\circ}\text{C}$  daju razliku od  $32.1^{\circ}$  koja jasno pokazuje da je gubitak energije koji se mora nadoknaditi radi očuvanja toplotnog komfora unutar objekata veoma veliki.

Beograd je za vreme Drugog svetskog rata u velikoj meri bio razoren, pa je period izgradnje stambenog fonda grada u posleratnom periodu tekao uporedo sa rekonstrukcijom oštećenih objekata i velikim prilivom ruralne populacije u grad. Veliki nedostatak stambenog prostora, izazvao je pravu ekspanziju u izgradnji. Nove društvene prilike su, kao prioritetan zadatak, nametnule izgradnju što većeg broja stanova. Radilo se na industrijalizaciji i izradi tipskih projekata stambenih zgrada, po kojima su građena čitava naselja sa niskim i višespratnim objektima najnižeg standarda, krajnje jednostavne prostorne orijentacije, smanjenih dimenzija i osiromašenih fasada. Masovnost gradnje, bez posebnog osvrta na kvalitet stanova imala je za posledicu loše karakteristike omotača. Pitanja energetske efikasnosti i neophodnosti termičke zaštite, kod nas su postala aktuelna sa izvesnim zakašnjenjem u odnosu na isti evropski trend koji je nastao kao posledica svetske energetske krize.

Za razliku od perioda sedamdesetih i osamdesetih godina koje karakteriše blokovska gradnja i perioda devedesetih kada je zbog teške političke situacije proces izgradnje skoro zaustavljen, individualne rezidencijalne zgrade predstavljaju dominantnu konstrukciju u poslednjim dekadama i u centralnom gradskom području i na periferiji grada. Gradsko jezgro, za razliku od periferije, karakteriše veliki broj stambenih objekata na malom prostoru, uske ulice, visoka spratnost i povećano zagađenje što doprinosi nekomfornom načinu života čak i u novoizgrađenim objektima koji zadovoljavaju najnovije građevinske propise.

Početak centralizovanog snabdevanja Beograda toplotnom energijom smatra se grejna sezona 1961.-1962. godine kada je u rad puštena toplana "Novi Beograd". Do danas je centralnim snabdevanjem grada obuvaćeno samo oko 40% od ukupnog broja domaćinstava, a ostalih 60% za grejanje koristi električnu energiju koja se uglavnom dobija u termoelektranama na ugalj ili direktnim sagorevanjem fosilnih goriva u sopstvenim kotlarnicama i pećima. Sa stanovišta razvoja grada kao energetske sistema, nameće se

potreba za povećanjem efikasnosti korišćenja primarnih fosilnih goriva u snabdevanju urbane sredine električnom i toplotnom energijom.

Grad Beograd je u poslednjim decenijama doživeo veoma intenzivan rast i razvoj, ali je u strukturnom smislu, ostao veoma neuravnotežen, što ga čini veoma složenim energetske sistemom. Tradicionalni jednokriterijumski pristup donošenju odluka u vezi sa razvojem grada koji je u osnovi bio ekonomske prirode i kao cilj je postavljao odabir najjeftinije opcije, odavno je napušten. Fokusiranje na aspekt životne sredine i sociološki aspekt, pored ekonomskog, stvara potrebu za implementacijom multikriterijumskog pristupa pogotovo kada se analizira kompleksni energetske sistem grada. Usled činjenice da je stambeni sektor jedan od vodećih potrošača energije u gradu, u ovom radu je urađena višekriterijumska analiza energetske sistema u sektoru zgradarstva korišćenjem metodologije koja se primenjuje kada su u pitanju složeni energetske sistemi.

Da bi se procenila održivost energetske sistema u sektoru zgradarstva (objekata stambenog fonda grada Beograda) sa ekonomskog aspekta, aspekta životne sredine i sociološkog aspekta na osnovu različitih kriterijuma, u ovom radu će biti formirane opcije koje će predstavljati skupove razmatranih objekata. Održivost svake od formiranih opcija biće izražena preko indeksa održivosti (SI<sup>1</sup>) koji pokazuje meru kvaliteta posmatrane opcije u smislu održivog razvoja. U cilju izračunavanja indeksa održivosti prvo je neophodno izvršiti odabir, definisanje, pa zatim i izračunavanje skupova energetske indikatora održivog razvoja (EISD<sup>2</sup>) kao i njihove podindikatora. Ovo je veoma važno u proceni održivosti, ne samo novih, već i postojećih stambenih objekata uzimajući u obzir njihovu vremešnost i potrebu za revitalizacijom. Pored obezbeđivanja određenog nivoa komfornog stanovanja kao jedne od osnovnih potreba modernog društva, neophodno je, u svetlu svetskog trenda ka održivom razvoju, te potrebe zadovoljiti na način da se u potpunosti, ili bar donekle, energetske resursi sačuvaju za buduće generacije.

---

<sup>1</sup> *Sustainability Index*

<sup>2</sup> *Energy Indicators for Sustainable Development*

Osnovna osobina svih višekriterijumskih metoda za donošenje odluka (MCDM<sup>3</sup>) jeste da u razmatranje uključuju više od jednog atributa pri odlučivanju. One predstavljaju alat za ocenu održivosti nekog energetskog sistema i njihov glavni kvalitet leži u tome što mogu da nađu kompromisno rešenje između grupa sa različitim interesima dajući rangirane opcije kao finalni rezultat. Prioriteti koji se daju određenim kriterijumima zavise od interesa i potreba različitih grupa, utiču na krajnju ocenu, a uvode se u sam proces preko odabranih težinskih koeficijenata. Vrednovanje različitih opcija, odnosno određivanje održivosti opcija u okviru stambenog fonda Beograda u ovom radu je izvršeno na osnovu analize i sinteze parametara usled nedostatka informacija (ASPID<sup>4</sup>). Ova metodologija omogućava da se težinski faktori izračunaju matematičkim putem na osnovu prethodno definisanih ograničenja koja određuju interakciju pojedinačnih kriterijuma.

Složen energetski sistem Beograda će u budućnosti trošiti sve veće količine finalne energije u okviru stambenog sektora zbog čega je neophodno izvršiti vrednovanje različitih opcija u pogledu potrošnje energije, kvaliteta životne sredine i dostizanja određenog kvaliteta stanovanja. Da bi se izvršila analiza održivosti različitih opcija sa ekonomskog aspekta, aspekta životne sredine i sociološkog aspekta urađeno je sledeće:

- Stambeni fond Beograda je u ovom radu predstavljen preko reprezentativnog uzorka koji je kvalitativno određen primenom metode stratifikacije.
- Formirane su različite opcije u okviru stambenog fonda Beograda kao energetskog sistema koje su opisane različitim ekonomskim, sociološkim i energetskim podindikatorima (kriterijumima) životne sredine. Brojne vrednosti podindikatora su određene na osnovu izvršenog monitoringa i podataka iz Upitnika popunjenih od strane stanara koji u njima žive.
- Kvalitet razmatranih opcija sa gledišta održivosti će biti prikazan preko izračunatih vrednosti indeksa održivosti dobijenih aglomeracijom normalizovanih vrednosti indikatora. Za određivanje indeksa održivosti korišćena je ASPID metoda višekriterijumske analize.

---

<sup>3</sup> *Multicriteria decision making*

<sup>4</sup> *Analysis and Synthesis of Parameters under Information Deficiency*

- Reprezentativnost izračunatih vrednosti indeksa održivosti je analizirana sa gledišta linearne i nelinearne normalizacije podindikatora.



## ***2. URBANA SREDINA I POTROŠNJA ENERGIJE***

Gradnja je kao drevna ljudska aktivnost proistekla iz potrebe čoveka da se zaštiti od oštrih klimatskih uslova kontrolom svog neposrednog okruženja. Izgradnja skloništa je bio jedan od načina koji su omogućili ljudskoj vrsti da opstane i u područjima sa veoma ekstremnim temperaturama [1].

Istorijski razvoj zgradarstva obeležen je različitim trendovima. Neki od njih su se odnosili na zadovoljavanje potreba stanovnika za određenim servisima kao što su snabdevanje vodom, kanalizacija, grejanje, osvetljenje itd. dok se jedan od njih se odnosio na povećanje trajnosti građevinskih materijala jer su prvobitni građevinski materijali bili oni koje je čovek nalazio u prirodi. Ovi prvobitni materijali su kroz različite epohe bili potisnuti iz upotrebe materijalima boljih karakteristika dok je najveći napredak u razvoju građevinskih materijala došao sa procesom industrijalizacije proizvodnje cigle u XIX veku. Tada je veoma težak proces ručne izrade cigle koji je postojao oko 3000 godina, zamenjen procesom mehaničke izrade. Ovaj novi metod je doveo do masovne proizvodnje, pa samim tim i do značajnog smanjenja cene ovog materijala što ga je učinilo jednim od osnovnih materijala za izgradnju do danas.

Značajan tehnološki napredak čovečanstva je obeležio početak XX veka. Pojava armiranog betona i upotreba električnih motora za pokretanje liftova i kranova, omogućili su podizanje tereta na velike visine i stvorili osnovu za izgradnju veoma visokih zgrada. Čitavi gradovi i naselja sa kompletnom infrastrukturom su planirani i podizani kao deo strategije razvoja zemlje. Veoma brz razvoj gradova kroz tehničke, funkcionalne i estetske faze razvoja arhitekture, zahtevao je i potrošnju sve većih količina energije, pa je dvadeseti vek nametnuo nove izazove u vezi sa očuvanjem životne sredine, uštedom energije i održivim razvojem u zgradarstvu.

### ***2.1. Razvoj urbane sredine sa aspekta potrošnje energije***

Ljudska populacija je kroz istoriju uglavnom živela u ruralnim područjima, ali tokom XIX i XX veka dolazi do veoma brzog procesa urbanizacije koji je bio posledica ubrzanog tehnološkog razvoja. Nove mogućnosti za zapošljavanje motivisale su seosko

stanovništvo za odlazak u gradove koji su u novoizgrađenim fabrikama nudili posao za jeftinu radnu snagu. Proces urbanizacije je bio veoma složen i doneo je ozbiljne promene na ekonomskom i socijalnom planu.

Ne postoji određeni standard za definisanje urbane sredine. Svaka zemlja razvija sopstveni set kriterijuma za razdvajanje ruralnih i urbanih oblasti kao što su: veličina populacije, gustina naseljenosti, veličina izgrađene oblasti, procenat ljudi koji ne zavise od poljoprivrede, dostupnost električne energije, zgravstvenih usluga, mogućnost obrazovanja itd. Takve razlike otežavaju poređenja među državama, pa su Ujedinjene Nacije dale jedinstvenu definiciju naselja koje se smatra gradskim ukoliko ima više od 2500 stanovnika (kod nas varošica). Urbana sredina sa preko 20000 stanovnika je grad, a preko 100000 veliki grad, dok su gradovi sa preko 5 miliona stanovnika megalopolisi [2, 3].

Istorijski tok procesa urbanizacije se prati na osnovu nivoa urbanizacije, tj. udela broja stanovnika koji žive u gradovima u ukupnom broju stanovnika. Početkom IX veka samo 3% ukupne svetske populacije je živelo u gradovima da bi se taj procenat do početka XX veka povećao skoro pet puta i iznosio 14%. Već 1950. godine procenat stanovništva na planeti koji naseljeljava gradska područja je narastao na oko 30% [3], a 2000. godine je iznosio čak 47%. Prema procenama Ujedinjenih Nacija do 2025. godine oko 60% svetskog stanovništva će živeti u urbanim područjima [4].

Prema prvom popisu stanovništva iz 1834. godine, 93.5% stanovništva u Srbiji je živelo u seoskim naseljima. Taj broj se početkom XX veka neznatno smanjio, da bi nakon II svetskog rata proces urbanizacije bio ubrzan velikim ratnim razaranjem zemlje i siromaštvom stanovništva. Proces urbanizacije se pre svega bazirao na migraciji seoskog stanovništva u gradove i bio je veoma intenzivan sve do sedamdesetih godina prošlog veka. Veoma jako i dugotrajno delovanje ovih procesa uz selektivnost starosne dobi migranata dovelo je do biološkog podmlađivanja gradskih područja i starenja ruralnih sredina.

Prema statističkim podacima iz popisa stanovništva, u Srbiji je broj gradskog stanovništva sa 50.6% u 1991. godini, porastao na 56.4% u 2002.-oj [4].

Danas, i u svetu i kod nas, gradovi predstavljaju velike potrošače energije. U mnogim zemljama potrošnja energije u stambenom sektoru učestvuje sa oko 40% u potrošnji finalne energije. U zemljama Evropske Unije 57% te energije utroši na zagrevanje životnog prostora, 25% na zagrevanje tople vode oko 11% u obliku električne energije.

## ***2.2. Urbana sredina kao moderan energetska sistem***

Iz perspektive društva, energija nije sama po sebi cilj. Energetski sistemi se formiraju radi zadovoljenja potreba za određenim servisima kao što su: kuvanje, osvetljenje, obezbeđivanje prijatnih uslova u prostoru u kome se boravi, transport, čuvanje hrane, protok informacija i proizvodnja dobara. Energetski sistemi se sastoje od sektora snabdevanja energijom i sektora tehnologija koje su neophodne za funkcionisanje servisa. Sektor snabdevanja energijom sadrži veoma složene procese za eksploataciju prirodnih resursa (ugalj, nafta itd.), njihovu transformaciju u razne oblike željene energije ili energente, kao što su električna energija i naftni derivati i njihovu isporuku na mestima gde je ona potrebna. Na kraju, kao poslednji u lancu, nalaze se uređaji bazirani na različitim tehnologijama koje obezbeđuju krajnjim korisnicima da isporučenu energiju ili energente transformišu u oblik koji će omogućiti korišćenje različitih servisa (osvetljenje, transport itd.) [5].

Moderni energetska sistemi se zasnivaju na proizvedenim ili prerađenim gorivima i veoma sofisticiranoj opremi za konverziju. Tradicionalni način upotrebe energije najčešće podrazumeva upotrebu neprerađenog goriva, koje se nalazi u obliku veoma bliskom njegovoj primarnoj formi, uz upotrebu zastarelih tehnologija ili njihovog odsustva. Upotreba zastarelih tehnologija, podrazumeva veoma nisku efikasnost i visoko zagađenje u sredinama u kojima se one koriste. Stoga, tehnologija predstavlja važnu kariku između snabdevanja energijom i njenog korišćenja, njenoj dostupnosti i njenoj ekološkoj kompatibilnosti.

Ukupna efikasnost jednog energetskog sistema zavisi od pojedinačnih efikasnosti svih procesa uključenih u strukturu snabdevanja energijom: konverzije, distribucije i načina korišćenja. Krajem '90-tih godina prošlog veka, izračunato je da je globalna efikasnost

konverzije primarne energije u finalnu (uključujući i električnu energiju) oko 70%, a da je efikasnost konverzije finalne energije u korisnu oko 40%, [6]. Rezultujuća efikasnost konverzije primarne energije u korisnu se dobija kao proizvod ove dve efikasnosti i iznosi 28%. S obzirom da ne postoje detaljni statistički podaci o raznim energetske servisima u literaturi se ukupna efikasnost kreće u širokom opsegu od 15-30%, [7-9].

### **2.3. Energetski sistem u sektoru zgradarstva**

Potrošnja energije je jedna od osnovnih karakteristika izgrađene sredine. Analizom energetskog bilansa izgrađene sredine dolazi se do zaključka da se oko 50% energije troši prilikom upotrebe zgrada [10]. Energetski pečat jedne ovakve celine je višekomponentan, pa se može reći da je struktura energije “vezane” za objekat veoma složena. Razlikujemo [11]:

*Primarnu energiju* - ili energiju proizvodnje. To je energija “zarobljena” u toku izgradnje samog objekta koja uzima u obzir sve elemente i sisteme koji ga čine. Ova komponenta energije podrazumeva i ugrađenu energiju samih elemenata, odnosno proizvodnih procesa u kojima su oni dobijeni, kao i samog procesa izgradnje.

*Energiju korišćenja* – ili energiju koja se troši na ostvarivanje željenog komfora unutar objekta, tj. na funkcionisanje sistema ugrađenih u objekat.

*Naknadnu energiju*- energiju koja se troši na održavanje, promenu strukture, rušenje, tj. recikliranje materijala.

*Indukovanu energiju* - energiju koja se ne troši u samom objektu, već je indukovana njegovim korišćenjem, tj. snabdevanjem [12].

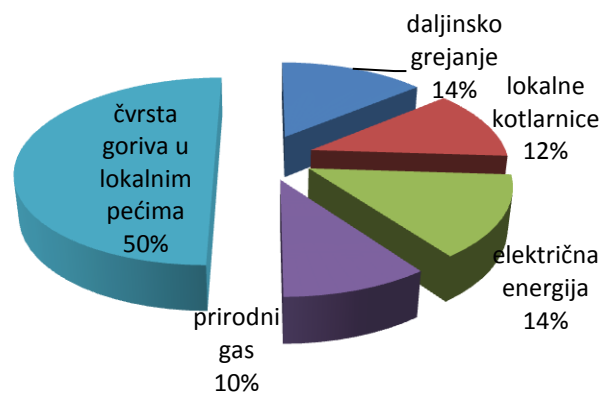
Od ukupno proizvedene količine finalne energije u zemljama Evropske Unije, oko 40% se troši upravo u zgradarstvu i to većim delom (oko 63%) u stambenom sektoru [13].

U Srbiji se, takođe, u sektoru zgradarstva troši oko 40% finalne energije [14]. Unapređenje energetske efikasnosti u zgradarstvu je stoga veoma značajno, pa je to razlog zbog čega se

u nacionalnim akcionim planovima smanjenje potrošnje energije u zgradama nalazi u žiži javnosti i predmet je brojnih istraživačkih projekata .

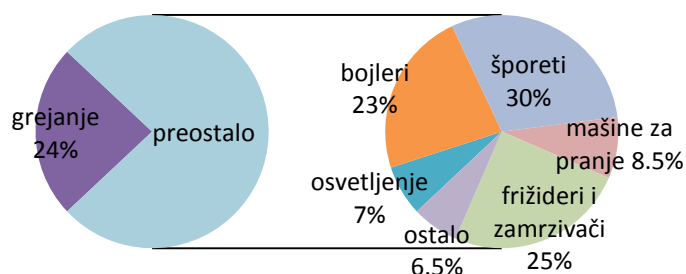
Potrošnja finalne energije u sektoru zgradarstva (stambeni i tercijarni sektor) u 2008. godini dostigla je nivo od 3.219Mtoe (1toe = 41.868 GJ = 11.63 MWh) ili oko 38%. Procenjeno je da stambeni sektor koristi 2.253 Mtoe (oko 70% od 3.219Mtoe), a 0.966Mtoe (30% od 3.219Mtoe) komercijalni, javno-uslužni sektor i poljoprivreda [15].

Obzirom na klimatske uslove, grejna sezona traje 6 meseci i veliki deo utrošene energije je neophodan za zagrevanje objekata. Toplotna energija se dobija upotrebom različitih vrsta goriva i to na način koji je prikazan na sl.1.



Slika 1. Način zagrevanja zgrada u Srbiji [14]

Oko 14% od ukupnog broja domaćinstava u Srbiji se greje na električnu energiju i potroši 24% od ukupne potrošnje električne energije u svim domaćinstvima. Preostala potrošnja električne energije se koristi za ostale potrebe u domaćinstvima. Struktura potrošnje električne energije u domaćinstvima je prikazana na sl.2 [14, 16].



Slika 2. Struktura potrošnje električne energije u domaćinstvima u Srbiji [14, 16]

Kada je u pitanju potrošnja energije i energenata u gradu Beogradu analizirano je postojeće stanje za 2006. godinu i rezultati su prikazani u tabelama 1-5 [17]. Na osnovu prikazanih podataka, može se zaključiti da je sektorska potrošnja energije za grad Beograd slična sektorskoj potrošnji za Srbiju.

Tabela 1. Ukupna potrošnja uglja u Beogradu za 2006.g.[17]

<i>Industrija</i>	<i>Domaćinstva</i>	<i>Saobraćaj</i>	<i>Javne i komerc. usluge</i>	<i>Poljoprivreda</i>	<i>Ukupno</i>
(TJ)	(TJ)	(TJ)	(TJ)	(TJ)	(TJ)
3836.56	2600.64	2.81	429.88	69.98	6939.86

Tabela 2. Ukupna potrošnja tečnih goriva u Beogradu za 2006.g.[17]

<i>Industrija</i>	<i>Domaćinstva</i>	<i>Saobraćaj</i>	<i>Javne i komerc. usluge</i>	<i>Poljoprivreda</i>	<i>Ukupno</i>
(TJ)	(TJ)	(TJ)	(TJ)	(TJ)	(TJ)
6865.20	228.96	20551.57	9474.41	1044.72	38167.02

Tabela 3. Ukupna potrošnja gasovitih goriva u Beogradu za 2006.g.[17]

<i>Industrija</i>	<i>Domaćinstva</i>	<i>Saobraćaj</i>	<i>Javne i komerc. usluge</i>	<i>Poljoprivreda</i>	<i>Ukupno</i>
(TJ)	(TJ)	(TJ)	(TJ)	(TJ)	(TJ)
1920.42	591.88	0.04	304.52	411.70	3228.55

Tabela 4. Ukupna potrošnja električne energije u Beogradu za 2006.g.[17]

<i>Industr.</i>	<i>Domaćin.</i>	<i>Saobraćaj</i>	<i>Javne i komerc.usluge</i>	<i>Poljopriv.</i>	<i>Gubici</i>	<i>Ukup.</i>
(TJ)	(TJ)	(TJ)	(TJ)	(TJ)	(TJ)	(TJ)
5507.28	13549.68	351.36	5952.24	196.56	4399.2	29956

Tabela 5. Ukupna potrošnja toplotne energije iz sistema daljinskog grejanja u Beogradu za 2006.g.[17]

<i>Domaćinstva</i>	<i>Javne i komerc. usluge</i>	<i>Ukupno</i>
(TJ)	(TJ)	(TJ)
8047.66	2050.16	10097.82

#### **2.4. Upravljanje energijom u urbanim sredinama sa aspekta zdrave životne sredine**

Urbane sredine imaju dominantnu ulogu u globalnoj ekonomiji kao centri u kojima se odvija i proizvodnja i potrošnja različitih vidova energije. Potrošnja primarne energije u urbanim sredinama je u stalnom porastu i postoje procene da taj porast iznosi oko 3% na nivou godišnje potrošnje. Energija je pokretač urbane sredine i može se reći da, u smislu potrošnje energije, ne postoje posebni gradovi. Energija se troši za grejanje i hlađenje, osvetljenje, kuvanje, transport itd. Ono što međusobno razlikuje gradove jeste vrsta energenta i tehnologije koje se koriste u procesu dobijanja energije. Sagorevanje fosilnih goriva, kao što su ugalj, nafta i prirodni gas, je najčešći način dobijanja energije u gradovima, pa su najčešći izvori zagađenja životne sredine termoelektrane, toplane, industrija, domaćinstva i transport. U zavisnosti od prirode goriva, zagađivači mogu biti azotni oksidi, sumpordioksid, ugljenmonoksid, razne čestice, olovo, kao i velika grupa jedinjenja zasnovanih na ugljeniku koja imaju osobinu da isparavaju na sobnoj temperaturi (VOC<sup>5</sup>). Ovi zagađivači imaju veći ili manji uticaj na zdravlje ljudi u urbanim sredinama u zavisnosti od njihove koncentracije u vazduhu i individualne osetljivosti pojedinca.

Upravljanje energijom je stoga izuzetno važno u urbanim sredinama, pogotovo ako se ima u vidu da se veoma velika količina energije izgubi u neefikasnom korišćenju u domaćinstvima, sektoru transporta i izgradnji. Sa jedne strane je neophodno baviti se smanjenjem potrošnje kroz povećanje energetske efikasnosti zgrada i sistema koji su u njima zastupljeni, a sa druge promovirati upotrebu kogenerativnih postrojenja i obnovljivih izvora energije, kao i promociju javnog transporta.

---

<sup>5</sup> *volatile organic compounds*

### **3. ODRŽIVI RAZVOJ**

#### **3.1. Koncept održivog razvoja**

Kraj XVIII i početak XIX veka doneo je značajne promene u proizvodnji dobara. Usled povećanja broja stanovnika, potreba za širenjem obima proizvodnje je rasla. Postalo je izvesno da manufakture nisu dovoljno brze da zadovolje potrebe čovečanstva, pa su ljudi počeli da se bave osmišljavanjem tehničkih pomagala koja bi im pomogla u procesu proizvodnje. Njihova brzina je u početku bila mala jer ih je čovek pokretao sopstvenom snagom i ubrzo je počelo traganje za novim oblicima energije. Pronalaskom parne mašine i njenim uvođenjem u proces proizvodnje, od manufakture su nastale fabrike a sa njima i industrijska proizvodnja.

Industrija je promenila svet. Nakon pojave parnih mašina u industriji, njihova upotreba se javlja i u rudarstvu i transportu kao krvotoku industrije (dovoz energenata, radne snage, transport robe itd.). Energija postaje pokretačka snaga za razvoj moderne civilizacije, a samim tim i posedovanje energetske resursa postaje veoma važno za razvoj društva. Obilni izvori energije u ranim fazama industrijskog razvoja nametnuli su da strategija razvoja naše civilizacije bude zasnovana na principima neograničenosti energetske resursa.

Pre druge polovine XVIII veka vetrenjače i vodenice su davale energiju potrebnu za mlevenje brašna i pumpanje vode, a drvo i treset su bili korišćeni za zagrevanje domova. Široko rasprostranjeno korišćenje fosilnih goriva, prvo uglja a kasnije petroleja, za pokretanje parnih mašina, omogućilo je industrijsku revoluciju. Pronalazak motora sa unutrašnjim sagorevanjem i njegovo korišćenje u automobilima i kamionima kao i prve elektrane za proizvodnju struje znatno su povećali potrebe za fosilnim vrstama goriva.

Moderno društvo kakvo danas postoji ne bi bilo moguće bez upotrebe fosilnih goriva. Njihovom transformacijom u nizu različitih tehnologija generiše se električna energija, pokreću se prevozna sredstva, zagrevaju se stambeni i poslovni objekti, proizvode se plastični materijali, asfalt itd. Međutim, upotreba ovih goriva ima i svoje loše strane. Sa



jedne strane, njihovim sagorevanjem se u atmosferu oslobađaju štetne materije koje zagađuju našu životnu sredinu, a sa druge strane svetske rezerve ovih energenata se veoma brzo smanjuju i predviđanja o njihovom trajanju potpuno obeshrabruju. Ako se u obzir uzme veoma brzi rast svetske populacije i potreba za ubrzanim ekonomskim razvojem nerazvijenih zemalja i zemalja u razvoju, ovo je upravo razlog zbog čega je savremeno društvo prepoznalo važnost inteligentne upotrebe energije sa osećajem da energija koju koristimo mora biti čista i dobijena u tehnološkim procesima visoke efikasnosti [18] usled čega su problemi nastali pri proizvodnji i potrošnji energije poslednjih godina dospeli u žižu interesovanja naučne javnosti. Uspostavljanje balansa između ekonomskog razvoja i povećanja životnog standarda sa rastom populacije i trošenjem prirodnih resursa stvara osnovu za konceptualno potpuno nov pristup razvoju čovečanstva – *održivi razvoj*.

Prema jednoj od najčešće korišćenih definicija, *održivi razvoj* je onaj koji zadovoljava potrebe ljudi u sadašnjosti vodeći računa o tome da ne ugrozi one koji će živeti u budućnosti da zadovolje svoje [19]. Održivi razvoj podrazumeva balans između zadovoljenja osnovnih životnih potreba i dostizanja određenog životnog standarda sa raspoloživim prirodnim resursima i očuvanjem životne sredine. U suštini, održivi razvoj je proces u kome postoji sklad između eksploatacije resursa, usmeravanja investicija, orijentacije tehnološkog razvoja i institucionalnih promena sa ciljem da se poboljša potencijal za zadovoljenje ljudskih potreba i u sadašnjosti i u budućnosti [20].

### **3.2. Istorijat održivog razvoja**

Zabrinutost u vezi sa velikim pritiskom koji su proizveli rast svetske populacije i upotreba modernih tehnologija sa ciljem da se zadovolje potrebe savremenog potrošača, postojala je još od sedamdesetih godina prošlog veka. Međutim, problemi životne sredine i održivog razvoja po prvi put dospevaju u žižu interesovanja svetske javnosti početkom osamdesetih. Generalni sekretar UN je u decembru 1983. godine inicirao formiranje nezavisne organizacije na čelu sa norveškim premijerom Gro Harlemom Brundtlandom sa ciljem da se započne sa rešavanjem problema zaštite vazduha, zemljišta, voda i svih oblika života planete nastalih usled primene loših tehnologija.

Mnogi se slažu da se termini *održivost* i *održivi razvoj* mogu zajedno opisati kao poboljšanje kvaliteta života u uslovima zdrave životne sredine, tj. poboljšanje socijalnih, ekonomskih i ekoloških uslova za sadašnje i buduće generacije. Od kada je 1987. godine Svetska komisija za životnu sredinu i razvoj (WCED<sup>6</sup>) objavila Bruntlendov izveštaj pod nazivom "Naša zajednička budućnost", održivi razvoj je dobio veliki značaj u svetskim razmerama. Komisija za održivi razvoj Ujedinjenih Nacija (CSD<sup>7</sup>) je formirana već 1989. godine, a 1992. godine u Rio de Žaneiru je održan prvi Svetski samit Ujedinjenih nacija o životnoj sredini i razvoju na kome je usvojena Agenda 21 kao strateški dokument održivog razvoja. Ustanovljeno je da je potrebno da se intenziviraju akcije vezane za održivi razvoj i da su indikatori za monitoring napretka održivog razvoja neophodni za podršku onima koji donose zakone i koji odlučuju [21].

U godinama koje su usledile mnogi su verovali da je održivi razvoja veliki izazov XXI veka [22]. Vollenbroek je tvrdio da je održivi razvoj uspostavljanje ravnoteže između dostupnih tehnologija, inovativnih strategija i zakona koje donose Vlade zemalja [23]. Održivi razvoj predstavlja izazov usklađivanja zadovoljavanja rastućih potreba čovečanstva za prirodnim resursima, industrijskim proizvodima, energijom, hranom, transportom, upravljanja otpadom sa očuvanjem i zaštitom životne sredine i bazičnih resursa za život budućih generacija i njihov razvoj. Ovaj koncept sadrži mišljenje da se dugoročno ne mogu zadovoljiti ljudske potrebe bez očuvanja fizičkih, hemijskih i bioloških sistema na planeti [24].

Održivi razvoj obuhvata tri aspekta koji se popularno zovu stubovima održivosti [25, 26]: ekonomski, životne sredine i sociološki.

*Ekonomski aspekt:* Neophodno je obezbediti ekonomski rast u cilju poboljšanja kvaliteta života. Ekonomija je, stoga, od suštinskog značaja za dugoročni opstanak zajednice. Kada se govori o održivosti, vrlo često se ovaj aspekt povezuje sa okruženjem poslovne prakse, energetske efikasnosti i održivog biznisa.

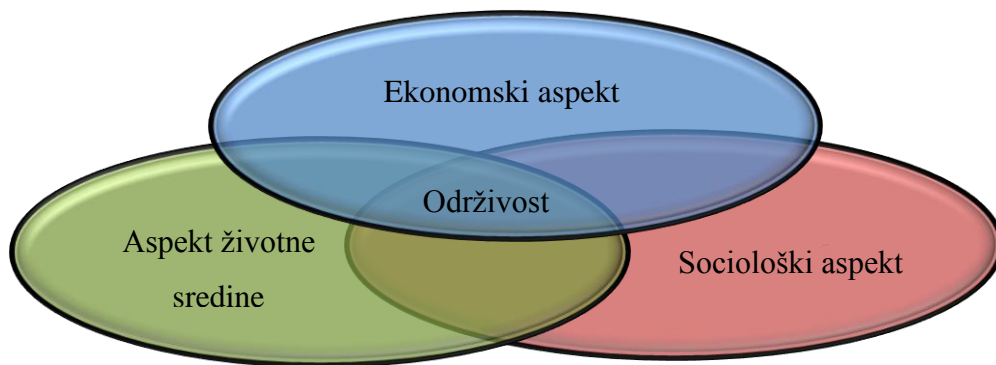
---

<sup>6</sup> *World Commission on Environment and Development*

<sup>7</sup> *Commission on Sustainable Development*

*Aspekt životne sredine:* Neophodno je da se oštećenje životne sredine, zagađenje i iscrpljivanje prirodnih resursa smanji na minimum. Pitanja životne sredine čine srž održivog razvoja i neraskidivo su povezana sa ekonomskom i sociološkom komponentom. Povezanost zajednice sa njenim okruženjem je kompleksna i uključuje eksploataciju resursa i potrošnju koja deluje i na lokalni i na globalni eko-region.

*Sociološki aspekt:* Neophodno je da se obezbedi pravičnost u raspodeli svetskih resursa između bogatih i siromašnih. Socijalna jednakost u smislu održivosti se obično razmatra kao međugeneracijska zbog toga što aktivnosti koje se preduzimaju danas utiču na život zajednice u budućnosti. Takođe, postojeći društveni obrasci igraju značajnu ulogu u održivosti budućih zajednica (prihod, rasa, klasne podele između periferije i centralnih gradskih oblasti).



Slika 3. Tri dimenzije održivosti

## **4. ODRŽIVI RAZVOJ ENERGETSKIH SISTEMA**

### **4.1. Održivi razvoj urbane sredine i metode za ocenu održivosti**

Urbanu sredinu karakteriše veoma brz rast i razvoj. Zbog toga urbana infrastruktura mora biti sposobna da zadovolji rastuće potrebe sve većeg broja korisnika. Tehnička infrastruktura, kao što su transport, energija, snabdevanje vodom, kanalizacija i informaciona mreža, predstavljaju kostur jedne urbane izgrađene sredine. Ona snabdeva krajnje korisnike sa dobrima, energijom i informacijama. Međutim, sa druge strane, urbana infrastruktura ima veoma širok i dugoročni uticaj na održivi razvoj cele izgrađene oblasti. Uobičajeno je da je održiva urbana infrastruktura fokusirana na prevenciju, kada je u pitanju nepotrebna potrošnja prirodnih resursa (posebno kada je reč o neobnovljivim izvorima), i na ublažavanje štetnih emisija [27].

Veliki broj metoda i alatki je dostupan za procenu održivosti jedne urbane infrastrukture. Ove alatke se razlikuju u zavisnosti od obima i sadržaja, tj. od načina na koji mere vrednosti indikatora, kao i u zavisnosti od predstavljanja i interpretacije rezultata. Neke od metoda pokrivaju sve tri komponente održivosti: ekonomsku, životne sredine i socijalnu, dok je veći broj metoda koje su fokusirane na jedan od tri pomenuta aspekta. Tako npr. metode: metoda analize životnog veka (LCA<sup>8</sup>), metod procene uticaja na životnu sredinu (EIA<sup>9</sup>), metod strateške procene životne sredine (SEA<sup>10</sup>), metod ekološkog otiska (EF<sup>11</sup>), metod ekološkog ranca (ER<sup>12</sup>), metod zelenog postera (GP<sup>13</sup>) itd. ostaju u domenu životne sredine. U konvencionalne ekonomske metode spadaju: analiza isplativosti (CEA<sup>14</sup>), metod analize troškova i koristi (CBA<sup>15</sup>), metod višekriterijumske analize odlučivanja

---

<sup>8</sup> *Life cycle analysis*

<sup>9</sup> *Environmental Impact Assessment*

<sup>10</sup> *Strategic Environmental Assessment*

<sup>11</sup> *Ecological Footprints*

<sup>12</sup> *The Ecological Ruksack*

<sup>13</sup> *The Green Poster*

<sup>14</sup> *Cost-effectiveness Analysis*

<sup>15</sup> *Cost Benefit Analysis*

(MCDA<sup>16</sup>), metod ekološkog proračuna (EA<sup>17</sup>), dok su metode bazirane na sociološkom aspektu održivosti manje zastupljene. Procenom sociološke dimenzije održivog razvoja bave se neke od metoda kao što su: metoda procene sociološkog uticaja (SIA<sup>18</sup>) i metod procene socio-ekonomskog uticaja (SEIA<sup>19</sup>) [27, 28].

Takođe, neke od metoda su kvalitativne i baziraju se na kvalitativnim indikatorima koji su određeni na subjektivan način, za razliku od kvantitativnih koje su zasnovne na izmerenim i izračunatim vrednostima indikatora.

#### **4.2. Održivi razvoj u sektoru zgradarstva i metode za ocenu održivosti**

Izgradnja i upotreba objekata imaju veliki direktan i indirektan uticaj na životno okruženje. Oni ne samo da koriste energiju i različite materijale, već takođe stvaraju veliku količinu otpada i emituju potencijalno opasne supstance u atmosferu. Sa razvojem ekonomije i porastom broja stanovnika, konstruktori i graditelji se suočavaju sa izazovom da zadovolje potrebe upotrebom novih ili renoviranih postrojenja koja će pružiti dostupnu, sigurnu i čistu energiju uz minimalan uticaj na životnu sredinu. Poslednjih decenija, u svetu je razvijen veliki broj različitih metodologija sa holističkim pristupom u oceni održivosti zgrada [29]. Neke od najznačajnijih su:

**BREEAM**<sup>20</sup> [30, 31] predstavlja set standarda za najbolju praksu u oblasti projektovanja, izgradnje i eksploatacije održivih zgrada i prvi put je uspostavljen 1990. godine u Velikoj Britaniji. On ocenjuje performanse različitih tipova objekata (kancelarije, kuće, industrijske jedinice, lokala i škola) od energije do životne sredine u različitim oblastima:

- Upravljanje (sveobuhvanu politiku upravljanja, puštanje u rad, proceduralna pitanja)
- Korišćenje energije (pitanja u vezi sa energijom koja se koristi za funkcionisanje objekta i pitanja emisije CO<sub>2</sub> koja odatle proizilazi)

---

<sup>16</sup> *Multicriteria decision analysis*

<sup>17</sup> *Environmental Accounting*

<sup>18</sup> *Social Impact Assessment*

<sup>19</sup> *Socio Economic Impact Assessment*

<sup>20</sup> *Building Research Establishment's Environmental Assessment Method*

- Zdravlje i dobrobit ljudi (spoljašnji i unutrašnji faktori koji utiču na zdravlje i blagostanje)
- Zagađenje sredine (pitanja vezana za zagađenje vazduha i vode)
- Transport (emisija CO<sub>2</sub> koja je vezana za transport i faktori vezani za lokaciju)
- Upotreba zemljišta (zelenih površina ili zemljišta koje je prethodno bilo korišćeno u industrijske svrhe)
- Životna sredina (pitanja očuvanja i unapređenja životne sredine)
- Materijali (uticaj građevinskih materijala na životnu sredinu)
- Voda (potrošnja i efikasnost u potrošnji vode)

Zgrade se po ovoj metodi svrstavaju u one koje “zadovoljavaju”, “dobre” su, “veoma dobre” ili “izuzetne”.

**GB Tool<sup>21</sup>** metod [32] je razvijen od strane međunarodnog Komiteta za zelenu izgradnju (International Framework Committee for the Green Building Challenge) i od 1998. godine je u ovaj projekat uključeno više od 25 zemalja. On se zasniva na kriterijumima kao što su:

- Izbor lokacije
- Planiranje i razvoj
- Opterećenje životne sredine (energija i trošenje resursa)
- Kvalitet unutrašnjeg prostora
- Funkcionalnost i dugotrajnost
- Socijalni i ekonomski aspekti

Procena se vrši koršćenjem skale koja se bazira na “tipičnoj” praksi u datoj sredini. Zgrada može da bude ocenjena sa -1 (ukoliko je lošija od tipične) ili od +1 do +5 predstavljajući zgrade dobrih do veoma dobrih performansi.

**LEED<sup>22</sup>** metod je razvijen u SAD 1998. godine i predstavlja sistem za ocenu zgrada zasnovan na upotrebi postojećih tehnologija [32]. Sastoji se od paketa za ocenu

---

<sup>21</sup> *Green Building Tool*

<sup>22</sup> *Leadership in Energy and Environmental Design*

projektovanja, izgradnje i rada zelenih zgrada, kuća i naselja visokih performansi [33]. Različite verzije omogućavaju ocenu, novih i potpuno renoviranih objekata, komercijalnih prostora, raznih vrsta individualnih kuća i okruženja, škola, bolnica itd., i to unutar sledećih kategorija :

- Održive lokacije (izgradnja zasnovana na prevenciji zagađenja, uticaj na razvoj mesta na kome se gradi, transportne alternative, upravljanje, efekat toplotnog ostrva i sprečavanje prodiranja svetlosti)
- Efikasnost potrošnje vode (smanjenje potrošnje vode na području, smanjenje potrošnje vode u objektu i strategija vezana za otpadne vode)
- Energija i atmosfera (puštanje u rad, optimizacija kompletne potrošnje zgrade, upravljanje rashladnim sistemom, korišćenje obnovljivih izvora i merenje i potvrđivanje)
- Materijali i izvori (reciklaža lokacija, ponovno korišćenje zgrada, upravljanje otpadom, kupovina materijala proizvedenih u regionu, materijali sa recikliranim sadržajem, brzo obnovljivi materijali, neprerađeni materijali i održivi materijali od drveta)
- Kvalitet unutrašnjeg prostora (kontrola dima cigareta, kvaliteta spoljašnjeg vazduha, ventilacija, kvalitet unutrašnjeg vazduha, upotreba materijala sa malom emisijom, kontrola sistema za grejanje i osvetljavanje)
- Inovacije i proces konstruisanja (LEED strategije za održivi dizajn)

Procena se vrši na način da objekat koji ima 40% od ukupno 69 poena koliko iznosi maksimum može biti sertifikovan, sa 50% objekat dobija oznaku “srebrni”, sa 60% “zlatni” i sa 80% “platinasti” [34].

**CASBEE**<sup>23</sup> je metod razvijen u Japanu 2001. godine, a ovaj sistem je akreditovan kao profesionalni 2005. Alati za procenu su bazirani na životnom ciklusu objekta i obuhvataju proces konstruisanja, novoizgrađene, postojeće i renovirane zgrade [32, 35]. Ovaj metod predstavlja novi koncept za ocenu objekata koji razdvaja opterećenje životne sredine od

---

<sup>23</sup> *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*

kvaliteta samog objekta, povezuje ova dva faktora i kao rezultat daje meru eko-efikasnosti. Rezultati se predstavljaju grafički tako što se na jednu osu nanosi opterećenje životne sredine a na drugu kvalitet samog objekta. Najbolje zgrade će se naći u delu gde je najmanje opterećenje sredine i najveći kvalitet zgrade. Svaki kriterijum je bodovan od 1 do 5.

Osnovne kategorije uključuju :

#### Kvalitet samog objekta

- Unutrašnji prostor (buka i akustičnost, toplotni komfor, osvetljenje i kvalitet vazduha)
- Kvalitet servisa (funkcionalnost i upotrebljivost, prijatnost, trajnost i pouzdanost, fleksibilnosti i prilagodljivost)
- Lokalna životna sredina (očuvanje i formiranje staništa za biljke i životinje, izgleda grada i prirode koja ga okružuje, prijatnost)

#### Opterećenje životne sredine

- Energija (toplotno opterećenje, korićenje energije iz prirode, efikasnost sistema, efikasno iskorišćenja)
- Izvori i materijali (očuvanje voda, reciklirani materijali, drvena građa, materijali sam malim rizikom po zdravlje)
- Šire okruženje (zagađenje vazduha, buka i vibracije, neprijatni mirisi, smetnje prodiranju sunčevog zračenja, toplotna ostrva, lokalna infrastruktura)

**Green Globes** je jedan od najnovijih metoda. Razvijen je u Kanadi, a u SAD je prihvaćen kao sistem za ocenu zgrada 2004. godine [36]. Ovaj metod daje mogućnost preliminarnog ocenjivanja nakon izrade idejnog projekta, a zatim i finalnog, nakon faze izrade dokumentacije [32]. Korisnici ovog sistema mogu da procene njihove sisteme na osnovu ostvarenog, u odnosu na broj mogućih bodova. Objekti moraju imati bar 35% od ukupnog mogućeg broja bodova da bi bili sertifikovani. Rangiranje se vrši u rasponu od 1-4 zelenih



globusa (1=35-54%, 2=55-69%, 3=70-84% i 4=+85%) [34]. Ovaj sistem kao alat za ocenu objekata je dostupan on-line i obuhvata sledeće kategorije kriterijuma:

- Upravljanje projektima (integrisano konstruisanje, doprinos za životnu sredinu, puštanje u rad, plan reagovanja u vanrednim situacijama)
- Zemljište (razvoj oblasti, smanjenja uticaja na ekosistem, unapređenje slivnih karakteristika, ekološko poboljšanje zemljišta)
- Energija (potrošnja energije, minimiziranje energetske potrebe, dimenzionisanje energetski efikasnog sistema, obnovljivi izvori, energetski efikasan transport)
- Vode (instalacije za snabdevanje vodom i sprečavanja prodiranja, zaštita instalacija, smanjenje prerade vode)
- Unutrašnjost (efektivni ventilacioni sistemi, kontrola izvora unutrašnjeg zagađenja, dizajn osvetljenja i integrisani sistemi za osvetljenje, toplotni komfor, akustični komfor)
- Resursi, građevinski materijali i čvrsti otpad (materijali sam malim uticajem na okolinu, minimiziranje potrošnje i iscrpljivanja resursa, ponovno korišćenje postojećih struktura, trajnost objekata, prilagodljivost i rastavljenost, ponovno korišćenje i reciklaža otpada)

## **5. INDIKATORI KAO KRITERIJUMI U PROCENI ODRŽIVOSTI**

### **5.1. Indikatori održivog razvoja**

Na konferenciji Ujedinjenih Nacija o životnoj sredini i razvoju održanoj u Rio de Žaneiru 1992, usvojen je akcioni plan vezan za Poglavlje 40 Agende 21 koji je predviđao izradu skupa indikatora održivog razvoja. Nacionalne, vladine i nevladine organizacije su pozvane da uzmu učešće u razvoju indikatora održivog razvoja radi obezbeđivanja čvrste osnove za donosiocima odluka na svim nivoima odlučivanja. Cilj ovog plana je bio da se uspostavi dugoročna politika održivog razvoja kao i da se ukaže na probleme u globalnoj privredi. Usvojeni su i doneti zakoni i sporazumi, prihvaćene su obaveze njihovog sprovođenja potpisivanjem Deklaracije i formirani odbori u mnogim zemljama. Poglavlje 40 Agende 21 sastojalo se iz dve celine [37]. Prva se odnosila na “Premošćavanje nedostajućih podataka” i predviđala je sledeći niz aktivnosti:

- razvoj indikatora održivog razvoja
- promociju globalne upotrebe indikatora održivog razvoja
- poboljšanje u prikupljanju i upotrebi podataka
- poboljšanje metoda procene i analize podataka
- uspostavljanje sveobuhvatne informacione osnove
- jačanje kapaciteta za tradicionalno informisanje

Drugi deo Poglavlja se odnosio na “Poboljšanje raspoloživosti informacija” i u okviru njega sledeće aktivnosti:

- proizvodnja informacija pogodnih za donošenje odluka
- uspostavljanje standarda i metoda za korišćenje informacija
- razvoja dokumentacije o informacijama
- uspostavljanje i jačanje elektronskog umrežavanja
- stavljanje u upotrebu komercijalnih informacionih izvora

Komisija za održivi razvoj (CSD<sup>24</sup>) Ujedinjenih Nacija je formirana na Generalnoj Skupštini Ujedinjenih Nacija 1992. godine kao međuvladino telo sastavljeno od članova izabranih od strane Ekonomskog i Socijalnog saveta iz redova članica Ujedinjenih nacija i njenih specijalizovanih agencija. Ova komisija je dobila zadatak da napravi listu osnovnih indikatora održivog razvoja. Tada se i pojavio prvi set od 134 indikatora održivog razvoja a nakon toga je vršena revizija i testiranje ovih indikatora u mnogim zemljama i taj broj indikatora je smanjen na 50. Ovi indikatori su odabrani tako da zadovolje tri osnovna kriterijuma. Prvi, da pokrivaju pitanja koja su od značaja za održivi razvoj u većini zemalja. Drugi, da daju važne informacije koje nisu dostupne iz drugih osnovnih indikatora. Treće, da se mogu izračunati od strane većine zemalja na osnovu već dostupnih podataka ili na osnovu podataka koji mogu biti dostupni u razumnom vremenu i sa razumnim troškovima [38].

Indikatori mogu vršiti različite funkcije. Prikupljene informacije mogu učiniti pogodnim za analizu od strane onih koji se bave odlučivanjem i na taj način doprineti donošenju boljih odluka. Oni mogu da pomognu da se znanje vezano za fizičke i društvene nauke spregne u cilju prosperiteta celokupnog društva. Predstavljaju korisne alate za komunikaciju ideja, misli i vrednosti i mogu pružiti rano upozorenje za sprečavanje ekonomskih, ekoloških i socioloških neuspeha jedne sredine.

Po svojoj prirodi, indikatori mogu biti *kvantitativni i kvalitativni*. Kvantitativni su zasnovani na merenju neke veličine ili količine. Ovi indikatori imaju neku fizičku veličinu ili se izražavaju u %. Drugi tip indikatora čine kvalitativni indikatori. Oni se često zasnivaju na mišljenju i oceni ljudi u vezi neke teme. Npr., na pitanje da li su zadovoljni kvalitetom vazduha u svome stanu, stanari mogu odgovoriti: "zadovoljan", "nezadovoljan" ili "kvalitet vazduha je prihvatljiv".

---

<sup>24</sup> *Commission on Sustainable Development*

## 5.2. Energetski indikatori održivog razvoja

Obezbeđivanje adekvatnih i pouzdanih energetskih usluga po pristupačnim cenama, na način koji je ekološki prihvatljiv i u skladu sa društvenim i ekonomskim razvojnim potrebama, bitan je element održivog razvoja. Međutim, većina zemalja u svetu koristi obrasce snabdevanja i korišćenja energije koji se smatraju neodrživim [39]. Mnogi delovi sveta nemaju pouzdano i sigurno snabdevanje energijom čija je posledica odsustvo energetskih usluga koje su presudne za ekonomski razvoj. Oko jedne trećine svetske populacije i dalje zavisi od snage životinja i upotrebljava nekomercijalna goriva, a oko 1.7 milijarde ljudi nema pristup električnoj energiji [40]. Sa druge strane, degradacija životne sredine kao posledica proizvodnje i korišćenja energije inhibira održivi razvoj [41]. Koliko god da je energija ključna za razvoj, ona je samo sredstvo za zadovoljenje naših potreba a to je dobro zdravlje, visok životni standard, održiva ekonomija i čista životna sredina [42].

Osnovni set indikatora održivog razvoja (ISD<sup>25</sup>) koji je napravljen od strane Komisije za održivi razvoj, sadržao je samo tri indikatora koja su bila u vezi sa energijom: godišnja potrošnja energije po glavi stanovnika, intenzitet potrošnje energije i udeo obnovljivih izvora u potrošnji energije. U cilju da se veći akcenat stavi na proizvodnju i potrošnju energije, Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA<sup>26</sup>) je 1999. godine započela dugoročni program izrade energetskih indikatora održivog razvoja. Ovaj projekat je sproveden u kooperaciji sa drugim međunarodnim organizacijama uključujući Međunarodnu agenciju za energiju (IEA<sup>27</sup>), Odeljenje za ekonomske i socijalne poslove Ujedinjenih Nacija (UNDESA<sup>28</sup>) i država članica Međunarodne agencije za atomsku energiju. Ceo projekat je zamišljen da:

- zadovolji potrebu za odgovarajućim setom energetskih indikatora
- pomogne zemljama u razvoju energetskih i statističkih kapaciteta neophodnih za promociju energetske održivosti

---

<sup>25</sup> *Indicators of Sustainable Development*

<sup>26</sup> *International Atomic Energy Agency*

<sup>27</sup> *International Energy Agency*

<sup>28</sup> *United Nations Department of Economic and Social Affairs*

- bude dopuna setu osnovnih indikatora održivog razvoja razvijenih od strane Komisije za održivi razvoj (CSD) Ujedinjenih Nacija

Ovaj projekat je imao dve faze. Prva faza (1999.-2001.g.) sastojala se od izrade seta od 41 energetskeg indikatora održivog razvoja kao i konceptualnog okvira za njihovu klasifikaciju i implementaciju. Druga faza je započeta 2002.g. kao trogodišnji istraživački projekat sa ciljem da se originalni set indikatora za održivi energetski razvoj implementira u sedam zemalja koje su odabrane na osnovu preporuka eksperata iz redova organizacija koje se bave uspostavljanjem baze podataka u energetici a zainteresovane su za razvoj energetske propisa u skladu sa ciljevima održivog razvoja. Takođe, druga faza je uključivala i rad na prečišćavanju originalnog seta energetske indikatora (IEA, UNDESA, Eurostat i evropska agencija za životnu sredinu (EEA<sup>29</sup>)), pa je kao rezultat ovih napora 2005.g. dobijen broj od 30 osnovnih energetske indikatora održivog razvoja. Ovih 30 indikatora su klasifikovani na osnovu tri osnovne dimenzije održivog razvoja: socijalne (4 indikatora), ekonomske (16 indikatora) i životne sredine (10 indikatora) [42].

Energetski indikatora nisu samo osnovna statistika. Oni izlaze van granica osnovne statistike i obezbeđuju dublje razumevanje uzročnih veza između energije, životne sredine i ekonomije, ističući veze koje ne moraju biti očigledne iz osnovne statistike. Uzeti zajedno, indikatora mogu dati sliku o celokupnom energetskeg sistemu, uključujući međusobne veze i razmene između različite dimezija održivog razvoja, kao i dugoročne posledice sadašnjih odluka i ponašanja. Promene vrednosti indikatora sa vremenom, pokazuju napredak ili njegovo odsustvo u vezi sa održivim razvojem.

Stručnjaci koji se bave izradama strategija imaju potrebu da mogu da izmere i ocene sadašnje i buduće uticaje korišćenja energije na zdravlje, društvo, vazduh, zemljište i vode. Njima je potrebno da znaju trenutni status održivosti zemlje u odnosu na energiju i ekonomiju, tj. šta je potrebno poboljšati i na koji način. Prema tome, za one koji se bave strategijama je važno da razumeju kakve posledice mogu imati odabrani energetski, ekološki i ekonomski programi, strategije i planovi na njihov na oblikovanje i izvodljivost održivog razvoja [40].

---

<sup>29</sup> *European Environmental Agency*

### ***5.2.1. Ekonomska dimenzija***

Dostupnost i pouzdanost energetske servisa je neophodna za obezbeđivanje ekonomskog razvoja. Svi sektori jedne ekonomije: stambeni, industrijski, komercijalni, transportni, uslužne delatnosti i poljoprivreda, zahtevaju energiju, tj. zavise od sigurnih energetske servisa sa dovoljnim kapacitetom snabdevanja. Proizvodnja energije snažno utiče na sve osnovne ekonomske aktivnosti: broj radnih mesta, industrijsku proizvodnju, urbani i ruralni razvoj. Električna energija predstavlja dominantnu formu i nezamenljiva je za proizvodne aktivnosti modernog društva, telekomunikacije, informacione tehnologije itd.

Energetski indikatori sa ekonomskom dimenzijom uključuju korišćenje energije, proizvodnju i snabdevanje; efikasnost snabdevanja i intenzitet finalne energije; cenu energije, oporezivanje i subvencije; pouzdanost (zavisi od uvoza i rezervi strateškog goriva) i raznolikost energije.

### ***5.2.2. Dimenzija životne sredine***

Proizvodnja, distribucija i upotreba energije vrše pritisak na životnu sredinu i to u domaćinstvima, na radnim mestima, u gradu, na nacionalnom, regionalnom i globalnom nivou. Prema tome, energetske indikatori su korisni za procenu uticaja energetske sistema u svim ovim sredinama. Indikatori životne sredine mere uticaj energetske sistema na celokupno okruženje pa su stoga glavni indikatori životne sredine: kvalitet zemljišta, vode i vazduha [41]. Ovi uticaji najviše zavise od načina proizvodnje i potrošnje energije, regulativa u oblasti energetike i cene energije. Emisija štetnih gasova i čestica kao posledica sagorevanja fosilnih goriva zagađuje atmosferu i uzrokuje veoma loš kvalitet vazduha na lokalnom nivou. Velike brane hidroelektrana uzrokuju plavljenje oblasti i pojavu mulja u rekama. Upotreba fosilnih i nuklearnih goriva, kao i geotermalne energije, uzrokuje emitovanje radioaktivnog zračenja i stvara različite vrste otpada sa različitim nivoom toksičnosti. Glavna pitanja vezana za dimenziju životne sredine uključuju klimatske promene, zagađenje vazduha, zagađenje vode, otpad, degradaciju zemljišta i nestanak šuma.

### ***5.2.3. Sociološka dimenzija***

Energetski indikatori sa sociološkom dimenzijom mere uticaj koji dostupni energetske servisi mogu imati na dobrobit društva u celini. Dostupnost energetskih servisa utiče na siromaštvo, mogućnosti za zapošljavanje, obrazovanje, razvoj zajednice i kulture, demografska kretanja, zagađenost prostora u kome borave ljudi, zdravlje. Sociološki energetske indikatori se odnose na pitanja u vezi sa pristupačnošću, dostupnošću i neujednačenošću u snabdevanju energijom i potrebom za njom. U bogatim zemljama su moderni energetske servisi koji obezbeđuju osvetljenje, grejanje, kuvanje itd. su univerzalno dostupni. Energija je čista i bezbedna, pouzdana i dostupna. Međutim, u siromašnim zemljama je čest slučaj da se i po više sati dnevno prikuplja drvo za ogrev i kuvanje.

Sociološka dimenzija razmatra dva osnovna pitanja: jednakost i zdravlje [40]. Princip jednakosti podrazumeva da se energetske resursi pošteno raspoređuju, tj. da su energetske servisi svima dostupni i da je cena energije takva da je svako može priuštiti. Potpuni nedostatak energetskih servisa ili veoma ograničen pristup, dovodi siromašne ljude u poziciju da veoma teško mogu da poboljšaju uslove života. Nedostatak električne energije, između ostalog, uzrokuje neadekvatno osvetljenje, ograničene telekomunikacije, odsustvo rashladne tehnike i nemogućnost bavljenja bilo kakvom kućnom proizvodnjom. Sa druge strane, ukoliko domaćinstvo zbog malih prihoda ne može da priušti komercijalni vid energije, dolazi do upotrebe tradicionalnih goriva i neefikasnih tehnologija što takođe ima za posledicu nejednakost u pristupu energiji i njenoj dostupnosti.

### ***5.3. Energetske indikatori održivog razvoja kao kriterijumi za vrednovanje stambenih objekata u sektoru zgradarstva***

Prvi korak u vrednovanju bilo kog energetske sistema se sastoji u određivanju granice tog sistema, da bi se zatim odredili kriterijumi na osnovu kojih će se taj sistem oceniti. Ukoliko posmatramo neki građevinski objekat (bilo da se radi o stambenom ili komercijalnom objektu), granica ovako odabranog energetske sistema će se poklopiti sa

njegovim termičkim omotačem koga čini površina koja razdvaja unutrašnju i spoljašnju sredinu preko koje se vrši razmena energije [43]. Sastoji se od zidova, prozora i vrata, krova i poda. Ovaj omotač čini toplotnu barijeru i ima veoma važnu ulogu u regulaciji unutrašnje temperature, tj. u određivanju količine energije potrebne za održavanje toplotnog komfora, pa samim tim značajno utiče i na količinu gasova staklene bašte emitovanih u atmosferu.

Konstrukcija objekta je na prvom mestu odgovorna za određivanje nivoa osvetljenja i energije potrebne za grejanje i hlađenje. Arhitekta i inženjeri su u novije vreme razvili nov, sveoubovhatni, pristup projektovanju u cilju maksimalno efikasnog osvetljenja i maksimalne toplotne efikasnosti dok lokalni klimatski uslovi predstavljaju glavni ulazni podatak u pronalaženju najboljeg konstruktivnog rešenja kada je u pitanju redukcija potrošnje energije. Ovo, npr., uključuje južnu orijentaciju prozora u oblastima sa hladnom klimom, postavljanje zastora za sprečavanje prodiranja sunčevog zračenja u unutrašnji prostor u toplim područjima, kao i dimenzionisanje svetlih otvora u omotaču (manji za hladna, veći za toplija područja) vodeći računa o obezbeđivanju neophodnih količina prirodne svetlosti. Takođe, energija se može sačuvati dobrom izolacijom zidova, podova i krovova, kao i upotrebom raznih pasivnih i aktivnih solarnih sistema.

Projektovanje kvalitetnih objekta u energetsom smislu pre svega ima za cilj zadovoljenje potrebe ljudi da žive u komfornom unutrašnjem prostoru i čistoj spoljašnjoj sredini. Obzirom da je omotač zgrade jedan višekomponentni sistem, teško je odrediti jedan kriterijum koji bi mogao da ga predstavi u smislu kvaliteta. Kada su u pitanju već izgrađeni objekti, jedan od indikatora kvaliteta objekta može mala količina energije koja se na godišnjem nivou po metru kvadratnom grejanog prostora koristi za njegovo zagrevanje.

Naravno, termički omotač zgrade nije jedini parametar za ocenu nekog objekta. Širok pristup ovoj problematici vodi ka uvođenju u razmatranje i drugih kriterijuma koji direktno utiču na kvalitet stanovanja, a zalaze u domen, ne samo ekonomskih parametara, već i parametara životne sredine i socioloških parametara. Za ugodan boravak ljudi u stambenom prostoru, važna je zastupljenost svih elemenata kojima se obezbeđuje komfor.



Takođe, sa aspekta održivog razvoja, važno je i da se taj komfor može ostvariti relativno malom potrošnjom energije.

## 6. PROCENA ODRŽIVOSTI KOMPLEKSNIH SISTEMA NA OSNOVU VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE

### 6.1. Metode za odabir kriterijuma za ocenu

Ne postoji ograničenje u broju kriterijuma koji mogu da predstavljaju karakteristike jednog energetskog sistema. Veliki broj kriterijuma ne mora po pravilu da bude i korisniji za ocenu održivosti energetskog sistema od manjeg broja kriterijuma. Da bi se odabrao racionalan broj kriterijuma a da se ne ugrozi proces ocenjivanja održivosti postoje principi koje je potrebno poštovati pri njihovom odabiru [44-46].

- Sistemski princip - Odabrani kriterijumi treba da predstavljaju osnovne karakteristike celokupnog energetskog sistema.
- Princip konzistentnosti - Sistem odabranih kriterijuma treba da bude u skladu sa ciljevima koji su postavljeni pri donošenju odluka.
- Princip nezavisnosti - Jedan kriterijum ne treba da obuhvata drugi kriterijum. Kriterijumi treba da odražavaju karakteristike alternativa iz različitih uglova.
- Princip merljivosti - Ukoliko je moguće, kriterijum treba da ima kvantitativnu vrednost ili da bude kvalitativno izražen.
- Princip uporedivosti - Rezultat donosioca odluke je racionalniji što je uporedivost kriterijuma očiglednija. Takođe, kriterijumi moraju biti normalizovani da bi se međusobno poredili i da bi se direktno moglo operisati sa kriterijumima koji prikazuju troškove i onima koji prikazuju dobrobit.

Ovi principi daju instrukcije donosiocima odluka u vezi sa odabirom kriterijuma. Međutim, nekada je teško slediti sve ove principe i može se desiti da se među odabranim kriterijumima nađe i neki koji ima minorni značaj. Zbog toga je neophodno pristupiti odabiru uz pomoć neke utvrđene metode koja omogućava odabir bitnog kriterijuma, razdvajajući pri tome glavno od sporednog. Osnovne metode za selekciju kriterijuma su: Delfi metod, Metod najmanjih kvadrata, Minmax metod devijacije i Metod korelacionog koeficijenta.

### 6.1.1. Delfi metod

Delfi metod je sistematičan i interaktivni metod koji se oslanja na znanje nezavisnih eksperata [44-47]. Delfi metod se zasniva na principu da je predviđanje grupe organizovanih eksperata tačnije od predviđanja individualnih eksperata [48]. Postupak se sastoji u tome da, u dva ili više prolaza, grupa pažljivo odabranih eksperata odgovara na pitanja iz upitnika za odabir kriterijuma koji će najbolje predstaviti neki energetski sistem. Posle svakog prolaza se rezultati ekspertske selekcije kriterijuma iz prethodnog prolaza, sa razlozima za njihov odabir, dostavljaju svim ekspertima. Na ovaj način se eksperti ohrabruju da koriguju svoje prethodne odgovore u svetlu razmišljanja i drugih članova grupe. Veruje se da će se prilikom sprovođenja ovog procesa opseg odabranih kriterijuma smanjiti, tj. da će rezultat rada grupe konvergirati ka korektnim kriterijumima. Ovaj proces se zaustavlja na osnovu unapred određenog kriterijuma za zaustavljanje koji može biti: unapred određen broj prolaza, dostizanje konsenzusa ili stabilnosti rezultata. Delfi metod je široko rasprostranjen u radovima koji se bave sociologijom, ekologijom i ekonomijom.

### 6.1.2. Metod najmanjeg srednjeg kvadrata

Sušтина metode najmanjeg srednjeg kvadrata je ta da jedan kriterijum nije bitan za krajnji rezultat i može biti izostavljen kada su njegove numeričke vrednosti za različite opcije skoro jednake iako je taj kriterijum od vitalnog značaja za energetski sistem koji se posmatra [44, 45, 47]. Neka je:

$$s_j = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (a_{ij} - \bar{a}_j)^2}, \quad (j=1,2,\dots,m) \quad (1)$$

gde je  $a_{ij}$  vrednost  $j$ -tog kriterijuma  $i$ -te opcije, pri čemu je :

$$\bar{a}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k a_{ij}, \quad (i=1,2,\dots,k) \quad (2)$$

Ako postoji  $l$  takvo da je  $s_l = \min_{1 \leq j \leq m} \{s_j\}$  i  $s_l \approx 0$ ,  $l$ -ti kriterijum, koji odgovara  $s_l$  može da se ukloni.

### 6.1.3. Minmax devijacioni metod

Minmax devijacioni metod je sličan metodi najmanjeg srednjeg kvadrata [44, 45, 47]. Kod ove metode se posmatra devijacija vrednosti različitih opcija u okviru jednog kriterijuma. Maksimalna vrednost devijacije kriterijuma  $a_j$  se može izračunati kao:

$$r_j = \max_{1 \leq i, l \leq k} \{|a_{ij} - a_{lj}|\} \quad (3)$$

Ako postoji  $l$  takvo da je  $r_l = \min_{1 \leq j \leq m} \{r_j\}$  i  $r_l \approx 0$ ,  $l$ -ti kriterijum, koji odgovara  $r_l$  može da se ukloni.

### 6.1.4. Metod korelacionog koeficijenta

Korelacioni koeficijent je veličina koja se u korelacionoj analizi koristi kao mera povezanosti dva kriterijuma. Korelacioni koeficijent između kriterijuma  $a_i$  i  $a_j$  može se izračunati kao:

$$r_{ij} = \frac{\text{cov}(a_i, a_j)}{\sigma(a_i)\sigma(a_j)} \quad (4)$$

gde je  $\text{cov}(a_i, a_j)$  kovarijansa kriterijuma  $a_i$  i  $a_j$ , a  $\sigma(a_i)$  i  $\sigma(a_j)$  njihove standardne devijacije [44].

Korelacioni koeficijenti između  $m$  kriterijuma formiraju  $m \times m$  matricu,  $R_{m \times m}$ . Kada je  $r_{ij}=1$ , kriterijum  $a_i$  je u potpunosti povezan sa kriterijumom  $a_j$ . Međutim, korelacioni koeficijent, više ili manje, uključuje uticaj ostalih kriterijuma koji nisu konstantni. Da bi se međusobna interakcija dva kriterijuma verno predstavila, određuje se parcijalni koeficijent korelacije koji se računa kao:

$$\xi_{ij} = \frac{-r_{ij}^*}{\sqrt{r_{ii}^* r_{jj}^*}} \quad (5)$$

gde su  $r_{ij}^*$ ,  $r_{ii}^*$  i  $r_{jj}^*$  algebarski komplementi (kofaktori [49]) elemenata,  $r_{ij}$ ,  $r_{ii}$  i  $r_{jj}$  tj.:

$$r_{ij}^* = (-1)^{i+j} \Delta_{ij} \quad (6)$$

Što je veći parcijalni korelacioni koeficijent, to je veza između dva kriterijuma veća. Kada je  $\xi_{ij} = 1$ , kriterijum  $a_i$  je potpuno povezan sa kriterijumom  $a_j$  i jedan od njih treba da se ukloni.

Na osnovu elementarnih metoda, razvijene su neke specifične metode za primenu u raznim kompleksnim sistemima sa ciljem da se eliminiše međusobna povezanost i obezbedi izbor nezavisnih kriterijuma.

## **6.2. Pregled metoda koje se koriste pri višekriterijumskom odlučivanju**

Višekriterijumsko odlučivanje (MCDM) je metodološka alatka koja je veoma korisna kada su u pitanju složeni inženjerski problemi. Jedna je od grana u kojima je “fuzzy” tehnika našla veoma široku primenu zbog toga što je veoma čest slučaj u praksi da su podaci koji se koriste u klasičnoj primeni MCDM pri rešavanju problema veoma neprecizni i nejasni i imaju značajna ograničenja [50]. Ova velika grupa metoda je podeljena na dve kategorije: višeobjektno odlučivanje (MODM<sup>30</sup>) i višeatributno odlučivanje (MADM<sup>31</sup>) [51].

Višeatributno odlučivanje (MADM) je ogranak opšte klase operativnih istraživačkih modela i veoma je poznato u oblasti donošenja odluka u prisustvu određenog broja kriterijuma (atributa). Ovaj pristup zahteva da je izbor (selekcija) alternative opisan njegovim atributima pri čemu se pretpostavlja da je broj alternativa unapred određen i ograničen. Rešavanje problema upotrebom ovog modela kao rezultat daje sortiranje i rangiranje alternativa. U okviru ovog modela se u matrici odlučivanja kombinuju informacije sa dodatnim podacima radi dobijanja rang liste ili odabira neke od alternativa [52].

Kod višeobjektnog odlučivanja, za razliku od višeatributnog, nisu date alternative u odlučivanju. Umesto toga, višeobjektno odlučivanje (MODM) obezbeđuje matematički okvir za formiranje alternativa u odlučivanju. Svaka, jednom definisana alternativa, se ocenjuje u odnosu na to koliko dobro zadovoljava jedan ili više objekta. Broj potencijalnih

---

<sup>30</sup> *Multi-objective Decision Making Method*

<sup>31</sup> *Multi-attribute Decision Making Method*

alternativa u višeobjektnom odlučivanju (MODM) može biti veliki. Rešenje podrazumeva selekciju.

Višekriterijumske metode su postale veoma popularne za ocenu održivosti energetskih sistema pre svega zbog toga što ovi sistemi imaju više-dimenzionalnu prirodu u pogledu održivosti [44]. Upotreba ovih metoda obezbeđuje da se eliminišu teškoće u procesu odlučivanja i zbog toga su rado korišćene od strane onih koji su uključeni u procese odlučivanja. One daju mogućnost sveobuhvatne procene jednog energetskog sistema sa gledišta održivosti.

Tradicionalni jednokriterijumski pristup je bio usmeren na pronalaženje najefikasnije opcije sa gledišta troškova. Osamdesetih godina prošlog veka u svest ljudi je sve više počela da ulazi briga za očuvanjem životne sredine, pa je i okvir jednokriterijumskog pristupa izmenjen. U današnje vreme višekriterijumske metode imaju široku upotrebu u sociološkim, ekonomskim, poljoprivrednim, industrijskim, ekološkim i biološkim sistemima [53-60]. U poređenju sa jednokriterijumskim, očigledna prednost višekriterijumskog modela se ogleda u mogućnosti da na osnovu više različitih atributa donese jedna sveobuhvatna ocena. Uopšteno govoreći, višekriterijumski metod primenjen za donošenje odluka u oblasti održivosti energetskog sistema uključuje “m” kriterijuma ( $a_1, \dots, a_m$ ) i “k” razmatranih opcija (alternativa) ( $O(1), \dots, O(k)$ ). Težinski koeficijenti u grupisanoj matrici odlučivanja su ( $w_1, \dots, w_m$ ) dok su vrednosti za svaki kriterijum “a” i razmatranu opciju “O” dati kao:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{k1} & a_{k2} & \dots & a_{km} \end{pmatrix}_{k \times m} \quad (7)$$

Gde je  $a_{ij}$  karakteristika “j”-tog kriterijuma i “i”-te alternative, a  $w_j$  težinski faktor “j”-tog kriterijuma.

Višekriterijumske metode za odlučivanje u oblasti održivosti energije se mogu podeliti na [44]:

- osnovne (npr. ponderisane sume, ponderisani proizvodi)

- metode sa posebnim sinteznim kriterijumom (npr. AHP<sup>32</sup>, TOPSIS<sup>33</sup>, "Grey relation"-metod)
- metode potiskivanja<sup>34</sup> (npr. ELECTRE<sup>35</sup>, PROMETHEE<sup>36</sup>)

### 6.2.1. Metod ponderisanih suma (WSM<sup>37</sup>)

Metod ponderisanih suma (WSM) se najčešće koristi u oceni održivosti energetske sistema [61-70]. Rezultat na osnovu koga se ocenjuje neka alternativa (opcija) se izračunava kao:

$$V_i = \sum_{j=1}^m w_j \cdot q_{ij}, \quad i = 1, \dots, k \quad (8)$$

Dobijeni rezultati omogućavaju rangiranje alternativa. Najbolja alternativa je ona koja ima maksimalnu izračunatu vrednost  $V_i$ . Vrednosti  $q_{ij}$  u jednačini (8) su prethodno normalizovane [71, 72] vrednosti kriterijuma  $a_{ij}$  na sledeći način [72]:

$$q_{ij} = \begin{cases} \frac{a_{ij}}{\max_i(a_{ij})}, & \text{ukoliko je "j" kriterijum dobiti} \\ \frac{\min_i(a_{ij})}{a_{ij}}, & \text{ukoliko je "j" kriterijum koštanja} \end{cases}$$

(i=1,...,k ; j=1,...,m) (9)

---

<sup>32</sup> *Analytic Hierarchy Process*

<sup>33</sup> *The Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions*

<sup>34</sup> *outranking*

<sup>35</sup> *Elimination Et Choix Traduisant la Réalité*

<sup>36</sup> *Preference Ranking Organization method of Enrichment Evaluation*

<sup>37</sup> *Weighted Sum Method*

### 6.2.2. Metod ponderisanih proizvoda (WPM<sup>38</sup>)

Metod ponderisanih proizvoda je sličan metodi ponderisanih suma. Osnovna razlika je u tome što se umesto aditivne sintezne funkcije koristi umnožavanje. Rezultat za “i”-tu alternativu se dobija na osnovu formule:

$$S_i = \prod_{j=1}^m a_{ij}^{w_j}, \quad i = 1, \dots, k \quad (10)$$

Svaki od atributa koji su uzeti u razmatranje, uvećani su stepenom koji odgovara njihovim težinskim koeficijentima. Proces umnožavanja ima u ovom slučaju isti efekat kao i proces normalizacije ukoliko se radi sa različitim fizičkim veličinama [72]. Logika celog procesa jeste da dodatno “kazni” alternative sa lošim vrednostima atributa [73]. Zbog toga što se u računu koristi ekponencijalna funkcija, ako je neki od atributa ima oblik razlomka, sve vrednosti koje su u vezi sa tim atributom se množe sa  $10^e$  ( $e \geq 1$ ) da bi se dobili brojevi veći od 1. Rezultati dobijeni za alternative na ovaj način nemaju gornju granicu i često oni koji se bave odlučivanjem nisu u mogućnosti da nađu stvarno značenje ovih rezultata. Radi lakšeg razmevanja može se izvršiti poređenje neke realne alternative (opcije) sa idealnom pomoću formule:

$$V_i = \frac{S_i}{S^*} = \frac{\prod_{j=1}^m (a_{ij})^{w_j}}{\prod_{j=1}^m (a_j^*)^{w_j}}, \quad i = 1, \dots, k \quad (11)$$

Gde je  $a_j^* = \max_i(a_{ij})$  i predstavlja najbolju vrednost sa stanovišta kriterijuma “j” za sve alternative. Ovaj način daje mogućnost da se jasno vidi da je porast vrednosti  $S_i$  direktno povezan sa približavanjem  $V_i$  jedinici [44].

### 6.2.3. Analitičko hijerarhijski postupak (AHP)

Analitičko hijerarhijski proces je razvijen od strane Tomasa Satija sedamdesetih godina [74] i jedan je od metoda koji se koristi u različitim domenima praktične primene

---

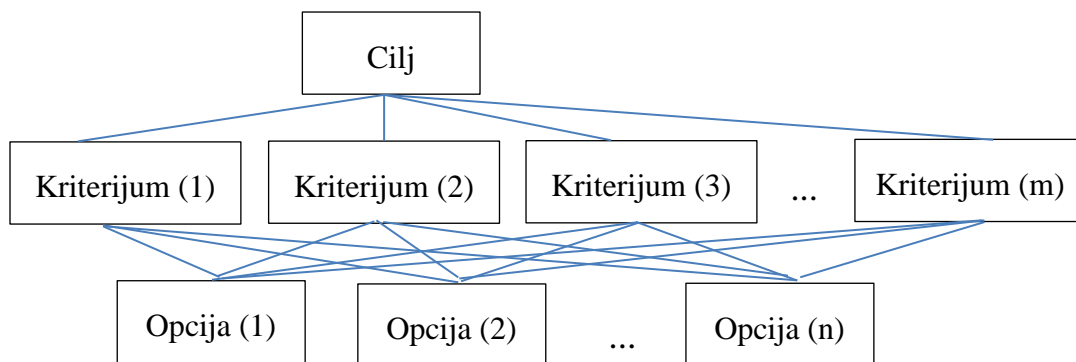
<sup>38</sup> *Weighted product method*



više kriterijumskog odlučivanja (sociološki, ekonomski, poljoprivredni, industrijski, energetska sistemi) [75-87]. Ovaj metod omogućava korisnicima da na intuitivan način dođu do kvantitativnog odnosa između različitih kriterijuma ili opcija u odnosu na neki dati kriterijum, tj. mogućnost da se i u odsustvu kvantitativnih odnosa prepoznaju važniji od manje važnih elemenata. Težinski faktori se dobijaju na osnovu poređenja parova svih kriterijuma jednog sa drugim. Osnovna procedura koja se sprovodi se sastoji od sledećih koraka:

Strukturisanje problema u odlučivanju i selekcija kriterijuma

Prvi korak u ovom procesu se sastoji u tome da se problem odlučivanja rasčlani na svoje konstitutivne delove. U svom najjednostavnijem obliku, ovo obuhvata cilj ili fokus na najvišem nivou hijerarhijske lestvice, kriterijume (ili podkriterijume) na srednjem, a opcije na najnižem nivou. Ovakav način uređivanja komponenata u hijerarhiji daje mogućnost opšteg pregleda složenih odnosa. Struktura hijerarhijske sheme je prikazana na slici 4.



Slika 4. Struktura analitičko hijerarhijskog procesa

Postavljanje prioriteta na osnovu poređenja parova kriterijuma (težinski faktori)

Za svaki par kriterijuma je potrebno odgovoriti na pitanje „Koliko je važan kriterijum  $q_a$  u odnosu na  $q_b$ ?“. Odnos dva kriterijuma se određuje na osnovu tabele 6 uvođenjem težinskih faktora između 1 (jednake važnosti) do 9 (ekstremna važnost jednog u odnosu

na drugi), pri čemu važi da ukoliko je  $r_{ij}=\alpha$ , odna je  $r_{ji}=1/\alpha$ , a  $r_{ij}=1$  (za  $i=j$ ) za svaki par. Težinski faktori se zatim normalizuju i osrednjavaju.

Tabela 6. Skala za poređenje parova

<i>Intenzitet važnosti</i>	<i>Definicija</i>	<i>Objašnjenje</i>
1	<i>Jednaka važnost</i>	<i>Dva faktora imaju podjednak doprinos na razmatrani cilj</i>
3	<i>Malo veća važnost</i>	<i>Jedan ima neznatno veći doprinos u odnosu na drugi</i>
5	<i>Srednje velika važnost</i>	<i>Jedan ima znatno veći doprinos u odnosu na drugi</i>
7	<i>Znatno veća važnost</i>	<i>Jedan ima mnogo veći doprinos u odnosu na drugi</i>
9	<i>Apsolutno veća važnost</i>	<i>Jedan ima apsolutno veći doprinos u odnosu na drugi</i>
2,4,6,8	<i>Srednje vrednosti</i>	<i>Kompromisne vrednosti u davanju prioriteta</i>

*Poređenje parova opcija za svaki kriterijum (vrednovanje)*

Na isti način kao i za parove kriterijuma, za svaki par opcija u okviru jednog kriterijuma na osnovu tabele 6 se vrši vrednovanje (na koji način se jedna opcija odnosi prema drugoj).

*Određivanje ukupne ocene za svaku opciju (alternativu)*

U završnom koraku, vrednosti opcija se kombinuju sa težinskim faktorima kriterijuma radi dobijanja ukupne vrednosti za svaku opciju, tj. dobija se ukupna ocena svake opcije u odnosu na zadati cilj. Opcija sa najvećom vrednošću je najbolja.

**6.2.4. Tehnika određivanja prioriteta na osnovu sličnosti idealnih rešenja (TOPSIS)**

Ova metoda se bazira na konceptu da najpoželjnija alternativa (opcija) treba da ima, ne samo najkraće rastojanje od pozitivne idealne solucije, već i najdalje rastojanje od negativne najlošije [57, 58, 88, 89]. Ovaj model je u upotrebi kod različitih praktičnih višekriterijumskih problema u vezi sa donošenjem odluka [90] pre svega zbog svoje

jednostavnosti i razumljivog koncepta, mogućnosti jednostavnog izračunavanja relativne karakteristike svake alternative matematičkim putem.

Tehnika određivanja prioriteta na osnovu sličnosti idealnih rešenja (TOPSIS) zahteva normalizovanje brojnih vrednosti svakog kriterijuma  $a_j$  sa svaku razmatranu alternativu (opciju)  $O_i$  na sledeći način:

$$q_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n a_{ij}^2}}, \quad (i = 1, \dots, k; \quad j = 1, \dots, m) \quad (12)$$

Pozitivno idealno rešenje  $O^+$  i negativno najlošije rešenje  $O^-$  se određuju na osnovu težinski normalizovanih vrednosti  $z_{ij}$  koje se dobijaju kao:

$$z_{ij} = w_j \cdot q_{ij}, \quad (i = 1, \dots, k; \quad j = 1, \dots, m) \quad (13)$$

$$O^+ = (z_1^+, z_2^+, \dots, z_m^+), \quad O^- = (z_1^-, z_2^-, \dots, z_m^-) \quad (14)$$

Gde je :

$$z_j^+ = \begin{cases} \max_i(z_{ij}), & \text{ukoliko je "j" kriterijum dobiti} \\ \min_i(z_{ij}), & \text{ukoliko je "j" kriterijum koštanja} \end{cases}$$

$$z_j^- = \begin{cases} \min_i(z_{ij}), & \text{ukoliko je "j" kriterijum dobiti} \\ \max_i(z_{ij}), & \text{ukoliko je "j" kriterijum koštanja} \end{cases}$$

$$(j = 1, \dots, m) \quad (15)$$

Rastojanje između opcije  $O_i$  i idealne opcije  $O^+$ , kao i rastojanje  $O_i$  od najlošije opcije  $O^-$  respektivno, može se izračunati po formulama:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_i^+ - z_{ij})^2}, \quad D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - z_i^-)^2}, \quad (i = 1, \dots, k) \quad (16)$$

Ukupna ocena svake od opcija se na kraju dobija kao:

$$V_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, \quad (i = 1, \dots, k) \quad (17)$$

Što je vrednost  $V_i$  veća, to je  $i$  opcija  $O_i$  bolja [72].

### 6.2.5. „Grey relation“ metod<sup>39</sup>

Ovaj metod spada u granu teorije „sivih sistema“<sup>40</sup> koja je razvijena 1980.g. [91] i dosta se koristi u primeni višekriterijumskih metoda kod energetskih sistema [92, 93]. Princip sivog relacionog metoda je sličan TOPSIS-u. Stepem sive relacije se definiše u okviru ove metode da bi pokazao bliskost dveju alternativa (opcija). Obično se definiše idealna opcija  $i$  u odnosu na nju se izračunava stepen sive relacije. Koeficijent sive relacije „ $j$ “-tog kriterijuma između opcije  $O_i$  i idealne solucije  $O^*$  se izračunava na sledeći način [44]:

$$s(O_j^*, O_{ij}) = \frac{\min_j \min_i |a_j^* - a_{ij}| + \xi \cdot \max_j \max_i |a_j^* - a_{ij}|}{|a_j^* - a_{ij}| + \xi \cdot \max_j \max_i |a_j^* - a_{ij}|} \quad (18)$$

Gde je:

$a_j^*$  – najpovoljnija vrednost za kriterijum „ $j$ “

$\xi$  – koeficijent razdvajanje ( $0 < \xi < 1$ )

$\min_j \min_i |a_j^* - a_{ij}|$  – je druga najmanja greška  $O_i$  i  $O^*$

$\max_j \max_i |a_j^* - a_{ij}|$  – je druga najveća greška

Stepen sive relacije je zatim jednak sumi ponderisanih koeficijenata sive relacije. Opcija sa maksimalnim stepenom ima najkraće rastojanje od idealne opcije i najduže

---

<sup>39</sup> Sivi relacioni metod

<sup>40</sup> Grey systems

rastojanje od najlošije. Prema tome, najbolja opcija se odabira prema stepenu sive relacije.

#### **6.2.6. Metod eliminacije i izbora u prihvatanju realnosti (ELECTRE)**

Ovaj metod obezbeđuje kompletno rangiranje opcija uključujući i kvantitativnu i kvalitativnu prirodu kriterijuma. Kod ovog modela problem je tako formulisan da se izabiraju opcije koje su prioritetne za najveći broj kriterijuma i da pri tome nisu neprihvatljive za bilo koji od tih kriterijuma [94]. Tehnika koja se primenjuje za izvođenje ove metode koristi indeks saglasnosti i indeks nesaglasnosti kao i kritične vrednosti. Takođe se uvode dijagrami za predstavljanje slabih zona prioriteta i jakih zona prioriteta međusobnih odnosa između opcija koji se koriste u iterativnom postupku za dobijanje ranga između opcija [95, 96]. Indeks je definisan u opsegu (0-1) i obezbeđuje ocenu stepena verodostojnosti rangiranja svakog para opcija i predstavlja test za proveru izvođenja svake opcije. Kada su date opcije  $O_i$  i  $O_k$  koje izražavaju vrednosti opcija u odnosu na „j“-ti kriterijum pod pretpostavkom da prva ima prioritet nad drugom, indeks saglasnosti  $C_{ik}$  se izračunava kao:

$$C_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^m w_j c_j(O_i O_k)}{\sum_{j=1}^m w_j} \quad (19)$$

Gde je  $w_j$  težinski koeficijent „j“-tog kriterijuma. Konačno, ELECTRE metod daje mogućnost binarnog rangiranja opcija i nekada nije u mogućnosti da prepozna prioritetnu. Ovaj metod daje samo skup vodećih alternativa i naročito je pogodan kada se u procesu donošenja odluke raspolaže sa nekoliko kriterijuma i velikim brojem opcija [95, 97].

#### **6.2.7. Metod određivanja ranga alternativa (PROMETEE)**

Ova metoda koristi princip potiskivanja opcija radi njihovog rangiranja. Karakteriše je smanjenje kompleksnosti problema tako što se uvodi princip višeg ranga da bi se izvršila klasifikacija opcija. Parovi opcija se međusobno porede i vrši se njihovo

rangiranje u odnosu na određeni broj kriterijuma. Postoji šest uopštenih funkcija koje se koriste kao kriterijum u postupku određivanja ranga i to su: uobičajeni kriterijum, „kvazi“ kriterijum, kriterijum sa linearnim prioritetom, kriterijum nivoa, kriterijum sa linearnim prioritetom i neosetljivim delom i Gausov kriterijum. Metod koristi prioritetsku funkciju  $P_j(a,b)$  koja predstavlja funkciju razlike  $d_j$  između dve opcije za kriterijum „j“, tj.:

$$d_j = f(a, j) - f(b, j) \quad (20)$$

Gde su  $f(a, j)$ ,  $f(b, j)$  - vrednosti alternativa (opcija) a i b za kriterijum „j“.

PROMETEE metod koristi dve kritične vrednosti „p“ i „q“ koji se takođe zasnivaju na odabranoj funkciji da bi se u proceni iskazao značaj izmerene razlike. Te vrednosti predstavljaju konstante i njih određuje donosilac odluke. Dve alternative (opcije) su neosetljive u odnosu na kriterijum „j“, ukoliko  $d_j$  ne prelazi graničnu vrednost „q“. Sa druge strane, ukoliko je  $d_j$  veće od „p“ postoji izražena prednost. Donosilac odluke određuje skup težinskih koeficijenata  $w=(w_1, \dots, w_m)$  za m kriterijuma i stepen ranga alternativa (opcija):

$$\pi(a, b) = \frac{\sum_{j=1}^m w_j P_j(a, b)}{\sum_{j=1}^m w_j} \quad (21)$$

Na osnovu ove vrednosti se definišu maksimalna i minimalna vrednost alternative u procesu određivanja ranga alternativa u setu alternativa „A“ [95]:

$$\Phi^+(a) = \sum_A \pi(a, b), \quad \Phi^-(a) = \sum_A \pi(b, a) \quad (22)$$

Gde je stvarna vrednost ranga alternative u setu alternativa „A“:

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (23)$$

Najbolja je ona alternativa koja ima maksimalnu vrednost  $\Phi(a)$ . Alternativa „a“ potiskuje „b“ ukoliko je  $\Phi(a) > \Phi(b)$ , dok su podjednake ukoliko je  $\Phi(a) \geq \Phi(b)$ .

## **7. VIŠEKRITERIJUMSKI METOD U PROCESU DONOŠENJA ODLUKA**

Odlučivanje je jedna od najznačajnijih ljudskih aktivnosti. U svakodnevnom životu su česte situacije da se odluke donose birajući jednu od više mogućih alternativa. Kada se odlučivanje bazira na jednom kriterijumu, ovaj proces je prilično jednostavan. Tradicionalni jednokriterijumski pristup rešavanju problema je uglavnom bio ekonomske prirode i imao je za cilj prepoznavanje najefikasnije opcije prema ceni koštanja. Međutim, fokusiranje na stanje životne sredine i socijalni aspekt održivog razvoja stvorilo je potrebu za multikriterijumskim pristupom u različitim energetske sistemima. Specifična karakteristika multikriterijumske metode je da na osnovu više različitih kriterijuma daje jedan intergrirani rezultat.

Održivost (ili neodrživost) jednog energetske sistema nije veličina koja se lako može odrediti. Ona se ne nameće prirodno kao direktna posledica odabranih energetske indikatora.

### **7.1. Tehnika sinteze pomoću 'Fuzzy' skupova**

Fazi logika (fuzzy logic) je logika koja prepoznaje više od jednostavno istinite ili neistinite tvrdnje (ili vrednosti). Njena upotreba je veoma korisna kod ekspertske sistema jer neka tvrdnja može biti predstavljena sa određenim stepenom istine ili neistine. Fazi logika dosta podseća na ljudsko zaključivanje pri upotrebi približnih informacija i donošenju odluka sa određenom nesigurnošću. Teorija fazi skupova je posebno dizajnirana da pruži matematički aparat za predstavljanje neizvesnosti i neodređenosti koje se javljaju u mnogim problemima [98].

Energetski podindikator se formiraju na osnovu kvantitativnih podataka. Ove fizičke veličine predstavljaju ulazne veličine u matematičkom modelu pomoću koga se određuje srednja vrednost indeksa održivosti energetske sistema. Energetski podindikator (ili kriterijumi) nisu pogodni za izračunavanje srednjeg indeksa održivosti. Oni imaju različite fizičke dimenzije (€/kWh, kg/kWh, kWh/€,...i td.) i intervale opsega tako da se ne mogu u takvom obliku koristiti za izračunavanje brojne vrednosti indeksa održivosti (SI) za odabrane alternative (objekte). Uvođenjem procesa normalizacije svih numeričke

vrednosti podindikatora (kriterijuma, atributa) pomoću "Fuzzy logic" metode, dobija se skup bezdimenzionih elemenata čije vrednosti se kreću između 0 i 1 [50] (fazi skup) i koji se, kao takvi, dalje mogu koristiti u proračunu.

## 7.2. Normalizacija podindikatora

Podindikator održivog razvoja su različite fizičke veličine i one nisu pogodne za međusobno poređenje. Da bi se obezbedilo međusobno poređenje ovih veličina, neophodno je izvršiti njihovu normalizaciju. U procesu normalizacije se konvertuju apsolutne vrednosti podindikatora u bezdimenzione vrednosti bez gubitaka pri njihovom uopštavanju. Neka je  $q_{ij}=f(a_{ij})$  za  $j=\text{const.}$  stepena funkcija, neka se vrednost podindikatora za različite opcije može menjati u intervalu od MIN do MAX, i neka je  $\theta$  neki pozitivan broj. Ova procedura podrazumeva nalaženje pridružene funkcije  $q_i=f(a_i)$  takve da je nejednačina  $0 \leq q_i \leq 1$  tačna za svaki odabrani kriterijum „j“, tj. za  $j=\text{const.}$  prema formuli:

Za monotono rastuće vrednosti podindikatora ( $q_i$  raste kada raste vrednost  $a_i$ )

$$q_i = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & , \quad a_i \leq MIN \\ \left( \frac{a_i - MIN}{MAX - MIN} \right)^\theta & , \quad MIN < a_i < MAX \\ 1 & , \quad a_i \geq MAX \end{array} \right\}_{i=1,k} \quad (24)$$

Za monotono opadajuće vrednosti podindikatora ( $q_i$  opada kada raste vrednost  $a_i$ )

$$q_i = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & , \quad a_i \leq MIN \\ \left( \frac{MAX - a_i}{MAX - MIN} \right)^\theta & , \quad MIN < a_i < MAX \\ 0 & , \quad a_i \geq MAX \end{array} \right\}_{i=1,k} \quad (25)$$

Gde su:

MIN - najniža apsolutna vrednost posmatranog podindikatora ( $j=\text{const.}, i=1,k$ )

MAX - najviša vrednost posmatranog podindikatora ( $j=\text{const.}, i=1,k$ )

$q_i$  - normalizovane vrednosti podindikatora



Θ - stepen normalizacije

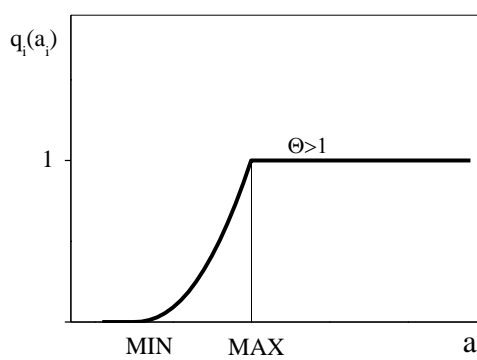
### 7.3. Linearna i nelinearna normalizacija

EkspONENT  $\theta$  određuje karakter konveksnosti, odnosno konkavnosti pridružene funkcije  $q_i=q_i(a_i)$  i bira se na osnovu iskustva istraživača [94]. Na osnovu znaka drugog izvoda pridružene funkcije  $q_i''(a_i)$ , može se izvršiti analiza karaktera pridružene funkcije u zavisnosti od vrednosti parametra  $\theta$ . Neka je drugi izvod dat u formulama koje slede respektivno za rastuću i opadajuću pridruženu funkciju:

$$q_i'' = \theta(\theta - 1) \left( \frac{a_i - MIN}{MAX - MIN} \right)^{\theta-2} \frac{1}{(MAX - MIN)^2} \quad (26)$$

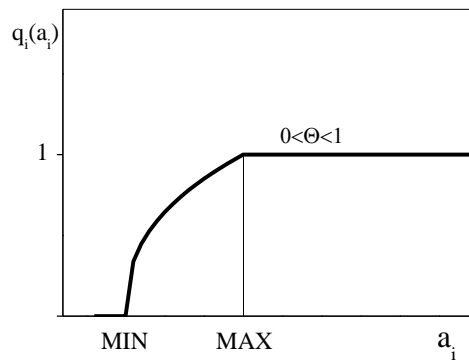
$$q_i'' = \theta(\theta - 1) \left( \frac{MAX - a_i}{MAX - MIN} \right)^{\theta-2} \frac{1}{(MAX - MIN)^2} \quad (27)$$

Kada je  $\theta > 1$  iz jednačine (26) se dobija da je  $q_i''(a_i) > 0$ , pa je rastuća funkcija  $q_i(a_i)$  konkavna kao na slici 5.



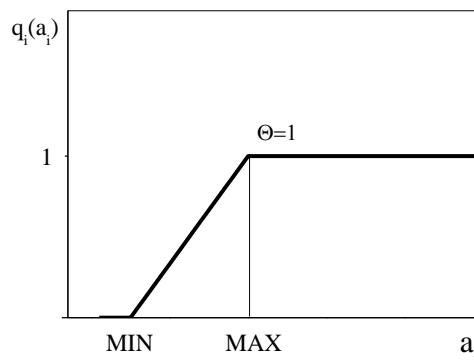
Slika 5. Rastuća funkcija  $q_i(a_i)$  je konkavna

Kada je  $0 < \theta < 1$  iz jednačine (26) se dobija da je  $q_i''(a_i) < 0$ , pa je rastuća funkcija  $q_i(a_i)$  konveksna kao na slici 6.



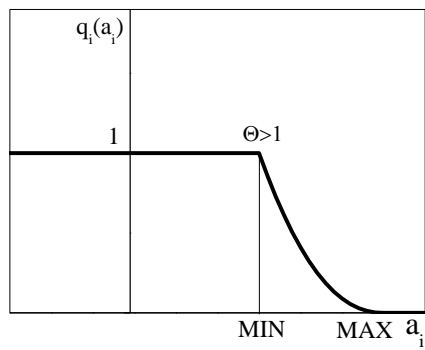
Slika 6. Rastuća funkcija  $q_i(a_i)$  je konveksna

Kada je  $\theta = 1$  iz jednačine (26) se dobija da je  $q_i''(a_i) = 0$ , pa je rastuća funkcija  $q_i(a_i)$  linearna kao na slici 7.



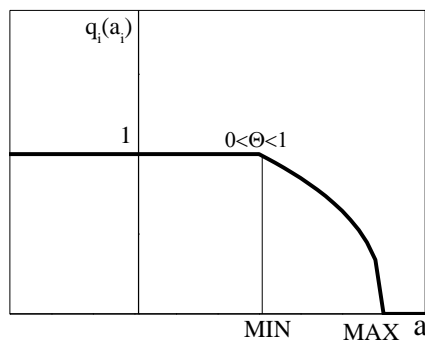
Slika 7. Rastuća funkcija  $q_i(a_i)$  je linearna

Kada je  $\theta > 1$  iz jednačine (27) se dobija da je  $q_i''(a_i) > 0$ , pa je opadajuća funkcija  $q_i(a_i)$  konkavna kao na slici 8.



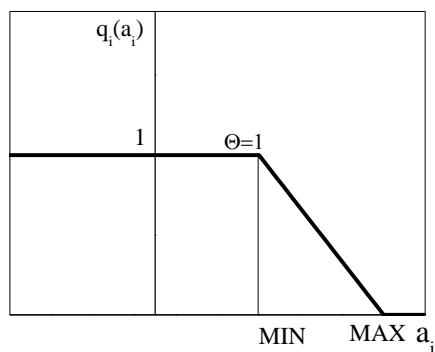
Slika 8. Opadajuća funkcija  $q_i(a_i)$  je konkavna

Kada je  $0 < \theta < 1$  iz jednačine (27) se dobija da je  $q_i''(a_i) < 0$ , pa je opadajuća funkcija  $q_i(a_i)$  konveksna kao na slici 9.



Slika 9. Opadajuća funkcija  $q_i(a_i)$  je konveksna

Kada je  $\theta = 1$  iz jednačine (27) se dobija da je  $q_i''(a_i) = 0$ , pa je opadajuća funkcija  $q_i(a_i)$  linearna kao na slici 10.



Slika 10. Opadajuća funkcija  $q_i(a_i)$  je linearna

Najpopularnija funkcija normalizacije je linearna funkcija, gde je stepen normalizacije  $\theta=1$ . Poređenje indeksa održivosti i pripadajuće standardne devijacije za  $\theta = 1$  i  $\theta \neq 1$  je predstavljena kasnije u ovom radu, za određene posmatrane slučajeve, zasnovano na realnim vrednostima podindikatora iz prakse.

Proces normalizacije pretvara apsolutne vrednosti podindikatora u Fuzzy set normalizovanih podindikatora. Maksimalna vrednost  $q_{ij}=1$  ( $i=1,k; j=\text{const.}$ ) pokazuje da je sa gledišta  $j$ -tog kriterijuma  $i$ -ti objekat (ili opcija) najodrživiji dok minimalna vrednost  $q_{ij}=0$  ( $i=1,k; j=\text{const.}$ ) pokazuje da je sa gledišta  $j$ -tog kriterijuma  $i$ -ti objekat (ili opcija) najneodrživiji.

#### 7.4. Postupak aglomeracije. Sintezne funkcije.

Pojedinačni doprinos svakog podindikatora odgovarajućem indikatoru je teško odrediti. Za određivanje značaja svakog pojedinačnog podindikatora na odgovarajući indikator koriste se težinski koeficijenti ( $w$ ) i određena sintezna funkcija ( $Q$ ) za njihovu aglomeraciju. Osnovu vrlo popularne sintezne funkcije čini jednačina [94]:

$$Q_{\lambda}(q_1, q_2, \dots, q_m; w_1, w_2, \dots, w_m) = \left( \sum_{j=1}^m w_j \cdot q_j^{\lambda} \right)^{\frac{1}{\lambda}} \quad (28)$$

U zavisnosti od vrednosti koeficijenta  $\lambda$ , ova funkcija se transformiše različite sintezne funkcije. Za  $\lambda=1$  dobija se *aditivna sintezna funkcija* koja se još naziva i *srednje težinska aritmetička funkcija*:

$$Q_+(q, w) = \sum_{j=1}^m w_j q_j \quad (29)$$

Za  $\lambda \rightarrow 0$  funkcija ima oblik *višestruke sintezne funkcije* koja se još naziva *srednjom težinskom geometrijskom funkcijom*:

$$Q_x(q, w) = \prod_{j=1}^m q_j^{w_j} \quad (30)$$

Dok se za  $\lambda = -1$  dobija *harmonična sintezna funkcija* koja se još naziva *srednje težinska harmonična funkcija*:

$$Q_h(q, w) = \left( \sum_{j=1}^m \frac{w_j}{q_j} \right)^{-1} \quad (31)$$

Kao najjednostavnija i najlakša funkcija za predstavljanje, najčešće je u upotrebi *aditivna sintezna funkcija*, jednačina (29). Ona predstavlja najprirodniji oblik određenog agregovanog kriterijuma za većinu eksperata u procesu odlučivanja [99-101] i u ovom radu je upotrebljena i za prvi i za drugi nivo aglomeracije, tj. koristi se za aglomeraciju podindikatora u indikatore, kao i za aglomeraciju indikatora u indeks održivosti.

### 7.5. *Korišćenje 'ASPID' metode za donošenje odluka*

ASPID metodologija je matematički postupak koja se zasniva na “sinteznoj tehnici fazi skupova” i predstavlja podršku u procesu odlučivanja. Puno ime ove metodologije Analiza i sinteza parametara usled nedostatka informacija [102-104], a njena suština leži u mogućnosti da radi sa nenumeričkim (nebrojivim), neegzaktim (intervalnim) i nepotpunim informacijama.

Ova metoda je zasnovana na stohastičkim modelima neodređenosti [94] i lako se može realizovati na računaru u cilju sinteze različitih kriterijuma radi dobijanja opšteg indeksa održivosti koji karakteriše neku alternativu (opciju) korišćenjem NNN<sup>41</sup> informacije koja je dobijena iz izvora različite pouzdanosti i verovatnoće. Zasniva se na neodređenosti težinskih koeficijenata i njena primena je veoma korisna u slučajevima analize i sinteze kriterijuma kada ne postoje brojne vrednosti o stepenu uticaja početnih kriterijuma na njihovu opštu ocenu.

### **7.6. Vrednosti težinskih koeficijenata pri nedostatku informacija. Randomizacija neodređenih težinskih koeficijenata.**

Za definisanje težinskih koeficijenata, koristeći ideju stohastičke neodređenosti, Bayes [105] je upotrebio verovatnoću neodređenog izbora vrednosti težinskog koeficijenta  $w$  iz skupa uniformno raspoređenih vrednosti u intervalu  $[0,1]$ .

Ako težinske koeficijente određujemo unutar koraka  $h=1/n$  gde je  $n$  ceo i pozitivan broj kojim delimo interval  $[0,1]$  to nam daje mogućnost da beskonačan skup svih mogućih težinskih koeficijenata zamenimo konačnim skupom  $W(m,n)$  koji čini  $N(m,n)$  svih mogućih diskretnih komponenata čije vrednosti pripadaju skupu [99, 106]:

$$w_j \in w(n) = \left\{ 0, \frac{1}{n}, \frac{2}{n}, \dots, \frac{n-2}{n}, \frac{n-1}{n}, 1 \right\} \quad (32)$$

$$W(m, n) = \left\{ \begin{array}{l} w^{(t)} = (w_1^{(t)}, w_2^{(t)}, \dots, w_m^{(t)}), w_j^{(t)} \in w(n), \\ w_1^{(t)} + w_2^{(t)} + \dots + w_m^{(t)} = 1, t \in T(m, n) \end{array} \right\} \quad (33)$$

Gde je:

$$T(m, n) = \{1, 2, \dots, N(m, n)\} \quad (34)$$

a broj svih mogućih diskretnih komponenata [106]:

---

<sup>41</sup> *non-numeric, non-exact, non-complete*

$$N(m, n) = \frac{(n + m - 1)!}{n! (m - 1)!} \quad (35)$$

Najčešći slučaj u praksi je da nema dovoljno informacija na osnovu kojih bi istraživači tačno odredili težinske koeficijente  $w_i$ . U ovakvim slučajevima pogodno imati neku informaciju  $I$  koja može biti nenumerička, neegzaktna i nekompletna, ali koja omogućava da se skup  $W(m, n)$  koji predstavlja skup svih mogućih diskretnih komponenata svede na skup  $W(I; m, n)$  svih težinskih vektora koji ispunjavaju uslove informacije  $I$ . Ova nenumerička informacija  $I$  se sastoji od određenog broja ograničenja i odnosi se na uzajamni odnos kriterijuma koji se razmatraju.

$$W(I; m, n) = \{w^{(s)}, s = 1, \dots, N(I; m, n) \leq N(m, n)\} \quad (36)$$

Nenumerička informacija  $I$  koja postoji kao ograničenje dato između definisanih indikatora, naziva se ordinalnom informacijom i predstavlja se kao jednačina ili nejednačina na sledeći način:

$$OI = \{w_i > w_j, w_r = w_s, \dots, i, j, r, s, \dots \in \{1, \dots, m\}\} \quad (37)$$

Dok se neegzaktna intervalna informacija koja se uvodi kao ograničenje vezano za težinski faktor  $w$ , predstavlja sistemom nejednačina:

$$II = \{a_j \leq w_j \leq b_j, j \in \{1, \dots, m\}\} \quad (38)$$

U slučaju kada je objedinjena informacija  $I=OI \cup II$  nedovoljna za jednoznačno određivanje težinskih koeficijenata, radi se o nepotpunoj informaciji  $I$ . Dakle, u opštem slučaju, istraživač raspolaze nenumeričkom, neegzaktnom i nepotpunom informacijom (NNN-informacijom) [106, 107].

### 7.7. Indeks održivosti

Indeks održivosti je aglomerisani indikator za merenje kvaliteta jednog energetskog sistema [108] i zasniva se na pretpostavci da je energetski sistem veoma kompleksan. Kvalitet odabranih opcija se definiše pomoću energetskih indikatora održivog razvoja, koji

su grupisani u tri seta podindikatora: ekonomski podindikator, podindikator životne sredine i sociološki podindikator. Prvi korak u određivanju indeksa održivosti neke opcije je odabir „ $\mathbf{m}$ “ kriterijuma ( $a_1, \dots, a_m$ ) na osnovu kojih će se procenjivati neka od „ $\mathbf{k}$ “ razmatranih opcija ( $O(1), \dots, O(k)$ ). Odabrani kriterijumi čine grupe ekonomskih podindikatora ( $Ec_1, Ec_2, \dots, Ec_m$ ), podindikatora životne sredine ( $En_1, En_2, \dots, En_m$ ) i socioloških podindikatora ( $Sc_1, Sc_2, \dots, Sc_m$ ) gde je  $m'+m''+m'''=m$ . Veličine  $m', m'', m'''$  predstavljaju, redom, broj odabranih kriterijuma iz svake grupe podindikatora (ekonomski, životne sredine, sociološki). Selekcija kriterijuma je subjektivna i zavisi od eksperta koji ih formira. Nakon uspostavljanja kriterijuma, svakoj opciji se dodeljuje određena vrednost podindikatora koja se obično dobija merenjem ili proračunom i predstavlja meru kvaliteta nekog objekta (opcije) sa tačke gledišta tog kriterijuma. Drugim rečima, svaka od razmatranih opcija nekog energetskog sistema  $O(i)$  ( $i=1, k$ ) je opisana vektorom  $q_{ij}=f(a_{ij})$  ( $i=\text{const}; j=1, m$ ) (Poglavlje 7.2.) gde je  $q_{i,j}=Ec_n^j$  ( $i=\text{const}; j=1, m'$ ),  $q_{i,j+m''}=En_n^j$  ( $i=\text{const}; j=1, m''$ ) i  $q_{i,j+m'+m''}=Sc_n^j$  ( $i=\text{const}; j=1, m'''$ ) [99].

Ukoliko za ocenu neke od razmatranih opcija opisane vektorom pojedinačnih kriterijuma  $q^{(i)}=(q_1^{(i)}, q_2^{(i)}, \dots, q_m^{(i)})$  odaberemo sinteznu aditivnu funkciju  $Q_+(q;w)$  prikazanu jednačinom (29) [109] i neki vektor težinskih koeficijenata  $w^{(t)}=(w_1^{(t)}, w_2^{(t)}, \dots, w_m^{(t)})$  koji je dobijen iz velikog broja prihvatljivih vektora težinskih koeficijenata  $W(I;m,n)$  datih u jednačini (36) odabranih tako da zadovoljavanju informaciju  $I$ , dobija se:

$$Q_i^{(t)}(I) = Q_+^{(t)}(q^{(i)}; I) = Q_+(q^{(i)}; w^{(t)}; I) = \sum_{j=1}^m w_j^{(t)} \cdot q_j^{(i)} \quad (39)$$

Na ovaj način se za ocenu neke opcije dobija čitava klasa rešenja u zavisnosti od odabranog vektora pojedinačnih težinskih koeficijenata koji međusobno ne moraju biti različiti:

$$\left\{ Q_+^{(t)}(q^{(i)}; I), t \in T(m, n; I) = (1, \dots, N(m, n; I)) \right\} \quad (40)$$

Ovo su praktično sva rešenja (ocene) posmatrane opcije “ $i$ ” tačke gledišta informacije  $I$ . Sada se kao krajnja ocena može uzeti matematičko očekivanje:



$$\bar{Q}_+^{(i)}(I) = M\tilde{Q}_+^{(i)}(I) = MQ_+(q^{(i)}; \tilde{w}(I)) = \frac{1}{N(n, m, I)} \sum_{t=1}^{N(n, m, I)} Q_+^{(t)}(q^{(i)}; w^{(t)}) \quad (41)$$

randomizovanih pokazatelja:

$$\tilde{Q}_+^{(i)}(I) = Q_+(q^{(i)}; \tilde{w}(I)) \quad (42)$$

pri čemu se za meru tačnosti ovako izračunate ocene prirodno uzima standardna devijacija koja se izračunava po formuli:

$$SD^{(i)}(I) = \sqrt{D\tilde{Q}_+^{(i)}(I)} = \sqrt{\frac{1}{N(n, m, I)} \sum_{t=1}^{N(n, m, I)} [Q_+^{(t)}(q^{(i)}; w^{(t)}) - \bar{Q}_+^{(i)}(I)]^2} \quad (43)$$

Zbog linearizacije brojnih vrednosti indikatora, javlja se rasipanje koje zavisi od vrednosti  $n$ . Kao dodatni faktor za ocenu para opcija uvodi se verovatnoća dominacije jedne opcije. Ako se posmatra par uzastopnih opcija  $A(i)$  i  $A(l)$ , a pod pretpostavkom da je  $\bar{Q}_+(q^{(i)}; I) > \bar{Q}_+(q^{(l)}; I)$ , mera pouzdanosti pri davanju prioriteta jednoj opciji izračunava se po formuli:

$$P(i, l; I) = P\{\tilde{Q}_+^{(i)}(I) > \tilde{Q}_+^{(l)}(I)\} = \frac{N\{s: Q_+^{(s)}(q^{(i)}) > Q_+^{(s)}(q^{(l)})\}}{N(m, n; I)} \quad (44)$$

Gde je  $s: Q_+^{(s)}(q^{(i)}) > Q_+^{(s)}(q^{(l)})$  broj elemenata konačnog skupa.

## **8. PRIMENA VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE ZA OCENU ODRŽIVOG RAZVOJA ZGRADARSTVA U BEOGRADU**

### **8.1. Građevinski fond Beograda**

Teritorija Beograda pokriva 3.6% teritorije Srbije, a od ukupnog broja stanovnika u zemlji oko 21% živi na toj teritoriji. Prema statističkim podacima Popisa 2002.g. [110], ukupan broj stanovnika iznosi 1,576,124, dok u samom gradu živi 1,273,651 stanovnik. Sastoji se od 17 opština od kojih je 10 centralnih i 7 prigradskih i ima 567,325 domaćinstava.

Građevinski fond Beograda postoji kao skup velikog broja građevinskih objekata nastalih u određenom vremenu i prostoru. Njegovo formiranje je rezultat neprekidnog procesa koji se odvijao u uslovima preklapanja različitih planskih i regulativnih akata, a veoma često i u uslovima njihovog odsustva ili nesprovođenja. Jedna od osnovnih karakteristika građevinskog fonda Beograda jeste odsustvo ozbiljnog planiranja izgradnje. Stihijska gradnja je najviše obeležila poslednje decenije izgradnje kada je odsustvo velikih investicija neophodnih za masovnu gradnju, a sa druge strane želja za velikim profitom i potreba za novim stambenim prostorom, dovelo do nekontrolisane gradnje. Ono što posebno karakteriše poslednje decenije izgradnje Beograda jeste poguščavanje stambenih oblasti, najčešće ostvareno dogradnjama i nadgradnjama već postojećih objekata. Ovaj proces se veoma loše odrazio na urbani kvalitet samog gradskog jezgra kao i na smanjenje kapaciteta za eventualne buduće intervencije na samim objektima [11].

Može se reći da “solidna” gradnja predstavlja tradicionalni način gradnje kod nas. Materijali velike zapreminske mase, kao što su opeka i beton, su najčešće bili u upotrebi u Beogradu tokom 20. veka, a koriste se i danas. Bez obzira na godište izgradnje i očekivani vek trajanja, osnovne strukture ovako građenih objekata su do danas prilično dobro očuvane [11].

Infrastrukturna opremljenost grada je veoma raznolika, a kada su u pitanju različite gradske zone i veoma neravnomerno raspoređena. Specifičnost stambenog fonda Beograda se ogleda i u tome da je posleratna izgradnja uglavnom favorizovala kolektivnu

gradnju (naročito posle 1965.g.). Osnovna karakteristika ovog načina gradnje bila je masovnost proizvodnje, unifikacija elemenata i spojeva. Ovakav način gradnje bilo je moguće ostvariti samo na velikom prostoru i sa koncentracijom gradnje što nije bilo primenljivo u centralnim gradskim zonama. Nova naselja su zbog toga nastajala na tadašnjoj periferiji grada, najčešće u vidu satelitskih celina ali uz potpuno komunalno opremanje. Brza i jeftina gradnja je predstavljala osnov napretka i često su se zanemarivali aspekti komfora i energetske efikasnosti izgrađenih objekata. Može se reći da postojeći objekti u većoj ili manjoj meri ne ispunjavaju standarde propisane u skladu sa komforom, što je pre svega posledica odsustva regulacije u doba kada su projektovani. Može se reći da ni danas kod nas nisu svi aspekti komfora podjednako obrađeni i normirani, pa tako kod nas postoje standardi vezani za termalni komfor i oni su bliski evropskim standardima dok se veoma malo ili uopšte ne vodi računa o uticaju materijala i elektromagnetnom komforu.

Kada je u pitanju starost građevinskog fonda Beograda, može se smatrati da on u najvećoj meri potiče iz dvadesetog veka, jer su objekti izgrađeni pre ovog perioda zastupljeni u malom procentu (tab.7) [11]. Starost objekata je direktno povezana sa aspektom prostornog standarda. Stanovi, građeni u doba socijalizma, su morali da ispune određene uslove vezane za jednakost u pravu na stambenu površinu, pa su iz ideje o definisanju maksimuma stambenog prostora proistekle određene organizacione šeme stanova koji se sa aspekta savremenog shvatanja stanovanja više ne mogu smatrati komfornim.

Tabela 7. Stanovi u Beogradu po starosti

<i>Period izgradnje</i>	<i>Broj stanova</i>	<i>Udeo u ukupnom broju [%]</i>
Pre 1900.g.	7624	1.31
Od 1901.-1918.g.	7242	1.24
Od 1919.-1930.g.	25087	4.30
Od 1931.-1945.g.	35612	6.10
Od 1946.-1960.g.	59991	10.27
Od 1961.-1970.g.	128447	21.30
Od 1971.-1975.g.	66809	11.44

<i>Period izgradnje</i>	<i>Broj stanova</i>	<i>Udeo u ukupnom broju [%]</i>
Od 1976.-1980.g.	60699	10.40
Od 1981.-1985.g.	66466	11.38
Od 1986.-1990.g.	46142	7.90
Od 1991.-2001.g.	73813	12.64

Od devedesetih godina prošlog veka je došlo do napuštanja principa “dodeljivanja” stanova. Došlo je do privatizacije postojećih, a novi stanovi su građeni u skladu sa tržišnim zakonitostima, mogućnostima i potrebama kupaca. Ovo je uslovalo izgradnju određenog broja veoma luksuznih stanova, sa jedne strane, a sa druge i velikog broja stanova veoma lošeg kvaliteta.

## **8.2. *Struktura građevinskog fonda Beograda***

Jedna od grubih podela stambenog fonda Beograda koja se može naći u literaturi za objekte izgrađene nakon Drugog svetskog rata, deli građevine na šest grupa. U okviru tih 6 grupa postoje i podgrupe, a grupe su imenovane prema hronologiji tj. vremenskom periodu kome pripadaju [111].

- Prvu grupu čine građevine sagrađene tokom XIX i početkom XX veka
- Druga grupa je predstavljena više-stambenim zgradama koje su građene brzo i jeftino, tzv. 'blokovi', sagrađeni između 1946. i 1970. godine
- Treću grupu građevina, sagrađenih između 1970. i 1980. godine, odlikuju montažni elementi uvedeni kasnih '60-ih i tokom '70-ih
- Četvrtu grupu čine građevine sagrađene između 1980. i 1990. godine
- Petu grupu čine ilegalno sagrađene kuće sagrađene tokom raspada Jugoslavije (između 1990. i 2000. godine) praćeno strašnim ekonomskim sunovratom društva
- Šestu grupu čine zgrade sagrađene od 2000. godine do danas

### **8.2.1. Građevine sagrađene u XIX i početkom XX veka**

Građevine sagrađene periodu XIX i početkom XX veka čine oko 15 % trenutnog stambenog fonda Beograda. Stare stambene građevine opisuju način života posebnih kategorija stanovnika Beograda i u određenoj meri predstavljaju istorijsko jezgro ili identitet ulice. Oni su značajan faktor autentičnosti istorijskih delova grada i slika kulturnih i tradicionalnih vrednosti tokom XIX i početkom XX veka. Pored negativnih trendova modernizacije koji su bili zastupljeni u proteklim dekadama, stare građevine su još uvek očuvane u nekim starim delovima grada [111, 112] i veliki deo ovog fonda spada u zaštićene spomenike kulture. Glavne karakteristike ovih građevina su:

- Masivna konstrukcija (malterisani zidovi debljine od 38cm do 51cm izrađeni od cigle)
- Odsustvo toplotne izolacije
- Dug životni vek glavne konstrukcije
- Raznovrsnost tipova građevina i arhitektonskih vrednosti
- Drveni jednostruko zastakljeni prozori
- Nagnut krov

Ovaj tip građevina predstavlja važan deo arhitektonskog i kulturnog nasleđstva. Ove građevine veoma malo učestvuju u ukupnom stambenom fondu grada pre svega zato što je većina njih promenila namenu u javne zgrade ili muzeje te kao takve one ne učestvuju značajnije u ukupnoj potrošnji energije domaćinstava. Takođe, velika raznovrsnost arhitektonskih stilova i tipova konstrukcija zahteva različit pristup za svaku građevinu ponaosob i ne može se generalizovati, te svako renoviranje ovih objekata u cilju podizanja energetske efikasnosti zahteva dozvolu od strane gradske institucije za zaštitu kulturnog nasleđa.

### **8.2.2. Posleratne zgrade (period izgradnje od 1946.-1970.godine)**

Ovaj tip zgrada obuhvata 35 % od ukupnog broja stambenih objekata Beograda. Potreba za stambenim objektima je bila velika usled posledica razaranja tokom drugog svetskog rata kao i masovne migracije stanovništva u glavni grad. Zbog toga su prve zgrade, koje su bile sagrađene u tom periodu, bile uklopljene u već postojeći

urbanistički plan, zamenjujući objekte koji su bili uništeni usled ratnih dejstava. U sledećem ciklusu, zgrade slične arhitekture (tzv. paviljoni) se grade i u novim naseljima, formirajući na taj način novi gradski identitet. Posledice takve gradnje koja se zasnivala na principu "što je brže moguće" su bile zgrade koje su imale identičan izgled, bile su izgrađene od istih materijala i primenom istih tehnologija, kao i grupisanje zgrada u redove od po nekoliko objekata koji su se prostirali širom grada. Jednoličnost i loš kvalitet gradnje ovakvih zgrada (U vrednost za spoljašnje zidove se kreće od  $1.38 \text{ W/m}^2\text{K}$  do  $1.098 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) pružaju široke mogućnosti za dalja unapređenja njihove efikasnosti i održivosti gde bi identična rešenja mogla biti primenjena na veliki broj zgrada [11, 111]. Glavne osobine ovih objekata su:

- Spoljašnji zidovi (debljine 38 cm) izrađeni od čvrstih, tradicionalnih materijala (pretežno od cigle i betona)
- Bez toplotne izolacije (prvi propisi koji su se odnosili na toplotnu zaštitu građevinskih objekata, doneti su 1967. godine)
- Dvostruki drveni prozori jednostruko zastakljeni
- Upotreba ravnih i kosih krovova (izrađenih od betona)
- Tavanice izrađene od armiranog betona

Ponavljanje istog modela u izgradnji zgrada iz ovog perioda, kao i njihova ograničena arhitektonska vrednost, pruža danas prostor za intervencije po pitanju poboljšanja njihovog kvaliteta.

### ***8.2.3. Serijska proizvodnja (period izgradnje od 1970.-1980. godine)***

Serijska proizvodnja, uvedena tokom kasnih '60-ih i tokom '70-ih, postala je dominantna tehnologija u izgradnji, omogućivši izgradnju do 14.000 stanova godišnje. U poređenju sa prethodne dve dekade, novi tip izgradnje je promovisao moderno stanovanje, uvodeći novi, značajno poboljšani način življenja. Ove građevine su zadovoljavale propise donešene 1967. godine koji definišu maksimalnu dozvoljenu vrednost koeficijenta prolaza toplote za spoljašnji zid  $U=1,14 \text{ W/m}^2\text{K}$  (1970. godine se ova maksimalna dozvoljena vrednost smanjila na  $U=1,07 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), ali su ipak bili

daleko lošiji od standarda EU. Glavni problem ovih građevina jesu loše termičke karakteristike, postojanje toplotnih mostova i u vezi sa tim oštećenje strukture, nedovoljna zaptivenost, i loše regulisani sistemi za grejanje koji imaju za rezultat visoke operativne troškove, nizak kvalitet životnog standarda i visoku (150-220 kWh/m<sup>2</sup>god.) potrošnju toplotne energije. Sa druge strane, one imaju i veliki potencijal za poboljšanje [11, 111]. Glavne karakteristike ovih građevina su:

- Zidovi su uglavnom višeslojni: zid od dva sloja betona sa termoizolacijom između (15cm+4cm+5cm); zid od giter blokova omalterisan unutra sa termoizolacijom i fasadnom opekam (19cm+3cm+12cm); jednoslojni zid od siporeksa (30cm); zid od armiranog betona sa termoizolacijom, slojem vazduha i fasadnom opekam (1cm+15cm+4cm+2cm+12cm)
- Toplotna izolacija
- Drveni dupli prozori
- Ravan betonski krov
- Ojačana betonska tavanica
- Dug životni vek glavne konstrukcije

#### **8.2.4. Početak krize (period od 1980.-1990. godine)**

Regulative uvedene 1980. godine (niz standarda iz grupe Toplotna tehnika u građevinarstvu) predstavljaju prekretnicu u tretiranju problema toplotne zaštite objekata [11]. Po prvi put problem očuvanja toplote tretira sveobuhvatno, dok se U vrednost menja sa 1,07 W/m<sup>2</sup>K na 0,93 W/m<sup>2</sup>K uz definisanje nekoliko obaveznih proračunskih metoda, a 1987. godine se dodatno pooštavaju propisi i ova vrednost smanjuje na 0.9 W/m<sup>2</sup>K. Tranzicija koja je započeta 1980. godine imala je velikog udela na propadanje ogromnih državnih građevinskih preduzeća, budući da je ekonomska moć zemlje slabila usled ekonomske krize kao i ratova koji će uslediti. Usled sveopšte krize, proizvodnja je opadala iz godine u godinu, gde, usled upotrebe loših materijala i loših arhitektonskih rešenja, dolazi do izgradnje objekata koji su bili manje ili više u saglasnosti sa regulativama. Glavne karakteristike ovih građevina su:

- Višeslojni zidovi: zid od dva sloja betona sa termoizolacijom između (8cm+6cm+8cm); zid od dva sloja betona sa termoizolacijom između (10cm+8cm+8cm); zid od giter blokova sa termoizolacijom i unutr. i spolj. malterom (2cm+19cm+5cm)
- Toplotna izolacija
- Drveni prozori sa poboljšanim karakteristikama stakla
- Nagnut krov
- Betonska tavanica sa toplotnom izolacijom
- Dug životni vek glavne konstrukcije

Ove građevine predstavljaju 20 % današnjeg stambenog fonda Beograda i njihovi nedostaci uglavnom potiču od upotrebe loših materijala i loših arhitektonskih rešenja.

#### ***8.2.5. Ekonomska kriza (period od 1990.-1999. godine)***

Ratovi u bivšoj Jugoslaviji su doneli preokret u stambenom fondu Beograda. Gradska sredina se menjala jer je više od 200.000 mladih ljudi (samo iz Beograda) napustilo zemlju dok je hiljade izbeglica iz zona ratnih dejstava izbeglo u Beograd. Jedini način da se reši problem novih 'beskućnika' jeste bio da se toleriše nelegalna izgradnja. Više od 100.000 građevina [111], najviše individualnih kuća je sagrađeno ilegalno u Beogradu i drugim urbanim sredinama. Ne postoje statistički podaci o tačnom broju ovakvih individualnih kuća sagrađenih u Beogradu. Njihove toplotne karakteristike, kvalitet gradnje i vrsta sistema za grejanje su nepoznati i zbog toga ne mogu biti klasifikovani ni u jednu od grupa.

### ***8.3. Izbor objekata za ocenu***

Beograd ima umereno kontinentalnu klimu sa četiri izražena godišnja doba i srednjom godišnjom temperaturom od 11.7°C [113]. Zime su hladne i u proseku je 21 dan u toku zime temperatura ispod nule, dok prosečna zimska temperatura za poslednjih 20 godina iznosi 7.7 °C [114]. Zbog toga je očekivano to što je udeo energije potrebne za zagrevanje



objekata u ukupnoj potrošnji veoma veliki. Beogradska domaćinstva su u velikom procentu priključena na daljinski sistem grejanja (oko 50%) [115]. Daljinski sistem uglavnom podrazumeva korišćenje prirodnog gasa kao energenta, ali još uvek ima kotlarnica na mazut i čvrsto gorivo. Poslednjih godina je u cilju smanjenja zagađenja životne sredine u Beogradu ugašeno oko 800 kotlarnica na čvrsto gorivo [61]. Na drugom mestu po masovnosti upotrebe je električna energija, a na trećem kombinovani sistem za grejanje i kuvanje sa upotrebom čvrstih goriva. Ostali zastupljeni tipovi grejanje bazirani su na sistemima u kojima se sagorevaju tečna goriva i gas.

Geometrija stambenih objekata i njihove prostorne karakteristike su veoma značajne sa gledišta mogućnosti koje se pružaju po pitanju poboljšanja njihovih karakteristika, a i po pitanju komfora ljudi koji u njima stanuju. Stanovanje se kod nas javlja u dva osnovna tipa kao individualno i kolektivno. Individualno se razvijalo manje-više spontano u skladu sa željama i mogućnostima vlasnika objekata i samo je donekle regulisano odredbama planiranja. Određene zakonitosti su uspostavljene samo u domenu planskog razvoja naseljenih mesta, ali ne i samih građevinskih objekata. Kolektivno stanovanje je nakon Drugog svetskog rata predstavljalo jedan od osnova razvoja društva. Izgradnja objekata za kolektivno stanovanje je prolazila kroz različite faze, ali ga u celokupnoj istoriji karakteriše ujednačenost sistema gradnje, primenjenih materijala i sistema, komunalna infrastrukturna opremljenost i struktura stambenih jedinica [11]. Zbog svega navedenog, postoji mišljenje da su određeni tehnički standardi znatno bolje implementirani u izgradnju zgrada za stanovanje nego u izgradnju individualnih kuća.

U cilju izrade projekta: "Razvoj i primena komplementarnih metoda za procenu energetske efikasnosti i indikatora kvaliteta unutrašnjeg prostora stambenih objekata na području Beograda" finansiranog od strane Ministarstva za nauku republike Srbije u periodu 2008.-2010.g., određen je reprezentativni uzorak stambenog fonda Beograda od 96 stambenih objekata na teritoriji grada i njegovih prigradskih oblasti [116]. Reprezentativni uzorak je određen upotrebom Kohranove formule za određivanje veličine uzorka [117]:

$$n = \frac{Z^2 pq}{e^2} = \frac{(1.96)^2 \cdot 0.5 \cdot 0.5}{(0.10)^2} = 96 \quad (45)$$

Gde su:

- n - veličina uzorka
- Z - koeficijent pouzdanosti (Veličina dobijena iz statističkih tablica jednaka 1.96 za nivo poverenja od 95%)
- p - procenjena proporcija nekog atributa koji je prisutan u populaciji (Varijabilnost je nepoznata u proporciji, pa je zbog toga usvojena maksimalna varijabilnost jednaka 0.5)
- q - q=1-p
- e - željeni nivo preciznosti ili margina greške (Usled ograničenog broja mernih instrumenata i velikih troškova u kampanji, usvojena je vrednost margine greške od 10%. Manja vrednost margine greške bi obezbedila veću pouzdanost dobijenih rezulta, ali bi onda i uzorak bio veći )

Nakon što je određena veličina uzorka, pristupilo se kvalitativnoj karakterizaciji uzorka uz pomoć tehnike stratifikacije [117, 118]. Ova metoda podrazumeva formiranje stratuma (slojeva) u okviru reprezentativnog uzorka tako da je broj jedinica koje čine jedan stratum u okviru reprezentativnog uzorka proporcionalan broju jedinica u stratumu ukupne populacije. Ovaj metod je omogućio podelu stambenog fonda Beograda na podgrupe (stratume) prema određenim karakteristikama objekata. Upotrebom sledeće jednačine, broj jedinica u okviru svake podgrupe (stratuma) reprezentativnog uzorka je određen.

$$n_h = \left( \frac{N_h}{N} \right) \cdot n \quad (46)$$

Gde je:

- $n_h$  - veličina podgrupe (stratuma) h
- $N_h$  - veličina populacije podgrupe (stratuma) h
- N - veličina cele populacije
- n - veličina reprezentativnog uzorka

Veličine  $N_h$  i  $N$  su dobijene na osnovu podataka iz Popisa iz 2002.g. [110], dok je  $n=96$  u jednačini (45). Unutar svake podgrupe u okviru reprezentativnog uzorka, selekcija stambenih objekata je izvršena na osnovu slučajnog odabira.

Baza podataka potrebnih za određivanje veličine podgrupe (stratuma) u okviru reprezentativnog uzorka je dobijena na osnovu različitih izvora koji uključuju [119]: Popis iz 2002.g., propise vezane za izgradnju objekata, istraživanja u vezi domaćinstava obavljena od strane Republičkog zavoda za statistiku, kao i razne studije. Popis iz 2002.g. sadrži informacije o socijalnom statusu populacije kao i nekim drugim osobinama vezanim za stambeni fond kao što su: godina izgradnje objekta, tip sistema za zagrevanje objekta (samo za upotrebu daljinskog grejanja i gasa), zatim urbani položaj, visina objekta, postojanje instalacija (vodovodnih, kanalizacionih i električnih), ali ne sadrži informacije o toplotnim karakteristikama objekata, o sistemima za zagrevanje sanitarne vode, kućnim aparatima itd. Dostupni podaci o godinama izgradnje objekata i godinama donošenja propisa o izgradnji objekata su dali osnov da se ukrštanjem ovih podataka stambeni objekti svrstaju u grupe prema sličnim toplotnim karakteristikama.

Podaci o zastupljenosti različitih tipova sistema za grejanje i o ukupnoj potrošnji finalne energije u domaćinstvima su dobijeni iz studije urađene 2006.g. [17]. Uzimajući u obzir sve dostupne podatke iz gore navedenih izvora, izvršena je kvalitativna klasifikacija stambenih objekata:

- prema periodu izgradnje (periodi: 1946.-1970., 1971.-1980., 1981.-1990., 1991.-2002.g.)
- prema načinu grejanja (daljinsko grejanje, grejanje na gas, struju, drvo, ugalj)
- prema visini objekata, tj. broju spratova (individualne kuće sa ne više od tri sprata i sa ne više od četiri stambene jedinice i zgrade sa više od tri sprata i sa pet i više stambenih jedinica)

Objekti izgrađeni pre 1946.g. nisu uzeti u razmatranje pre svega zbog njihove pripadnosti arhitektonskom i kulturnom nasleđu i zbog toga što su mogućnosti za njihovo eventualno renoviranje ograničene u smislu da podležu posebnim zakonima vezanim za kulturno nasleđe. Ovi objekti predstavljaju relativno mali deo stambenog fonda (manje od 15%).

Takođe, oni pripadaju velikom broju arhitektonskih stilova i konstrukcija. Nedostatak podataka za objekte izgrađene posle 2002.g. onemogućio je da ova grupa objekata bude deo ove analize.

#### **8.4. Izbor opcija za ocenu održivosti**

Usled nedostatka informacija i nemogućnosti da se neki od razmatranih objekata reprezentativnog uzorka (ukupno 96 objekata) uzmu u obzir prilikom formiranja opcija, u ovom radu je broj razmatranih objekata bio 82 sa nešto većom marginom greške od 10.8%. Kvalitativna karakterizacija razmatranih objekata je izvršena na osnovu perioda izgradnje, tipa sistema za grejanje i tipa objekta. Na osnovu kvalitativne karakterizacije, objekti su podeljeni na 9 podgrupa (tab. 8). Prema tipu objekta podela je izvršena na dve grupe i to: individualne kuće i stambene zgrade. Prema tipu sistema za grejanje na tri grupe: grejanje na struju, daljinsko grejanje i grejanje na fosilno gorivo, dok je prema periodu izgradnje podela izvršena na dve grupe i to: objekti izgrađeni u periodu od 1946.-1980.g. i objekti izgrađeni u periodu od 1981.-2006.g. Godina 1980. je uzeta kao prekretnica u tretiranju problema toplotne zaštite objekata zbog niza standarda vezanih za toplotne karakteristike objekata koji su tada ušli u upotrebu.

Opcije 1-4 predstavljaju stanove u zgradama (objekti sa više od 4 stambene jedinice i više od 3 sprata), a opcije 5-9 individualne kuće (objekti sa ne više od 3 sprata i ne više od 4 stambene jedinice).

Prva i druga opcija predstavljaju grupu stanova u zgradama koji su izgrađeni u periodu 1946.-1980.g. a međusobno se razlikuju samo po tipu sistema za grejanje. Stanovi prve opcije koriste električnu energiju za grejanje, dok su stanovi druge opcije povezani na sistem daljinskog grejanja (slika 11).

Treću i četvrtu opciju čine stanovi u zgradama izgrađenim u periodu 1981.-2006.g. Ove dve opcije se, takođe, razlikuju po sistemu za grejanje i to treća opcija obuhvata stanove sa grejanjem na struju, a četvrta stanove sa daljinskim grejanjem (slika 12).

Tabela 8. Opcije usvojene za analizu održivosti

<i>Izabrane opcije</i>			
<i>Opcije</i>	<i>Tip objekta</i>	<i>Period izgradnje</i>	<i>Tip sistema za grejanje</i>
Opcija 1	Stanovi	1946-1980	struja
Opcija 2	Stanovi	1946-1980	daljinsko grejanje
Opcija 3	Stanovi	1981-2006	struja
Opcija 4	Stanovi	1981-2006	daljinsko grejanje
Opcija 5	Kuće	1946-1980	struja
Opcija 6	Kuće	1946-1980	fossilno gorivo
Opcija 7	Kuće	1981-2006	struja
Opcija 8	Kuće	1981-2006	daljinsko grejanje
Opcija 9	Kuće	1981-2006	fossilno gorivo

Peta i šesta opcija predstavljaju starije kuće, građene u periodu 1946.-1980.g. Peta opcija odgovara kućama sa grejanjem na struju a šestu opciju čine kuće sa sistemom za grejanje u kome se sagorevaju fosilna goriva (slika 13).



Slika 11. Zgrada s kraja šezdesetih (opcija 2, širi centar Beograda)



Slika 12. Zgrada s kraja osamdesetih (opcija 4 - naselje Avala grad, Resnik)



Slika 13. Kuća izgrađena šezdesetih (opcija 6, Begaljica)

Opcije 7-9 čine novije kuće izgrađene u periodu od 1981.-2006.g. koje su opremljene različitim sistemima za grejanje, respektivno sa: sistemom grejanja na struju, sistemom daljinskog grejanja i sistemom grejanja na fosilna goriva (slika 14).



Slika 14. Kuća izgrađena 1992.god. (opcija 9, Lazarevac)

U tabeli 9 su prikazane osobine usvojenih opcija i to: broj razmatranih objekata, srednja površina stambenog prostora i srednji broj članova domaćinstva u okviru opcije.

Tabela 9. Karakteristike usvojenih opcija

<i>Opcije</i>	<i>Broj razmatranih objekata u okviru opcije (-)</i>	<i>Srednja površina stambenog prostora u okviru opcije (m<sup>2</sup>)</i>	<i>Srednji broj članova domaćinstva u okviru opcije (-)</i>
<i>Opcija 1</i>	4	54	3.5
<i>Opcija 2</i>	27	70.2	3.3
<i>Opcija 3</i>	3	49	3
<i>Opcija 4</i>	11	70.6	3.1
<i>Opcija 5</i>	8	71.6	3
<i>Opcija 6</i>	11	92.3	3.5
<i>Opcija 7</i>	4	95	3.5
<i>Opcija 8</i>	5	101.8	3.6
<i>Opcija 9</i>	9	103.3	3.9
<i>Ukupno</i>	82		

### 8.5. Podaci o objektima korišćeni za ocenu održivosti

U Srbiji je, kao i u zemljama u okruženju, veoma malo dostupnih podataka o potrošnji energije u domaćinstvima koji se baziraju na istraživanjima i merenjima sprovedenim na terenu. Projekat: "Razvoj i primena komplementarnih metoda za procenu energetske efikasnosti i indikatora kvaliteta unutrašnjeg prostora stambenih objekata na području Beograda" je upravo i zamišljen i sproveden radi dobijanja sveobuhvatnih podataka na osnovu kojih se može dobiti informacija o potrošnji energije u domaćinstvima. Podaci su prikupljeni na dva načina i to:

- monitoringom
- analizom upitnika

*Monitoring* je obuhvatio dve vrste merenja (Prilog 1). Merenja temperature, relativne vlažnosti i nivoa osvetljenja u svim objektima reprezentativnog uzorka u periodu od 15. aprila 2009. do 15. aprila 2010.g. sa polučasovnim intervalom snimanja izmerenih vrednosti. Ova vrsta merenja je obavljena pomoću HOBO logera čiji je temperaturski opseg: -20 do 70°C, opseg merenja relativne vlažnosti: 5 do 95% i tačnosti respektivno  $\pm 0.35$  °C i  $\pm 2.5\%$ . U svaki od objekata su bila postavljena po dva logera i to u dnevnu i spavaću sobu na visini od oko 1.5m od poda, na mestima udaljenim od direktnog sunčevog zračenja, uticaja spoljašnjih zidova, klima uređaja i izvora toplote. Način i instrumenti za ovo merenje, odabrani su u skladu sa međunarodnim standardima ISO 7730 (1994): *Moderate thermal environments-Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort* i ISO 7726 (1998): *Ergonomics of the Thermal Environment-Instruments for Measuring Physical Quantities*.

Druga vrsta merenja je izvršena samo u objektima koji su odabrani kao predstavnici podgrupe (stratuma) u okviru reprezentativnog uzorka. Ova merenja su obuhvatila znatno veći broj izmerenih parametara sa petominutnim vremenom semplovanja u trajanju od 3 dana za vreme trajanja grejne sezone. Izmereni parametri u okviru ovog merenja mogu se podeliti u tri osnovne grupe: parametri unutrašnjeg komfora (srednja radijantna temperatura, temperatura vazduha, apsolutni pritisak, relativna vlažnost vazduha,



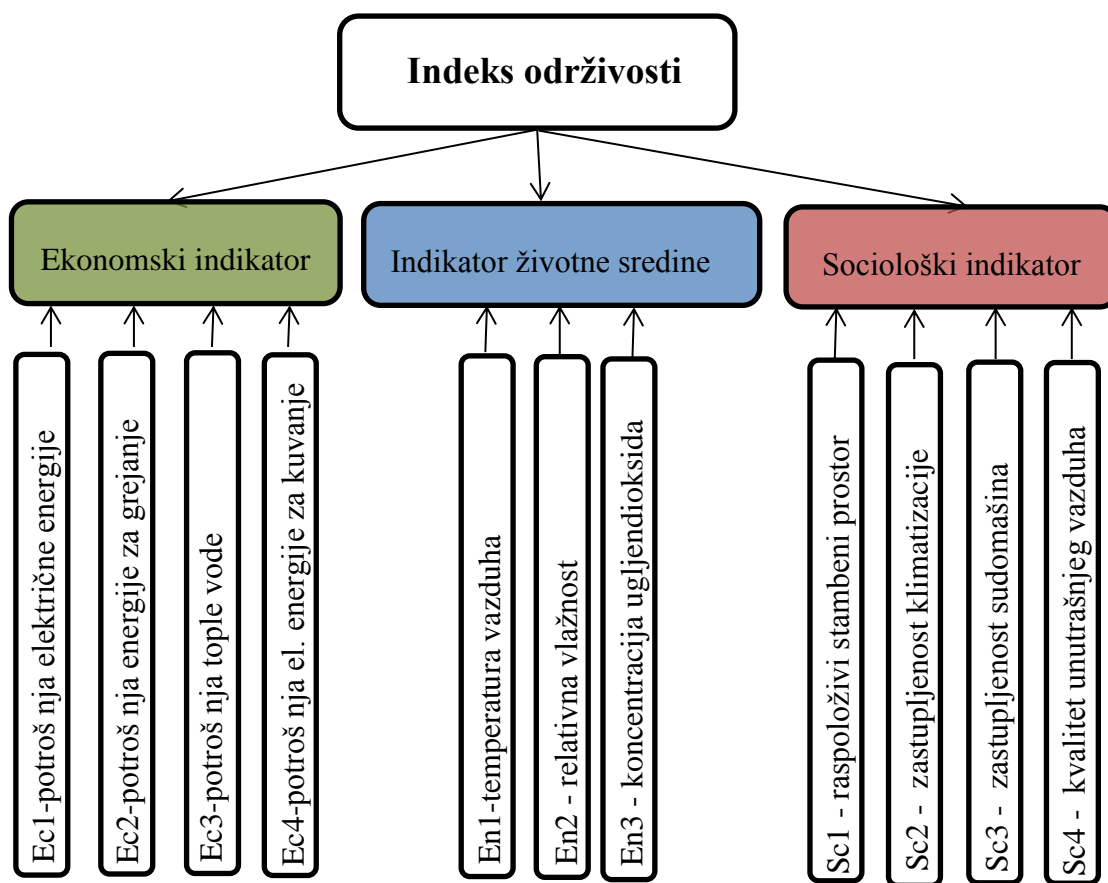
koncentracija CO<sub>2</sub>, osvetljenje), karakteristike omotača (koeficijent prolaza toplote kroz spoljašnji zid, staklo prozora i ram prozora) i spoljašnji parametri (temperatura i relativna vlažnost vazduha).

Veoma detaljan upitnik je distribuiran vlasnicima stanova (Prilog 2). Njihovi odgovori na postavljena pitanja su obezbedili informacije od socio-ekonomskoj i starosnoj strukturi članova domaćinstva, njihovom ponašanju, posedovanju kućnih aparata i njihovoj upotrebi, osvetljenju, sistemu za grejanje stambenog prostora i zagrevanju sanitarne vode, posedovanju i korišćenju klima uređaja, trenutnom korišćenju energije, konstrukciji i stanju objekta.

#### **8.6. *Izbor indikatora (atributa) za razmatrane objekte***

Indikatori održivog razvoja moraju biti jasno definisani, mogući, jednoznačni, razumljivi i praktični. Njihov odabir i upotreba predstavljaju složen zadatak obzirom da rezultat zavisi prvenstveno od kvaliteta njihovog odabira [120, 121]. Oni su neophodni u procesima donošenja odluka koji su sastavni deo svih segmenata jednog društva [122, 123].

Definisanje indikatora zahteva sistematski pristup što uključuje međusobnu interakciju između posmatranog sistema i njegovog okruženja. U cilju procene održivosti različitih opcija u okviru stambenog fonda Beograda upotrebljena je višekriterijumska metoda koja uzima u obzir ekonomski aspekt, aspekt životne sredine i sociološki aspekt. Kvalitet razmatranih opcija sa aspekta potrošnje energije ocenjuje se na osnovu definisanog skupa podindikatora energetske skupa indikatora. Na sl.15 je prikazana šema izabranih energetskih indikatora i podindikatora održivog razvoja.



Slika 15. Šema indikatora i podindikatora

### **8.6.1. Ekonomski podindikator**

Zgrade u Beogradu pre i posle II svetskog rata građene su prema evropskim stanadardima, ali posle energetske krize sredinom '70-tih i početkom '80-tih godina u periodu najintenzivnijeg porasta stambenog fonda, domaći standardi nisu više pratili kretanja u Evropi. Zgrade iz ovog perioda karakteriše nekvalitetna gradnja, a usled prirodnog starenja došlo je do dodatne degradacije svojstava omotača, pa ove zgrade danas predstavljaju velike potrošače energije. Ovo je razlog zbog čega je prosečna potrošnja energije za grejanje stanova u Beogradu veoma visoka, naročito ako se upoređi sa sadašnjim evropskim standardima. Imajući u vidu starost objekata i kvalitet održavanja, i to naročito u poslednjih dvadesetak godina, potrošnja energije za grejanje u stambenim objektima u Beogradu može dostizati i 400 kWh/m<sup>2</sup>/god.[17]

Prema procenama, u višespratnicama u Srbiji, prosečna potrošnja energije za grejanje je oko 170-190 kWh/m<sup>2</sup>/god., a u individualnim zgradama od 180-220 kWh/m<sup>2</sup>/god. Specifična potrošnja energije za grejanje stanova u višespratnicama u Beogradu u proseku niža nego u Srbiji i iznosi oko 150 kWh/m<sup>2</sup>/god., a u individualnim zgradama oko 190-200 kWh/m<sup>2</sup>/god.[17]. Na osnovu praćenja rezultata merenja na mreži daljinskog grejanja u Beogradu u pogledu specifične potrošnje, prosečna godišnja potrošnja energije za grejanje prostora na Novom Beogradu od 2006. do 2008. godine bila je maksimalno 253 kWh/m<sup>2</sup>/god. i minimalno 66 kWh/m<sup>2</sup>/god., a u starom delu grada maksimalno 295 kWh/m<sup>2</sup>/god. i minimalno 67 kWh/m<sup>2</sup>/god.[124]

Prosečne vrednosti utrošene toplotne energije su slične u većini evropskih zemalja pre implementacije evropske Direktive o energetske performansama zgrada (EPBD<sup>42</sup>). I u našoj zemlji je nedavno započet proces sertifikacije zgrada. U prvoj fazi, ovo podrazumeva samo praćenje potrošnje energije za grejanje i rangiranje zgrada po energetske razredima od A do G sa dodatkom A<sup>+</sup> razreda koji odgovara najvišem nivou energetske efikasnosti, tj. najmanje potrošnje po kvadratnom metru. Za nove

---

<sup>42</sup> *Energy Performance of Buildings Directive*

zgrade ovo znači pooštavanje uslova za dobijanje upotrebne dozvole, tj. potrošnja energije u njima ne sme da pređe granicu od 65 kWh/m<sup>2</sup>/god. za jednorodnične kuće i 60 kWh/m<sup>2</sup>/god. za stambene zgrade [125].

Centralizovano snabdevanje toplotnom energijom iz toplana na gas, tečno i čvrsto gorivo vrše javna komunalna preduzeća Beogradske elektrane u gradu Beogradu i Mladenovcu, kao i lokalna komunalna preduzeća u Lazarevcu i Obrenovcu. Ova preduzeća snabdevaju blizu 40% od ukupnog broja stanova na području grada, dok se ostali snabdevaju iz lokalnih izvora na gas, ugalj, drva, lož-ulje ili električnu energiju. Ne postoje zvanični podaci o stvarnom broju stanova koji se greju na električnu energiju. Grube procene se zasnivaju na razlici u potrošnji električne energije u toku zime i leta. Međutim, podaci o tome da se skoro polovina finalne energije u domaćinstvima na teritoriji grada Beograda potroši u vidu električne energije govore o tome da postoji njena velika upotreba za grejanje i pored postojanja sistema daljinskog grejanja [17]. Ovo se može smatrati veoma neracionalnim korišćenjem ionako oskudnih prirodnih energetske resursa ako se ima u vidu da je transformacija hemijske energije lignita u termoelektranama odvija sa stepenom korisnosti oko 30% usled upotrebe već zastarelih tehnologija i neznatnog korišćenja kombinovane proizvodnje električne i toplotne energije. Jedino postrojenje za kogeneraciju koje postoji u Toplani „Novi Beograd“ ne radi, a realizacija projekta kogeneracije u termoelektrani „Nikola Tesla“ za snabdevanje Beograda toplotnom energijom je napuštena. Kombinovana proizvodnja električne i toplotne energije postoji u TE „Kolubara“ i koristi se samo za zagrevanje stambenog naselja Velikim Crljenima na teritoriji opštine Lazarevac, dok TE „Nikola Tesla“ od ukupno šest agregata u kogeneraciji ima dva i koriste se za grejanje Obrenovca [126].

Ako se razmatra potrošnja toplotne i električne energije za zagrevanje stanova i javnih zgrada u Beogradu, prilično je očigledno da je ta potrošnja neefikasna. Zbog dugotrajnih neregularnih uslova koji su učinili energetske situaciju neuobičajenom, učešće električne energije u finalnoj potrošnji je 2000. godine dostiglo 34% i to pre svega zbog korišćenja električne energije za grejanje u domaćinstvima. Pored grejanja za koje se na nivou grada troše velike količine energije, u domaćinstvima se električna

energija koristi za kuvanje, pripremu potrošne tople vode, osvetljenje, pogon različitih uređaja i sve više za klimatizaciju u toku leta.

Danas se u svetu grade objekti sa godišnjom potrošnjom energije za grejanje, toplu vodu, klimatizaciju i osvetljenje manjom od  $100 \text{ kWh/m}^2/\text{god}$ . [17]. U ovom radu ekonomski aspekt održivog razvoja energetskog sistema zgrade je definisan podindikatorima koji se odnose na korišćenje finalne energije (električne i toplotne energije). Razmatrani su podindikator koji u okviru različitih opcija mogu ukazati na potrošnju ukupne električne energije u domaćinstvima, potrošnju toplotne energije za grejanje, potrošnju tople vode kao i potrošnju električne energije za kuvanje. Radi ocene ekonomskih pokazatelja stambenog fonda koji su veoma važni sa gledišta dostizanja određenog životnog standarda, definisana su četiri energetska ekonomska podindikatora prikazana u tabeli 10.

Tabela 10. Ekonomski podindikator

<i>Ekonomski indikator</i>			
<i>Oznaka</i>	<i>Naziv</i>	<i>Jedinica</i>	<i>Definicija</i>
<b><i>Ec1</i></b>	<i>Ekonomski podindikator potrošnje električne enegije</i>	<i>kWh/dom./god.</i>	<i>Srednja specifična godišnja potrošnja električne energije u domaćinstvu</i>
<b><i>Ec2</i></b>	<i>Ekonomski podindikator potrošnje toplotne enegije</i>	<i>kWh/m<sup>2</sup>/god.</i>	<i>Srednja specifična godišnja potrošnja toplotne energije za zagrevanje stambenog prostora</i>
<b><i>Ec3</i></b>	<i>Ekonomski podindikator potrošnje tople vode</i>	<i>m<sup>3</sup>/čl./god.</i>	<i>Srednja specifična godišnja potrošnja tople vode</i>
<b><i>Ec4</i></b>	<i>Ekonomski podindikator potrošnje električne energije za kuvanje</i>	<i>kWh/dom./god.</i>	<i>Srednja specifična godišnja potrošnja električne energije za kuvanje</i>

Ekonomski podindikator potrošnje električne energije (Ec1), predstavlja srednju specifičnu godišnju potrošnju električne energije u domaćinstvima jedne opcije. Izračunava se tako što se zbir ukupno potrošene električne energije od strane svih

objekata koji pripadaju toj opciji na godišnjem nivou, podeli sa ukupnim brojem objekata u opciji. Izračunavanje ovog podindikatora je izvršeno na osnovu podataka koji su dobijeni iz Upitnika popunjenih od strane stanara.

$$Ec1 = \frac{\sum_1^k Eee_i}{k} \quad (47)$$

$Eee_i$  (kWh/god.) - električna energija koja se u jednom domaćinstvu utroši u toku jedne godine

$k$  (-) - broj objekata u okviru jedne opcije

Ekonomski podindikator potrošnje toplotne enegije ( $Ec2$ ), predstavlja srednju specifičnu godišnju potrošnju toplotne energije za zagrevanje stambenog prostora u okviru posmatrane opcije. Izračunava se tako što se zbir ukupne godišnje potrošnje toplotne energije za zagrevanje svih objekata u okviru opcije svedene na istu temperaturu unutrašnjeg prostora, podeli sa zbirom površina svih zagrevanih objekata te opcije. Ovaj podindikator u sebi sadrži srednju U-vrednost svih objekata u opciji, tj. srednju karakteristiku omotača jedne opcije u vezi sa kvalitetom spoljašnjih zidova, stolarije, podova i krovova posmatranih objekata. Što je toplotno opterećenje objekta veće, to praktično znači i da su termofizička svojstva objekta lošija.

$$Ec2 = \frac{\sum_1^k Ete_i}{\sum_1^k A_i} \quad (48)$$

$Ete_i$  (kWh/god.) - toplotna energija koja se u jednom domaćinstvu utroši u toku jedne godine

$A_i$  (m<sup>2</sup>) - površina i-tog objekta u okviru jedne opcije

$k$  (-) - broj objekata u okviru jedne opcije

Za izračunavanje vrednosti ovog podindikatora korišćene su različite metodologije u zavisnosti od načina zagrevanja objekta. U slučaju objekata koji su priključeni na daljinski sistem grejanja, korišćeni su podaci dobijeni od strane Beogradskih elektrana za predstavnike opcija za posmatranu grejnu sezonu o količini toplotne energije predatoj objektu u toku grejne sezone po m<sup>2</sup> površine posmatranog objekta. Za objekte koji se greju na električnu energiju, podaci su dobijeni iz Upitnika i/ili računa za

električnu energiju poređenjem utrošene električne energije u toku zimskog i letnjeg perioda. Uzeto je da je utrošena toplotna energija jednaka razlici između zimske i letnje potrošnje električne energije u tom objektu. Treći način izračunavanja vrednosti posmatranog podindikatora, odnosi se na objekte koji toplotnu energiju za zagrevanje obezbeđuju iz sopstvenih kotlarnica ili peći u kojima se sagorevaju fosilna goriva. U ovom slučaju, ekonomski podindikator potrošnje toplotne energije je izračunat na osnovu podataka dobijenih od strane stanara o potrošnji goriva u toku grejne sezone i to za jednog odabranog predstavnika svih objekata opcije. Količina utrošene toplote je izračunata na osnovu količine goriva, njegove toplotne moći, kao i efikasnosti sagorevanja korišćenog kotla ili peći.

Ekonomski podindikator potrošnje tople vode (Ec3), [127] predstavlja srednju specifičnu godišnju potrošnju tople vode po članu u jednom domaćinstvu. Vrednost ovog podindikatora je izračunata kao srednja za svaku opciju koju čini “k” domaćinstava. Na nivou i-tog domaćinstva jedne opcije vrednost ovog podindikatora je izračunata kao zbir dve komponente: količine tople vode koja se utroši na pranje veša po članu domaćinstva i količine tople vode koja se utroši u domaćinstvu a prethodno je zagrejana na oko 60°C u bojlerima, kuhinjskim bojlerima i mašinama za sudove po članu domaćinstva. Broj nedeljnih uključivanja, kao i starost mašina za pranje veša su podaci koji su uzeti iz Upitnika.

$$Ec3 = \frac{\sum_1^k \left( \frac{k_{ui} \cdot k_{ng} \cdot V_{pv}}{n_{di}} + \frac{0.23 \cdot Eee_i \cdot k_{ve}}{n_{di}} \right)}{k} \quad (49)$$

Gde su:

- $k_{ui}$  (-) - broj nedeljnih uključivanja mašine za pranje veša u i-tom domaćinstvu posmatrane opcije dobijen iz Upitnika
- $k_{ng}$ (-) - broj nedelja u toku jedne godine ( $k_{ng}=52$ )
- $V_{pv}$  (m<sup>3</sup>) - količina vode potrebna za jedno pranje je veličina koja zavisi od starosti veš mašine [128] (podatak o starosti veš mašine uzet iz Upitnika)
- $Eee_i$  (kWh/god.) - električna energija koja se u jednom domaćinstvu utroši u toku

jedne godine (bez grejanja)  
 $k_{Ve}$  ( $m^3/kWh$ ) - količina vode u  $m^3$  koju  $1kWh$  električne energije zagreje od  $19^\circ C$  do  $60^\circ C$

$$k_{Ve} = \frac{3600 \cdot E_{een} \cdot \eta}{\rho \cdot c_p \Delta t} = \frac{3600 \cdot 1kWh \cdot 0.95}{988.1 \frac{kg}{m^3} \cdot 4.174 \frac{kJ}{kgK} \cdot 41K} = 0.020225 \frac{m^3}{kWh}$$

$n_{di}$  (-) - broj članova  $i$ -tog domaćinstva u okviru posmatrane opcije (podatak iz Upitnika)

$k$  (-) - broj objekata u okviru jedne opcije (-)

Ekonomski podindikator potrošnje električne energije za kuvanje ( $Ec4$ ), predstavlja srednju specifičnu potrošnju električne energije za kuvanje po članu domaćinstva u okviru posmatrane opcije. Vrednost ovog podindikatora je izračunata kao srednja za svaku opciju koju čini “ $k$ ” domaćinstava.

$$Ec4 = \frac{\sum_1^k \left( \frac{k_{ki} \cdot E_{ee_i}}{n_{di}} \right)}{k} \quad (50)$$

$E_{ee_i}$  (kWh/god.) - električna energija koja se u jednom domaćinstvu utroši u toku jedne godine (bez grejanja)

$k_{ki}$  (-) - koeficijent koji zavisi od broja dana u nedelji kada se u  $i$ -tom domaćinstvu kuva a koji je dobijen iz Upitnika (prosečan broj dana u nedelji kada se kuva za ceo reprezentativni uzorak je 5.5 i njemu odgovara  $k_{ki}=0.3$ , tj. 30% električne energije koja se utroši u domaćinstvu [129] )

$n_{di}$  (-) - broj članova  $i$ -tog domaćinstva u okviru posmatrane opcije (podatak iz Upitnika)

$k$  (-) - broj objekata u okviru jedne opcije



### ***8.6.2. Podindikator održivosti životne sredine. Uslovi komfora u stambenim objektima.***

Neposredno okruženje ima podjednako i fizički i psihološki uticaj na ljude i zbog toga ima veoma važnu ulogu u projektovanju objekata. Jedan od glavnih zadataka arhitekture, građevine i termotehnike je da stvori okruženje unutar objekta koje je podesno za sve ljudske aktivnosti koje se u njima odvijaju. Kada je u pitanju izgradnja novih objekata, tu je osnovna uloga arhitekata i građevinskih inženjera, koji donose odluku, u skladu sa zakonskim regulativama, o kvalitetu konstruktivnih materijala. Kod starih objekata, kada je poznata konstrukcija spoljašnjih zidova, veoma je važna uloga termotehničara koji, na osnovu, merenja mogu da dobiju informaciju o kvalitetu konstruktivnog materijala, uključujući i promene termofizičkih karakteristika polaznog materijala koje su nastale tokom vremena.

Može se reći da postoje četiri osnovna elementa komfora koji karakterišu neku sredinu u kojoj ljudi borave ili rade i to: toplotni komfor, vazdušni komfor (kvalitet vazduha), vizuelni komfor i zvučni komfor.

Toplotni komfor se definiše kao stanje uma takvo da izražava zadovoljstvo termalnim okruženjem. Sa fiziološke tačke gledišta, toplotni komfor se javlja kada su termički parametri sredine takvi da obezbeđuju odavanje toplote tela u granicama ugodnosti. Da bi se ova vrsta komfora ostvarila, neophodno je da u prostoriji u kojoj ljudi borave bude postignuta zadovoljavajuća temperatura i relativna vlažnost vazduha, kao i radijantna temperatura i brzina strujanja vazduha. Naravno, može se reći i da je komfor bilo koje vrste veoma subjektivan. On zavisi od starosne dobi stanara, navika u vezi sa odevanjem, kao i načina života u smislu obavljanja aktivnosti koje za posledicu imaju znojenje. Takođe, termička neudobnost se javlja i kao posledica velike vertikalne temperaturske razlike između temperature zglobova i glave, previše hladnog ili toplog poda, kao i usled velike asimetrije radijantne temperature. Ovo sve dovodi do lokalnog zagrevanja ili hlađenja tela što kod većine ljudi stvara osećaj nelagodnosti.

Usled individualnih razlika, nemoguće je specificirati termalno okruženje koje će zadovoljiti svakoga. Uvek će biti određeni procenat stanara koji neće biti zadovoljni unutrašnjim komforom. Moguće je ipak odrediti parametre okruženja tako da oni budu

prihvatljivi za većinu. Standard ISO 7730:1994 [130] predviđa ove uslove za toplotni komfor u toku zimske i letnje sezone. U toku grejne sezone po ovom standardu najpovoljnija je temperatura od 20°C do 24°C (22±2) °C i relativna vlažnost od 30% do 70% u prostorijama u kojima borave ljudi, a kojima će biti zadovoljno 90% ispitanih u vezi sa temperaturom i 85% u vezi sa relativnom vlažnošću.

Radi ocene unutrašnjih toplotnih parametara sredine od kojih zavisi komfor ljudi koji u njima borave, u ovom radu su definisana tri podindikatora prikazana u tabeli 11.

Tabela 11. Podindikator održive životne sredine

<i>Indikator životne sredine</i>			
<i>Oznaka</i>	<i>Naziv</i>	<i>Jedinica</i>	<i>Definicija</i>
<b><i>En1</i></b>	<i>Podindikator temperature vazduha</i>	°C	<i>Odstupanje srednje dnevne temperature vazduha u dnevnom boravku od 22°C</i>
<b><i>En2</i></b>	<i>Podindikator relativne vlažnosti</i>	%	<i>Odstupanje srednje dnevne relativne vlažnosti vazduha u dnevnom boravku od 50%</i>
<b><i>En3</i></b>	<i>Podindikator koncentracije ugljendioksida</i>	ppm	<i>Srednja dnevna koncentracija CO<sub>2</sub> u vazduhu u dnevnom boravku u toku grejne sezone</i>

Podindikator temperature vazduha (En1) definisan je kao apsolutno odstupanje srednje dnevne temperature vazduha u toku grejne sezone u dnevnom boravku od 22°C. Kontinulano merenje temperature vazduha u dnevnom boravku je vršeno u toku jedne cele godine na svakih 30min u svim objektima.

$$En1 = |t_{sr} - 22| \quad (51)$$

$t_{sr}$  (°C) - srednja dnevna temperature posmatrane opcije [114, 131]

Podindikator relativne vlažnosti (En2) je definisan kao odstupanje srednje dnevne relativne vlažnosti u toku grejne sezone od 50%. Takođe je srednja dnevna relativna vlažnost dobijena kontinualnim merenjem rel. vlažnosti u toku jedne godine na svakih 30min.

$$En2 = |Rh_{sr} - 50| \quad (52)$$

$Rh_{sr}$  (%) - srednja dnevna relativna vlažnost posmatrane opcije

Vazdušni komfor stambenog prostora je vezan za kvalitet vazduha u prostorijama. Jedna od komponenata vazdušnog komfora je svakako i koncentracija ugljendioksida u prostorijama. Ovaj gas se obično ne smatra zagađivačem, tj. štetno dejstvo ovog gasa se javlja samo u slučajevima duge izloženosti ekstremno velikim koncentracijama koje se skoro nikada ne javljaju u stambenom prostoru. Ovaj gas je bez boje i mirisa a proizvodi se na dva načina, prirodno (kao proizvod metabolizma ljudi, životinja i biljaka) i kroz ljudske aktivnosti kao što je proces sagorevanja. Efekti koje visoke koncentracije ovog gasa imaju na naš organizam su glavobolja, vrtoglavica i mučnina.

Koncentracije CO<sub>2</sub> u spoljašnjoj sredini variraju od 350ppm do 400ppm ili više u zavisnosti od toga da li se radi o saobraćajno prometnim oblastima ili oblastima sa velikom industrijskom aktivnošću. Koncentracije CO<sub>2</sub> unutrašnjeg prostora zavise od broja ljudi koji u tom prostoru borave, od vremena koje provode u njima, od količine svežeg vazduha koji ulazi u taj prostor, od veličine prostorije, loše izvedenih dimnjaka, prisustva duvanskog dima, kao i od koncentracije u spoljašnjem vazduhu. Koncentracija CO<sub>2</sub> u unutrašnjem prostoru može da varira od nekoliko stotina do preko 1000ppm u prostorijama sa velikim brojem prisutnih ljudi u dugom vremenskom periodu tamo gde postoje ograničenja u ventilaciji.

Iako sam ugljendioksid ne spada u zagađivače unutrašnjeg prostora, koncentracija ovog gasa je veoma važna jer ukazuje na nivo ventilacije, tj. indirektno ukazuje na to koliko spoljašnjeg vazduha ubacuje u unutrašnji prostor. Smatra se da je svež vazduh razblaživač svih prisutnih zagađivača u unutrašnjem prostoru koji potiču od neprijatnih mirisa koje ispuštaju ljudi, kao i zagađivača koje ispuštaju sami objekti, oprema,

nameštaj i koje potiču od ljudskih aktivnosti. Merenje koncentracije ugljendioksida u prostoriji je stoga važno jer ukazuje na nivo ventilacije, tj. generalni komfor [132].

Podindikator koncentracije CO<sub>2</sub> (En3) je definisan kao srednja vrednost izmerene koncentracije ugljendioksida u dnevnoj sobi u zimskom periodu u toku 72h merenja na svakih 5min. Vrednosti koncentracije CO<sub>2</sub> u objektima su merena u objektima koji su slučajnim odabirom uzeti za predstavnike stratuma.

### **8.6.3. Sociološki podindikator**

Sociološki energetske podindikator održivog razvoja najčešće mere uticaj koji dostupni energetske servisi mogu imati na blagostanje društva u celini i opisuju veličine koje ukazuju na to u kojoj je meri energija pristupačna i dostupna, kao i u kojoj meri postoji disbalans između potrebnih i isporučenih količina energije. U bogatim zemljama, moderni energetske servisi kao što su osvetljenje, grejanje, kuvanje itd. su gotovo univerzalno dostupni. U njima je energija dostupna, čista, pouzdana i bezbedna. U siromašnim zemljama je čest slučaj da ljudi provode i po nekoliko sati dnevno u sakupljanju drva potrebnih za zagrevanje i kuvanje [41]. Stoga je veoma važno da se pri izboru ovih podindikatora jasno postave granice posmatranog energetske sistema i da se uzmu u obzir specifičnosti posmatrane sredine.

U ovom radu su sociološki podindikator odabrani u okviru energetske sistema čije su granice na nivou omotača objekta. Radi ocene socioloških pokazatelja stambenog fonda, definisana su četiri sociološka podindikatora prikazana u tabeli 12.

Sociološki podindikator stambenog prostora (Sc1) predstavlja srednju vrednost površine stambenog prostora po članu domaćinstva u okviru jedne opcije i izračunava se na sledeći način:

$$Sc1 = \frac{\sum_1^k A_i}{\sum_1^k n_{di}} \quad (53)$$

$A_i$  (m<sup>2</sup>) - površina i-tog objekta u okviru jedne opcije (podatak iz Upitnika)

$n_{di}$  (-) - broj članova i-tog domaćinstva u okviru posmatrane opcije (podatak iz Upitnika)

Sociološki podindikator klimatizacije stambenog prostora (Sc2) predstavlja procenat stambenog prostora koji je klimatizovan na nivou jedne opcije i izračunava se kao:

$$Sc2 = \frac{\sum_1^k A_{ki}}{\sum_1^k A_i} \cdot 100 \quad (54)$$

$A_{ki}$  ( $m^2$ ) - površina i-tog objekta koja je klimatizovana (podatak iz Upitnika)

$A_i$  ( $m^2$ ) - površina i-tog objekta (podatak iz Upitnika)

$k$  (-) - broj objekata u okviru jedne opcije

Sociološki podindikator zastupljenosti sudomašina (Sc3) predstavlja udeo stanova ili kuća u okviru jedne opcije u kojima se koriste mašine za pranje sudova i izračunava se kao:

$$Sc3 = \frac{k_{dsm}}{k} \cdot 100 \quad (55)$$

$k_{dsm}$  (-) - broj domaćinstava u okviru posmatrane opcije koji koriste sudomašinu (podatak iz Upitnika)

$k$  (-) - broj objekata u okviru jedne opcije

Sociološki podindikator kvaliteta vazduha (Sc4) je kvalitativni atribut. Predstavlja srednju vrednost subjektivnih ocena koje su dali stanari objekata na nivou posmatrane opcije. Ponudeni odgovori na pitanje “Kako biste ocenili nivo kvaliteta vazduha u Vašem stanu/individualnoj kući?” su bili: “svež”, “optimalan” i “zagušljiv”. Da bi se ovaj kvalitativni atribut preveo u brojnu vrednost koja će opisati kvalitet vazduha na nivou opcije svakom od ponuđenih odgovora je dodeljena ocena na skali od 0 do 1 [133]. Odgovoru “svež” je dodeljena najviša ocena 1, odgovoru “optimalan” srednja ocena 0.5, a odgovoru “zagušljiv” najlošija ocena 0. Srednja ocena kvaliteta vazduha na nivou opcije je izračunata kao:

$$Sc4 = w_s \cdot 1 + w_o \cdot 0.5 + w_z \cdot 0 \quad (56)$$

gde su  $w_s$ ,  $w_o$  i  $w_z$  težinski faktori bez dimenzije. Ovi težinski faktori su izračnati za jednu opciju kao odnos broja objekata sa svežim vazduhom u odnosu na ukupan broj objekata koji čine tu opciju ( $w_s$ ), odnos broja objekata sa optimalnim vazduhom u odnosu na ukupan broj objekata te opcije ( $w_o$ ) i odnosa broja objekata sa lošim kvalitetom vazduha u odnosu na ukupan broj ( $w_z$ ). Zbir ova tri težinska faktora je jednak 1.

Tabela 12. Sociološki podindikator

<i>Sociološki indikator</i>			
<i>Oznaka</i>	<i>Naziv</i>	<i>Jedinica</i>	<i>Definicija</i>
<b>Sc1</b>	<i>Sociološki podindikator stambenog prostora</i>	<i>m<sup>2</sup>/čl.dom.</i>	<i>Kvadratura po članu domaćinstva.</i>
<b>Sc2</b>	<i>Sociološki podindikator klimatizacije</i>	<i>%</i>	<i>Udeo klimatizovanog prostora</i>
<b>Sc3</b>	<i>Sociološki podindikator zastupljenosti sudomašina</i>	<i>%</i>	<i>Udeo objekata u kojima se koristi mašina za pranje sudova.</i>
<b>Sc4</b>	<i>Sociološki podindikator kvaliteta vazduha</i>	<i>-</i>	<i>Ocena kvaliteta vazduha.</i>

### **8.7. Određivanje numeričkih vrednosti indikatora i podindikatora**

Na osnovu odabranih opcija (Poglavlje 8.2. i 8.3.) i definisanih kriterijuma za ocenu (Poglavlje 8.4.), u tabeli 13 su prikazane brojne vrednosti za svaki od 11 podindikatora i svaku od 9 različitih opcija (Prilog 3). Ove numeričke vrednosti čine matricu od 9x11 (9 opcija i 11 kriterijuma-podindikatora) elemenata i čine ulazne podatke za model koji se koristi za analizu kvaliteta različitih opcija u pogledu održivosti aglomerisanjem normalizovanih vrednosti u indeks održivosti svake od njih. Od ukupno 11 odabranih energetskih podindikatora, četiri pripadaju grupi ekonomskih (Ec1, Ec2, Ec3 i Ec4), zatim tri grupi podindikatora životne sredine (En1, En2 i En3) i četiri grupi socioloških indikatora (Sc1,sc2, Sc3 i Sc4).

Tabela 13. Brojne vrednosti odabranih podindikatora

<i>Indikator</i>	<i>Ekonomski</i>				<i>Životne sredine</i>			<i>Sociološki</i>			
<i>Podindik.</i>	<i>Ec1</i>	<i>Ec2</i>	<i>Ec3</i>	<i>Ec4</i>	<i>En1</i>	<i>En2</i>	<i>En3</i>	<i>Sc1</i>	<i>Sc2</i>	<i>Sc3</i>	<i>Sc4</i>
<i>Jedinica</i>	<i>kWh/god./dom.</i>	<i>kWh/god./m<sup>2</sup></i>	<i>m<sup>3</sup>/god./čl.dom.</i>	<i>kWh/dom./god.</i>	<i>°C</i>	<i>%</i>	<i>ppm</i>	<i>m<sup>2</sup>/čl.dom.</i>	<i>%</i>	<i>%</i>	<i>.</i>
<i>Opcija 1</i>	9318	102	11.33	396	0	0	1156	15.4	53	75	0.63
<i>Opcija 2</i>	7271	132	16.76	768	0.7	9	901	22.3	40	70	0.54
<i>Opcija 3</i>	6840	90	15.53	484	0.6	2	1556	16.3	100	67	0.5
<i>Opcija 4</i>	7199	119	16.44	728	0.9	5	739	22.8	57	45	0.55
<i>Opcija 5</i>	12293	160	18.86	533	1.2	4	462	23.9	18	50	0.63
<i>Opcija 6</i>	6822	179	12.97	376	0.5	7	1369	26.0	36	36	0.68
<i>Opcija 7</i>	10118	99	11.93	432	0.4	1	772	27.1	47	25	0.75
<i>Opcija 8</i>	10518	133	17.44	528	0	10	902	28.3	41	100	0.6
<i>Opcija 9</i>	8154	190	15.51	435	0.3	2	1437	26.6	30	44	0.83

Nakon odabira energetskih indikatora održivog razvoja i određivanja brojnih vrednosti za svaki od kriterijuma i svaku od odabranih opcija, izvršena je provera međusobne zavisnosti nizova formiranih od numeričkih vrednosti svakog pojedinačnog podindikatora, a za sve razmatrane opcije (kolone u tabeli 13) na osnovu korelacione analize [44]. Izračunate vrednosti parcijalnih koeficijenata korelacije  $\xi_{ij}$  na osnovu jednačina (4-6) predstavljene su u matricama:

- matrica parcijalnih koeficijenata za ekonomske podindikatore

$$\begin{bmatrix} -1.00 & -0.28 & 0.52 & -0.51 \\ -0.28 & -1.00 & 0.54 & -0.49 \\ 0.52 & 0.54 & -1.00 & 0.77 \\ -0.51 & -0.49 & -0.77 & -1.00 \end{bmatrix}$$

- matrica parcijalnih koeficijenata za podindikatore životne sredine

$$\begin{bmatrix} -1.00 & -0.03 & -0.46 \\ -0.03 & -1.00 & -0.21 \\ -0.46 & -0.21 & -1.00 \end{bmatrix}$$

- matrica parcijalnih koeficijenata za sociološke podindikatore

$$\begin{bmatrix} -1.00 & -0.48 & -0.04 & 0.24 \\ -0.48 & -1.00 & -0.14 & -0.34 \\ -0.04 & -0.14 & -1.00 & -0.49 \\ 0.24 & -0.34 & -0.49 & -1.00 \end{bmatrix}$$

Izračunate vrednosti parcijalnog korelacionog koeficijenta su manje od 0.5 za sve odabrane sociološke kriterijume i kriterijume životne sredine, što ukazuje na veoma slabu međusobnu zavisnost. Slabije umerena zavisnost se javlja kod nekih ekonomskih kriterijuma ( $0.5 < \xi_{ij} < 0.7$ ), a jedino u slučaju Ec3 i Ec4 ( $\xi_{ij} = 0.77$ ) ova zavisnost spada u umereno visoke [134]. Nijedan od ova dva analizirana podindikatora nije eliminisan iz razmatranja zbog toga što je vrednost njihovog korelacionog koeficijenta dosta manja od  $\xi_{ij} = 1$  i ne predstavlja veoma snažnu zavisnost.

### **8.8. Linearna i nelinearna normalizacija podindikatora**

Sa ciljem da se ispita uticaj procesa normalizacije na vrednosti izračunatog indeksa održivosti za neku opciju, u ovom radu je normalizacija brojnih vrednosti podindikatora izvršena na dva različita načina. Prvi način izračunavanja indeksa održivosti je u procesu prvog nivoa aglomeracije sadržao linearno normalizovane vrednosti podindikatora ( $\theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_{11} = 1$ ) koje su prikazane u tabeli 14 a prema formulama (24) i (25).

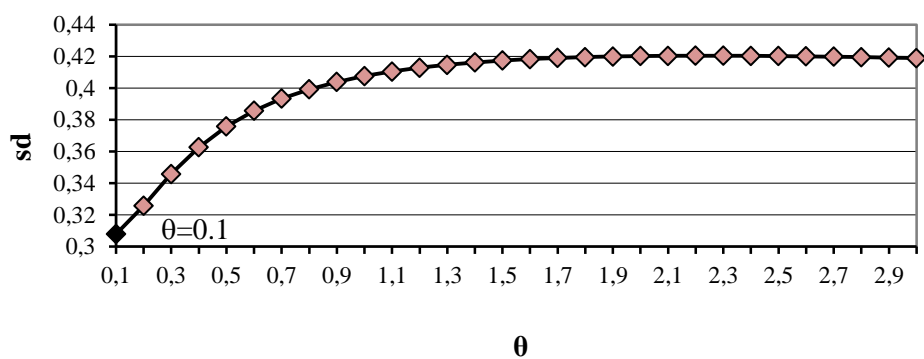


Tabela 14. Linearno normalizovane vrednosti podindikatora  $\theta=1$ 

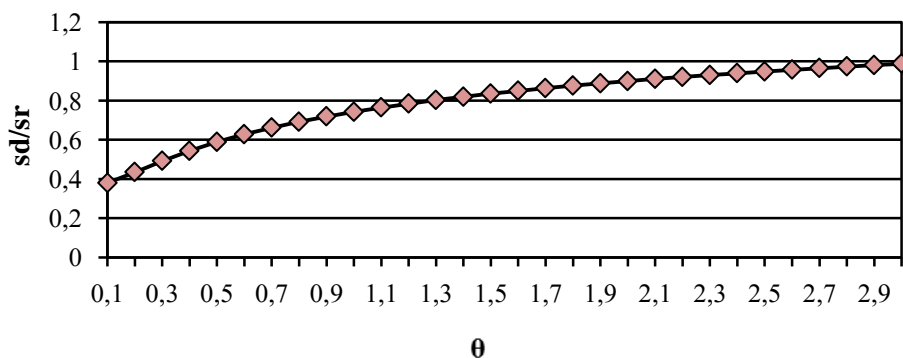
<i>Indikator</i>	<i>Ekonomski</i>				<i>Životne sredine</i>			<i>Sociološki</i>			
<i>Podindikat.</i>	<i>Ec1<sub>n</sub></i>	<i>Ec2<sub>n</sub></i>	<i>Ec3<sub>n</sub></i>	<i>Ec4<sub>n</sub></i>	<i>En1<sub>n</sub></i>	<i>En2<sub>n</sub></i>	<i>En3<sub>n</sub></i>	<i>Sc1<sub>n</sub></i>	<i>Sc2<sub>n</sub></i>	<i>Sc3<sub>n</sub></i>	<i>Sc4<sub>n</sub></i>
<i>Opcija 1</i>	0.3383	0.9708	1	0.9689	1	1	0.322	0	0.6401	0.9158	0.4777
<i>Opcija 2</i>	0.8972	0.5263	0.1786	0	0.2465	0	0.69	0.3979	0.3421	0.801	0.0252
<i>Opcija 3</i>	1	1	0.4315	0.6361	0.3807	0.8627	0	0	1	0.7321	0
<i>Opcija 4</i>	0.9169	0.7189	0.2444	0	0	0.4176	0.9239	0.4553	0.7318	0.2271	0.0755
<i>Opcija 5</i>	0	0.1115	0	0.4508	0	0.5659	1	0.5817	0	0.3418	0.4777
<i>Opcija 6</i>	1	0	0.9578	1	0.5149	0.1209	0.0145	0.8229	0.2504	0.0204	0.729
<i>Opcija 7</i>	0.1199	1	1	0.8327	0.6491	1	0.8762	0.9493	0.5025	0	1
<i>Opcija 8</i>	0.0107	0.5115	0.0388	0.4698	1	0	0.6886	1	0.365	1	0.3268
<i>Opcija 9</i>	0.6561	0	0.4356	0.8214	0.7834	0.8627	0	0.8918	0.1128	0.2041	1

Drugi način izračunavanja indeksa održivosti je u procesu prvog nivoa aglomeracije sadržao nelinearno normalizovane vrednosti podindikatora izračunate na osnovu različitih vrednosti stepena normalizacije ( $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{11}$ ). Za svaki pojedinačni proces normalizacije podindikatora (pri  $j=\text{const.}$ ), vrednost  $\theta_j$  ( $j=1,2,\dots,11$ ) je određena na osnovu grafika koji predstavlja funkcionalnu zavisnost standardne devijacije normalizovanih vrednosti podindikatora od stepena normalizacije. Vrednost parametra  $\theta$  je određena za minimalnu vrednost standardne devijacije slika 16(1-11), a kao pomoćni grafik je korišćen grafik zavisnosti količnika standardne devijacije normalizovane vrednosti podindikatora i njegove izračunate srednje vrednosti od stepena normalizacije slika 17(1-11). Vrednosti stepena normalizacije odabrane na ovaj način su prikazane u tabeli 15.

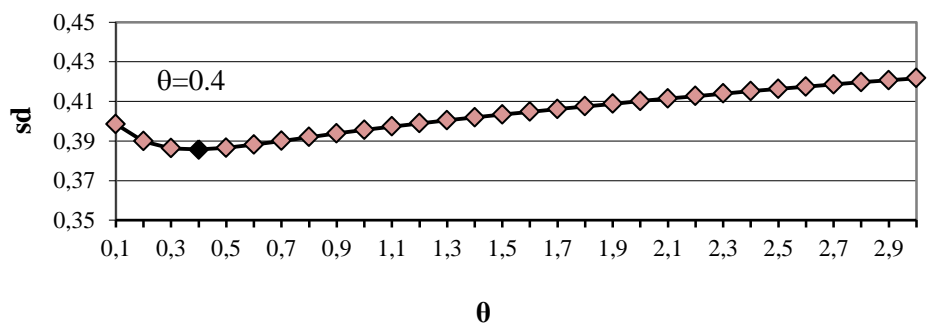
Monotonost svakog odabranog podindikatora veoma je važna za odabir formule za normalizaciju (24) ili (25). Ukoliko odabrani kriterijum ima osobinu da povećanje njegove numeričke vrednosti vodi ka ostvarenju veće koristi, smatramo ga monotono rastućim i u procesu normalizacije koristimo formulu (24). Ukoliko je, pak, odabrani kriterijum takav da je bolje da je njegova vrednost što manja, onda se u procesu normalizacije koristi formula (25). Brojne vrednosti nelinearno normalizovanih podindikatora prikazane su u tabeli 16.



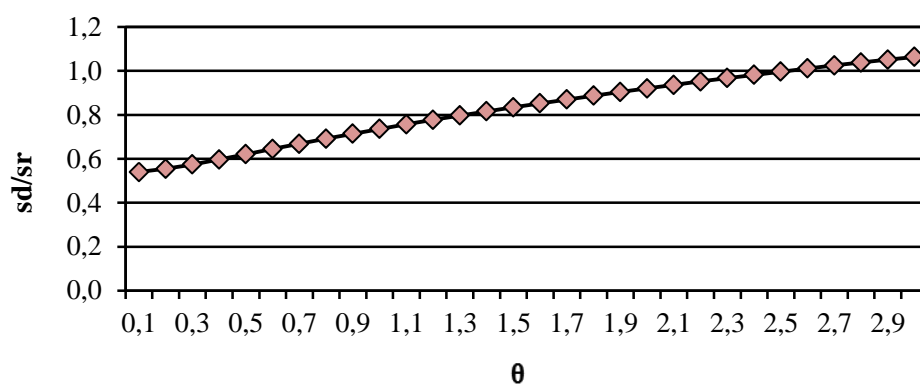
Slika 16-1. Funkcionalna zavisnost standardne devijacije  $Ec_1$  od  $\theta$



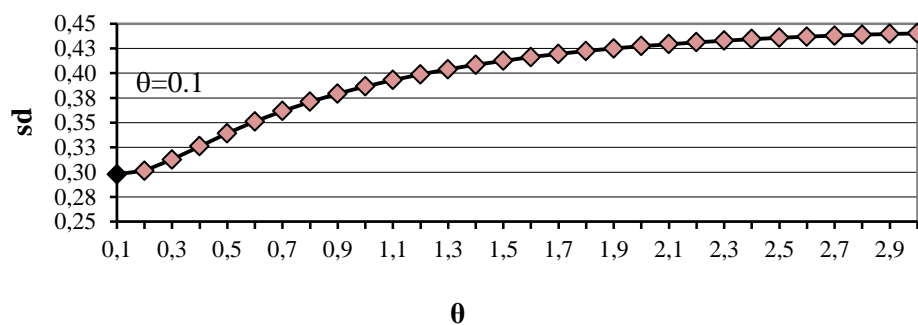
Slika 17-1. Funkcionalna zavisnost odnosa standardne devijacije i srednje vrednosti podindikatora  $Ec_1$  od  $\theta$



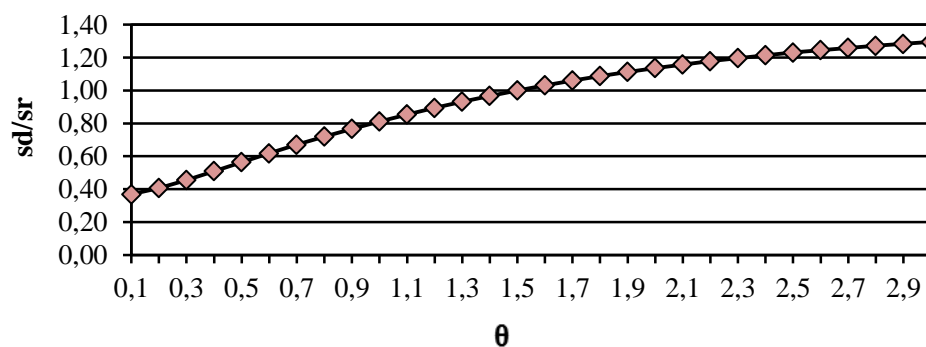
Slika 16-2. Funkcionalna zavisnost standardne devijacije  $Ec_2$  od  $\theta$



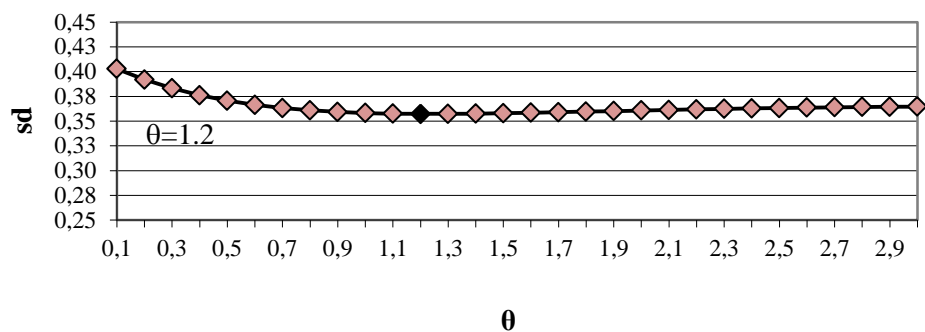
Slika 17-2. Funkcionalna zavisnost odnosa standardne devijacije i srednje vrednosti podindikatora  $E_{c2}$  od  $\theta$



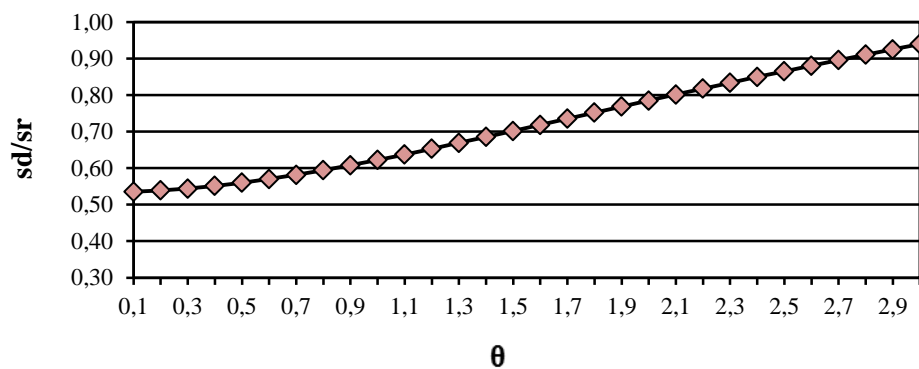
Slika 16-3. Funkcionalna zavisnost standardne devijacije  $E_{c3}$  od  $\theta$



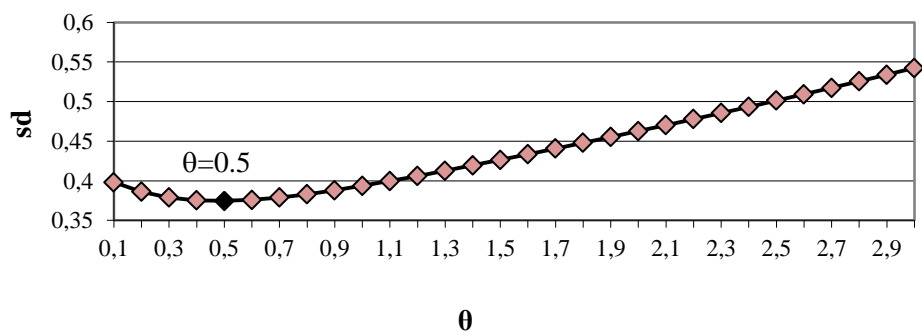
Slika 17-3. Funkcionalna zavisnost odnosa standardne devijacije i srednje vrednosti podindikatora  $E_{c3}$  od  $\theta$



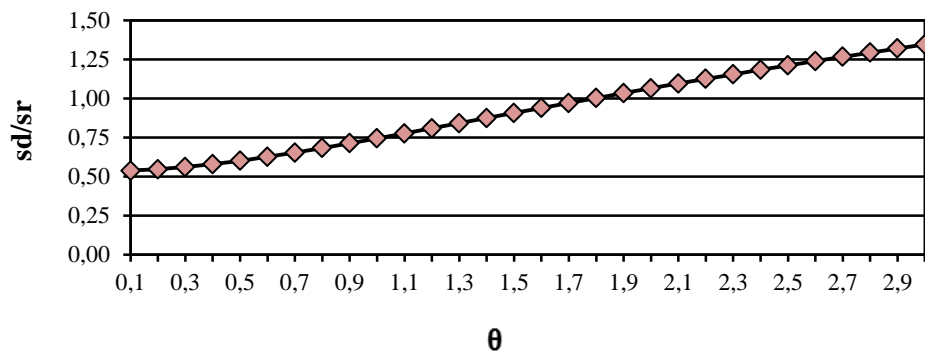
Slika 16-4. Funkcionalna zavisnost standardne devijacije  $Ec_4$  od  $\theta$



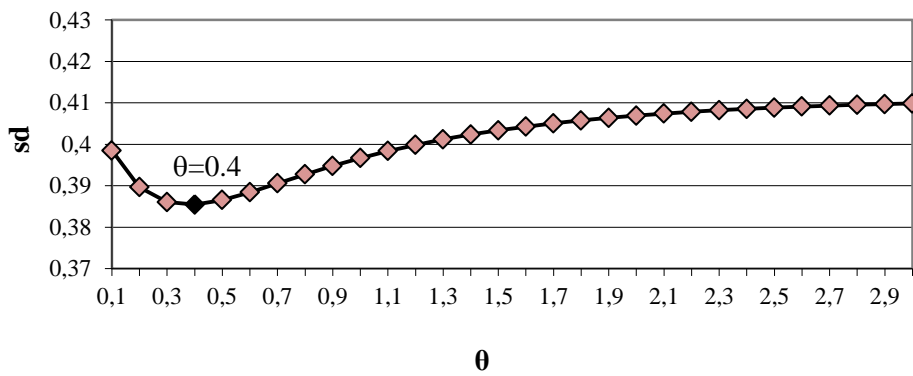
Slika 17-4. Funkcionalna zavisnost odnosa standardne devijacije i srednje vrednosti podindikatora  $Ec_4$  od  $\theta$



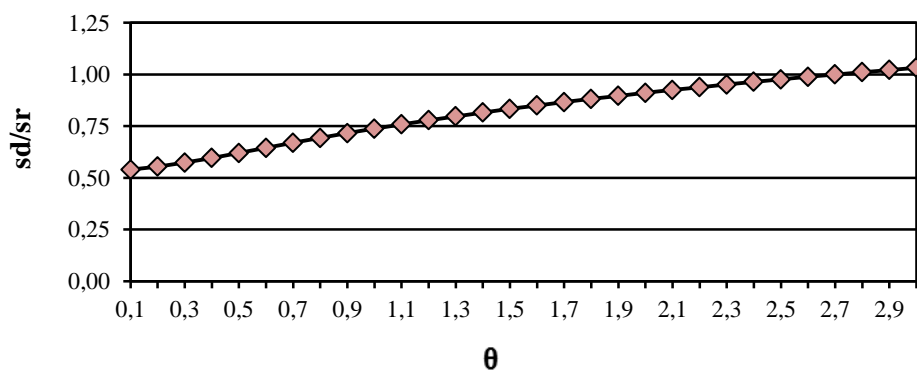
Slika 16-5. Funkcionalna zavisnost standardne devijacije  $En_1$  od  $\theta$



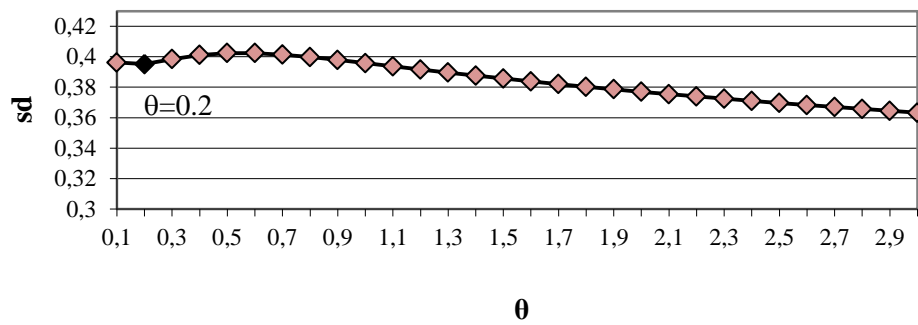
Slika 17-5. Funkcionalna zavisnost odnosa standardne devijacije i srednje vrednosti podindikatora  $En_1$  od  $\theta$



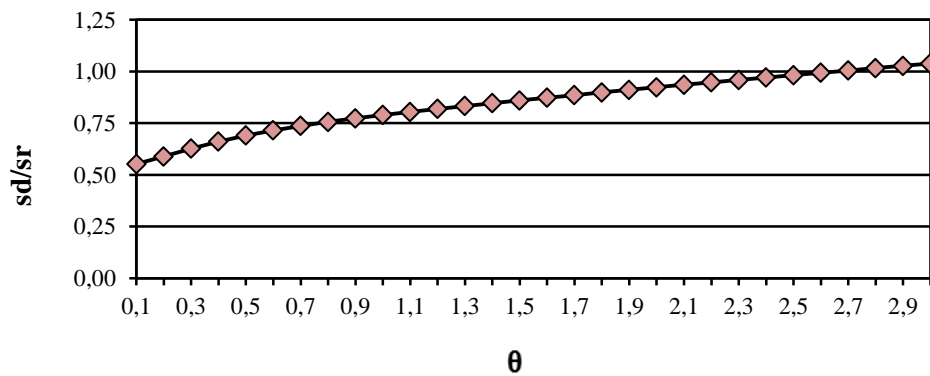
Slika 16-6. Funkcionalna zavisnost standardne devijacije  $En_2$  od  $\theta$



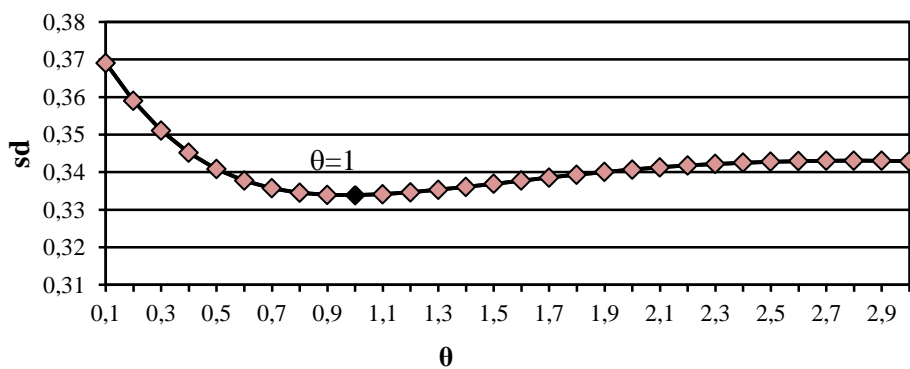
Slika 17-6. Funkcionalna zavisnost odnosa standardne devijacije i srednje vrednosti podindikatora  $En_2$  od  $\theta$



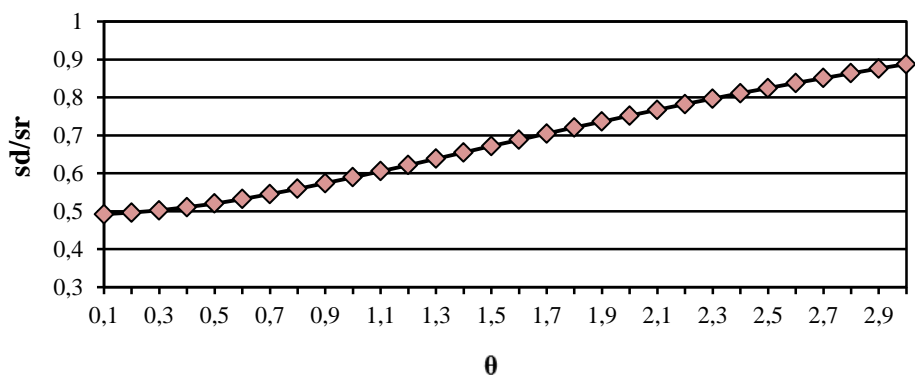
Slika 16-7. Funkcionalna zavisnost standardne devijacije  $En_3$  od  $\theta$



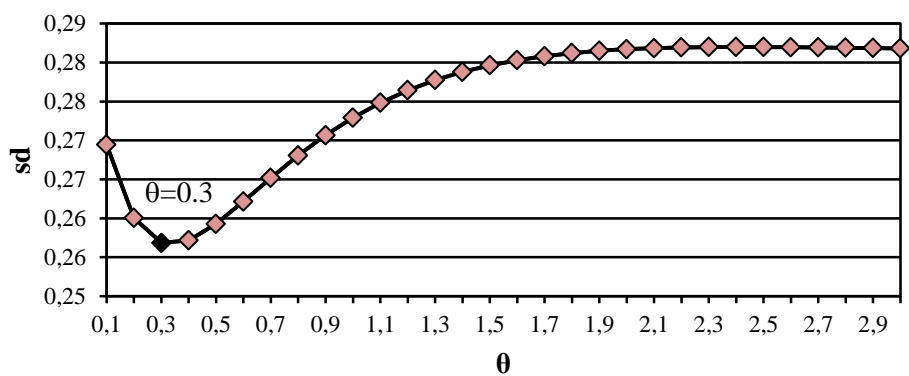
Slika 17-7. Funkcionalna zavisnost odnosa standardne devijacije i srednje vrednosti podindikatora  $En_3$  od  $\theta$



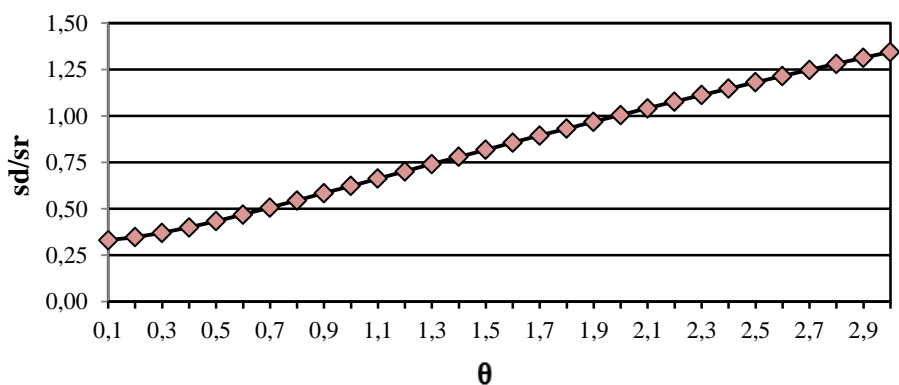
Slika 16-8. Funkcionalna zavisnost standardne devijacije  $Sc_1$  od  $\theta$



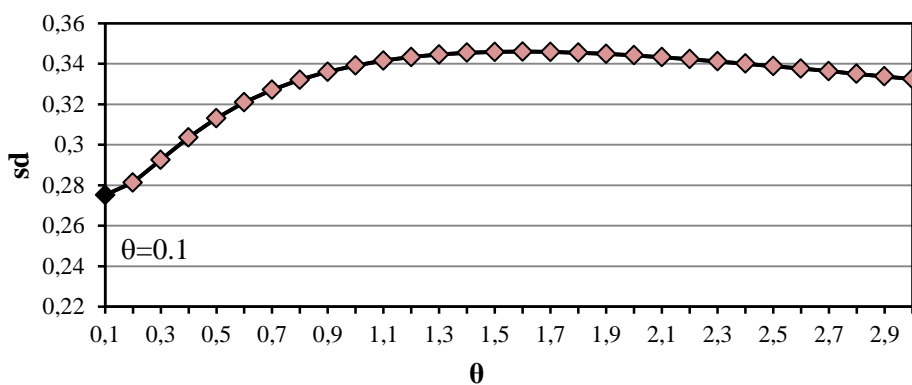
Slika 17-8. Funkcionalna zavisnost odnosa standardne devijacije i srednje vrednosti podindikatora  $Sc_1$  od  $\theta$



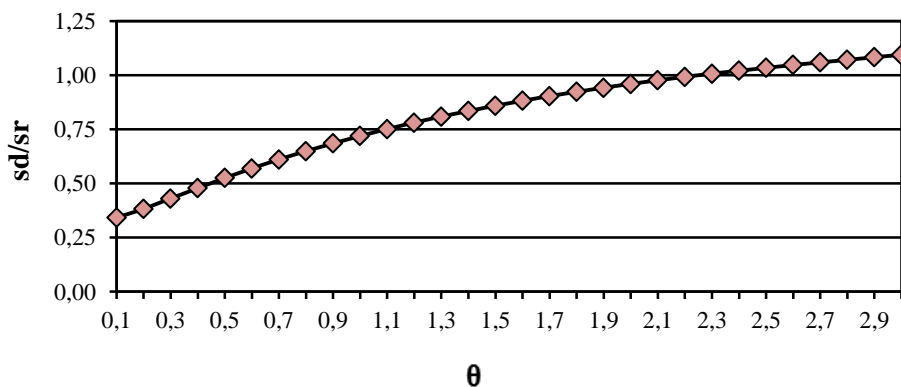
Slika 16-9. Funkcionalna zavisnost standardne devijacije  $Sc_2$  od  $\theta$



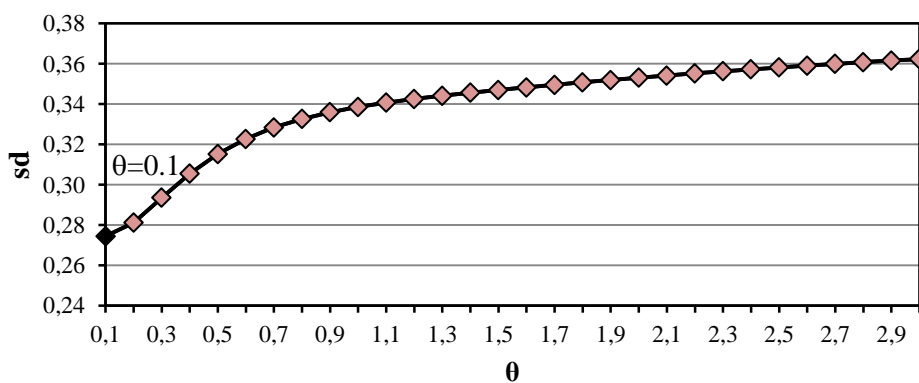
Slika 17-9. Funkcionalna zavisnost odnosa standardne devijacije i srednje vrednosti podindikatora  $Sc_2$  od  $\theta$



Slika 16-10. Funkcionalna zavisnost standardne devijacije  $Sc_3$  od  $\theta$

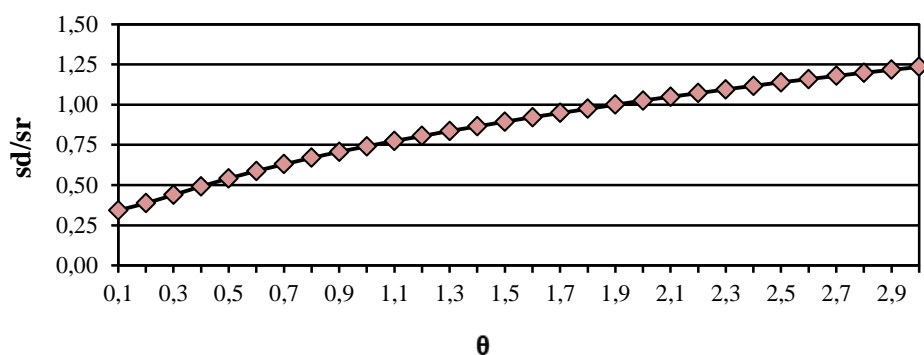


Slika 17-10. Funkcionalna zavisnost odnosa standardne devijacije i srednje vrednosti podindikatora  $Sc_3$  od  $\theta$



Slika 16-11. Funkcionalna zavisnost standardne devijacije  $Sc_4$  od  $\theta$





Slika 17-11. Funkcionalna zavisnost odnosa standardne devijacije i srednje vrednosti podindikatora  $Sc_4$  od  $\theta$

Tabela 15. Monotonost podindikatora i vrednosti stepena nelinearne normalizacije

Indikator	Ekonomski				Životne sredine			Sociološki			
	$Ec1$	$Ec2$	$Ec3$	$Ec4$	$Ek1$	$Ek2$	$Ek3$	$Sc1$	$Sc2$	$Sc3$	$Sc4$
Podindikator											
Monotonost	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑
$\theta$	0.1	0.4	0.1	1.2	0.5	0.4	0.2	1	0.3	0.1	0.1

Tabela 16. Nelinearno normalizovane vrednosti podindikatora  $\theta \neq 1$

Indikator	Ekonomski				Životne sredine			Sociološki			
	$Ec1_n$	$Ec2_n$	$Ec3_n$	$Ec4_n$	$En1_n$	$En2_n$	$En3_n$	$Sc1_n$	$Sc2_n$	$Sc3_n$	$Sc4_n$
Opcija 1	0.897	0.988	1	0.962	1	1	0.797	0	0.874	0.991	0.928
Opcija 2	0.989	0.773	0.841	0	0.496	0	0.928	0.397	0.724	0.978	0.692
Opcija 3	1	1	0.919	0.581	0.617	0.942	0	0	1	0.969	0
Opcija 4	0.991	0.876	0.868	0	0	0.705	0.984	0.455	0.910	0.862	0.772
Opcija 5	0	0.415	0	0.384	0	0.796	1	0.581	0	0.898	0.928
Opcija 6	1	0	0.995	1	0.717	0.429	0.429	0.822	0.66	0.677	0.968
Opcija 7	0.808	1	1	0.802	0.805	1	0.973	0.949	0.813	0	1
Opcija 8	0.635	0.764	0.722	0.403	1	0	0.928	1	0.739	1	0.894
Opcija 9	0.958	0	0.920	0.789	0.885	0.942	0	0.891	0.519	0.853	1

### 8.9. Aglomeracija indikatora i podindikatora

Pojedinačni doprinos svakog podindikatora (kriterijuma) odgovarajućem indikatoru je često veoma teško odrediti. Da bi se ovaj doprinos odredio, potrebno je odrediti težinske koeficijente. Procedura definisanja težinskih koeficijenata korišćena u ovom radu zasnovana je na prethodno opisanoj matematičkoj metodi (Poglavlje 7.5. i 7.6.). Težinski koeficijenti se određuju sa preciznošću unutar koraka  $h=1/n$ . Broj delova na koji je podeljen segment  $[0,1]$  u ovom radu je  $n=100$ . Na ovaj način je formiran skup svih mogućih težinskih faktora prema jednačini (32), a zatim je taj skup redukovano pomoću uslova da zbir težinskih koeficijenata mora biti jednak jedinici, jednačina (33).

Određivanje konačnog skupa težinskih koeficijenata se na kraju vrši uvođenjem skupa nenumeričkih ordinalnih informacija (36) koje se sastoje od ograničenja koja se mogu predstaviti u vidu jednačina ili nejednačina (37) i odnose se na međusobni odnos razmatranih kriterijuma.

Postupak aglomeracije se vrši na dva nivoa upotrebom aditivne sintezne funkcije prema jednačini (29). U postupku aglomeracije prvog nivoa, vrši se sinteza normalizovanih vrednosti podindikatora u aglomerisane vrednosti indikatora i to posebno za ekonomske prema jednačini (57), životne sredine prema jednačini (58) i sociološke prema jednačini (59).

$$EcI_i^{agl} = \sum_{j=1}^{m'} w^j \cdot q_i^j \quad (57)$$

$$EnI_i^{agl} = \sum_{j=m'+1}^{m'+m''} w^j \cdot q_i^j \quad (58)$$

$$ScI_i^{agl} = \sum_{j=m'+m''+1}^m w^j \cdot q_i^j \quad (59)$$

Gde su:

- $q_i^j$  - normalizovane vrednosti podindikatora
- $w^j$  - težinski koeficijenti za aglomeraciju podindikatora u

- ekonomske, životne sredine i sociološke indikatore na osnovu unapred postavljenih uslova prvog nivoa
- $m', m'', m'''$  - broj ekonomskih podindikatora, podindikatora životne sredine i socioloških podindikatora respektivno
- $m$  - ukupan broj podindikatora
- $EcI_{agl}, EnI_{agl}, ScI_{agl}$  - aglomerisane vrednosti ekonomskog indikatora, indikatora životne sredine i sociološkog indikatora

U procesu aglomeracije drugog nivoa određuje se srednja vrednost indeksa održivosti. Normalizovane vrednosti ekonomskog indikatora, indikatora životne sredine i sociološkog indikatora se sinteznom funkcijom, uz težinske koeficijente određene na osnovu unapred utvrđenih ograničenja, aglomerišu prema jednačini (60).

$$SI_i = w_{Ec} \cdot (EcI_i^{agl})_n + w_{En} \cdot (EnI_i^{agl})_n + w_{Sc} \cdot (ScI_i^{agl})_n \quad (60)$$

Gde su:

- $w_{Ec}, w_{En}, w_{Sc}$  - težinski koeficijenti za aglomeraciju ekonomskog indikatora, indikatora životne sredine i sociološkog indikatora u indeks održivosti na osnovu unapred postavljenih uslova drugog nivoa
- $(EcI_{agg})_n, (EnI_{agg})_n, (ScI_{agg})_n$  - aglomerisane i normalizovane vrednosti ekonomskog indikatora, indikatora životne sredine i sociološkog indikatora

### 8.10. Fortranski program

Korišćenjem matematičkih jednačina predstavljenih u prethodnim Poglavljima ovog rada i upotrebom ASPID metodologije za matematičko određivanje težinskih koeficijenta na oba nivoa aglomeracije, razvijen je sopstveni fortranski program za izračunavanje srednje vrednosti indeksa održivosti unapred odabranih opcija (Prilog 4). Ovaj program koristi niz ulaznih podataka kao što su:

- ukupan broj odabranih podindikatora (kriterijuma) za svaki od indikatora (ekonomski, životne sredine, sociološki),  $m'$ ,  $m''$ ,  $m'''$
- ukupan broj odabranih opcija (alternativa),  $k$
- broj na koji se deli interval  $[0,1]$ ,  $n$
- apsolutne vrednosti podindikatora,  $a_{ij}$  ( $i=1,\dots,k; j=1,\dots,m$ )
- vrednosti stepena normalizacije po kriterijumima,  $\theta_j$  ( $j=1,\dots,m$ )
- informacije pretvorene u niz jednačina i nejednačina za određivanje težinskih koeficijenata na prvom nivou aglomeracije
- informacije pretvorene u niz jednačina i nejednačina za određivanje težinskih koeficijenata na drugom nivou aglomeracije

Osnovni izlazni podaci ovog programa su:

- normalizovane vrednosti apsolutnih vrednosti podindikatora,  $q_{ij}$  ( $i=1,\dots,k; j=1,\dots,m$ )
- srednje aglomerisane vrednosti indikatora (ekonomski, životne sredine i sociološki)
- srednje vrednosti indeksa održivosti i odgovarajuće standardne devijacije za svaku odabranu opciju
- verovatnoću za posmatrani par opcija koja pokazuje da li je posmatrana kombinacija realan slučaj u ukupnom broju kombinacija koje se razmatraju

## **9. ODREĐIVANJE PRIORITETA RAZMATRANIH OPCIJA SA STANOVIŠTA ODRŽIVOG RAZVOJA ENERGETSKOG SISTEMA**

### **9.1. Ocena prioriteta objekata pri različitim uslovima za određivanje težinskih koeficijenata i različitim tipovima normalizacije**

Procena održivosti nekog sistema koja se vrši na osnovu više različitih atributa koji ga opisuju preko izmerenih, izračunatih ili procenjenih numeričkih vrednosti koje su u svojoj osnovi fizičke veličine, zavisi i od kriterijuma koji se baziraju na nenumeričkim informacijama i čine osnovu za određivanje težinskih koeficijenata. U fortranski program, napravljen za izračunavanje indeksa održivosti u ovom radu (Poglavlje 8.9.), ugrađena je sintezna tehnika fazi skupova u procesima aglomeracija kao i ASPID metodologija kao potpuno matematička metoda za određivanje težinskih koeficijenata na osnovu prethodno postavljenih ograničenja. Matematička priroda celog procesa omogućila je veoma jednostavnu promenu početnih uslova u smislu davanja prioriteta podindikatorima i indikatorima u postupcima sinteze. Zahvaljujući tome, kombinovanjem različitih početnih uslova na prvom nivou aglomeracije pri određivanju težinskih koeficijenata za grupu ekonomskih podindikatora, podindikatora životne sredine i socioloških podindikatora ( $w^j$ ) i različitih početnih uslova na drugom nivou aglomeracije pri određivanju težinskih koeficijenata za ekonomski indikator, indikator životne sredine i sociološki indikator ( $w_{Ec}$ ,  $w_{En}$ ,  $w_{Sc}$ ) u razmatranje je uključeno 6 različitih slučajeva prikazanih u tabeli 17. Znak “>” označava prednost nekog od podindikatora ili indikatora (u zavisnosti od nivoa aglomeracije) u odnosu na drugi, tj. ukazuje na to da je “veći” važniji u procesu aglomeracije. Ovo praktično znači da će vrednost matematički određenog težinskog koeficijenta koji mu se pridružuje imati veću numeričku vrednost od težinskog koeficijenta koji se pridružuje podindikatoru ili indikatoru koji ima manji prioritet. Znak “=” označava podjednaku važnost i praktično znači da će i pridruženi težinski koeficijenti imati istu numeričku vrednost.

Takođe, u ovom radu je analiziran uticaj različitih tipova normalizacije na srednju vrednost indeksa održivosti. Linearna normalizacija je izvršena za  $\theta=1$  za svaki od podindikatora ponaosob, dok je za nelinearnu normalizaciju stepen normalizacije  $\theta$

odabran posebno za svaki podindikator [135-137] kako je to prikazano u Poglavlju 8.7. i tabeli 15. Za svaki razmatrani slučaj, postupak izračunavanja srednje vrednosti indeksa održivosti i pripadajuće standardne devijacije je sproveden za linearno i nelinearno normalizovane apsolutne vrednosti podindikatora.

U teoriji statistike i verovatnoće, standardna devijacija pokazuje koliko srednja vrednost nekog niza odstupa od njegovih pojedinačnih vrednosti. Ukoliko se porede nizovi sa istom srednjom izračunatom vrednošću, manja standardna devijacija ukazuje da su pojedinačne vrednosti veoma blizu srednje vrednosti, dok veće standardna devijacija ukazuje da pojedinačne vrednosti mogu biti raširene u veoma velikom opsegu. Da bi se izvršilo poređenje izračunatih vrednosti indeksa održivosti za  $\theta=1$  i  $\theta \neq 1$  u ovom radu je upotrebljen koeficijent varijacije  $C_v$  [138, 139]:

$$C_v = \frac{SD}{SI_{sr}} \quad (61)$$

SD - standardna devijacija indeksa održivosti

SI<sub>sr</sub> - srednja vrednost indeksa održivosti

Koeficijent varijacije predstavlja relativnu meru varijabilnosti i služi za procenu varijabilnosti nekog statističkog niza poređenjem standardne devijacije i aritmetičke sredine. On omogućava poređenje varijabilnosti dva statistička niza koja nemaju iste srednje vrednosti. Što je vrednost koeficijenta varijabilnosti manja, sabijenost oko srednje vrednosti je veća, pa je i reprezentativnost te srednje vrednosti veća. Stoga je u ovom radu ovaj koeficijent uzet kao mera kvaliteta izračunate srednje vrednosti indeksa održivosti u poređenju linearnog i nelinearnog postupka normalizacije.

Tabela 17. Slučajevi odabrani za analizu

<i>Slučaj br.</i>	<i>I nivo aglomeracije</i>			<i>II nivo aglomer.</i>
<i>Slučaj br.1</i>	$Ec_1 > Ec_2 = Ec_3 = Ec_4$	$En_1 > En_2 = En_3$	$Sc_1 > Sc_2 = Sc_3 = Sc_4$	$Ec > En = Sc$
<i>Slučaj br.2</i>	$Ec_1 > Ec_2 = Ec_3 = Ec_4$	$En_1 > En_2 = En_3$	$Sc_1 > Sc_2 = Sc_3 = Sc_4$	$En > Ec = Sc$
<i>Slučaj br.3</i>	$Ec_1 > Ec_2 = Ec_3 = Ec_4$	$En_1 > En_2 = En_3$	$Sc_1 > Sc_2 = Sc_3 = Sc_4$	$Sc > Ec = En$
<i>Slučaj br.4</i>	$Ec_1 = Ec_2 > Ec_3 = Ec_4$	$En_1 > En_2 > En_3$	$Sc_1 = Sc_4 > Sc_2 = Sc_3$	$Ec > En = Sc$
<i>Slučaj br.5</i>	$Ec_1 = Ec_2 > Ec_3 = Ec_4$	$En_1 > En_2 > En_3$	$Sc_1 = Sc_4 > Sc_2 = Sc_3$	$En > Ec = Sc$
<i>Slučaj br.6</i>	$Ec_1 = Ec_2 > Ec_3 = Ec_4$	$En_1 > En_2 > En_3$	$Sc_1 = Sc_4 > Sc_2 = Sc_3$	$Sc > Ec = En$

### 9.1.1. $Ec > En = Sc$

Kao što se vidi iz tabele 17, slučajevi 1 i 4 na drugom nivou aglomeracije imaju isti uslov da ekonomski indikator ima prednost u odnosu na indikator životne sredine i sociološki indikator koji su jednaki. Matematički izračunati težinski koeficijenti na drugom nivou aglomeracije su prikazani u tabeli 18. Razlika u određivanju težinskih koeficijenata kod ova dva slučaja postoji samo u davanju prioriteta na prvom nivou aglomeracije.

Tabela 18. Težinski faktori za aglomeraciju indikatora (slučaj I i IV)

<i>Slučajevi I i IV- II nivo aglomeracije</i>			
<i>Indikator</i>	<i>Ec</i>	<i>En</i>	<i>Sc</i>
<i>w</i>	0,67	0,16	0,16
<i>sd(w)</i>	0,20	0,10	0,10

#### Slučaj br. 1

Na prvom nivou aglomeracije u slučaju br.1 prednost je data ekonomskom podindikatoru potrošnje električne energije ( $Ec_1$ ) u odnosu na potrošnju toplotne energije ( $Ec_2$ ) za zagrevanje stambenog prostora, potrošnju tople vode ( $Ec_3$ ) i električne energije za kuvanje ( $Ec_4$ ) koje imaju jednak prioritet. U pogledu

podindikatora životne sredine, ovde je prednost data podindikatoru temperature vazduha (En1) u odnosu na podindikatore relativne vlažnosti (En2) i koncentracije ugljendioksida (En4), a u pogledu socioloških podindikatora, prednost je data podindikatoru stambenog prostora (Sc1) u odnosu na podindikatore klimatizacije (Sc2), zastupljenosti sudomašina (Sc3) i kvaliteta vazduha (Sc4). Težinski koeficijenti dobijeni matematičkim putem za prvi nivo aglomeracije za slučaj br.1 za ekonomske podindikatore, podindikatore životne sredine i sociološke podindikatore, prikazani su tabeli 19.

Vrednost indeksa održivosti i odgovarajuće standardne devijacije je izračunata na osnovu vrednosti podindikatora i težinskih koeficijenta, jednačine (57-60), za svaku opciju pri linearnoj ( $\theta=1$ ) i nelinearnoj ( $\theta \neq 1$ ) normalizaciji (tabela 20). Rezultati su predstavljeni grafički slikama 18 i 19.

Sa ciljem da se izvrši kvalitativno poređenje linearne i nelinearne normalizacije podindikatora izračunat je koeficijent varijacije  $C_v$  prema jednačini (61). Vrednosti ovih koeficijenata prikazani su u tabeli 21.

Tabela 19. Težinski faktori za aglomeraciju podindikatora (slučaj I)

<b>Slučaj I- I nivo aglomeracije</b>											
<i>Indikator</i>	<i>Ekonomski</i>				<i>Životne sredine</i>			<i>Sociološki</i>			
<i>Podindikator</i>	<i>Ec1</i>	<i>Ec2</i>	<i>Ec3</i>	<i>Ec4</i>	<i>En1</i>	<i>En2</i>	<i>En2</i>	<i>Sc1</i>	<i>Sc2</i>	<i>Sc3</i>	<i>Sc4</i>
<i>w</i>	0,64	0,12	0,12	0,12	0,67	0,16	0,16	0,64	0,12	0,12	0,12
<i>sd(w)</i>	0,22	0,07	0,07	0,07	0,20	0,10	0,10	0,22	0,07	0,07	0,07

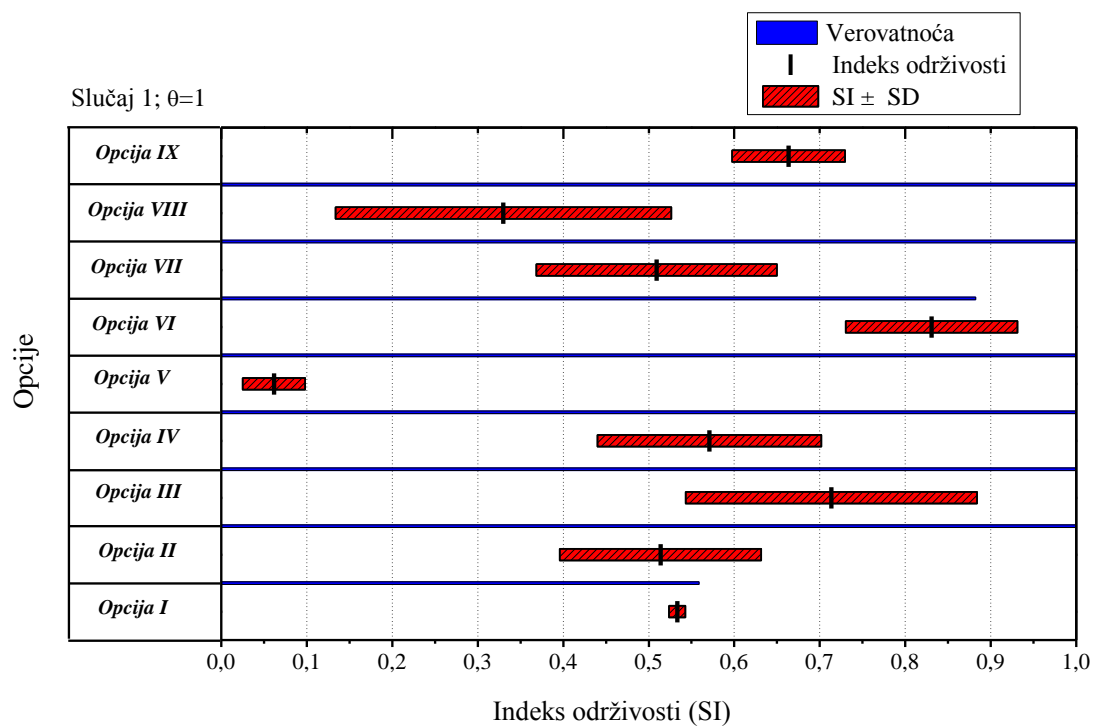
Tabela 20. Vrednosti indeksa održivosti (slučaj I)

<b>Slučaj I</b>										
<i>Opcija</i>		<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>
$\theta=1$	<i>SI<sub>sr</sub></i>	0,53	0,51	0,71	0,57	0,06	0,83	0,51	0,33	0,66
	<i>SD</i>	0,01	0,12	0,17	0,13	0,04	0,10	0,14	0,20	0,07
$\theta \neq 1$	<i>SI<sub>sr</sub></i>	0,73	0,51	0,64	0,52	0,07	0,72	0,78	0,48	0,70
	<i>SD</i>	0,07	0,08	0,13	0,09	0,04	0,01	0,05	0,14	0,05

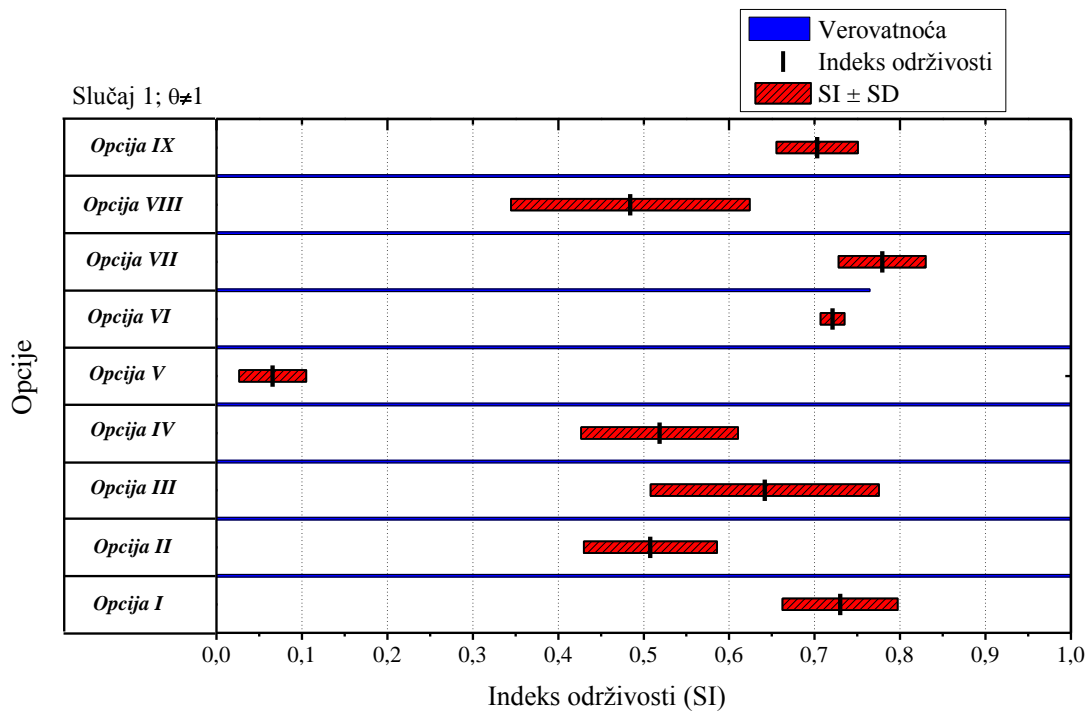


Tabela 21. Koeficijent varijacije indeksa održivosti (slučaj I)

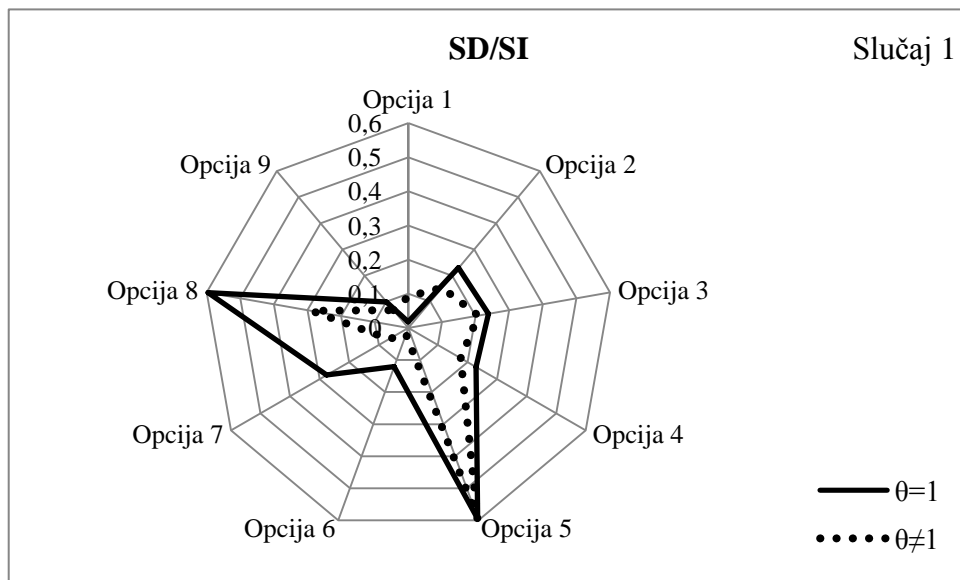
<i>Slučaj I</i>										
<i>Opcija</i>		<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>
$\theta=1$	$Cv_{(\theta=1)}$ (%)	1,8	23,0	23,9	22,9	59,5	12,1	27,6	59,5	10,0
$\theta \neq 1$	$Cv_{(\theta \neq 1)}$ (%)	9,2	15,4	20,8	17,7	59,5	1,9	6,5	28,8	6,8
$Cv_{(\theta=1)} - Cv_{(\theta \neq 1)}$		-7,4	7,6	3,0	5,2	0,0	10,2	21,1	30,6	3,2



Slika 18. Indeks održivosti za opcije I-IX za slučaj br.1 (linearna normalizacija)



Slika 19. Indeks održivosti za opcije I-IX za slučaj br.1 (nelinearna normalizacija)



Slika 20. Koeficijent varijacije za opcije I-IX za slučaj br.1

Na osnovu grafika 18 i 19 može se reći da postoje izvesne razlike u vrednostima indeksa održivosti dobijenim linearnom i nelinearnom normalizacijom. Za opcije 2, 3, 4, 5, 9 razlike su minimalne ili uopšte ne postoje, male razlike se javljaju kod opcije 6, dok su u slučaju opcije 1 i 7 one najizraženije. Koeficijenti varijacije za slučaj linearne i nelinearne normalizacije kao i njihove razlike su izračunati i prikazani u tabeli 21. Njihove vrednosti daju informaciju o odnosu standardne devijacije i indeksa održivosti u oba razmatrana slučaja. Pozitivna razlika ukazuje na to da je srednja vrednost indeksa održivosti za tu opciju izračunata kao reprezentativnija u slučaju nelinearne normalizacije u odnosu na linearnu. Od ukupno devet razmatranih opcija, samo u slučaju prve opcije, ta vrednost je negativna, tj. manje reprezentativna u slučaju nelinearne normalizacije. Na slici 16, grafički su prikazane izračunate vrednosti koeficijenta varijacije za oba slučaja normalizacije za svaku od devet opcija u vidu "radar" dijagrama. Ovaj dijagram predstavlja vizualizaciju tabele 21 i služi da jasnije prikaže razliku u izračunatim vrednostima koeficijenta varijacije.

Ukoliko su pri izračunavanju indeksa održivosti zadovoljeni unapred postavljeni kriterijumi (tabela 18 i 19), međusobne razlike u vrednostima srednjeg indeksa održivosti su manje kod opcija 1-4 koje predstavljaju stanove iz različitih perioda izradnje i sa različitim načinima zagrevanja. Vrednosti indeksa održivosti za pomenute opcije se kreću u opsegu od 0.51-0.73 pa se može reći da stanovi u Beogradu imaju prilično zadovoljavajući nivo održivosti. Sa druge strane opcije 5-9 predstavljaju individualne kuće izgrađene u različitim periodima i sa različitim načinima grejanja. Vrednosti indeksa održivosti su za ove opcije veoma različite i kreću se u opsegu od 0.07-0.78. Najlošiju opciju među svim razmatranim, čini opcija 5 koja predstavlja kuće izgrađene u periodu 1946.-1980. godine sa grejanjem na struju. Loša ocena  $SI=0.07$  ne potiče samo od kriterijuma koji se odnosi na potrošnju struje kao dominantnu u aglomeraciji ekonomskih podindikatora, već i od ostalih razmatranih kriterijuma, kao što su npr. velika potrošnja za zagrevanje prostora, velika odstupanja temperature unutar prostora itd. Kao najbolje ocenjena opcija se javlja opcija 7 koja predstavlja kuće izgrađene u periodu 1981.-2006. godine sa grejanjem na struju. Ova opcija ima prilično visoku vrednost indikatora potrošnja električne energije, ali sa druge strane

veoma malu potrošnju za zagrevanje prostora koja verovatno potiče od kvalitetnog omotača zgrade kao i veoma solidan komfor sa sociološkog stanovišta.

#### Slučaj br. 4

Slučaj br.4 se od slučaja br.1 razlikuje po unapred određenim uslovima na prvom nivou aglomeracije. Kod slučaja br.4 prednost je data podindikatorima potrošnje električne (Ec1) i toplotne energije (Ec2) (međusobno jednak prioritet) u odnosu na potrošnju tople vode (Ec3) i električne energije za kuvanje (Ec4) koje imaju jednak prioritet. U okviru podindikatora životne sredine prednost je data podindikatoru temperature vazduha u odnosu na podindikator relativne vlažnosti koji je zatim važniji od koncentracije ugljendioksida unutar stambenog prostora. U okviru socioloških podindikatora, prednost je data podindikatorima stambenog prostora (Sc1) i kvaliteta vazduha (Sc4) (međusobno jednake važnosti) u odnosu na podindikatore zastupljenosti sudomašina (Sc3) i klimatizacije (Sc2) koji su međusobno jednako važni. Težinski koeficijenti dobijeni matematičkim putem za prvi nivo aglomeracije za ovaj slučaj za ekonomske podindikatore, podindikatore životne sredine i sociološke podindikatore, prikazani su tabeli 22.

Vrednost indeksa održivosti i odgovarajuće standardne devijacije su izračunate na osnovu vrednosti podindikatora (tabela 13) i težinskih koeficijenta (tabele 18 i 22) na osnovu jednačina (57,58,59,60) za svaku od devet opcija pri linearnoj ( $\theta=1$ ) i nelinearnoj ( $\theta \neq 1$ ) normalizaciji (tabela 23), a rezultati su predstavljeni grafički na slikama 21 i 22.

Poređenje linearne i nelinearne normalizacije podindikatora izvršeno je na osnovu vrednosti koeficijent varijacije  $C_v$  izračunatog prema jednačini (61), a vrednosti ovih koeficijenata su prikazani u tabeli 24.

Tabela 22. Težinski faktori za aglomeraciju ekonomskih podindikatora (slučaj IV)

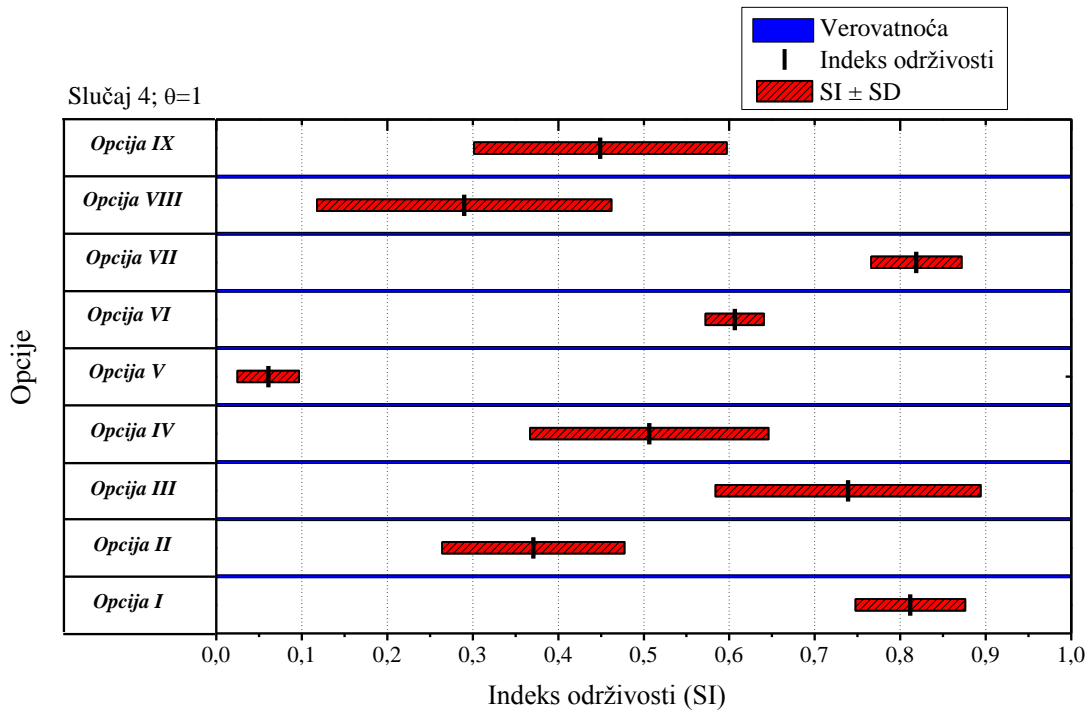
<b>Slučaj IV- I nivo aglomeracije</b>											
<i>Indikator</i>	<i>Ekonomski</i>				<i>Životne sredine</i>			<i>Sociološki</i>			
<i>Podindikator</i>	<i>Ec1</i>	<i>Ec2</i>	<i>Ec3</i>	<i>Ec4</i>	<i>En1</i>	<i>En2</i>	<i>En2</i>	<i>Sc1</i>	<i>Sc2</i>	<i>Sc3</i>	<i>Sc4</i>
<i>w</i>	0,38	0,38	0,12	0,12	0,62	0,28	0,11	0,38	0,38	0,12	0,12
<i>sd(w)</i>	0,07	0,07	0,07	0,07	0,14	0,10	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07

Tabela 23. Vrednosti indeksa održivosti (slučaj IV)

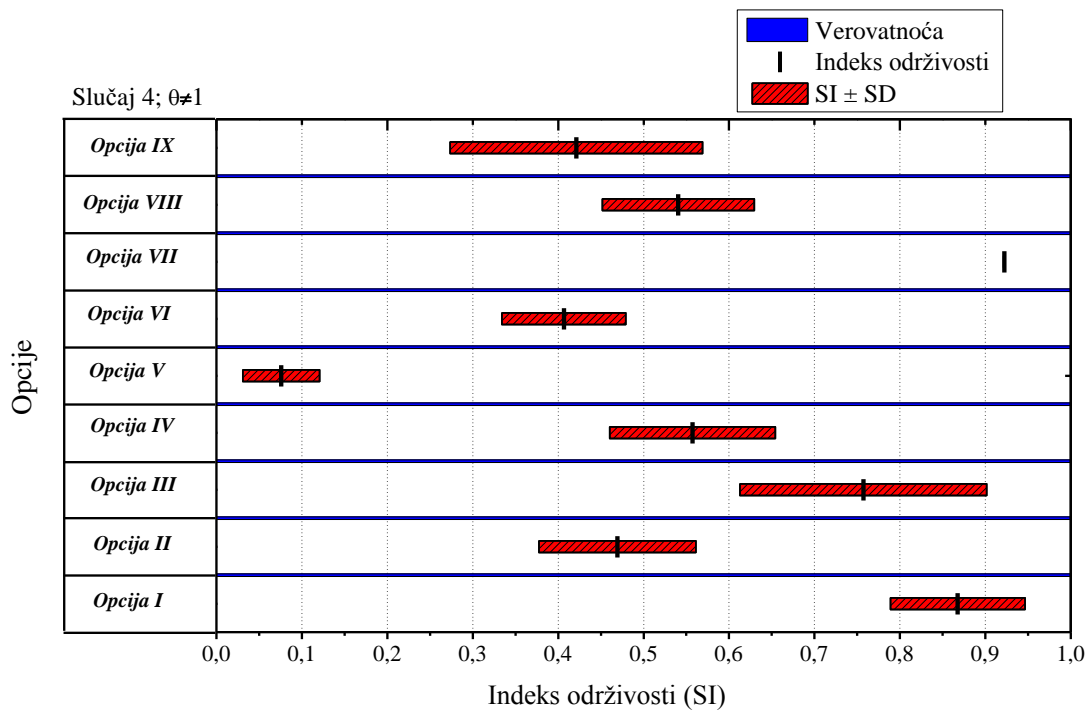
<b>Slučaj IV</b>										
<i>Opcija</i>		<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>
$\theta=1$	<i>SI<sub>sr</sub></i>	0,81	0,37	0,74	0,51	0,06	0,61	0,82	0,29	0,45
	<i>SD</i>	0,06	0,11	0,16	0,14	0,04	0,03	0,05	0,17	0,15
$\theta \neq 1$	<i>SI<sub>sr</sub></i>	0,87	0,47	0,76	0,56	0,08	0,41	0,92	0,54	0,42
	<i>SD</i>	0,08	0,09	0,14	0,10	0,05	0,07	0,00	0,09	0,15

Tabela 24. Koeficijent varijacije indeksa održivosti (slučaj IV)

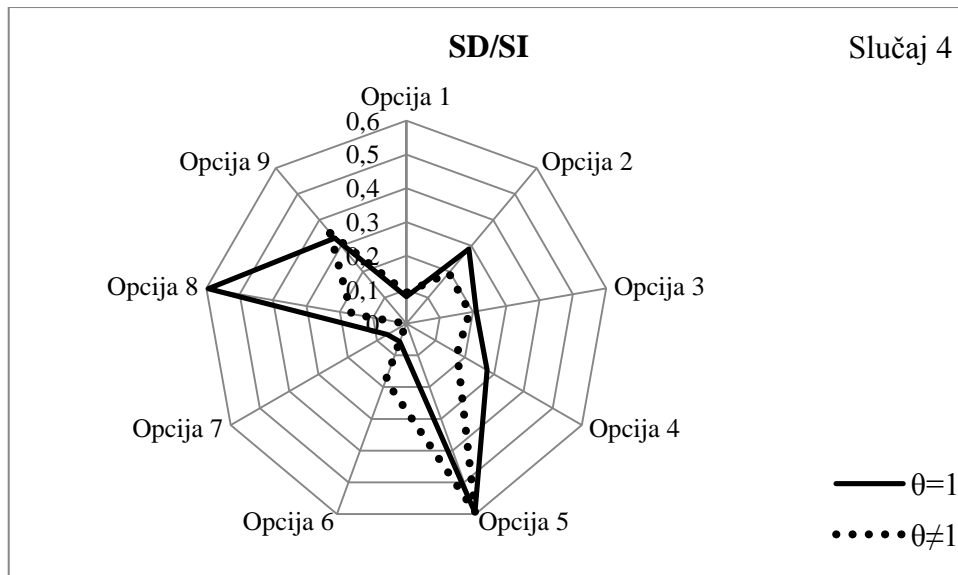
<b>Slučaj IV</b>										
<i>Opcija</i>		<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>
$\theta=1$	<i>Cv<sub>(<math>\theta=1</math>)</sub></i> (%)	7,9	28,8	21,0	27,6	59,5	5,6	6,5	59,5	32,9
$\theta \neq 1$	<i>Cv<sub>(<math>\theta \neq 1</math>)</sub></i> (%)	9,1	19,5	19,1	17,4	59,5	17,8	0,1	16,4	35,1
<i>Cv<sub>(<math>\theta=1</math>)</sub></i> - Cv <sub>(<math>\theta \neq 1</math>)</sub>		-1,1	9,2	1,9	10,2	0,0	-12,2	6,4	43,0	-2,1



Slika 21. Indeks održivosti za opcije I-IX za slučaj br.4 (linearna normalizacija)



Slika 22. Indeks održivosti za opcije I-IX za slučaj br.4 (nelinearna normalizacija)



Slika 23. Koeficijent varijacije za opcije I-IX za slučaj br.4

Postupci linearne i nelinearne normalizacije i u slučaju br. 4 takođe daju različite vrednosti indeksa održivosti (slika 21 i 22). Ove razlike su veoma male kod opcija 1, 3, 4, 5 i 9, dok se nešto veće razlike javljaju za opcije 2 i 6. Samo za opciju 8, izračunate vrednosti značajnije odstupaju. Koeficijenti varijacije i njihove razlike za ovaj slučaj pri linearnoj i nelinearnoj normalizaciji (tabela 24), kao i “radar” dijagram koji ih grafički predstavlja (slika 23) pokazuju da pozitivna razlika postoji kod opcija 2, 3, 4, 5, 7, 8 pa se srednja vrednost izračunatog indeksa može smatrati reprezentativnijom. U slučajevima 1, 6 i 9 ova razlika je negativna, ali relativno mala po apsolutnoj vrednosti (za razliku od relativno velikih apsolutnih vrednosti pozitivnih razlika), pa se može smatrati da je, posmatrajući sve opcije zajedno, nelinearna normalizacija dala bolje rezultate.

U slučaju br.4 izračunate vrednosti indeksa održivosti putem nelinearne normalizacije su uglavnom veće nego u slučaju linearne normalizacije. Postoji isti trend da su indeksi održivosti u proseku veći za stanove nego za kuće i kreću se u opsegu od 0.47-0.87. Za kuće izgrađene u različitim periodima i sa različitim načinom zagrevanja (opcije od 5-9) se može reći da se više međusobno razlikuju po vrednosti indeksa održivosti i te vrednosti se kreću u opsegu 0.08-0.92.

I u ovom slučaju se može reći da je naložija opcija 5 koja predstavlja kuće iz perioda 1946.-1980. godine sa grejanjem na struju i ona ima vrednost indeksa održivosti  $SI=0.08$ . Takođe, kao najbolja opcija i ovde se javlja opcija 7 koja predstavlja kuće novije gradnje (iz perioda 1980.-2006. god.) sa grejanjem na struju i njihov srednji indeks iznosi  $SI=0.92$ . Razlike u vrednostima indeksa održivosti izračunatih za različite opcije u slučaju 1 i 4 potiču od različitih uslova postavljenih na prvom nivou aglomeracije.

### 9.1.2. $En > Ec = Sc$

Od svih prikazanih slučajeva u tabeli 17, slučajevi 2 i 5 imaju jednake uslove postavljene na drugom nivou aglomeracije dok su uslovi na prvom nivou različiti. Kod ovih slučajeva, prednost na drugom nivou aglomeracije, data je indikatoru životne sredine u odnosu na ekonomski i sociološki čija je važnost jednaka. Matematički izračunati težinski koeficijenti drugog nivoa aglomeracije sa pripadajućim standardnim devijacijama su za ova dva slučaja jednaki i prikazani u tabeli 25.

Tabela 25. Težinski faktori za aglomeraciju indikatora (slučaj II i V)

<i>Slučajevi II i V- II nivo aglomeracije</i>			
<i>Indikator</i>	<i>Ec</i>	<i>En</i>	<i>Sc</i>
<i>w</i>	0,16	0,67	0,16
<i>sd(w)</i>	0,10	0,20	0,10

### Slučaj br. 2

Kao i kod slučaja br.1 (tabela 17), slučaj br.2 karakteriše veći značaj za ekonomski podindikator potrošnje električne energije ( $Ec1$ ) u odnosu na podindikatore potrošnje toplotne energije za zagrevanje stambenog prostora ( $Ec2$ ), potrošnje tople vode ( $Ec3$ ) i električne energije za kuvanje ( $Ec4$ ) na prvom nivou aglomeracije. Takođe, kao i kod slučaja br.1, aglomeracija podindikatora životne sredine i socioloških podindikatora se



vršu davanjem prednosti temperaturi vazduha (En1) u okviru podindikatora životne sredine i stambenom prostoru (Sc1) u okviru socioloških podindikatora. Težinski koeficijenti dobijeni matematičkim putem za prvi nivo aglomeracije za slučaj br.2 su isti kao i u slučaju br.1 i prikazani su u tabeli 26 za ekonomske podindikatore, podindikatore životne sredine i sociološke podindikatore.

Srednje vrednosti indeksa održivosti i pripadajuće standardne devijacije su izračunate na osnovu apsolutnih vrednosti podindikatora (tabela 13) i težinskih koeficijenta (tabele 25 i 26) i na osnovu jednačina (57,58,59,60) za svaku opciju pri linearnoj ( $\theta=1$ ) i nelinearnoj ( $\theta \neq 1$ ) normalizaciji. Ovi rezultati su prikazani u tabeli 27, a rezultati su predstavljeni grafički na slikama 24 i 25.

Koeficijenti varijacije  $C_v$  za slučaj linearne i nelinearne normalizacije za slučaj br.2, izračunati prema jednačini (61) za sve opcije i prikazani su u tabeli 28.

Tabela 26. Težinski faktori za aglomeraciju podindikatora (slučaj II)

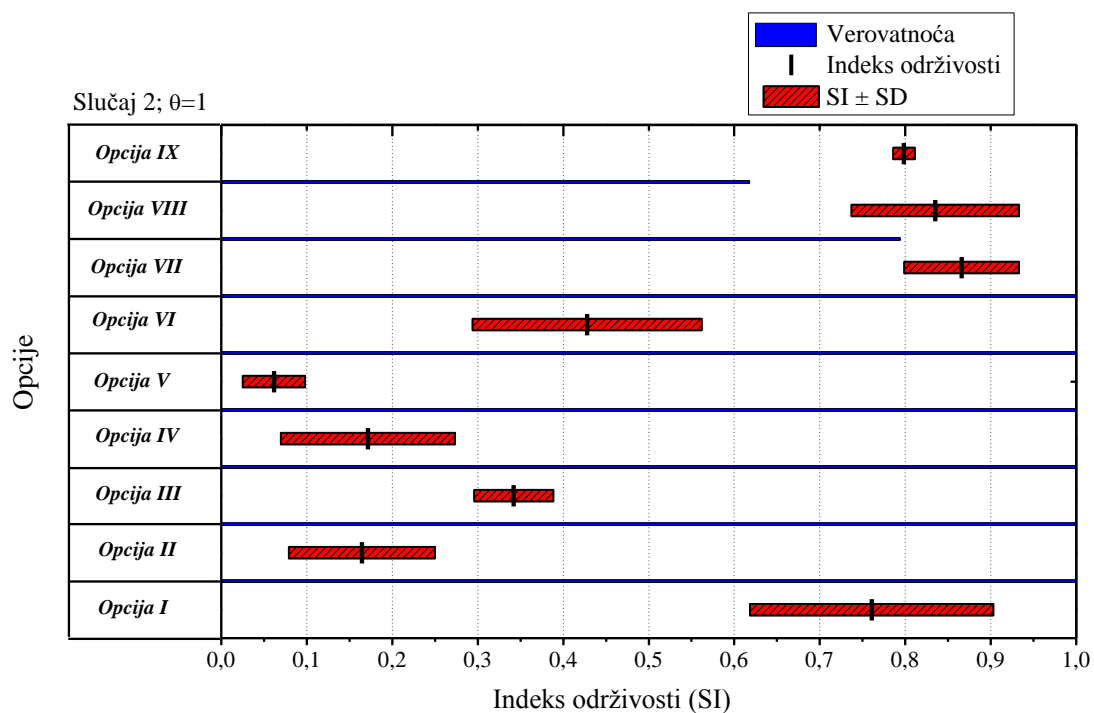
<b>Slučaj II- I nivo aglomeracije</b>											
<i>Indikator</i>	<i>Ekonomski</i>				<i>Životne sredine</i>			<i>Sociološki</i>			
<i>Podindikator</i>	<i>Ec1</i>	<i>Ec2</i>	<i>Ec3</i>	<i>Ec4</i>	<i>En1</i>	<i>En2</i>	<i>En2</i>	<i>Sc1</i>	<i>Sc2</i>	<i>Sc3</i>	<i>Sc4</i>
<i>w</i>	0,64	0,12	0,12	0,12	0,67	0,16	0,16	0,64	0,12	0,12	0,12
<i>sd(w)</i>	0,22	0,07	0,07	0,07	0,20	0,10	0,10	0,22	0,07	0,07	0,07

Tabela 27. Vrednosti indeksa održivosti (slučaj II)

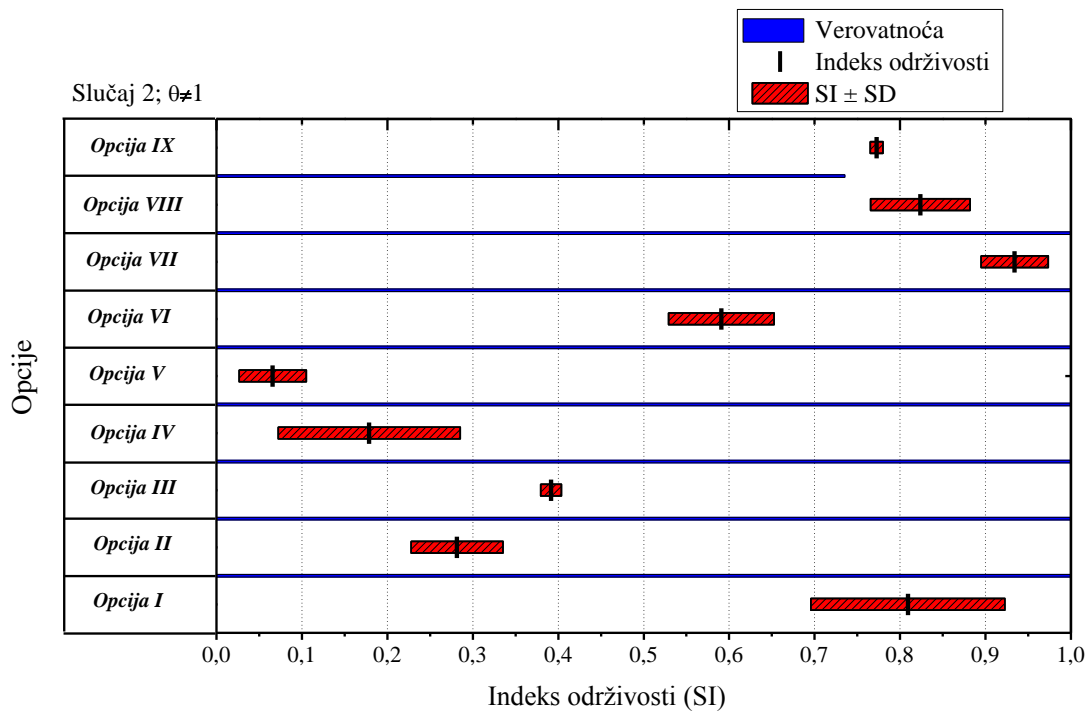
<b>Slučaj II</b>										
<i>Opcija</i>		<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>
$\theta=1$	<i>SI<sub>sr</sub></i>	0,76	0,16	0,34	0,17	0,06	0,43	0,87	0,84	0,80
	<i>SD</i>	0,14	0,09	0,05	0,10	0,04	0,13	0,07	0,10	0,01
$\theta \neq 1$	<i>SI<sub>sr</sub></i>	0,81	0,28	0,39	0,18	0,07	0,59	0,93	0,82	0,77
	<i>SD</i>	0,11	0,05	0,01	0,11	0,04	0,06	0,04	0,06	0,01

Tabela 28. Koeficijent varijacije indeksa održivosti (slučaj II)

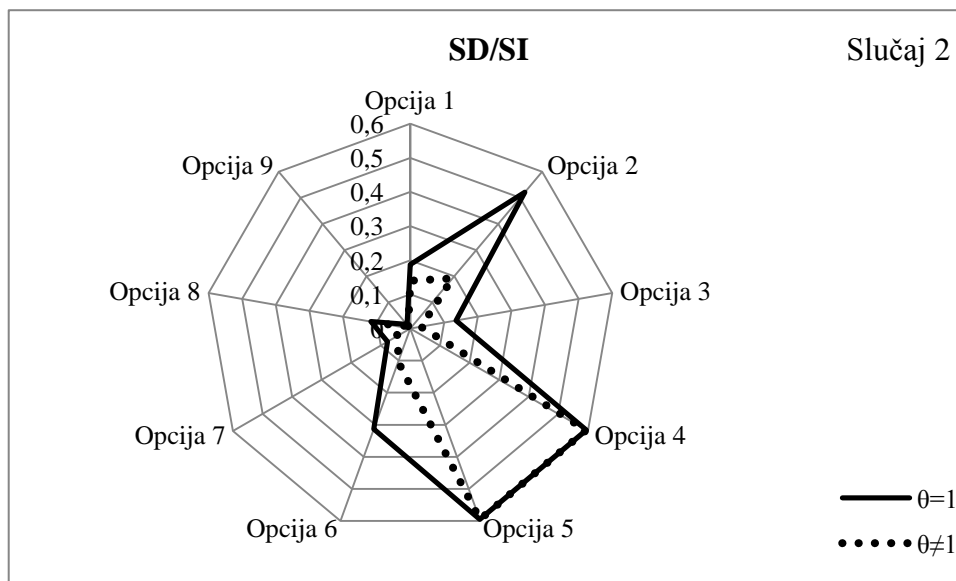
<i>Slučaj II</i>										
<i>Opcija</i>		<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>
$\theta=1$	$Cv_{(\theta=1)}$ (%)	18,7	52,1	13,5	59,5	59,5	31,3	7,8	11,7	1,6
$\theta \neq 1$	$Cv_{(\theta \neq 1)}$ (%)	14,0	19,1	3,1	59,5	59,5	10,5	4,2	7,1	0,9
$Cv_{(\theta=1)} - Cv_{(\theta \neq 1)}$		4,7	33,0	10,4	0,0	0,0	20,9	3,6	4,7	0,6



Slika 24. Indeks održivosti za opcije I-IX za slučaj br.2 (linearna normalizacija)



Slika 25. Indeks održivosti za opcije I-IX za slučaj br.2 (nelinearna normalizacija)



Slika 26. Koeficijent varijacije za opcije I-IX za slučaj br.2

Značajnije razlike u vrednostima indeksa održivosti izračunatim putem linearne i nelinearne normalizacije za slučaj br.2 ne postoje (slike 24 i 25). Za opcije 2 i 6 su one

male, a za ostale skoro zanemarljive. Koeficijenti varijacije za linearnu i nelinearnu normalizaciju i njihove razlike su izračunate i prikazane u tabeli 28. Sve razlike su pozitivne što znači da je odnos standardne devijacije i pripadajućeg srednjeg indeksa manji u slučaju nelinearne normalizacije pa se može smatrati da su srednje vrednosti indeksa održivosti, izračunate za ovaj tip normalizacije, reprezentativnije. Na slici 26, grafički je predstavljena razlika izračunatih vrednosti koeficijenta varijacije za oba slučaja normalizacije za svaku od 9 opcija u vidu “radar” dijagrama.

Zadavanjem prioriteta na prvom i drugom nivou aglomeracije kao što je prikazano u tabelama 25 i 26, dobijene vrednosti srednjeg indeksa održivosti se međusobno dosta razlikuju. Najbolje ocenjena opcija od svih koje predstavljaju stanove je opcija 1 sa indeksom  $SI=0.81$  koja ima najmanju vrednost podindikatora temperature vazduha ( $En1$ ), ali i relativno malu potrošnju električne energije ( $Ec1$ ). Ostale opcije koje predstavljaju stanove imaju relativno male indekse održivosti i to  $SI<0.4$ . Opcija 5 i u ovom slučaju ima najlošiji indeks i to  $SI=0.07$ , ali i najveće odstupanje srednje temperature stambenog prostora od idealnih vrednosti. Ostale opcije 6-9 (kuće izgrađene u različitim periodima i sa različitim načinima zagrevanja) imaju prilično visok indeks održivosti, ali i veoma mala odstupanja unutrašnjih temperatura od idealnih vrednosti. I u ovom slučaju, najbolji indeks održivosti ima opcija 7 koja predstavlja novije kuće sa grejanjem na električnu energiju  $SI=0.93$ .

#### Slučaj br. 5

Slučaj br.5 se od slučaja br.2 razlikuje na isti način kao i slučaj br.4 od slučaja br.1. Razlike u zadavanju prioriteta postoje samo na prvom nivou aglomeracije. Kod slučaja br.5 je kao i kod slučaja br.4 prioritet dat potrošnji električne ( $Ec1$ ) i toplotne energije ( $Ec2$ ) u odnosu na potrošnju tople vode ( $Ec3$ ) i struje za kuvanje ( $Ec4$ ) u okviru ekonomskih podindikatora, temperaturi unutrašnjeg vazduha ( $En1$ ) u odnosu na relativnu vlažnost ( $En2$ ), a relativnoj vlažnosti u odnosu na koncentraciju ugljendioksida ( $En3$ ) u okviru podindikatora životne sredine, i stambenom prostoru ( $Sc1$ ) i kvalitetu vazduha ( $Sc4$ ) u odnosu na zastupljenost sudomašina ( $Sc3$ ) i klimatizaciju ( $Sc2$ ) u okviru socioloških. Matematički izračunati težinski koeficijenti za

ovaj nivo aglomeracije za ekonomske podindikatore, podindikatore životne sredine i sociološke podindikatore prikazan je u tabeli 29.

Srednje vrednosti indeksa održivosti i pripadajuće standardne devijacije su izračunate putem jednačina (57,58,59,60) za svaku opciju i tip normalizacije ( $\theta=1$  i  $\theta \neq 1$ ) na osnovu apsolutnih vrednosti podindikatore iz tabele 13 i težinskih koeficijenata iz tabela 25 i 29. Rezultati su prikazani u tabeli 30 i grafički predstavljeni na slikama 27 i 28 za linearnu i nelinearnu normalizaciju, respektivno.

Koeficijenti varijacije  $C_v$  za oba tipa normalizacije i njihove razlike za slučaj br.5 su izračunati prema (61) i prikazani u tabeli 31, a grafički predstavljeni na slici 29.

Tabela 29. Težinski faktori za aglomeraciju ekonomskih podindikatora (slučaj V)

<b>Slučaj V- I nivo aglomeracije</b>											
<i>Indikator</i>	<i>Ekonomski</i>				<i>Životne sredine</i>			<i>Sociološki</i>			
<i>Podindikator</i>	<i>Ec1</i>	<i>Ec2</i>	<i>Ec3</i>	<i>Ec4</i>	<i>En1</i>	<i>En2</i>	<i>En2</i>	<i>Sc1</i>	<i>Sc2</i>	<i>Sc3</i>	<i>Sc4</i>
<i>w</i>	0,38	0,38	0,12	0,12	0,62	0,28	0,11	0,38	0,38	0,12	0,12
<i>sd(w)</i>	0,07	0,07	0,07	0,07	0,14	0,10	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07

Tabela 30. Vrednosti indeksa održivosti (slučaj V)

<b>Slučaj V</b>										
<i>Opcija</i>		<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>
$\theta=1$	<i>SI</i>	0,85	0,09	0,45	0,13	0,06	0,36	0,96	0,72	0,81
	<i>SD</i>	0,09	0,06	0,02	0,08	0,04	0,11	0,03	0,08	0,06
$\theta \neq 1$	<i>SI</i>	0,87	0,16	0,52	0,19	0,08	0,49	0,96	0,69	0,78
	<i>SD</i>	0,08	0,09	0,01	0,12	0,05	0,02	0,02	0,00	0,06

Tabela 31. Koeficijent varijacije indeksa održivosti (slučaj V)

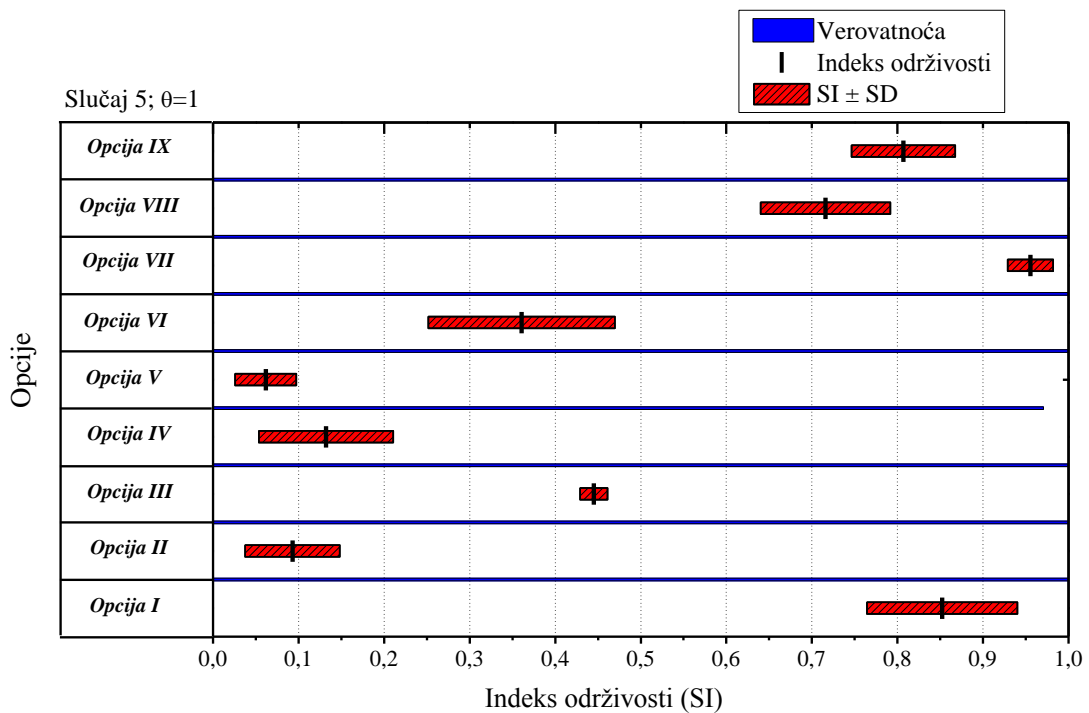
<i>Slučaj V</i>										
<i>Opcija</i>		<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>
$\theta=1$	$Cv_{(\theta=1)}$ (%)	10,3	59,5	3,6	59,5	58,1	30,2	2,8	10,6	7,5
$\theta\neq 1$	$Cv_{(\theta\neq 1)}$ (%)	9,1	55,5	1,1	59,5	59,5	4,7	2,3	0,2	8,1
$Cv_{(\theta=1)} - Cv_{(\theta\neq 1)}$		1,2	4,0	2,5	0,0	-1,3	25,5	0,4	10,4	-0,6

Kao i u svim prethodno razmatranim slučajevima, i u slučaju br. 5 postupci linearne i nelinearne normalizacije su dali nešto različite vrednosti indeksa održivosti (slike 27 i 28). Ova razlika je skoro beznačajna za sve opcije sem opcije 6, a i u tom slučaju nije drastična. Izračunati koeficijenti varijacije i njihove razlike predstavljeni u tabeli 31 ukazuju na to da su samo srednje vrednosti indeksa održivosti izračunati za opcije 5 i 9 (negativne vrednosti razlika koeficijenata varijacije) manje reprezentativni u odnosu na ostale, ali u veoma maloj meri. Povećana reprezentativnost indeksa održivosti za sve ostale opcije, uopšteno gledajući, znatno je veća. Kao kod ostalih slučajeva vizuelizacija koeficijenta varijacije za različite tipove normalizacije i sve razmatrene opcije je prikazana “radar” dijagramom (slika 29).

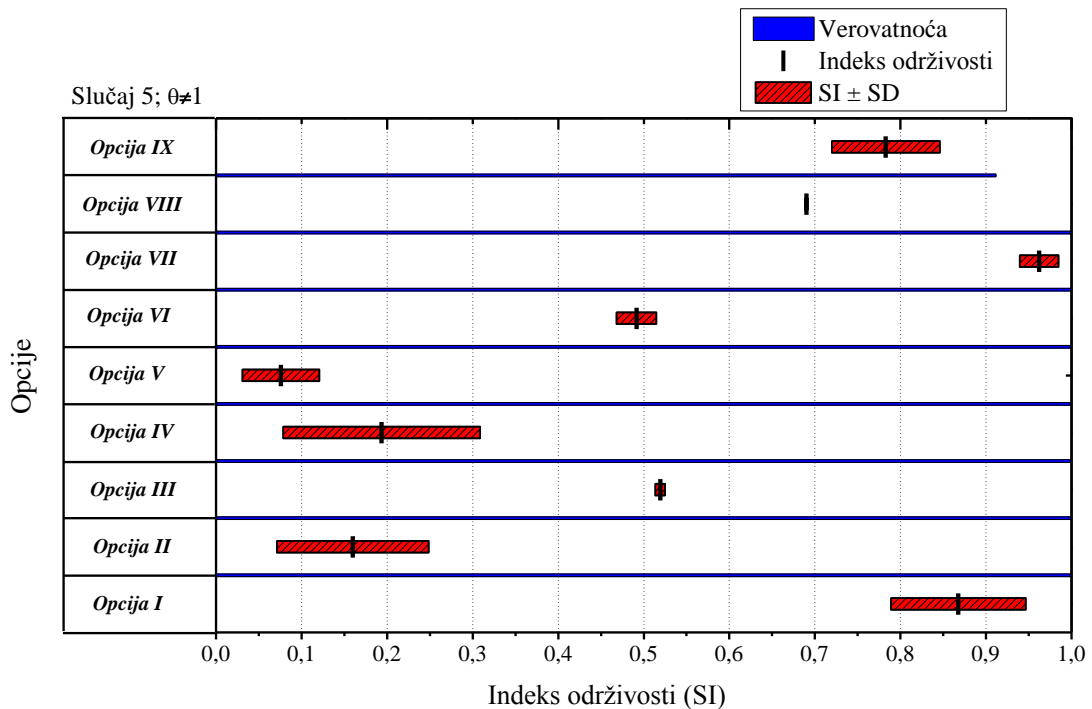
U slučaju br.5 srednje izračunate vrednosti indeksa održivosti za stanove se kreću od 0.16-0.87. Najveću vrednost indeksa imaju stanovi opcije1 građeni u periodu 1946.-1980. godine sa grejanjem na struju. Relativno dobar indeks ( $SI>0.5$ ) imaju i stanovi opcije 3 izgrađeni od 1980.-2006. godine koji takođe imaju grejanje na struju, dok stanovi opcija 2 i 4 imaju indeks održivosti  $SI<0.2$ .

Srednje vrednosti indeksa održivosti za opcije 5-9 su međusobno veoma različite i kreću se u velikom opsegu od 0.08-0.96. Starije kuće (opcije 5 i 6) imaju znatno niži indeks održivosti ( $SI=0.08$  i  $SI=0.49$  respektivno) od novih kuća (opcije 7, 8, 9) čiji indeks se kreće u opsegu 0.69-0.96. I u ovom slučaju se kao najbolje ocenjena opcija javlja opcija 7 (individualne kuće novije gradnje sa grejanjem na struju). Ova opcija ima prilično visok kvalitet sa stanovišta odabranih podindikatora životne sredine i socioloških podindikatora kao i pojedinih ekonomskih. Uopšteno govoreći, novije kuće bez obzira na način zagrevanja, kao i stanovi sa grejanjem na struju imaju veće

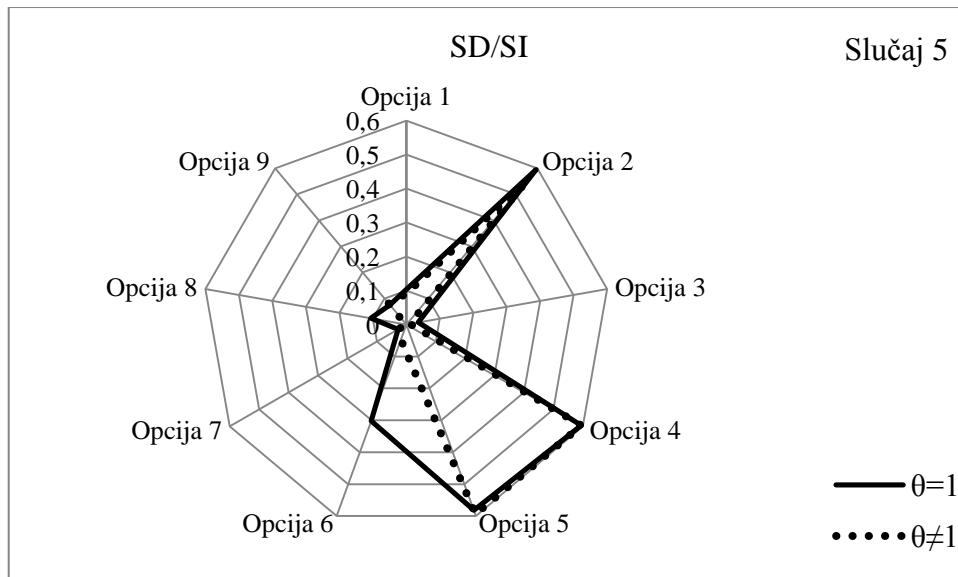
vrednosti indeksa održivosti sa stanovišta životne sredine u okviru razmatrane opcije br.5.



Slika 27. Indeks održivosti za opcije I-IX za slučaj br.5 (linearna normalizacija)



Slika 28. Indeks održivosti za opcije I-IX za slučaj br.5 (nelinearna normalizacija)



Slika 29. Koeficijent varijacije za opcije I-IX za slučaj br.5

### 9.1.3. $Sc > Ec = En$

Kao u prethodno razmatranim slučajevima br. 1 i 4, kao i br. 2 i 5, slučajevi br. 3 i 6 imaju iste uslove za aglomeraciju prvog nivoa, a različite uslove za aglomeraciju na drugom nivou (tabela 17). Na drugom nivou aglomeracije za slučajeve 3 i 6 je veći značaj dat sociološkom indikatoru u odnosu na ekonomski indikator i indikator životne sredine, a vrednosti matematički izračunatih težinskih koeficijenata drugog nivoa aglomeracije za ova dva slučaja je prikazan u tabeli 32.

Tabela 32. Težinski faktori za aglomeraciju indikatora (slučaj III i VI)

<i>Slučajevi III i VI- II nivo aglomeracije</i>			
<i>Indikator</i>	<i>Ec</i>	<i>En</i>	<i>Sc</i>
<i>w</i>	0,16	0,16	0,67
<i>sd(w)</i>	0,10	0,10	0,20



### Slučaj br. 3

Slučaj br.3 na prvom nivou aglomeracije ima iste uslove kao i slučajevi br.1 i 2. Prednost je data potrošnji električne (Ec1) u odnosu na potrošnju toplotne energije (Ec2), potrošnju tople vode (Ec3) i potrošnju električne energije za kuvanje (Ec4) u okviru grupe odabranih ekonomskih podindikatora, zatim temperaturi vazduha (En1) u odnosu na relativnu vlažnost (En2) i koncentraciju ugljendioksida (En3) u okviru grupe odabranih podindikatora životne sredine i, stambenom prostoru (Sc1) u odnosu na sve ostale odabrane sociološke podindikatore (klimatizacije (Sc2), zastupljenosti sudomašina (Sc3) i kvaliteta vazduha (Sc4)). Težinski koeficijenti dobijeni matematičkim putem za prvi nivo aglomeracije za slučaj br.3 prikazani su u tabeli 33.

Izračunavanje srednje vrednosti indeksa održivosti i pripadajućih standardnih devijacija za slučaj br.3 izvršeno je korišćenjem apsolutnih vrednosti podindikatora (tabela 13) i težinskih koeficijenata (tabele 32 i 33) za svaku opciju na osnovu jednačina (57,58,59,60). Kao i u prethodnim slučajevima, račun je sproveden za oba tipa normalizacije (linearna i nelinearna) a rezultati su prikazani u tabeli 34. Grafički prikaz ovih izračunatih vrednosti dat je na slikama 30 i 31.

U cilju analize uticaja linearne i nelinearne normalizacije na vrednosti indeksa održivosti i ovde su izračunate vrednosti koeficijenta varijacije  $C_v$  prema jednačini (61). Ove vrednosti su prikazane u tabeli 35 sa međusobnim razlikama i grafički predstavljene na slici 32.

Tabela 33. Težinski faktori za aglomeraciju podindikatora (slučaj III)

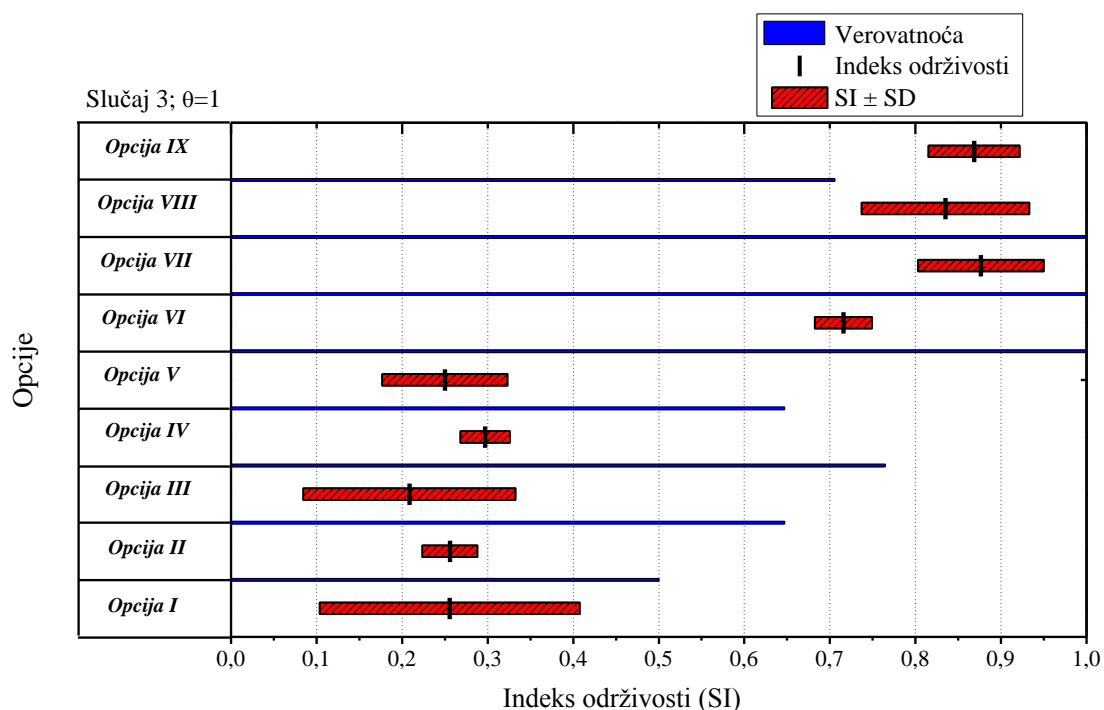
<b>Slučaj III- I nivo aglomeracije</b>											
<i>Indikator</i>	<i>Ekonomski</i>				<i>Životne sredine</i>			<i>Sociološki</i>			
<i>Podindikator</i>	<i>Ec1</i>	<i>Ec2</i>	<i>Ec3</i>	<i>Ec4</i>	<i>En1</i>	<i>En2</i>	<i>En2</i>	<i>Sc1</i>	<i>Sc2</i>	<i>Sc3</i>	<i>Sc4</i>
<i>w</i>	0,64	0,12	0,12	0,12	0,67	0,16	0,16	0,64	0,12	0,12	0,12
<i>sd(w)</i>	0,22	0,07	0,07	0,07	0,20	0,10	0,10	0,22	0,07	0,07	0,07

Tabela 34. Vrednosti indeksa održivosti (slučaj III)

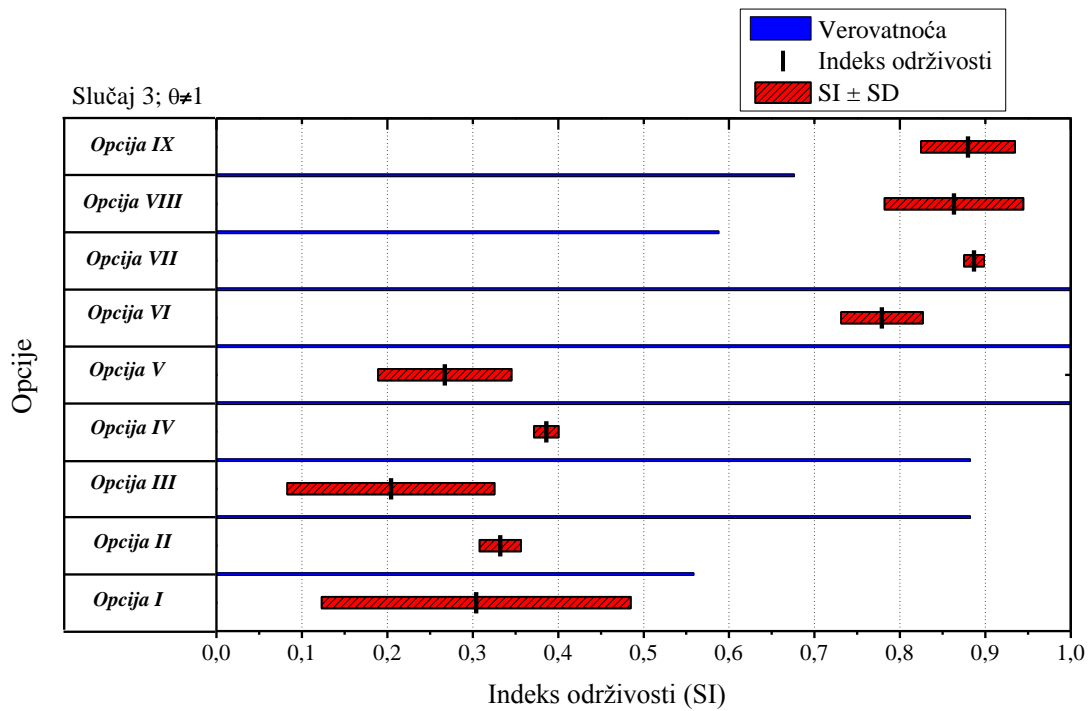
Slučaj III										
Opcija		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
$\theta=1$	SI	0,26	0,26	0,21	0,30	0,25	0,72	0,88	0,84	0,87
	SD	0,15	0,03	0,12	0,03	0,07	0,03	0,07	0,10	0,05
$\theta \neq 1$	SI	0,30	0,33	0,20	0,39	0,27	0,78	0,89	0,86	0,88
	SD	0,18	0,02	0,12	0,01	0,08	0,05	0,01	0,08	0,06

Tabela 35. Koeficijent varijacije indeksa održivosti (slučaj III)

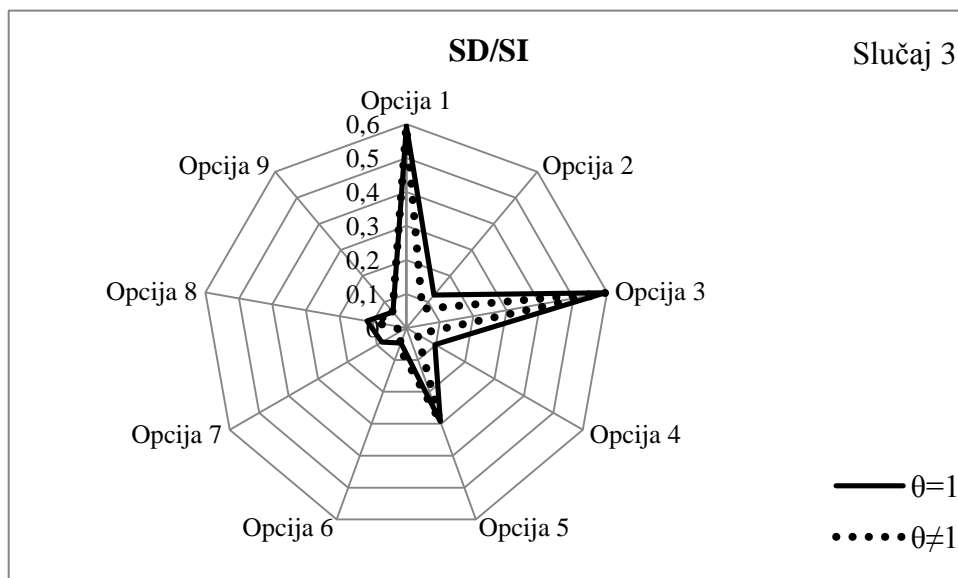
Slučaj III										
Opcija		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
$\theta=1$	$Cv_{(\theta=1)}$ (%)	59,5	12,6	59,5	9,7	29,3	4,7	8,4	11,7	6,2
$\theta \neq 1$	$Cv_{(\theta \neq 1)}$ (%)	59,5	7,3	59,5	3,8	29,3	6,1	1,3	9,4	6,3
$Cv_{(\theta=1)} - Cv_{(\theta \neq 1)}$		0,0	5,4	0,0	6,0	0,0	-1,4	7,1	2,3	-0,1



Slika 30. Indeks održivosti za opcije I-IX za slučaj br.3 (linearna normalizacija)



Slika 31. Indeks održivosti za opcije I-IX za slučaj br.3 (nelinearna normalizacija)



Slika 32. Koeficijent varijacije za opcije I-IX za slučaj br.3

U slučaju br.3 postupci linearne i nelinearne normalizacije su dali vrednosti srednjeg indeksa održivosti za sve razmatrane opcije sa malim međusobnim razlikama (slike 30 i

31). Koeficijenti varijacije i njihove razlike su izračunati. Njihove brojne vrednosti su predstavljene u tabeli 35, a grafički prikaz je dat “radar”dijagramom na slici 32. Negativne vrednosti razlika koeficijenta varijacije za opcije 6 i 9 (tabela 35) ukazuju na manje reprezentativne srednje vrednosti u slučaju nelinearne normalizacije, ali su po apsolutnoj vrednosti ove veličine veoma male u odnosu na apsolutne vrednosti ostalih pozitivnih razlika pa se uopšteno može reći da je nelinearna normalizacija dala bolje rezultate.

Srednje vrednosti izračunatih indeksa održivosti za sve opcije koje predstavljaju stanove (bez obzira na period gradnje i način zagrevanja) u slučaju br. 3 su znatno manje nego u prethodnim slučajevima i kreću se u granicama od 0.20-0.39 bez nekih razlika koje bi mogle da imaju osnovu u načinu grejanja. Od svih opcija koje predstavljaju individualne kuće, najlošija je i ovde opcija 5 (SI=0.27) koja predstavlja najstarije kuće sa grejanjem na struju. Uopšteno govoreći u ovom slučaju najbolje ocene imaju opcije 6-9 koje predstavljaju kuće sa različitim načinom zagrevanja i koje su, sem opcije 6 (period gradnje 1946.-1980. god.), novijeg datuma gradnje. Njihovi srednji indeksi održivosti se kreću u granicama od 0.78-0.89. I u ovom slučaju je najbolje ocenjena opcija 7 (SI=0.89), ali vrednost njenog srednjeg indeksa ovde samo neznatno odstupa od vrednosti indeksa za opcije 8 i 9.

#### Slučaj br. 6

Slučaj br.6 na prvom nivou aglomeracije ima isti set postavljenih uslova kao i slučajevi br. 4 i 5. Prioritet je na prvom nivou aglomeracije (tabela 17) dat prvom i drugom ekonomskom podindikatoru Ec1 (potrošnja električne energije) i Ec2 (potrošnja toplotne energije) u odnosu na ostala dva ekonomska podindikatora Ec3 i Ec4 koji predstavljaju potrošnju tople vode i električne energije za kuvanje. U okviru grupe podindikatora životne sredine, kao najznačajnija je uzeta temperatura unutrašnjeg prostora (En1). Njoj data prednost u odnosu na relativnu vlažnost (En2), a relativna vlažnost je značajnija od koncentracije ugljendioksida (En3). U grupi socioloških su kao najvažniji uzeti podindikator stambenog prostora (Sc1) i kvaliteta vazduha (Sc4) u odnosu na zastupljenost sudomašina (Sc3) i klimatizacije (Sc2). Izračunati težinski koeficijenti za ekonomske podindikatore, podindikatore životne sredine i sociološke

podindikatore, neophodni za prvi nivo aglomeracije, za ovaj slučaj su prikazani u tabeli 36.

Vrednosti srednjih indeksa održivosti i njihovih standardnih devijacije su izračunati kao i u prethodnim slučajevima upotrebom jednačina (57,58,59,60) za svaku od devet opcija i svaki tip normalizacije na osnovu apsolutnih vrednosti podindikatora (tabela 13) i težinskih koeficijenata (tabele 32 i 36). Izračunate vrednosti su prikazane u tabeli 37 i predstavljene grafički na slikama 33 (za tip linearne normalizacije) i 34 (za tip nelinearne normalizacije).

Koeficijenti varijacije  $C_v$  za oba tipa normalizacije i njihove razlike za slučaj br.6 su izračunati takođe prema (61) i prikazani u tabeli 38, a grafički prikaz je dat na slici 35.

Tabela 36. Težinski faktori za aglomeraciju ekonomskih podindikatora (slučaj VI)

<b>Slučaj VI- I nivo aglomeracije</b>											
<i>Indikator</i>	<i>Ekonomski</i>				<i>Životne sredine</i>			<i>Sociološki</i>			
<i>Podindikator</i>	<i>Ec1</i>	<i>Ec2</i>	<i>Ec3</i>	<i>Ec4</i>	<i>En1</i>	<i>En2</i>	<i>En2</i>	<i>Sc1</i>	<i>Sc2</i>	<i>Sc3</i>	<i>Sc4</i>
<i>w</i>	0,38	0,38	0,12	0,12	0,62	0,28	0,11	0,38	0,38	0,12	0,12
<i>sd(w)</i>	0,07	0,07	0,07	0,07	0,14	0,10	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07

Tabela 37. Vrednosti indeksa održivosti (slučaj VI)

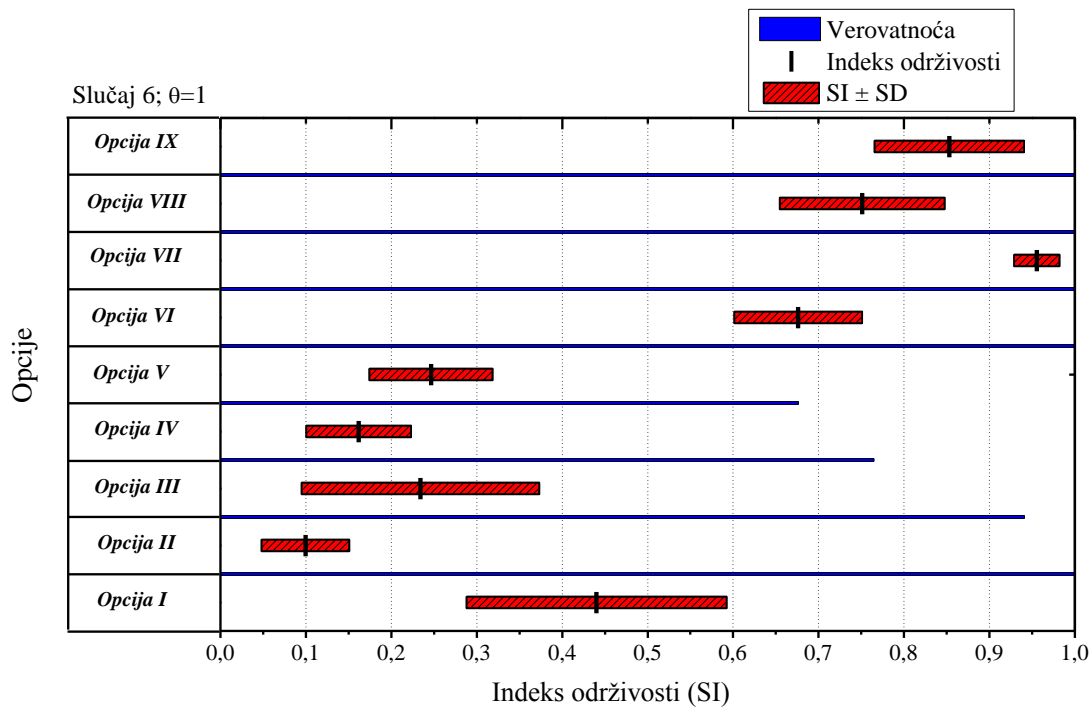
<b>Slučaj VI</b>										
<i>Opcija</i>		<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>
$\theta=1$	<i>SI<sub>sr</sub></i>	0,44	0,10	0,23	0,16	0,25	0,68	0,96	0,75	0,85
	<i>SD</i>	0,15	0,05	0,14	0,06	0,07	0,07	0,03	0,10	0,09
$\theta \neq 1$	<i>SI<sub>sr</sub></i>	0,46	0,31	0,25	0,42	0,31	0,70	0,89	0,85	0,82
	<i>SD</i>	0,16	0,00	0,15	0,02	0,09	0,10	0,02	0,09	0,08

Tabela 38. Koeficijent varijacije indeksa održivosti (slučaj VI)

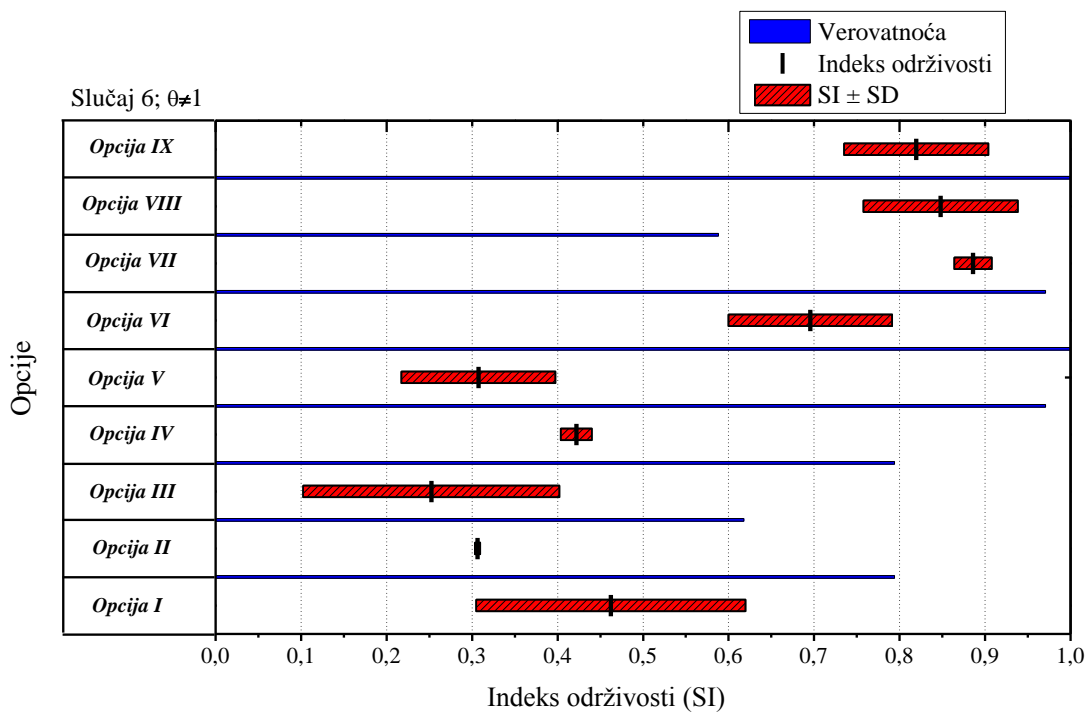
<i>Slučaj VI</i>										
<i>Opcija</i>		<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>
$\theta=1$	$Cv_{(\theta=1)}$ (%)	34,6	51,6	59,5	37,8	29,2	11,1	2,8	12,8	10,2
$\theta\neq 1$	$Cv_{(\theta\neq 1)}$ (%)	34,1	1,0	59,5	4,3	29,3	13,8	2,5	10,7	10,3
$Cv_{(\theta=1)} - Cv_{(\theta\neq 1)}$		0,5	50,6	0,0	33,5	-0,1	-2,7	0,3	2,2	-0,1

Za slučaj br. 6 u slučaju linearne i nelinearne normalizacije, dobijene vrednosti indeksa održivosti za svih devet opcija se veoma malo međusobno razlikuju izuzev opcija 2 i 4 (gde se dobijaju nešto veće vrednosti indeksa u slučaju nelinearne normalizacije). Izračunati koeficijenti varijacije za tip linearne i nelinearne normalizacije kao i njihove razlike (tabela 38) ukazuju na to da su baš za opcije 2 i 4 izračunate vrednosti indeksa održivosti znatno reprezentativnije za slučaj nelinearne normalizacije (pozitivne vrednosti razlika relativno velikih apsolutnih vrednosti). Negativne vrednosti razlika koeficijenta varijacije se javljaju samo kod dve opcije (5 i 9), ali su njihove apsolutne vrednosti veoma male pa se smanjena reprezentativnost može zanemariti. I u ovom slučaju su vrednosti koeficijenata varijacije i njihovih razlika prikazane na “radar” dijagramu (slika 35).

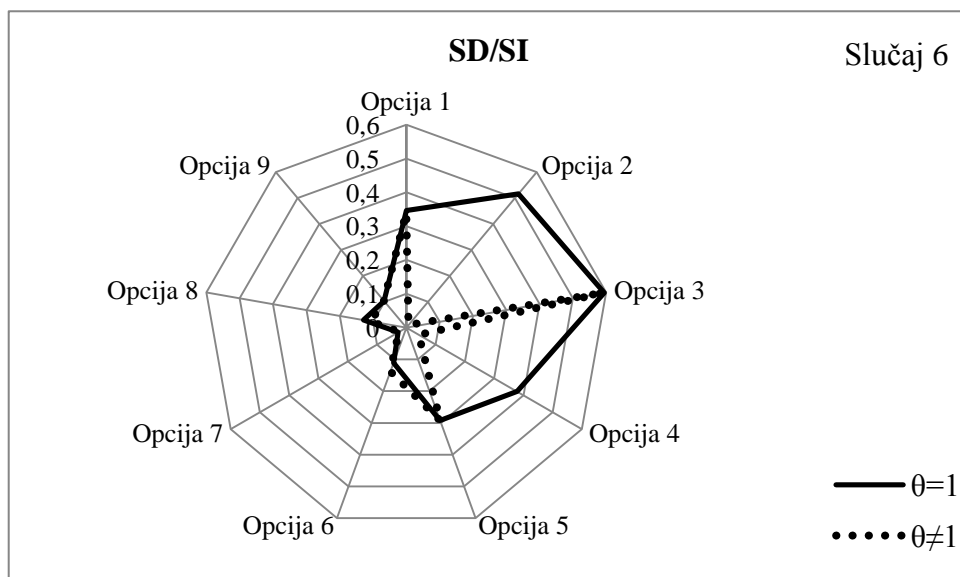
I u ovom slučaju su izračunate vrednosti indeksa održivosti relativno male za stanove, ali ipak veće od odgovarajućih vrednosti izračunatih za slučaj br. 3. Brojne vrednosti indeksa za stanove se ovde kreću od 0.25-0.46. Izuzev opcije 5 (starije kuće sa grejanjem na struju), može se reći da kuće pod uslovima ograničenja postavljenih na prvom i drugom nivou aglomeracije za ovaj slučaj predstavljaju bolje ocenjene opcije. Vrednosti indeksa se za opcije 6-9 (kuće sa različitim načinima grejanja i različitim periodima izgradnje) kreću od 0.7-0.89. I u slučaju br.6 najbolju ocenu sa stanovišta odabranih ekonomskih podindikatora, podindikatora životne sredine i socioloških podindikatora ima opcija 7, ali se i ovde kao u slučaju br.3, izračunate vrednosti indeksa za opcije 7-9 neznatno razlikuju, pa se može reći i da su uopšteno govoreći novije kuće (opcije 7-9) ovde bolje ocenjene od svih drugih opcija.



Slika 33. Indeks održivosti za opcije I-IX za slučaj br.6 (linearna normalizacija)



Slika 34. Indeks održivosti za opcije I-IX za slučaj br.6 (nelinearna normalizacija)



Slika 35. Koeficijent varijacije za opcije I-IX za slučaj br.6



## **10. ZAKLJUČAK**

Izgradnja stambenih objekata i njihovo korišćenje predstavljaju neodržive energetske procese iz perspektive održivog razvoja. Pre početka izgradnje trajno se zauzima slobodno zemljište, a zatim se u toku same izgradnje upotrebljavaju građevinski materijali dobijeni u proizvodnim procesima u kojima se troše različiti vidovi energije. Finalna građevinska konstrukcija na kraju postaje kontinualni potrošač velikih količina energije potrebnih, pre svega za njeno održavanje, a zatim i za obezbeđivanje komfora za ljude koji u njima žive.

Postizanje održivog razvoja u stambenim zgradama stoga predstavlja značajan segment održivog razvoja uopšte, i obuhvata planiranje i upravljanje energijom, energetska efikasnost zgrada, kao i upotrebu novih izvora energije i rekonstrukcije postojećih objekata. Potrošnja energije u stambenom sektoru je u porastu i predstavlja značajan deo u ukupnoj potrošnji energije u zemlji. Uporedo sa trošenjem energije, zgrade su odgovorne i za velike količine ugljendioksida emitovanog u atmosferu, zbog čega je ušteda energije u ovom sektoru postala veoma značajna. Analiza održivosti stambenih objekata, koje karakteriše veća ili manja potrošnja različitih vidova energije, kao i zadovoljavanje potrebe savremenog čoveka za određenim komforom sa aspekta kvaliteta vazduha, kvaliteta stambenog prostora, upotrebe savremenih uređaja itd., postaje jako važna.

Potrošnja energije sa ekonomskog aspekta predstavlja jedan od najvažnijih činilaca održivosti. U ovom radu se energetska sistem stambenog fonda, u analizi održivosti, razmatrao kao složen sistem zato što su pored ekonomskog uzeti u obzir i aspekt životne sredine i sociološki aspekt koji su u vezi sa zagađenjem sredine kao i načinom života u modernom društvu. Da bi se izvršila procena održivosti stambenog fonda grada formirane su različite energetske opcije za koje su izabrani, definisani i izračunati odgovarajući energetska podindikator održivog razvoja. Izvršena je procena održivosti energetska opcija na osnovu vrednosti indeksa održivosti kao mere kvaliteta opcija.

Karakteristike stambenih objekata kao što su period izgradnje, tip stambenog objekta i način zagrevanja objekta su veoma važne, kako sa aspekta razmatranja eventualnog poboljšanja energetske efikasnosti, tako i za postizanje kvalitetnijih uslova stanovanja. Kvalitativna karakterizacija stambenog fonda Beograda je u ovom radu izvršena prema: periodu izgradnje

(objekti izgrađeni od 1946.-1980. godine i objekti izgrađeni od 1980.-2006. godine), tipu stambenog objekta (višespratnice i individualne kuće) i načinu zagrevanja stambenog prostora (električna energija, daljinsko grejanje i fosilno gorivo).

Stambeni fond grada Beograda je predstavljen preko reprezentativnog uzorka čija je veličina određena primenom Kohranove formule. Veličina uzorka od 82 stambena objekta određena je sa marginom greške od 10.8%, a selekcija stambenih objekata unutar reprezentativnog uzorka izvršena je pomoću tehnike stratifikacije. Odabir objekata unutar svakog stratum bio je slučajan.

Za analizu održivosti stambenog fonda, odabrano je devet različitih opcija. Potrebni podaci za određivanje održivosti su dobijeni merenjima i iz Upitnika (popunjenih od strane korisnika). Na osnovu ovih podataka izvršen je odabir, definisanje i izračunavanje jedanaest različitih podindikatora sa ekonomskog aspekta, aspekta životne sredine i sociološkog aspekta. Grupu ekonomskih podindikatora u ovom radu čine: potrošnja električne i toplotne energije, potrošnja tople vode i struje za kuvanje; grupu podindikatora životne sredine: temperatura i relativna vlažnost stambenog prostora kao i koncentracija ugljendioksida, i grupu socioloških podindikatora: veličina stambenog prostora, upotreba klima-uređaja i mašina za pranje sudova i kvalitet vazduha. Numeričke vrednosti odabranih podindikatora su izračunate za svaku od devet opcija. Ove vrednosti su upotrebljene kao ulazni podaci za izračunavanje indeksa održivosti koji je u ovom radu korišćen za ocenu održivosti odabranih opcija.

U procesu selekcije podindikatora korišćena je metoda korelacione analize kojom je određena njihova međusobna zavisnost. Pokazano je da između odabranih podindikatora ne postoji jaka zavisnost tako da su svi uzeti u razmatranje.

U ovom radu je primenjen postupak normalizacije svih numeričkih vrednosti podindikatora upotrebom fazi logike. Na ovaj način su za svaki podindikator dobijeni bezdimenzioni skupovi čiji elementi uzimaju vrednosti iz intervala  $[0,1]$ .

Višekriterijumske metode odlučivanja se koriste u politici donošenja odluka pri kreiranju energetske politike na lokalnom ili globalnom nivou. Ove metode su značajne za izbor najbolje moguće opcije ili nekog energetskog scenarija sa aspekta održivog razvoja kada su u razmatranje uključeni, pored ekonomskih i sociološki i parametri životne sredine. U ovom

radu je prvi put u oblasti zgradarstva upotrebljena metoda analize i sinteze usled nedostatka informacija (ASPID) za određivanje održivosti energetskog sistema. Ova metoda omogućava da se različiti aspekti održivog razvoja sagledaju kroz davanje prednosti određenim kriterijumima. Primena ove metode, za razliku od nekih drugih, omogućava da se u procesu određivanja indeksa održivosti kompleksnog energetskog sistema, baziranog na normalizovanim vrednostima indikatora, ne izgubi početna informacija. Primena ASPID metode daje mogućnost boljeg razumevanja i predstavljanja rezultata sa gledišta praktične primene višekriterijumskih metoda.

Indeks održivosti je u ovom radu izračunat kroz postupke normalizacije i aglomeracije podindikatora na prvom nivou, i indikatora na drugom nivou. U postupcima aglomeracije je korišćena aditivna sintezna funkcija, a težinski koeficijenti su određeni matematičkim putem primenom ASPID metodologije. Ova kvantitativna metoda je upotrebljena za dobijanje vektora težinskih koeficijenata u procesu randomizacije. Konačni set težinskih faktora dobijen ovom metodom zavisi od broja delova ( $n$ ) na koji je podeljen segment  $[0-1]$ , kao i od broja specifičnih kriterijuma i početnih ograničenja datih u vidu seta nenumeričkih informacija. Težinski koeficijenti su matematički određeni na osnovu prethodno definisanih ograničenja u okviru kojih vrednosti kriterijuma interaguju. Ova metoda je omogućila pretvaranje nenumeričkih informacija o međusobnim odnosima (prioritetima) posmatranih kriterijuma na prvom, i indikatora na drugom nivou aglomeracije, u formu matematičkih jednačina i nejednačina. U radu je analizirano šest različitih slučajeva definisanih na osnovu unapred određenih ograničenja prvog i drugog nivoa.

Matematička procedura za izračunavanje srednjeg indeksa održivosti putem aglomeracije ekonomskih podindikatora, podindikatora životne sredine i socioloških podindikatora je detaljno prikazana i sprovedena za sve odabrane opcije i sve odabrane slučajeve. Razvijen je sopstveni fortranski program za izračunavanje srednjeg indeksa održivosti i pripadajuće standardne devijacije sistema sa promenljivim brojem odabranih podindikatora i opcija za različite prioritete na prvom i drugom nivou aglomeracije i za različite tipove normalizacije. Na ovaj način je izvršena procena kvaliteta razmatranih opcija u smislu održivosti poredenjem vrednosti izračunatih vrednosti indeksa održivosti u okvirima različitih slučajeva baziranih na unapred određenim uslovima.

U ovom radu je prvi put analiziran uticaj linearne i nelinearne normalizacije na vrednost indeksa održivosti. Analiza reprezentativnosti ovih rezultata izvršena je pomoću koeficijenta varijacije  $C_v$  koji predstavlja količnik standardne devijacije i indeksa održivosti. Vrednosti izračunatog koeficijenta varijacije su predstavljeni tabelarno i grafički pomoću “radar” dijagrama i pokazuju da, iako se na nivou svake opcije ne dobijaju uvek reprezentativnije vrednosti srednjeg indeksa održivosti, na nivou svakog od razmatranih slučajeva je nelinearni tip normalizacije dao bolje rezultate u poređenju sa linearnim.

Analiza održivosti različitih opcija u okviru razmatranih slučajeva izvršena je preko izračunatih vrednosti indeksa održivosti na osnovu odabranih kriterijuma. Svih šest razmatranih slučajeva formirani su kombinovanjem različitih prioriteta na prvom i drugom nivou aglomeracije. Ovaj rad je pokazao, da se u zavisnosti od zadatih prioriteta, indeks održivosti razmatranih opcija u okviru odabranog energetskeg sistema može značajno menjati primenom ASPID metodologije. Opcije koje su procenjene kao ‘dobre’ sa ekonomskog stanovišta, ne moraju biti ‘dobre’ i sa sociološkog stanovišta. Unapred odabrani prioriteti prvog i drugog nivoa aglomeracije značajno utiču na izračunate vrednosti indeksa održivosti.

Metodologija i rezultati prikazani u ovom radu se mogu upotrebiti kao polazna tačka u okviru diskusija svih aktera u oblastima proizvodnje i potrošnje energije u oblasti zgradarstva, izgradnje novih i rekonstrukcije starih objekata na bazi visokih standarda u pogledu energetske efikasnosti. Dobijeni rezultati ukazuju da usvajanje mera za dobijanje najbolje ocenjenih energetskeg opcija ne sme da se vrši samo u okvirima ekonomskog aspekta.

Budući rad bi trebalo da bude usmeren na formiranje većag broja opcija koje se odnose na stambeni fond grada kao i na formiranje što većeg broja podindikatora kojima se detaljnije i sveobuhvatnije opisuje energetske sistem date opcije (npr. kvalitet omotača, način provetravanja, klimatizacije i grejanja, osvetljenje, prostorna orijentacija, itd.). U cilju nalaženja mera koje će omogućiti dobijanje najboljih energetskeg opcija u okviru stambenog sektora u budući rad bi trebalo uključiti i korišćenje softvera za simulaciju toplotnih karakteristika objekata i zagađenja unutrašnjeg prostora a u cilju izračunavanja numeričkih vrednosti podindikatora za unapred formirane opcije. Formiranje različitih opcija (modeli stambenih objekata) i izračunavanje indeksa održivosti za svaku od njih, omogućiće određivanje najbolje opcije sa ekonomskog aspekta, aspekta životne sredine i sociološkog

aspekta održivosti. Buduće analize mogu obuhvatiti uticaj načina odabira stepena normalizacije apsolutnih vrednosti podindikatora ( $\theta$ ) na vrednosti izračunatih indeksa održivosti i njihovih standardnih devijacija, kao i uticaj veličine koraka randomizacije ( $h$ ) na tačnost dobijenih rezultata.

## REFERENCE

- [1] F. Conti, G. M. Tabarelli, G. Morano, G. Porta, G. Gattoni, and E. Montagni. (1978). *Izazov prirodi (Najlepše građevine i prostori sveta)*.
- [2] (2002). *Urbanization and Global Change*.  
[http://www.globalchange.umich.edu/globalchange2/current/lectures/urban\\_gc/index.html](http://www.globalchange.umich.edu/globalchange2/current/lectures/urban_gc/index.html)
- [3] D. Miličić, "Osvrt na demografske tokove urbanizacije kod nas i u svetu", *Demografija*, vol. I, pp. 165-172, 2004.
- [4] (2006). *Studija stambenog sektora Srbije*.  
[www.ekoplan.gov.rs/.../country\\_profiles\\_on\\_the\\_housing\\_sector\\_20...](http://www.ekoplan.gov.rs/.../country_profiles_on_the_housing_sector_20...)
- [5] H. H. Rogner and A. Popescu. (2000). *World energy assessment: Energy and the challenge of sustainability, Part I Energy and major global issues, An introduction to energy*.
- [6] P. V. Gilli, N. Nakićenović, and R. Kurz, "First- and Second - Law Efficiencies of the Global and Regional Energy Systems", presented at the World Energy Council's 16th Congress, Tokyo, 1995.
- [7] D. Olivier and H. Miall, "Energy Efficient Futures: Opening the Solar Option", presented at the Earth Resources Limited, London, 1983.
- [8] R. Schaeffer and R. M. Wirtshafter, "An Exergy Analysis of the Brazilian Economy: From Energy Product to Final Energy Use", *Energy*, vol. 17, pp. 841-855, 1992.
- [9] G. Wall, "Exergy Conversion in the Japanese Society", *Energy*, vol. 15, pp. 435-444, 1990.
- [10] S. Behling and S. Behling, *Sol power - The evolution of solar architecture*. Minhen: Prestel, 1996.
- [11] M. Jovanovic-Popovic, D. Ignjatovic, M. Mihajlovic Ristivojevic, A. Krstic, A. Bogdanov, G. Cosic, L. Djokic, A. Radivojevic, S. Dimic, and S. Stankovic, *Analiza strukture građevinskog fonda (deo 1): Arhitektonski fakultet, Univerzitet u Beogradu*, 2003.
- [12] T. Herzog, *Solar energy in architecture and urban planing*. Minhen: Prestel, 1996.
- [13] C. A. Balaras, A. G. Gaglia, E. Georgopoulou, S. Mirasgedis, Y. Sarafidis, and D. P. Lalas, "European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings", *Building and Environment*, vol. 42, pp. 1298-1314, Mar 2007.

- [14] Z. Živković, A. Kuzmanović, M. Vasić, W. Schütt, and D. Kostić, *Predlog mera za finansiranje energetske efikasnost u zgradarstvu u Srbiji*. Beograd: Građevinska knjiga d.o.o., 2011.
- [15] M. Todorović, O. Ećim, and I. Martinović, "Izbor prilaza unapređenju energetske efikasnosti i održivosti zidanih zgrada", *Materijali i konstrukcije*, vol. 53, pp. 5-27, 2010.
- [16] AgencijazaEnergetskuEfikasnost. (2007). *Energetska efikasnost u zgradarstvu (Build No.3 ed.)*; [www.buildmagazin.com](http://www.buildmagazin.com)
- [17] EnergoprojektEntel, "Strategija razvoja energetike grada Beograda," 2008.
- [18] N. H. Afgan and M. G. Carvalho, *Sustainability assessment method for energy systems (Indicators, Criteria and Decision making procedure)*: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [19] "Our Common Future: Brundtland Report", 1987.
- [20] "Report of The United Nation Conference on Environment and Development", Rio de Janeiro June 1992.
- [21] C. Du Plessis, "Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries:a discussion document", *CSIR Building and Construction Technology*, 2004.
- [22] J. Sachs and A. Warner, "Natural resource abundance and economic growth", MA: Harvard Institute for International Development, Cambridge 1995.
- [23] F. A. Vollenbroek, "Sustainable development and the challenge of innovation", *Journal of Cleaner Production*, vol. 10, pp. 215-223, 2002.
- [24] O. O. O. Rodríguez, "Sustainability assessment within the residential building sector: A practical life cycle method applied in a developed and a developing country", *Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, Spain*, 2009.
- [25] G. Sonnemann, "Environmental damage estimations in industrial process chain: methodology development with a case study on waste incineration and a special focus on human health", *Department of chemical engineering, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, Spain*, 2002.
- [26] E. Kozyra. (2007). *Balancing Sustainability Goals: Case Studies in Affordable Housing*.  
[https://scholarsbank.uoregon.edu/xmlui/bitstream/handle/1794/4551/Kozyra\\_exitproject.pdf?sequence=1](https://scholarsbank.uoregon.edu/xmlui/bitstream/handle/1794/4551/Kozyra_exitproject.pdf?sequence=1)
- [27] M. Šijanec Zavrl and M. Tanac Zeren, "Sustainability of urban infrastructures", *Sustainability*, vol. 2, pp. 2950-2964, 2010.

- [28] R. Howes and H. Robinson, *Infrastructure for the built Environment*. Oxford: Elsevier, 2005.
- [29] M. Šijanec Zavrl, R. Žarnić, and J. Šelih, "Multicriterial sustainability assessment of residential buildings", *Technological and economic development of economy, Baltic Journal of Sustainability*, vol. 15, pp. 612-630, 2009.
- [30] N. W. Alnaser, R. Flanagan, and W. E. Alnaser, "Model for calculating the sustainable building index (SBI) in the kingdom of Bahrain", *Energy and Buildings*, vol. 40, pp. 2037-2043, 2008.
- [31] *The world's leading design and assessment method for sustainable building*.  
<http://www.breeam.org>
- [32] K. M. Fowler and E. M. Rauch, "Sustainable Building Rating Systems Summary", *Pacific Northwest National Laboratory, operated for the U.S. Department of Energy* 2006.
- [33] (2013). *Leadership in Energy and Environmental Design*.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Leadership\\_in\\_Energy\\_and\\_Environmental\\_Design#LEED\\_2009](http://en.wikipedia.org/wiki/Leadership_in_Energy_and_Environmental_Design#LEED_2009)
- [34] V. A. Dakwale, R. V. Ralegaonkar, and S. Mandavgane, "Improving environmental performance of building through increased energy efficiency: A review", *Sustainable Cities and Society*, vol. 1, pp. 211-218, 2011.
- [35] *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*.  
<http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/statistics.htm>
- [36] *Green Globes*. <http://www.greenglobes.com/about.asp>
- [37] *United Nation. Agenda 21, Chapter 40*. Available:  
[http://www.un.org/esa/dsd/agenda21/res\\_agenda21\\_40.shtml](http://www.un.org/esa/dsd/agenda21/res_agenda21_40.shtml)
- [38] *United Nations. (2007). Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies (Third Edition ed.)*.  
<http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/guidelines.pdf>
- [39] *International Atomic Energy Agency (IAEA), "Indicators for Sustainable Energy Development"*, in *Ninth Session of the Commission on Sustainable Development*, New York, 2001.
- [40] I. Vera and L. Langlois, "Energy indicator for sustainable development," *Energy*, vol. 32, pp. 875-882, 2007.
- [41] I. Vera, L. Langlois, and H. H. Rogner, "Energy Indicators for the sustainable development: Country studies of Brazil, Cuba, Lithuania, Mexico, Russian Federation, Slovakia and Thailand (Chapter 2)", *International Atomic Energy Agency (IAEA), International Energy Agency (IEA)* 2007.



- [42] *International Atomic Energy Agency, Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. Vienna, 2005.*
- [43] *G. John, D. Clements-Croome, and G. Jeronimidis, "Sustainable building solutions: a review of lessons from the natural world", Building and Environment, vol. 40, pp. 319-328, 2005.*
- [44] *J. J. Wang, Y. Y. Jing, C. F. Zhang, and J. H. Zhao, "Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 13, pp. 2263-2278, 2009.*
- [45] *Y. C. Ye, L. H. Ke, and D. Y. Huang, "System synthetical evaluation technology and its application", Metallurgical Industry Press, Beijing, 2006.*
- [46] *J. Jin and Y. M. Wei, "Generalized intelligent assessment methods for complex systems and applications", Science Press, Beijing, 2008.*
- [47] *Y. J. Guo, "System synthetical evaluation theory, methods and application", Science Press, Beijing, 2007.*
- [48] *G. Rowe and G. Wright, Principles of forecasting: a handbook of researchers and practitioners, Expert opinions in forecasting: role of the delphi technique. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001.*
- [49] *T. Anđelić, Matrice. Beograd: Građevinska knjiga, 1979.*
- [50] *Fuzzy Multi-Criteria Decision Making: Springer US, 2008.*
- [51] *J. Climaco, Multicriteria analysis. New York: Springer-Verlag, 1997.*
- [52] *H. J. Zimmermann, Fuzzy set theory and its applications. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1985.*
- [53] *N. B. Chang, G. Parvathinathan, and J. B. Breeden, "Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region", Journal of Environmental Management, vol. 87, pp. 139-153, 2008.*
- [54] *X. S. Qin, G. H. Huang, A. Chakma, X. H. Nie, and Q. G. Lin, "A MCDM-based expert system for climate-change impact assessment and adaptation planning – A case study for the Georgia Basin, Canada", Expert Systems with Applications, vol. 34, pp. 2164-2179, 2008.*
- [55] *C. C. Chou, "A fuzzy MCDM method for solving marine transshipment container port selection problems", Applied Mathematics and Computation, vol. 186, pp. 435-444, 2007.*
- [56] *R. Z. Farahani and N. Asgari, "Combination of MCDM and covering techniques in a hierarchical model for facility location: A case study", European Journal of Operational Research, vol. 176, pp. 1839-1858, 2007.*

- [57] N. K. Kwak, C. W. Lee, and J. H. Kim, "An MCDM model for media selection in the dual consumer/industrial market", *European Journal of Operational Research*, vol. 166, pp. 255-265, 2005.
- [58] M. Ehrgott, K. Klamroth, and C. Schwehm, "An MCDM approach to portfolio optimization", *European Journal of Operational Research*, vol. 155, pp. 752-770, 2004.
- [59] S. K. Lee, G. Mogi, J. W. Kim, and B. J. Gim, "A fuzzy analytic hierarchy process approach for assessing national competitiveness in the hydrogen technology sector", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 33, pp. 6840-6848, 2008.
- [60] E. C. Özelkan and L. Duckstein, "Analysing Water Resources Alternatives and Handling Criteria by Multi Criterion Decision Techniques", *Journal of Environmental Management*, vol. 48, pp. 69-96, 1996.
- [61] M. Jovanovic, N. Afgan, P. Radovanovic, and V. Stevanovic, "Sustainable development of Belgrade energy system", *Energy*, vol. 34, pp. 532-539, 2009.
- [62] N. H. Afgan and M. G. Carvalho, "Multi-criteria assessment of new and renewable energy power plants", *Energy*, vol. 27, pp. 739-755, 2002.
- [63] N. H. Afgan and M. G. Carvalho, "Sustainability assessment of hydrogen energy systems", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 29, pp. 1327-1342, 2004.
- [64] N. H. Afgan and M. G. Carvalho, "Sustainability assessment of a hybrid energy system", *Energy Policy*, vol. 36, pp. 2903-2910, 2008.
- [65] F. Begić and N. H. Afgan, "Sustainability assessment tool for the decision making in selection of energy system—Bosnian case", *Energy*, vol. 32, pp. 1979-1985, 2007.
- [66] N. H. Afgan, P. A. Pilavachi, and M. G. Carvalho, "Multi-criteria evaluation of natural gas resources", *Energy Policy*, vol. 35, pp. 704-713, 2007.
- [67] K. D. Patlitzianas, K. Ntotas, H. Doukas, and J. Psarras, "Assessing the renewable energy producers' environment in EU accession member states", *Energy Conversion and Management*, vol. 48, pp. 890-897, 2007.
- [68] O. Renn, "Social assessment of waste energy utilization scenarios", *Energy*, vol. 28, pp. 1345-1357, 2003.
- [69] P. A. Pilavachi, C. P. Roumpeas, S. Minett, and N. H. Afgan, "Multi-criteria evaluation for CHP system options", *Energy Conversion and Management*, vol. 47, pp. 3519-3529, 2006.
- [70] M. Lipošćak, N. H. Afgan, N. Duić, and M. da Graça Carvalho, "Sustainability assessment of cogeneration sector development in Croatia", *Energy*, vol. 31, pp. 2276-2284, 2006.

- [71] P. Nijkamp and A. v. Delft, *Multi-criteria analysis and regional decision-making: Leiden : Martinus Nijhoff Social Sciences Division, 1977.*
- [72] Y.-H. Chang and C.-H. Yeh, "Evaluating airline competitiveness using multiattribute decision making", *Omega*, vol. 29, pp. 405-415, 2001.
- [73] S. J. Chen and C. L. Hwang, *Fuzzy multiple attribute decision making: methods and applications: New York: Springer, 1992.*
- [74] T. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw Hill, 1980.*
- [75] P. A. Pilavachi, S. D. Stephanidis, V. A. Pappas, and N. H. Afgan, "Multi-criteria evaluation of hydrogen and natural gas fuelled power plant technologies", *Applied Thermal Engineering*, vol. 29, pp. 2228-2234, 2009.
- [76] H. Aras, Ş. Erdoğan, and E. Koç, "Multi-criteria selection for a wind observation station location using analytic hierarchy process", *Renewable Energy*, vol. 29, pp. 1383-1392, 2004.
- [77] B. A. Akash, R. Mamlook, and M. S. Mohsen, "Multi-criteria selection of electric power plants using analytical hierarchy process", *Electric Power Systems Research*, vol. 52, pp. 29-35, 1999.
- [78] M. S. Mohsen and B. A. Akash, "Evaluation of domestic solar water heating system in Jordan using analytic hierarchy process", *Energy Conversion and Management*, vol. 38, pp. 1815-1822, 1997.
- [79] A. I. Chatzimouratidis and P. A. Pilavachi, "Technological, economic and sustainability evaluation of power plants using the Analytic Hierarchy Process", *Energy Policy*, vol. 37, pp. 778-787, 2009.
- [80] R. Ramanathan and L. S. Ganesh, "Energy resource allocation incorporating qualitative and quantitative criteria: An integrated model using goal programming and AHP", *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 29, pp. 197-218, 1995.
- [81] B. F. Hobbs and G. T. F. Horn, "Building public confidence in energy planning: a multimethod MCDM approach to demand-side planning at BC gas", *Energy Policy*, vol. 25, pp. 357-375, 1997.
- [82] M. M. Kablan, "Decision support for energy conservation promotion:: an analytic hierarchy process approach", *Energy Policy*, vol. 32, pp. 1151-1158, 2004.
- [83] A. I. Chatzimouratidis and P. A. Pilavachi, "Objective and subjective evaluation of power plants and their non-radioactive emissions using the analytic hierarchy process", *Energy Policy*, vol. 35, pp. 4027-4038, 2007.
- [84] A. I. Chatzimouratidis and P. A. Pilavachi, "Multicriteria evaluation of power plants impact on the living standard using the analytic hierarchy process", *Energy Policy*, vol. 36, pp. 1074-1089, 2008.

- [85] A. I. Chatzimouratidis and P. A. Pilavachi, "Sensitivity analysis of the evaluation of power plants impact on the living standard using the analytic hierarchy process", *Energy Conversion and Management*, vol. 49, pp. 3599-3611, 2008.
- [86] D. Mills, L. Vlacic, and I. Lowe, "Improving electricity planning — Use of a multicriteria decision making model", *International Transactions in Operational Research*, vol. 3, pp. 293-304, 1996.
- [87] M. G. Goumas, V. A. Lygerou, and L. E. Papayannakis, "Computational methods for planning and evaluating geothermal energy projects," *Energy Policy*, vol. 27, pp. 147-154, 1999.
- [88] J. J. Wang, Y. Y. Jing, C. F. Zhang, G. H. Shi, and X. T. Zhang, "A fuzzy multi-criteria decision-making model for trigeneration system", *Energy Policy*, vol. 36, pp. 3823-3832, 2008.
- [89] C. L. Hwang and K. Yoon, *Multiple attribute decision making: methods and applications*. New York: Springer-Verlag, 1981.
- [90] N. I. Voropai and E. Y. Ivanova, "Multi-criteria decision analysis techniques in electric power system expansion planning", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 24, pp. 71-78, 2002.
- [91] Y. Lin and S. Liu, "A historical introduction to grey systems theory", in *IEEE international conference on systems, man and cybernetics*, Hague, Netherlands, 2004.
- [92] J. J. Wang, C. F. Zhang, Y. Y. Jing, and G. Z. Zheng, "Using the fuzzy multi-criteria model to select the optimal cool storage system for air conditioning", *Energy and Buildings*, vol. 40, pp. 2059-2066, 2008.
- [93] J. J. Wang, Y. Y. Jing, C. F. Zhang, X. T. Zhang, and G. H. Shi, "Integrated evaluation of distributed triple-generation systems using improved grey incidence approach", *Energy*, vol. 33, pp. 1427-1437, 2008.
- [94] M. Jovanović, "Održivi razvoj energetskeg sistema Beograda," *Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd*, 2009.
- [95] S. D. Pohekar and M. Ramachandran, "Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 8, pp. 365-381, 2004.
- [96] B. Roy, "Methodologie multicritere d'aide la decision", *Economica*, 1985.
- [97] M. Beccali, M. Cellura, and M. Mistretta, "Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology", *Renewable Energy*, vol. 28, pp. 2063-2087, 2003.
- [98] F. Gagliardi, M. Roscia, and G. Lazaroiu, "Evaluation of sustainability of a city through fuzzy logic", *Energy*, vol. 32, pp. 795-802, 2007.

- [99] V. Popovich, N. Hovanov, K. Hovanov, M. Schrenk, A. Prokaev, and A. Smirnova, "Situation Assessment in Everyday Life, Real Corp 008 Proceedings", Vienna, 2008.
- [100] N. H. Afgan, M. G. Carvalho, and M. Jovanovic, "Biomass-fired power plant: the sustainability option", *International Journal of Sustainable Energy* vol. 26, pp. 179-193 2007.
- [101] M. Jovanovic, N. Afgan, and V. Bakic, "An analytical method for the measurement of energy system sustainability in urban areas", *Energy*, vol. 35, pp. 3909-3920, Sep 2010.
- [102] N. Hovanov, "ASPID-METHOD: Analysis and Syntesis of Parameters Under Information Deficiency," St. Petersburg State University Press, St. Petersburg 1996.
- [103] N. Afgan, X. He, M. G. Carvalho, and J. L. T. Azavedo, "Prototype of Knowledge-Based System for Boiler fouling Assessment t Power Plant Sines", in *International Conference on Clean Air Technologies, Lisabon, 2000*.
- [104] M. J. Moran, *Availability analysis - A guide to Efficient Energy Use*. New York: American Society of Mechanical Engineers, 1988.
- [105] T. Bayes, "An Assay Toward Solving a Problem in the Doctrine of Chances", *Biometrika*, vol. 45, pp. 296-315, 1958.
- [106] Н. В. Хованов and Ю. В. Федотов, "Модели учета неопределенности при построении сводных показателей эффективности деятельности сложных производственных систем", Санкт-Петербургский государственный университет, Научно-исследовательский институт менеджмента 2006.
- [107] Н. В. Хованов, "Экономико-математические модели измерения ценности производимых экономических благ (на примере оценки эффективности работы системы бесперебойного электропитания)", Санкт-Петербургский государственный университет, Научно-исследовательский институт менеджмента 2007.
- [108] N. H. Afgan, "Sustainability Paradigm: Intelligent Energy System Sustainability", *Sustainability*, vol. 2, pp. 3812-3830, 2010.
- [109] N. H. Afgan, M. G. Carvalho, and N. V. Hovanov, "Energy system assessment with sustainability indicators", *Energy Policy*, vol. 28, pp. 603-612, 2000.
- [110] Republički zavod za statistiku, "Popis 2002.", Belgrade 2002.
- [111] N. Cukovic-Ignjatovic and D. Ignjatovic, "Possibilities for upgrading the existing building stock in Belgrade," *Management of Environmental Quality: An International Journal*, vol. 17, pp. 527-537, 2006.
- [112] M. Roter Blagojević, *Stambena arhitektura Beograda u 19. i početkom 20. veka: ORION ART*, 2006.

- [113] *Zvanična prezentacija Beograda. Klima.*  
<http://www.beograd.rs/cms/view.php?id=1193>
- [114] M. Kavgić, A. Summerfield, D. Mumović, Z. M. Stevanović, V. Turanjanin, and Z. Z. Stevanović, "Characteristics of indoor temperatures over winter for Belgrade urban dwellings: Indications of thermal comfort and space heating energy demand", vol. 47, pp. 506-514, 2012.
- [115] "Statistički godišnjak Beograda 2011." ,Zavod za informatiku i statistiku2012.
- [116] Ž. Stevanović, M. Kavgić, V. Turanjanin, B. Vučićević, Ž. Stevanović, and N. Mirkov, "NIV-ITE-406: Prikaz metodologije definisanja reprezentativnog uzorka i analiza postojećih metoda za procenu energetske efikasnosti i indikatora kvaliteta unutrašnjeg prostora."
- [117] W. G. Cochran, *Sampling Techniques*. New York: John Wiley & Sons, 1977.
- [118] D. W. Schrock, *Load Shape Development*. Tulsa, Oklahoma: PennWell Books, 1997.
- [119] M. Kavgić, D. Mumović, M. Davis, Ž. Stevanović, and M. Petrović-Djurović, "A framework for comparative analysis of Belgrade housing stock – Determinants of carbon reduction strategy", in *11th International Building Performance Simulation Association Conference, Strathclyde University, Glasgow, UK, 2009*.
- [120] M. Todorovic and J. T. Kim, "Buildings energy sustainability and health research via interdisciplinarity and harmony", *Energy and Buildings*, vol. 47, pp. 12–18, 2012.
- [121] M. Jovanović, V. Turanjanin, B. Vučićević, V. Bakić, and N. Afgan, "Evaluation of sustainability indicators for residential building", presented at the 6th Dubrovnik conference on sustainable development of energy, water and environment systems, Durovnik, Croatia, 2011.
- [122] H. Bossel, "Indicators for sustainable development: theory, method, applications: a report to the Balaton Group", *International Institute for Sustainable Development*1999.
- [123] S. M. Lo, C. M. Zhao, and W. Y. Cheng, "Perceptions of building professionals on sustainable development: A comparative study between Hong Kong and Shenyang", *Energy and Buildings*, vol. 38, pp. 1327-1334, 2006.
- [124] "EU build ENERGY EFFICIENCY-Projekat međusektorske saradnje u oblasti finansiranja energetske efikasnosti u zgradarstvu u okviru EU propisa i pravnih sporazuma, Finansiranje unapređenja energetske efikasnosti u zgradarstvu u okviru EU propisa i pravnih sporazuma " 2012.
- [125] "Pravilnik o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetske svojstvima zgrada," RS: 061/2011, 19.8.2011. 2011.

- [126] M. Mesarević and M. Čalović, "Kogeneracija u Srbiji – zašto se okleva?", *Elektroprivreda*, vol. 2, pp. 52-65, 2009.
- [127] D. Chwieduk, "Towards sustainable-energy buildings", *Applied Energy*, vol. 76, pp. 211-217, 2003.
- [128] D. Stojanović, M. Bjekić, and R. Krneta, "Obrazovanje za efikasnu upotrebu električne energije u domaćinstvima", in *Tehnika i informatika u obrazovanju-TIO 2010*, Čačak, Srbija, 2010.
- [129] S. Cvetković. (2011). *Energetska efikasnost - Zgradarstvo - Životna sredina*. [http://www.balkanmagazin.net/3e/cid181-30562/uskoro-pasos-energetske-efikasnosti-za-zgrade/?\\_qs=zgradarstvo%20efikasnost](http://www.balkanmagazin.net/3e/cid181-30562/uskoro-pasos-energetske-efikasnosti-za-zgrade/?_qs=zgradarstvo%20efikasnost)
- [130] ISO, "Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort", 1994.
- [131] V. ITE-Turanjanin, B. Vučićević, N. Mirkov, Ž. Stevanović, and D. Đurović, "Prikaz i analiza rezultata dnevnih merenja energetske karakteristika i fizičkih parametara stanja kvaliteta unutrašnjeg prostora objekata reprezentativnog uzorka stambenog fonda Beograda", 2010.
- [132] Minnesota Department of Health. Air Quality. <http://www.health.state.mn.us/divs/eh/indoorair/co2/index.html>
- [133] G. Hoepfner and F. Mata, "A multi-criteria decision analysis methodology for selection of a preferred residence based on physical attributes", *Computers and Industrial Engineering*, vol. 25, pp. 365-368, 1993.
- [134] J. Cohen, *Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.)*: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1988.
- [135] B. Vučićević, M. Stojiljković, N. Afgan, V. Turanjanin, and M. Jovanović, "Residential buildings' sustainability by non-linear normalization", in *15th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia-SIMTERM*, Sokobanja, Serbia, 2011.
- [136] B. Vučićević, M. Stojiljković, N. Afgan, V. Turanjanin, M. Jovanović, and V. Bakić, "Sustainability assessment of residential buildings by non-linear normalization procedure", *Energy and Buildings*, vol. 58, pp. 348-354, 2013.
- [137] B. Vučićević, M. Jovanović, V. Turanjanin, and V. Bakić, "Sustainability assessment of residential building energy system in Belgrade", *10th International Conference for Enhanced Building Operations (ICEBO 2010)*, Kuwait, 2010.
- [138] M. Nenadović, *Matematička obrada podataka dobijenih merenjem*. Beograd: Srpska akademija nauka i umetnosti, 1988.

[139] *Predavanja-Statistika.*

<http://www.medfak.ni.ac.rs/PREDAVANJA/2.%20STOMATOLOGIJA/STATISTIKA/5.%20Predavanje.pdf>



***PRILOG 1: Merenja***

U cilju realizacije projekta "Razvoj i primena komplementarnih metoda za procenu energetske efikasnosti i indikatora kvaliteta unutrašnjeg prostora stambenih objekata na području Beograda" izvršen je niz merenja u stanovima i kućama na teritoriji Beograda (u samom gradu i u okviru prigradskog područja). Merenja su obuhvatila objekte na različitim lokacijama u gradu, različitih veličina, spratnosti i tipova grejanja.

Većina merenja je izvršena u toku trajanja grejne sezone a mereni parametri su bili sledeći:

### 1. Unutrašnji

kratkoročna merenja:

- srednja radijantna temperatura
- temperatura vazduha
- apsolutni pritisak
- koncentracija CO<sub>2</sub> (korišćena za formiranje podindikatora)

dugoročna merenja:

- temperatura vazduha (korišćena za formiranje podindikatora)
- relativna vlažnost vazduha (korišćena za formiranje podindikatora)
- osvetljenje

### 2. Oмотаč

- koeficijent prolaza toplote (U-vrednosti) kroz spoljašnji zid
- koeficijent prolaza toplote kroz staklo prozora
- koeficijent prolaza toplote kroz ram prozora

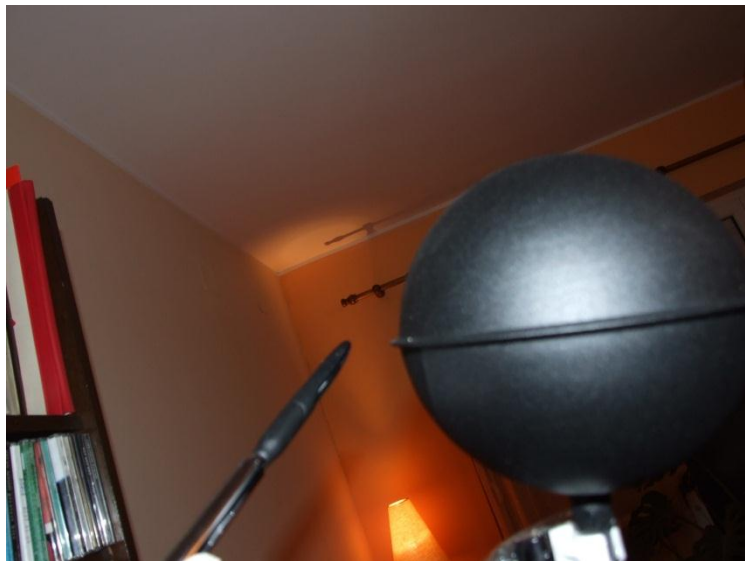
### 3. Spoljašnji

- temperatura vazduha
- relativna vlažnost vazduha

U svim objektima su kratkoročna merenja vršena gore pomenutih veličina u trajanju do 72 časa i to na svakih 5 min. Na mestima gde je bilo teško, iz tehničkih razloga, postaviti opremu na odgovarajući način (zaštićenu od sunca), merenja su vršena samo u toku tri noći.

### **Oprema korišćena za određivanje globalnih i lokalnih indikatora kvaliteta unutrašnjeg prostora (kratkoročna merenja)**

Za određivanje srednje radijantne temperature unutrašnjeg prostora korišćen je instrument TESTO-445 sa crnom kuglom (0554 0670) koja se postavlja u sredinu prostora na visini od oko 1.3m od poda, opsega merenja od 0 °C do 120 °C, rezolucije 0.1 °C, tačnosti merenja  $\pm 0.5$  °C.



Slika 1. Crna kugla za određivanje srednje radijantne temperature unutrašnjeg prostora

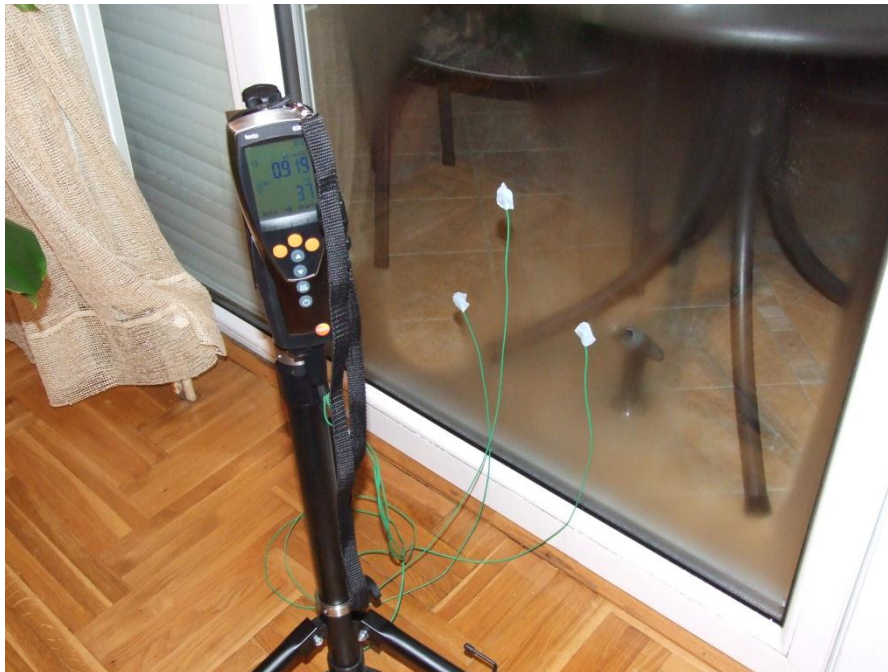
Za određivanje temperature vazduha, apsolutnog pritiska, relativne vlažnosti i koncentracije CO<sub>2</sub> u okviru kratkoročnih merenja korišćen je instrument TESTO-435-4 sa pripadajućom IAQ (Indoor Air Quality) sandom (0632 1535) sledeće tačnosti:

Opseg merene veličine	Tačnost u opsegu	
(0÷50) °C	±0.3 °C	
(0÷100) %RH	±2 %RH	(+2 до +98 %RH)
(0÷10000) ppm CO <sub>2</sub>	±(50 ppm CO <sub>2</sub> ±2% od izmerenog)	(0÷5000) ppm CO <sub>2</sub>
	±(100 ppm CO <sub>2</sub> ±3% od izmerenog)	(5001÷10000) ppm CO <sub>2</sub>
(+600÷1150)hPa	±3 hPa	

Za određivanje jačine svetlosti je korišćen instrument TESTO-545 opsega od 0 Lux do 100000 Lux sa silikonskom fotodiodom sa V(1) filterom, koja se podešava prema odgovarajućoj boji, čiji spektar odgovara onom kod ljudskog oka tačnosti 8%.

Oprema potrebna za određivanje koeficijenta prolaza toplote kroz zidove, stakla i ramove prozora, kao i temperature i relativne vlažnosti spoljašnjeg vazduha sastojala se iz mernog multifunkcionalnog instrumenta TESTO-635-2 za snimanje i obradu podataka i merenje temperature unutrašnjeg vazduha u blizini površine čija U vrednost se određuje. Pripadajućih sonde ovog instrumenta su:

- za merenje temperature unutrašnje površine zidova (stakla ili rama) temperaturska sonda za određivanje koeficijenta prolaza toplote (U vrednosti) (0614 1635) opsega od -20 °C do 70 °C, tačnosti ± 0.5 °C



Slika 2. TESTO-635-2 sa sondom (0614 1635)

- za snimanje temperature i relativne vlažnosti spoljašnjeg vazduha i prosleđivanja podataka radio talasima multifunkcionalnom instrumentu TESTO-635-2 korišćena je radio sonda (0613 1002) sledećih tehničkih karakteristika:

Karakteristike NTC	Vrednosti
Radio frekvencija	915.00 MHz FSK
Radio opseg	20 m / 65.6 m
Radio transmisija	jednosmerna predaja
Radna temperatura	од -20 до +50°C
Opseg merenja	од -50.0 до +275.0°C
Tačnost merenja	±0.5°C (од -20.0 до +80.0 °C) ±0.8°C (од -50.0 до -20.1°C) ±0.8°C (од +80.1 до +200.0°C) ±1.5°C / ostalo
Rezolucija	0.1°C



Slika 3. Radio sonda

**Oprema korišćena za određivanje kvaliteta unutrašnjeg prostora (dugoročna merenja)**

Za kontinualna jednogodišnja merenja kvaliteta unutrašnjeg prostora (temperatura, relativna vlažnost i intenzitet svetlosti) korišćeno je 200 HOBO logera (slika 4) koji su bili raspoređeni u objektima reprezentativnog uzorka.




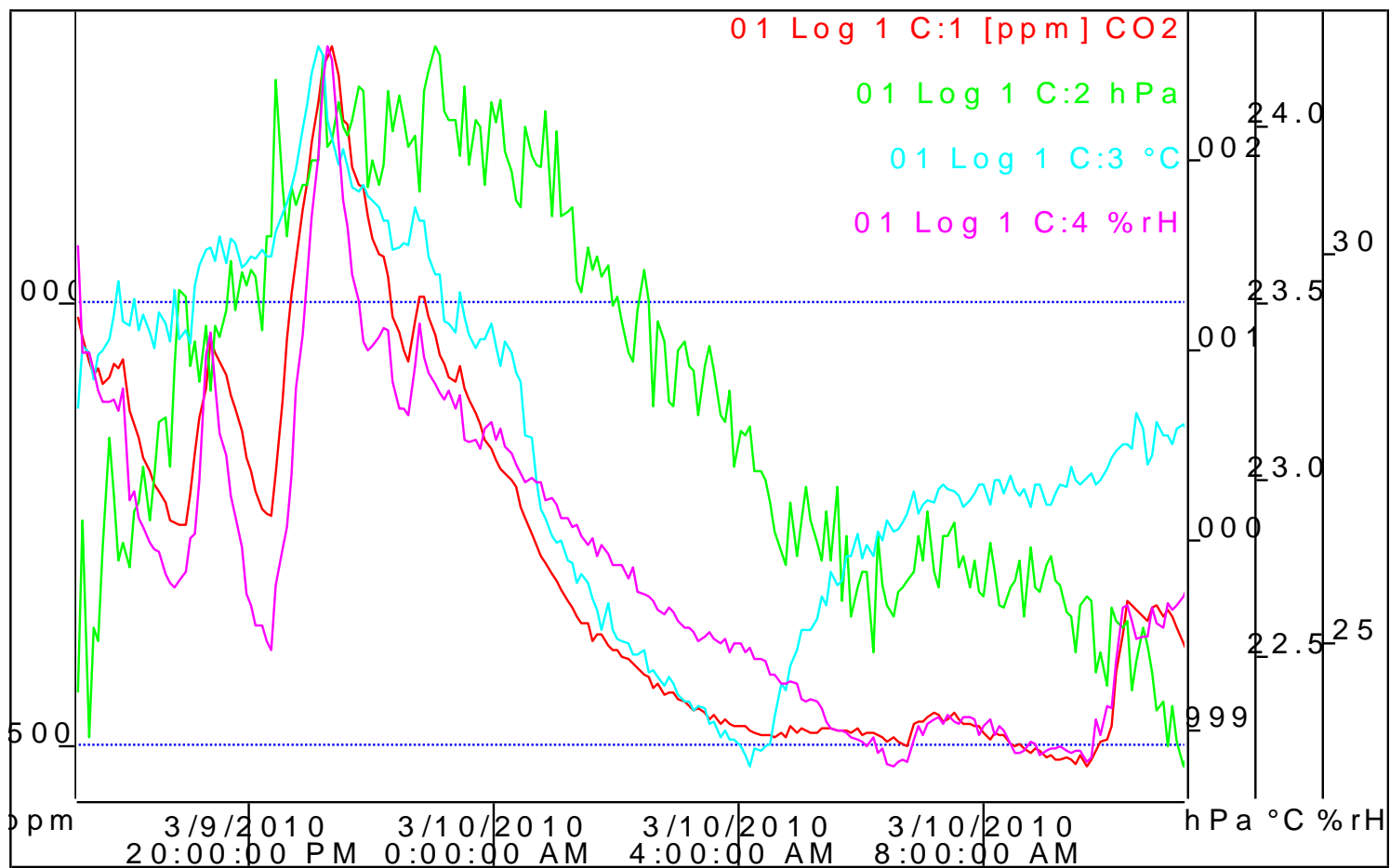
Slika 4. HOBO loger za kontinualno merenje temperature, relativne vlažnosti i intenziteta svetlosti

Kapacitet čuvanja podataka	43000 očitavanja
Period semplovanja	1 sec. do 18h (podešavanje)
Temperatura	Opseg: -20°C to 70°C Tačnost: ±0.35°C (0°C to 50°C) Rezolucija: 0.03°C
Relativna vlažnost	Opseg: 5% to 95% RH Tačnost: ±2.5% (10% to 90% RH) Rezolucija: 0.03% RH
Intenzitet svetlosti	Opseg: 1 to 3000 (lumens/ft <sup>2</sup> )
Radna temperatura	-20°C to 70°C



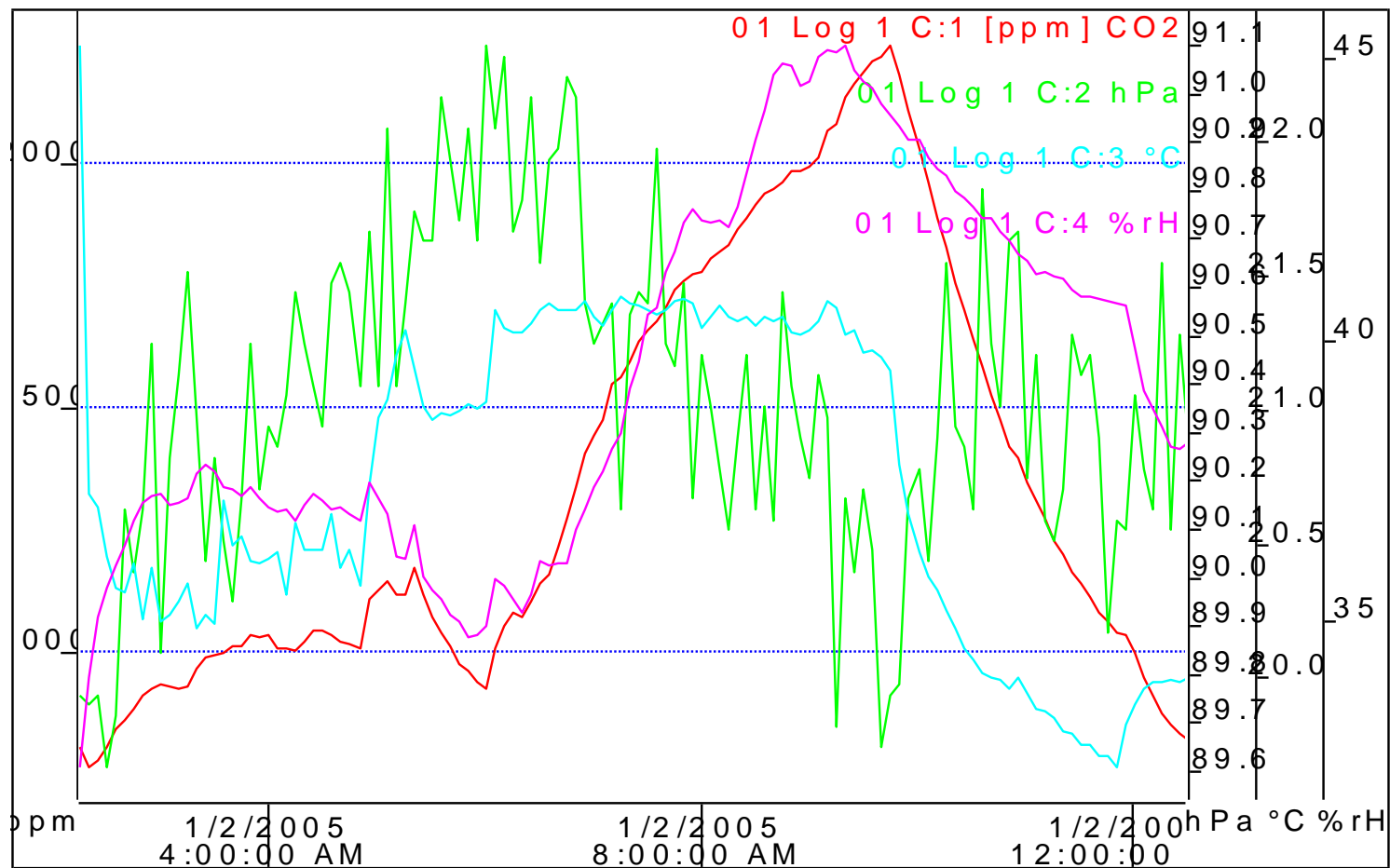
**Prikaz izvršenih merenja na jednom od objekata**

<b>OBJEKAT BR. 101</b>	
Opština	Rakovica
Adresa	Vidikovački venac
Tip grejanja	daljinsko
Godina izgradnje	1983.
Godina renoviranja	/
Tip objekta	dupleks
Spratnost	2
Površina stana (kuće)	160 m <sup>2</sup>
Fotografija objekta	
	

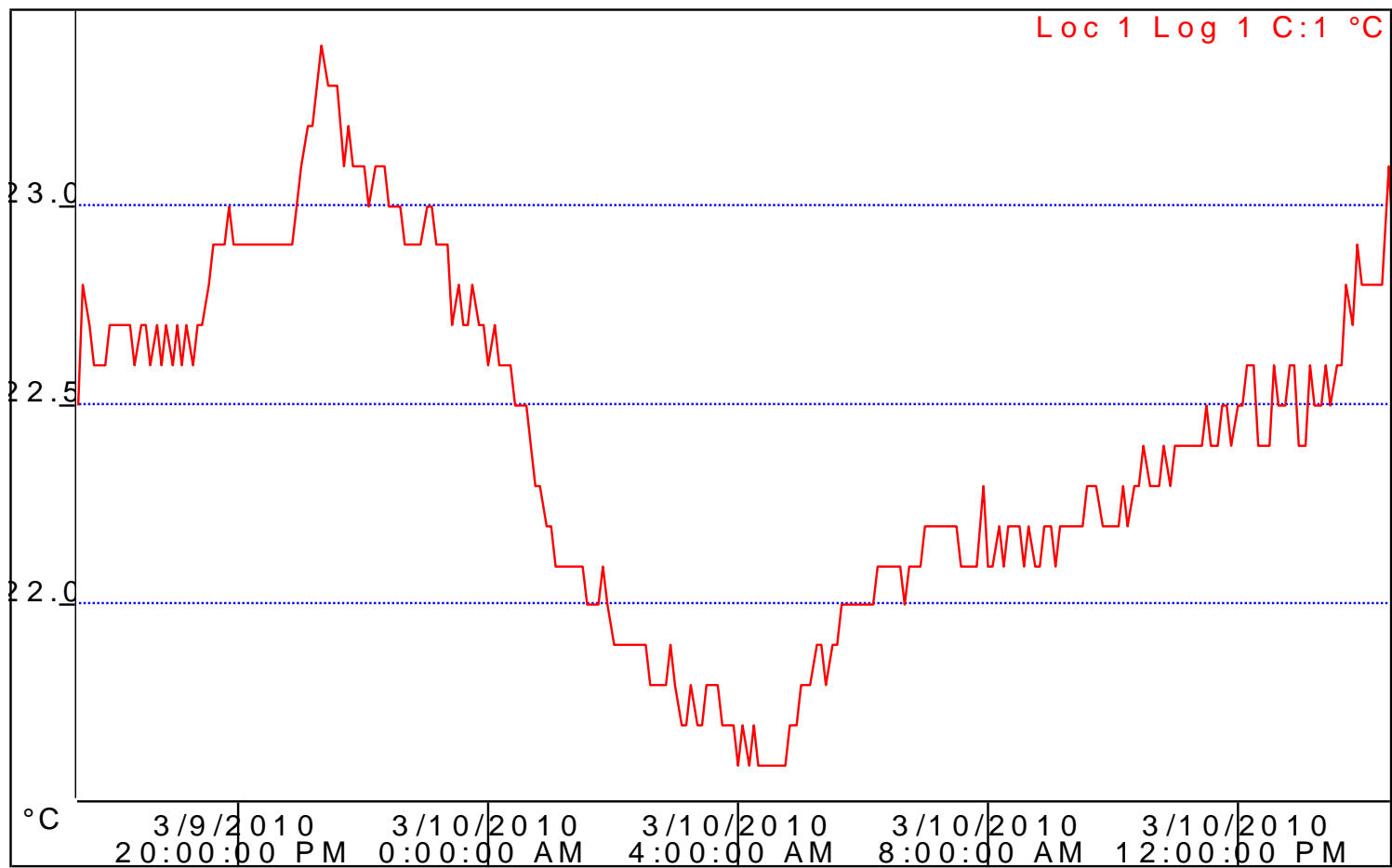


Slika 5. Merenja vršena u objektu br.101 instrumentom TESTO 435 IAQ (dnevna soba) (datum 9.3.2010.÷10.3.2010.)

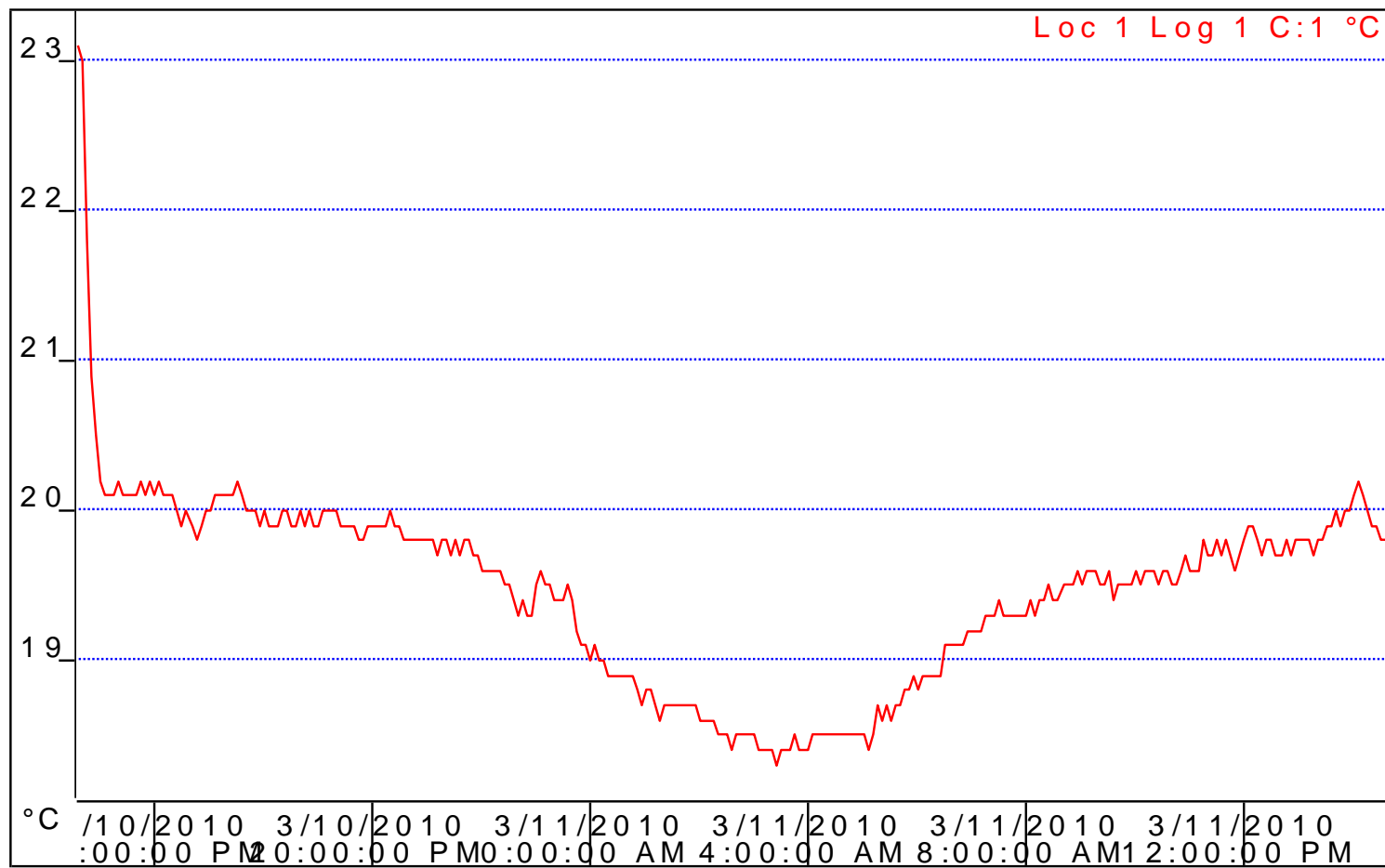




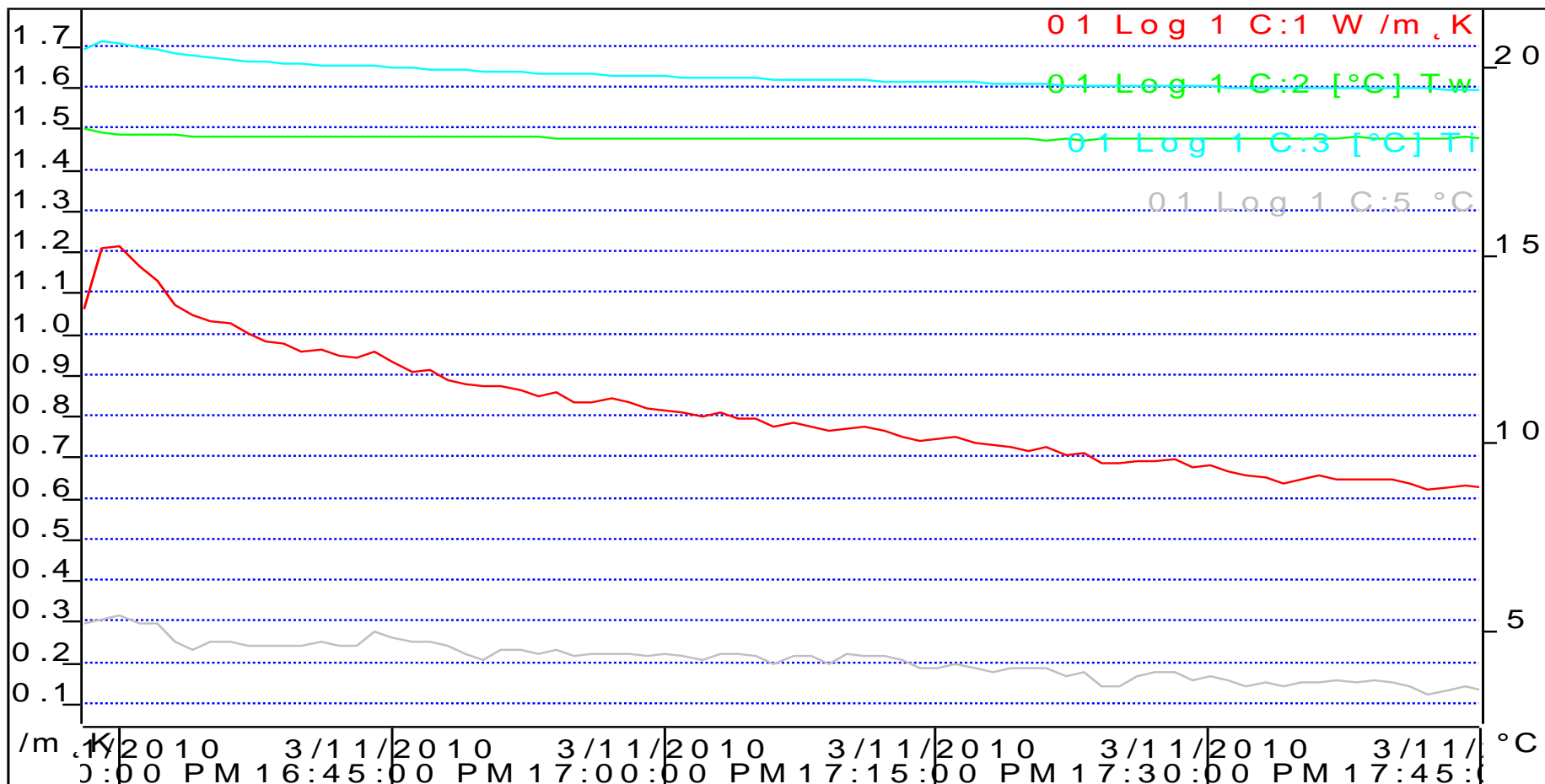
Slika 6. Merenja vršena u objektu br.101 instrumentom TESTO 435 IAQ (spavaća soba)(datum 11.3.2010÷12.3.2010..)



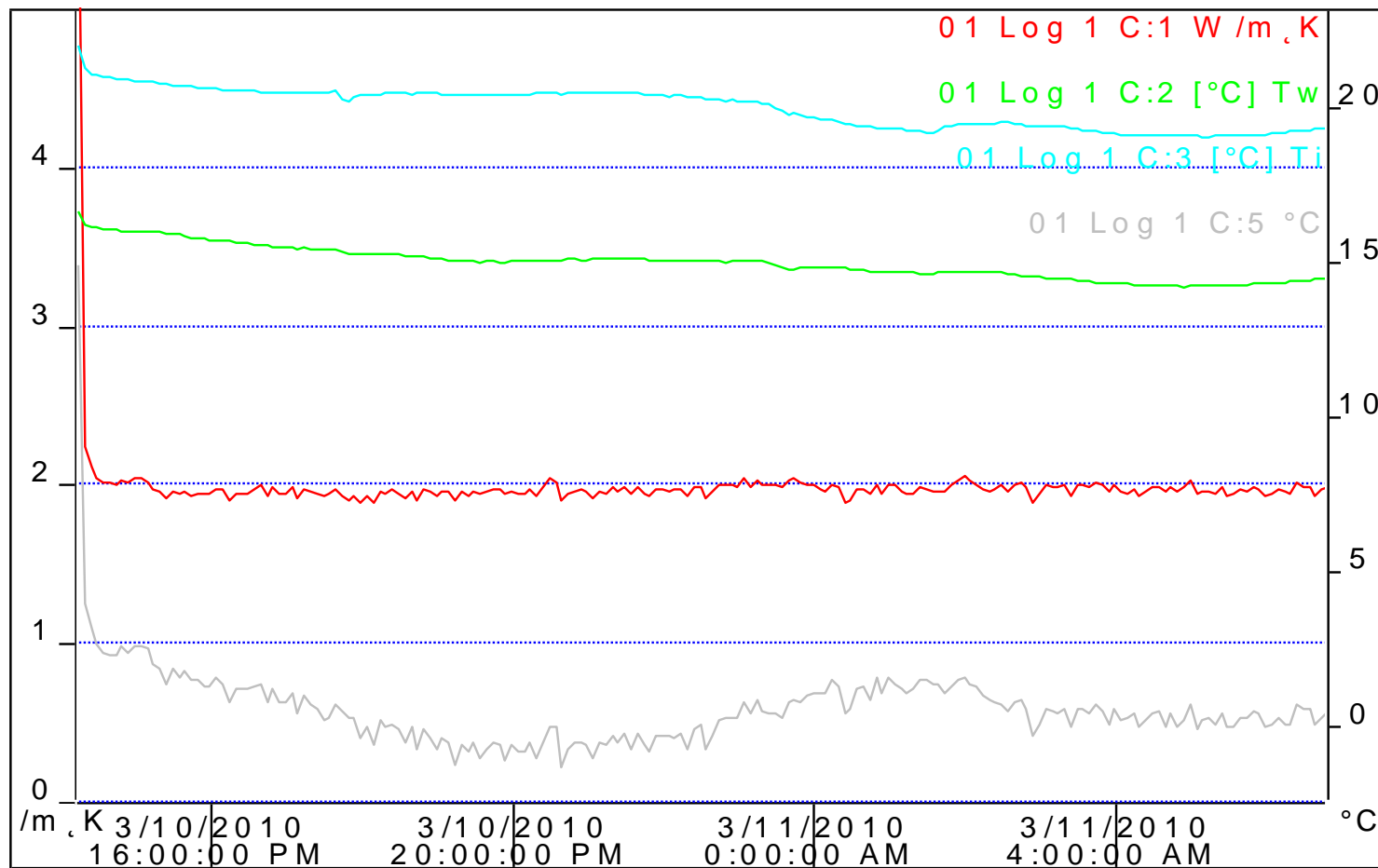
Slika 7. Merenja vršena u objektu br. 101 instrumentom TESTO 445 – crna kugla (dnevna soba) (datum 9.3.2010.÷10.3.2010.)



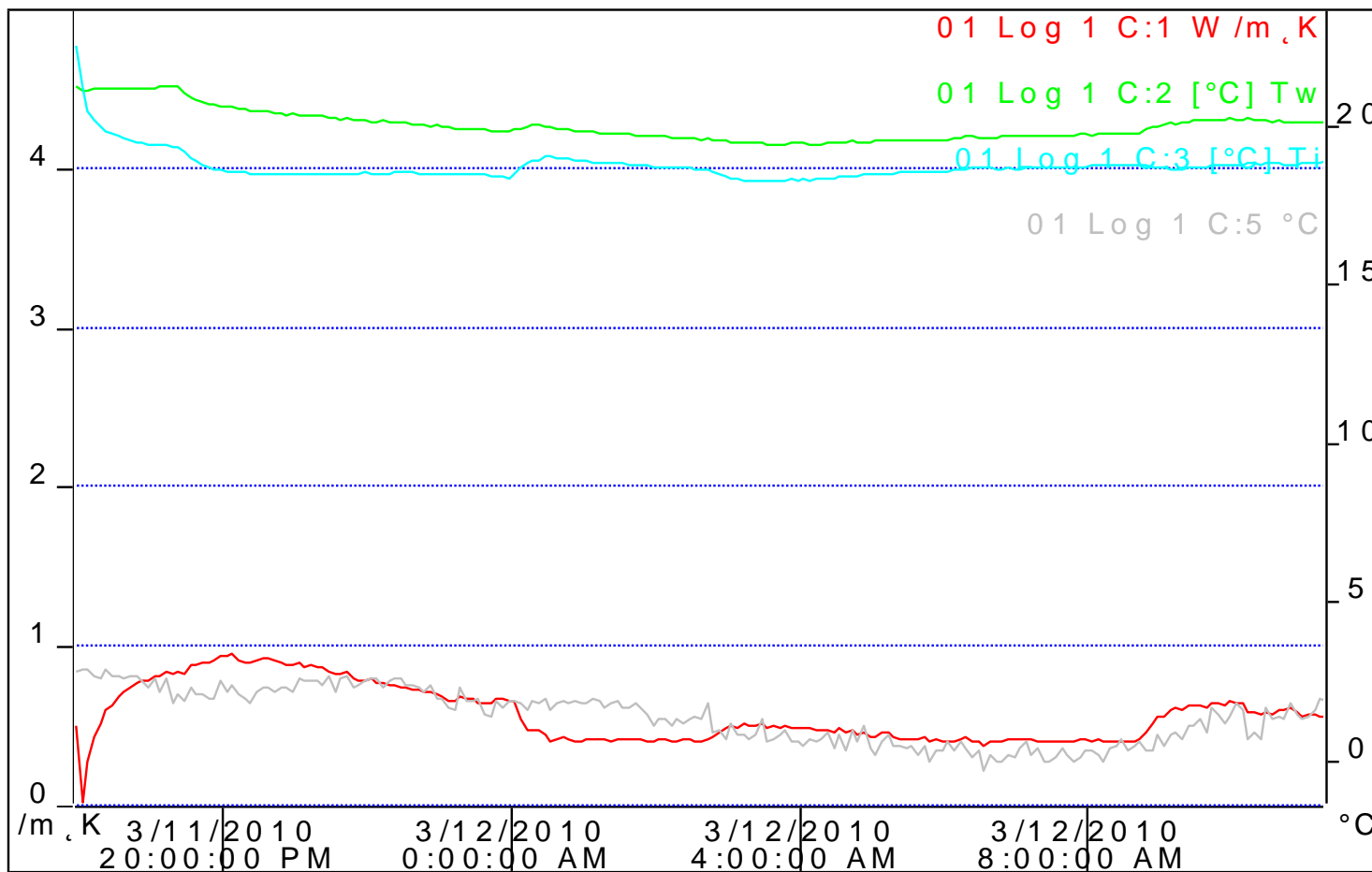
Slika 8. Merenja vršena u objektu br. 101 instrumentom TESTO 445 – crna kugla (spavaća soba) (datum 10.3.2010.÷11.3.2010.)



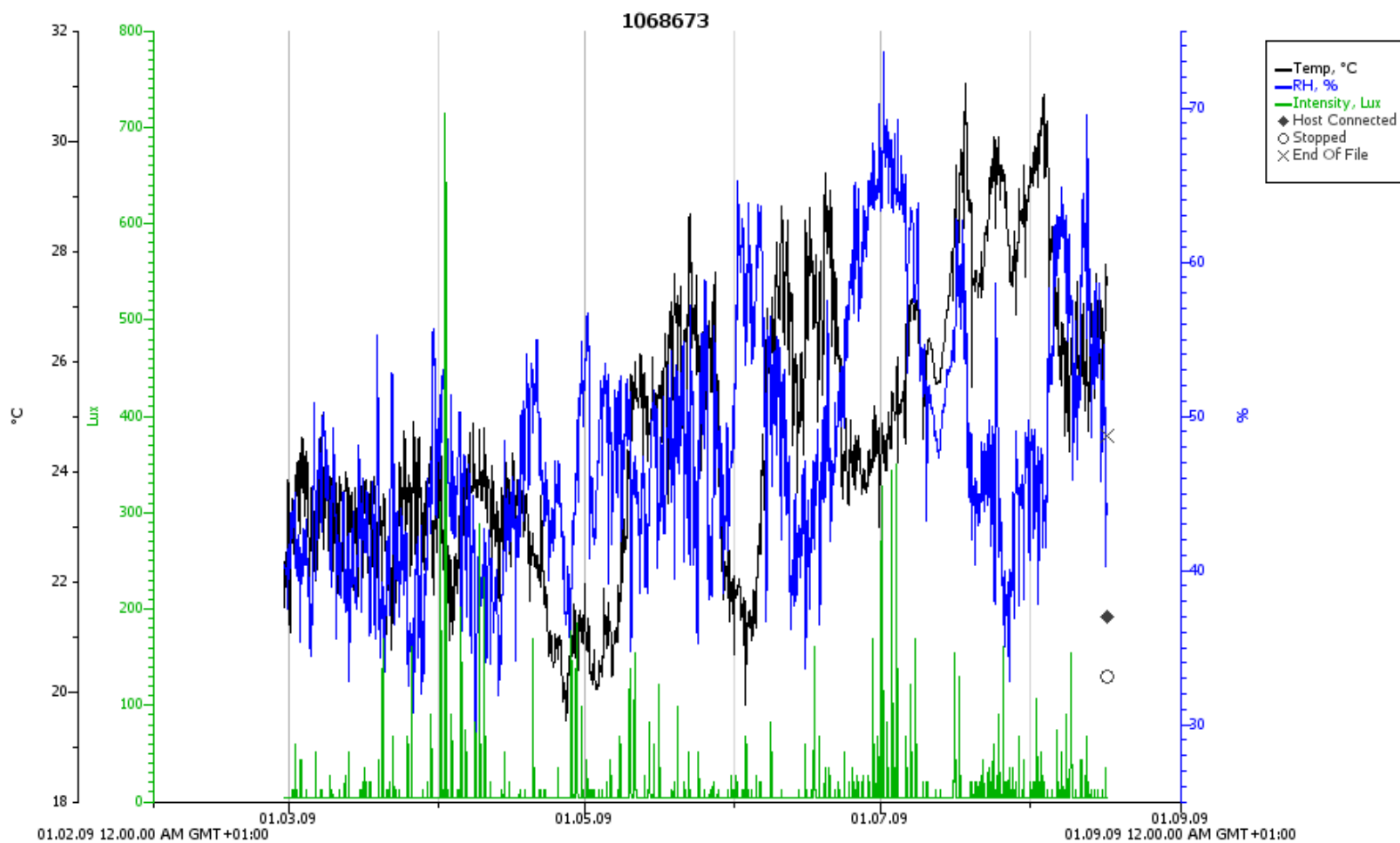
Slika 9. Merenja vršena u objektu br. 101 instrumentom TESTO 635 – U vrednost prozorskog rama (datum 11.3.2010.)



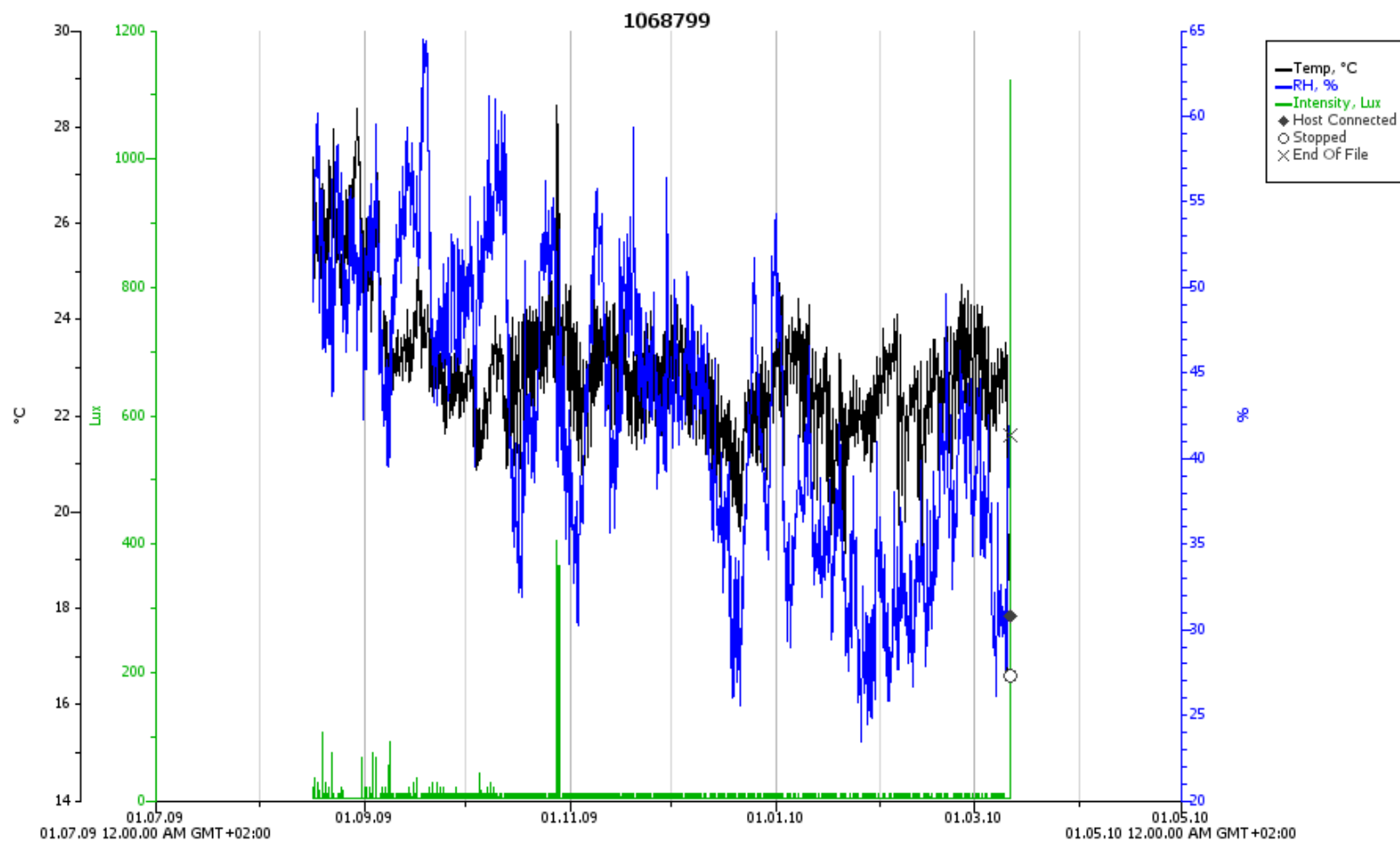
Slika 10. Merenja vršena u objektu br. 101 instrumentom TESTO 635 – U vrednost prozorskog stakla (datum 10.3.2010.÷11.3.2010.)



Slika 11. Merenja vršena u objektu br. 101 instrumentom TESTO 635 – U vrednost spoljašnjeg zida (datum 11.3.2010.÷12.3.2010.)



Slika 12. Merenja vršena u objektu br. 101 (spavaća soba) instrumentom HOBO(S/N 1068673) – Temperatura vazduha, relativna vlažnost i osvetljenje (datum 28.2.2009.÷16.8.2009.)



Slika 13. Merenja vršena u objektu br. 101 (spavaća soba) instrumentom HOBO(S/N 1068799) – Temperatura vazduha, relativna vlažnost i osvetljenje (datum 16.8.2009.÷11.3.2010.)



***PRILOG 2: Upitnik***

Ime i prezime:					Molim Vas štiklirajte pitanje ukoliko ste odgovorili
<b>MODUL A: OPIS DOMAĆINSTVA</b>					
<b>A 1 Lokacija i kontakt detalji:</b>					
Opština:	<input type="checkbox"/> Gradska opština	<input type="checkbox"/> Prigradska opština			
Broj telefona (ukoliko želite):					
<b>A 2 Koliko osoba navedenih starosnih grupa živi u Vašem domaćinstvu?</b>					
12 godina i manje					
Od 13 godina do 18 godina					
Od 19 godina do 65 godina					
Više nego 65 godina					
<b>A 3 Koji je najviši stepen obrazovanja u Vašem domaćinstvu?</b>					
<b>A 4 Kolika je Vaša prosečna potrošnja struje u:</b>					
	Prolećnom periodu	Letnjem periodu	Jesenjem periodu	Zimskom periodu	
U kWh					
<b>A 5 U kakvom tipu objekta živite?</b>					
<input type="checkbox"/> Individualna kuća <input type="checkbox"/> Višespratna zgrada					
Ako je višespratna zgrada na kom spratu živite?					
<b>A 6 Kada je izgrađen objekat u kome živite?</b>					
<input type="checkbox"/> 1946-1970	<input type="checkbox"/> 1970-1980	<input type="checkbox"/> 1980-1990	<input type="checkbox"/> 1990-2002		
<b>A 7 Da li ste renovirali Vaš stan/individualnu kuću?</b>					
<input type="checkbox"/> Da <input type="checkbox"/> Ne ( idite na pitanje A8)					
Ako da, molim Vas navedite koje godine i koji su radovi izvedeni:					
<b>Godina kada je Vaš stan/kuća renoviran:</b>					
Izvedeni radovi:					
<input type="checkbox"/> Promena prozora	Tip novih prozora:	K vrednost (W/m2K):			
<input type="checkbox"/> Izolacija zidova	Vrsta Izolacije:	Debljina:			
<input type="checkbox"/> Izolacija poda	Vrsta Izolacije:	Debljina:			
<input type="checkbox"/> Izolacija krova/plafona	Vrsta Izolacije:	Debljina:			
<input type="checkbox"/> Promena sistema grejanja	Koji sistem grejanja je uveden:				
Ukoliko neki od izvedenih radova ovde nisu obuhvaćeni molim Vas navedite koji su to radovi:					
<b>A 8 Koji je osnovni tip grejanja u Vašem stanu/individualnoj kući?</b>					
<input type="checkbox"/> Centralno grejanje	<input type="checkbox"/> Struja	<input type="checkbox"/> Gas	<input type="checkbox"/> Nafta	<input type="checkbox"/> Drva	<input type="checkbox"/> Ugalj
<input type="checkbox"/> Etazno grejanje kotao na: <input type="checkbox"/> Struju <input type="checkbox"/> Gas <input type="checkbox"/> Nafta <input type="checkbox"/> Drva <input type="checkbox"/> Ugalj					
<b>A 9 Ukoliko koristite još neke načine grejanja navedite koje?</b>					
<input type="checkbox"/> Električna peć (sve vrste)		<input type="checkbox"/> Peć na plin/gas	<input type="checkbox"/> Peć na drva	<input type="checkbox"/> Peć na ugalj	
<input type="checkbox"/> Peć na naftu		<input type="checkbox"/> Kamin			
<b>A 10 Kako zagrevate vodu u Vašem stanu/individualnoj kući?</b>					
<input type="checkbox"/> Struja	<input type="checkbox"/> Drva	<input type="checkbox"/> Plin/Gas	<input type="checkbox"/> Centralno grejanje	<input type="checkbox"/> Ugalj	
<b>MODUL B: TERMALNI KOMFOR</b>					
<b>B 1 Kako bi ste opisali nivo Vašeg termalnog komfora u stanu/individualnoj kući u kom/voj živite?</b>					
<input type="checkbox"/> Udoban <input type="checkbox"/> Pomalo neugodan <input type="checkbox"/> Neudoban <input type="checkbox"/> Veoma neudoban					
<b>B 2 Kako bi ste ocenili nivo kvaliteta vazduha u Vašem stanu/individualnoj kući?</b>					
<input type="checkbox"/> Svež <input type="checkbox"/> Optimalan <input type="checkbox"/> Zagušljiv					






<b>MODUL C: HLADNI APARATI</b>				
<b>C 1 Da li imate jedan ili više frižidera bez zamrzivač fijke/odeljka?</b>				
<input type="checkbox"/> Da <input type="checkbox"/> Ne				
Ako da, molim Vas navedite starost frižidera, njegovu zapreminu i njegov energetske razred ukoliko ga znate (pogledajte sliku na strani 3):				
Frizider	Starost (godina)	Zapremina (litara)	Proizvođač	Energetski razred
<input type="checkbox"/> 1				
<input type="checkbox"/> 2				
<input type="checkbox"/> 3				
<b>C 2 Da li imate jedan ili više frižidera sa zamrzivač fijkom/odeljkom?</b>				
<input type="checkbox"/> Da <input type="checkbox"/> Ne (→đite na pitanje C7)				
Ako da, molim Vas navedite starost frižidera, njegovu zapreminu i njegov energetske razred ukoliko ga znate (pogledajte sliku na strani 3):				
Frizider	Starost (godina)	Zapremina frižidera (litara)	Zapremina zamrzivača (litara)	Energetski razred/Proizvođač
<input type="checkbox"/> 1				
<input type="checkbox"/> 2				
<input type="checkbox"/> 3				
<b>C 3 Koliko često čistite rešetke frižidera?</b>				
<input type="checkbox"/> Svakog meseca <input type="checkbox"/> Svakih 6 meseci <input type="checkbox"/> Svake godine <input type="checkbox"/> Nikada				
<b>C 4 Koliko često odmrzavate frižider?</b>				
<input type="checkbox"/> Svakog meseca <input type="checkbox"/> Svakih 6 meseci <input type="checkbox"/> Svake godine				
<input type="checkbox"/> Nikada <input type="checkbox"/> Frižider ima funkciju automatskog odmrzavanja				
<b>C 5 Kako podešavate termostat u Vašem frižideru?</b>				
<input type="checkbox"/> Na minimum (najhladnije) <input type="checkbox"/> Na srednju poziciju <input type="checkbox"/> Na maksimum (najtoplije)				
<b>C 6 Da li se (jedan od) Vaših frižider(a) nalazi pored/naslanja na aparate za kuvanje (šporet, re rnu...)?</b>				
<input type="checkbox"/> Da <input type="checkbox"/> Ne				
<b>C 7 Da li imate jedan ili više zamrzivača?</b>				
<input type="checkbox"/> Da <input type="checkbox"/> Ne (→đite na pitanje C11)				
Ako da, molim Vas navedite starost zamrzivača, njegovu zapreminu i njegov energetske razred ukoliko ga znate (pogledajte sliku na strani 3):				
Zamrzivač	Starost (godina)	Zapremina (litara)	Proizvođač	Energetski razred
<input type="checkbox"/> 1				
<input type="checkbox"/> 2				
<input type="checkbox"/> 3				
<b>C 8 Koliko često odmrzavate Vaš zamrzivač?</b>				
<input type="checkbox"/> Svakog meseca <input type="checkbox"/> Svakih 6 meseci <input type="checkbox"/> Svake godine				
<input type="checkbox"/> Nikada <input type="checkbox"/> Zamrzivač ima funkciju automatskog odmrzavanja				
<b>C 9 Kako podešavate termostat u Vašem zamrzivaču?</b>				
<input type="checkbox"/> Na minimum (najhladnije) <input type="checkbox"/> Na srednju poziciju <input type="checkbox"/> Na maksimum (najtoplije)				
<b>C 10 Da li se Vaš zamrzivač nalazi pored/naslanja na aparate za kuvanje (šporet, re rnu...)?</b>				
<input type="checkbox"/> Da <input type="checkbox"/> Ne				
<b>C 11 Da li stavljate skuvanu hranu u frižider/zamrzivač pre nego što se ona ohladi?</b>				
<input type="checkbox"/> Da <input type="checkbox"/> Ne				
<b>C 12 Da li uvek pokrivete posude sa hranom pre nego što ih stavite u frižider?</b>				
<input type="checkbox"/> Da <input type="checkbox"/> Ne				
<b>C 13 Da li proveravate nalepnicu za označavanje energetske razreda aparata za domaćinstvo prilikom kupovine frižidera ili zamrzivača?</b>				
<input type="checkbox"/> Da <input type="checkbox"/> Ne				

MODUL D: APARATI ZA PRANJE				<b>НАЛЕПНИЦЕ ЗА ОЗНАЧАВАЊЕ ЕНЕРГЕТСКОГ РАЗРЕДА АПАРАТА ЗА ДОМАЋИНСТВО</b> Помогу вам да направите прави избор при куповини
<b>D 1 Da li imate mašinu za pranje veša?</b> <input type="checkbox"/> Da <input type="checkbox"/> Ne (→đite na pitanje D6)				
Ukoliko da, molim Vas navedite starost mašine, njen kapacitet i energetska razreda ukoliko ga znate (pogledajte sliku pored):				
Starost (godina)	Kapacitet	Energetski razred	Proizvođač	
<b>D 2 Da li obično popunite Vašu mašinu za veš do:</b> <input type="checkbox"/> 25% <input type="checkbox"/> 50% <input type="checkbox"/> 75% <input type="checkbox"/> 100%				
<b>D 3 U kom tarifnom režimu obično koristite Vašu mašinu za pranje veša?</b> <input type="checkbox"/> Zelenom <input type="checkbox"/> Plavom <input type="checkbox"/> Crvenom <input type="checkbox"/> Ne znam				
<b>D 4 Ukoliko znate navedite koju brzinu koristite pri pranju:</b> Pamuk : obrtaja/min Sintetika : obrtaja/min Osetljiva tkanina (vuna...): obrtaja/min				
<b>D 5 Da li obično koristite EKO dugme (ukoliko ga mašina ima) prilikom pranja veša?</b> <input type="checkbox"/> Uvek <input type="checkbox"/> Ponekad <input type="checkbox"/> Nikada <input type="checkbox"/> Nije primenljivo				
<b>D 6 Da li imate mašinu za sušenje veša?</b> <input type="checkbox"/> Da <input type="checkbox"/> Ne (→đite na pitanje D10)				
Ukoliko da, molim Vas navedite starost mašine za sušenje veša i njen energetska razred ukoliko ga znate (pogledajte sliku iznad):				
Starost (godina):	Energetski razred:	Proizvođač:		
<b>D 7 Kako se ciklus sušenja završava?</b> <input type="checkbox"/> Pomoću tajmera (koji ste Vi podesili) <input type="checkbox"/> Automatski (senzor)				
<b>D 8 Koliko često koristite mašinu za sušenje veša?</b> (u % pranja-na primer 50% ukoliko je koristite)				
Zima	Jesen	Leto	Proleće	
<b>D 9 U kom tarifnom režimu obično koristite Vašu mašinu za sušenje veša?</b> <input type="checkbox"/> Zelenom <input type="checkbox"/> Plavom <input type="checkbox"/> Crvenom <input type="checkbox"/> Ne znam				
<b>D 10 Da li imate mašinu za pranje suda?</b> <input type="checkbox"/> Da <input type="checkbox"/> Ne (→đite na pitanje D17)				
Ukoliko da, molim Vas navedite starost mašine i njen energetska razred ukoliko ga znate (pogledajte sliku pored):				
Starost (godina):	Energetski razred	Proizvođač:		
<b>D 11 Da li Vaša mašina za pranje suda koristi toplu vodu prilikom pranja?</b> <input type="checkbox"/> Da <input type="checkbox"/> Ne <input type="checkbox"/> Ne znam				
<b>D 12 Da li obično koristite EKO dugme (ukoliko ga mašina ima) prilikom pranja sudja?</b> <input type="checkbox"/> Uvek <input type="checkbox"/> Ponekad <input type="checkbox"/> Nikada <input type="checkbox"/> Nije primenljivo				
<b>D 13 Na kojoj temperaturi je obično podešena Vaša mašina za pranje suda?</b> <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/> 50°C <input type="checkbox"/> 60°C Navedite:				
<b>D 14 Da li ispirate sude pre nego što ga stavite u Vašu mašinu?</b> <input type="checkbox"/> Da <input type="checkbox"/> Ne				
<b>D 15 Koliko napunite mašinu za pranje suda u većini slučajeva?</b> <input type="checkbox"/> 25% <input type="checkbox"/> 50% <input type="checkbox"/> 75% <input type="checkbox"/> 100%				
<b>D 16 U kom tarifnom režimu obično koristite Vašu mašinu za pranje suda?</b> <input type="checkbox"/> Zelenom <input type="checkbox"/> Plavom <input type="checkbox"/> Crvenom <input type="checkbox"/> Ne znam				
<b>D 17 Da li proveravate nalepnicu za označavanje energetske razreda aparata za domaćinstvo (pogledajte sliku iznad) prilikom kupovine aparata za pranje?</b> <input type="checkbox"/> Da <input type="checkbox"/> Ne				
<b>MODUL E: APARATI ZA KUVANJE</b>				
<b>E 1 Koji je primarni/osnovni izvor toplote za kuvanje u Vašem stanu/individualnoj kući?</b> <input type="checkbox"/> Stuja <input type="checkbox"/> Plin/Gas <input type="checkbox"/> Drva <input type="checkbox"/> Ugalj				
<b>E 2 Koji je sekundarni izvor toplote za kuvanje u Vašem stanu/individualnoj kući?</b> <input type="checkbox"/> Stuja <input type="checkbox"/> Plin/Gas <input type="checkbox"/> Drva <input type="checkbox"/> Ugalj <input type="checkbox"/> Nemam sekundarni izvor toplote				
<b>E 3 Koji tip aparata za kuvanje posedujete?</b> <input type="checkbox"/> Šporet na struju <input type="checkbox"/> Šporet na ugalj <input type="checkbox"/> Mikrotalasna pećnica <input type="checkbox"/> Šporet na drva <input type="checkbox"/> Šporet na plin i kombinovani				
<b>E 4 Koliko često kuvate tokom nedelje?</b> <input type="checkbox"/> Svaki dan <input type="checkbox"/> 1 put nedeljno <input type="checkbox"/> 2 puta nedeljno <input type="checkbox"/> 3 puta nedeljno <input type="checkbox"/> 4 puta nedeljno <input type="checkbox"/> 5 puta nedeljno <input type="checkbox"/> Samo tokom vikenda				
<b>E 5 U kom tarifnom režimu obično koristite Vaš aparat za kuvanje?</b> <input type="checkbox"/> Zelenom <input type="checkbox"/> Plavom <input type="checkbox"/> Crvenom <input type="checkbox"/> Ne znam				

<b>MODUL F: KANCELARIJSKI UREDAJI</b>				
<b>F 1 Da li imate internet konekciju?</b>				
<input type="checkbox"/> Da <input type="checkbox"/> Ne				
Ukoliko da, molim Vas navedite koji tip konekcije imate:				
<b>F 2 Kada ne koristite navedene uređaje, da li obično (štiklirajte polje jedino ukoliko posedujete navedeni uređaj):</b>				
Uređaj	isključujete uređaj daljinskim upravljačem	isključujete uređaj prekidačem na samom uređaju	ostavljate uređaj uključen	
Kompjuter	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Monitor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Laptop	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Printer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Multifunkcionalni printer (printer/scanner/copier)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Skener	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Fotokopir mašina	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Fax	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Modem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Zvučnici	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Ruter/čvor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>F 3 Kada ostavljate kompjuter uključen, koji je razlog?</b>				
<input type="checkbox"/> Nema potrebe iznova paliti kompjuter pre svake upotrebe <input type="checkbox"/> Strah da se kompjuter ošteti <input type="checkbox"/> Rad je u toku				
<b>F 4 Da li je funkcija uštede struje aktivirana na Vašem kompjuteru? (stavljanje neaktivnog kompjutera u režim sna/ a low power sleep mode)</b>				
<input type="checkbox"/> Da <input type="checkbox"/> Ne <input type="checkbox"/> Ne znam				
<b>F 5 Da li je funkcija uštede struje aktivirana na Vašem monitoru? (stavljanje neaktivnog kompjutera u režim sna/ a low power sleep mode)</b>				
<input type="checkbox"/> Da <input type="checkbox"/> Ne <input type="checkbox"/> Ne znam				
<b>F 6 Da li po Vašem mišljenju aktivacija čuvara ekrana/screen saver-a šteti struju?</b>				
<input type="checkbox"/> Da <input type="checkbox"/> Ne <input type="checkbox"/> Ne znam				
<b>F 7 Na šta se po Vašem mišljenju odnosi nalepnica Energetska Zvezdica (pogledajte sliku pored)?</b>				
<input type="checkbox"/> Elektromagnetna kompatibilnost <input type="checkbox"/> Ne znam <input type="checkbox"/> Korišćenje materijala koji se mogu reciklirati				
<input type="checkbox"/> Niska potrošnja energije				
<b>F 8 Kada kupujete kancelarijske uređaje (kompjuter, štampač..) da li birate one sa Energetskom Zvezdicom?</b>				
<input type="checkbox"/> Uvek <input type="checkbox"/> Ponekad <input type="checkbox"/> Nikada				
<b>MODUL G: KUĆNI UREDAJI</b>				
<b>G 1 Kada ne koristite navedene uređaje, da li obično (štiklirajte polje jedino ukoliko posedujete navedeni uređaj):</b>				
Uređaj	isključujete uređaj daljinskim upravljačem	isključujete uređaj prekidačem na samom uređaju	isključujete uređaj iz struje/utičnice	ostavljate uređaj uključen
TV	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kućni bioskop	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Video rekorder	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DVD rekorder	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hi-Fi/Audio uređaj	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Satelit/TV resiver	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hard disk	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Video igre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ostalo :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>G 2 Sa kojim modelom bi ste zamenili Vaš postojeći TV?</b>				
<input type="checkbox"/> Plazma ekran <input type="checkbox"/> Ravan ekran (LCD)				
<input type="checkbox"/> Katodni ekran <input type="checkbox"/> Projektor				
<b>G 3 Da li znate da neki uređaji troše struju i kada su isključeni pomoću prekidača na samom uređaju ali nisu isključeni iz struje/utičnice?</b>				
<input type="checkbox"/> Da <input type="checkbox"/> Ne				
<b>G 4 Da li obično ostavljate punjač (telefona, baterija...) u utičnici i kada ga ne koristite?</b>				
<input type="checkbox"/> Uvek <input type="checkbox"/> Ponekad <input type="checkbox"/> Nikada				
<b>G 5 Da li koristite produžni kabl sa prekidačem za isključenje na koji su povezani uređaji?</b>				
<input type="checkbox"/> Da <input type="checkbox"/> Ne				



<b>MODUL H: ERKONDIŠN/RASHLADNI UREDAJI/SPLIT SISTEMI</b>			
<b>H 1 Da li imate rashladni uređaj (erkondišn, centralni klima sistem, ventilator...)?</b>			<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Da	<input type="checkbox"/> Ne (→idite na pitanje I1)		
<b>H 2 Koliku površinu Vašeg stana pokriva/hladi rashladni uređaj?</b>			<input type="checkbox"/>
	m <sup>2</sup>		
<b>H 3 Koliki je procentualni udeo te površine (koliko procenata ta površina iznosi u odnosu na celi stan)?</b>			<input type="checkbox"/>
	%		
<b>H 4 Navedite tip rashladnog uređaja i njegov energetska razred ukoliko ga znate:</b>			<input type="checkbox"/>
<b>Erkondišn uređaji</b>	<b>Broj komada</b>	<b>Energetski razred</b>	
Centralni klima sistem /kanalski-ventilacioni klima sistem			
Toplotna pumpa			
Jednostruki split /erkondišn sistem (jedna rashladna jedinica je unutra dok je jedna rashladna jedinica napolju)			
Višestruki split/erkondišn sistem (jedna rashladna jedinica je napolju dok je više)			
Pokretni rashladni uređaj/erkondišn			
Ovlaživač vazduha			
Ventilator			
Ostalo (navedite):			
<b>H 5 Da li ostavljate otvorena spoljna vrata (na primer od balkona ili terase) ili prozore dok radi rashladni uređaj?</b>			<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Da	<input type="checkbox"/> Ne		
<b>H 6 Na koju temperaturu podešavate Vaš rashladni uređaj?</b>			<input type="checkbox"/>
	°C		
<b>H 7 Koliku unutrašnju temperaturu u letnjem periodu smatrate komfornom/ugodnom?</b>			<input type="checkbox"/>
	°C		
<b>H 8 Da li temperaturu na klima uređaju podešavate prema spoljnoj temperaturi?</b>			<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Da	<input type="checkbox"/> Ne		
<b>MODUL I: GENERALNA PITANJA</b>			
<b>I 1 Rankirajte navedene karakteristike od 1 do 7 prema njihovoj važnosti kada kupujete nov uređaj za domaćinstvo (gde je 1: važno, 7: nevažno):</b>			
Cena			
Dizajn/stil			
Dimenzije			
Kapacitet			
Potrošnja struje			
Lakoća korišćenja			
Ostalo (navedite):			
<b>I 2 Zašto smatrate da je potrebna/važna ušteda struje (gde je 1: važno, 5: nevažno)?</b>			<input type="checkbox"/>
Ušteda novca			
Smanjenje energetske potrošnje			
Globalno zagrevanje/efekat staklene bašte			
Rizik od rata usled nedostatka struje			
Ostalo (navedite):			
<b>I 3 Da li ste čuli za uštedu struje preko nekih od navedenih izvora?</b>			<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> TV			
<input type="checkbox"/> Magazin/Novine			
<input type="checkbox"/> Škola			
<input type="checkbox"/> Internet			
<input type="checkbox"/> Radio			
<input type="checkbox"/> Konferencija			
<input type="checkbox"/> Posao			
<input type="checkbox"/> Prijatelji/familija			
<input type="checkbox"/> Ostalo			

<b>MODUL J: OSVETLJENJE</b>										
<b>J 1 Navedite broj svetiljki/sijalica svakog od tipa i sobe u kojima se one nalaze:</b>										
	Tip	Dnevna soba	Spavaća soba	Kuhinja	Hodnici	Kupatilo	Osvjetljenje izvan stana (dvorište, terasa...)	Špajz/Ostava	Ostale sobe	Podrum
	Obična sijalica									
	Halogena sijalica niske voltaže									
	Halogena sijalica visoke voltaže (>70W)									
	Fluorescentna sijalica/Neonka									
	Kompaktna fluorescentna sijalica									
<b>J 2 Da li ostavljate upaljeno svjetlo u prostoriji u kojoj više ne boravite?</b>										
<input type="checkbox"/> Uvek <input type="checkbox"/> Ponekad <input type="checkbox"/> Nikada										
<b>J 3 Da li pregorele sijalice menjate sa štedljivim sijalicama (kompaktne fluorescentne sijalice ili fluorescentne sijalice)?</b>										
<input type="checkbox"/> Uglavnom <input type="checkbox"/> Ponekad <input type="checkbox"/> Retko <input type="checkbox"/> Nikada										
<b>J 4 Ukoliko retko ili nikada ne koristite štedljive sijalice koji je razlog za to? (štiklirajte sva polja koja su uzrok ne kupovine štedljivih sijalica)</b>										
<input type="checkbox"/> Cena										
<input type="checkbox"/> Kvalitet osvetljenja										
<input type="checkbox"/> Veličina sijalice										
<input type="checkbox"/> Izgled sijalice										
<input type="checkbox"/> Vek trajanja sijalice										
<input type="checkbox"/> Ostalo (navedite) :										
<b>J 5 Da li ste promenili navike korišćenja sijalica koje ste zamenili štedljivim sijalicama?</b>										
<input type="checkbox"/> Da, ostavljam ih duže upaljene <input type="checkbox"/> Ne, ništa nisam promeno/la										

***PRILOG 3: Izračunavanje brojnih vrednosti podindikatora opcije 2***



## Opcija 2

Tip objekta: stambene zgrade (višespratnice)

Tip grejanja: daljinsko grejanje

### Ekonomski podindikator potrošnje električne enegije, Ec1

$$Ec1 = \frac{\sum_1^k Eee_i}{k} \quad (47)$$

Eee<sub>i</sub> (kWh/god.) - električna energija koja se u svakom domaćinstvu opcije 2 utroši u toku jedne godine (Tabela P3-1, kolona „Godišnja potrošnja struje“)

k (-) - broj objekata u okviru opcije (k=27 u opciji 2)

$$Ec1 = \frac{8550 + 4950 + \dots + 16125}{27} = 7271 \quad kWh/god./dom.$$

### Ekonomski podindikator potrošnje toplotne enegije, Ec2

U slučaju opcije 2 koju čini 27 objekata koji su priključeni na daljinski sistem grejanja, korišćeni su podaci dobijeni od strane Beogradskih elektrana za predstavnika ove opcije za posmatranu grejnu sezonu o količini toplotne energije predatoj objektu u toku grejne sezone po m<sup>2</sup> površine posmatranog objekta.

$$Ec2 = 132 \quad kWh/god./m^2$$

### Ekonomski podindikator potrošnje tople vode, Ec3

$$Ec3 = \frac{\sum_1^k \left( \frac{k_{ui} \cdot k_{ng} \cdot V_{pv}}{n_{di}} + \frac{0.23 \cdot Eee_i \cdot k_{ve}}{n_{di}} \right)}{k} \quad (49)$$

Gde su:

- $k_{ui}$  (-) - broj nedeljnih uključenja mašine za pranje veša u i-tom domaćinstvu posmatrane opcije dobijen iz Upitnika (tabela P3-2)
- $k_{ng}$ (-) - broj nedelja u toku jedne godine ( $k_{ng}=52$ )
- $V_{pv}$  (m<sup>3</sup>) - količina vode potrebna za jedno pranje je veličina koja zavisi od starosti veš mašine [128] (podatak o starosti veš mašine uzet iz Upitnika) (tabela P3-2)
- $Eee_i$  (kWh/god.) - električna energija koja se u jednom domaćinstvu utroši u toku jedne godine (bez grejanja) (tabela P3-1)
- $k_{ve}$  (m<sup>3</sup>/kWh) - količina vode u m<sup>3</sup> koju 1kWh električne energije zagreje od 19°C do 60°C

$$k_{ve} = \frac{3600 \cdot Eeen \cdot \eta}{\rho \cdot c_p \Delta t} = \frac{3600 \cdot 1kWh \cdot 0.95}{988.1 \frac{kg}{m^3} \cdot 4.174 \frac{kJ}{kgK} \cdot 41K} = 0.020225 \frac{m^3}{kWh}$$

- $n_{di}$  (-) - broj članova i-tog domaćinstva u okviru posmatrane opcije (podatak iz Upitnika) (tabela P3-1)

k (-) - broj objekata u okviru jedne opcije (k=27 u opciji 2)

$$Ec3 = \frac{\sum_1^k \left( \frac{k_{ui} \cdot k_{ng} \cdot V_{pv}}{n_{di}} + \frac{0.23 \cdot Eee_i \cdot k_{ve}}{n_{di}} \right)}{k}$$

$$Ec3 = 16.76 \text{ m}^3/\text{član/god.}$$

Tabela P3-1. Podaci o objektima opcije 2 (ukupno 27 objekata)

No	ID domaćinstva	Broj članova domaćinstva	Prosečna mesečna potrošnja struje (proleće)	Prosečna mesečna potrošnja struje (leto)	Prosečna mesečna potrošnja struje (jesen)	Prosečna mesečna potrošnja struje (zima)	Godišnja potrošnja struje	Površina stana
		/	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	m <sup>2</sup>
Izvor		Upitnik (n <sub>di</sub> )	Upitnik				Izračunato (E <sub>eei</sub> )	Upitnik
1.	1	3	700	500	750	900	8550	60
2.	3	1	400	350	400	500	4950	50
3.	4	4	480	480	480	480	5760	90
4.	7	4	700	600	800	1000	9300	70
5.	16	4	700	700	750	800	8850	76
6.	17	3	700	700	700	800	8700	70
7.	20	2	700	700	700	950	9150	58
8.	21	4	700	650	800	850	9000	96
9.	22	5	800	700	800	1000	9900	72
10.	23	1	180	150	180	250	2280	50
11.	24	4	750	700	750	800	9000	70
12.	25	5	800	700	800	900	9600	82
13.	28	1	200	150	200	250	2400	38
14.	29	4	600	500	600	700	7200	70
15.	35	1	350	400	494	534	5334	65
16.	36	4	428	370	731	950	7437	80
17.	45	4	420	350	460	500	5190	66
18.	48	2	396	416	445	468	5175	74
19.	52	2	450	500	450	550	5850	56
20.	55	3	390	255	416	425	4458	54
21.	56	1	390	390	390	440	4830	96
22.	57	4	540	450	540	540	6210	69
23.	60	4	480	480	550	550	6180	64
24.	63	3	300	350	400	450	4500	44
25.	68	3	500	500	600	700	6900	90
26.	85	4	1050	1100	1150	1200	13500	60
27.	99	3	1189	1349	1335	1502	16125	125
<i>Srednje vrednosti</i>		3.15					7271	70.2

Tabela P3-2. Podaci o objektima opcije 2

No	ID domaćinstva	Period izgradnje objekta	Zagrevanje vode	Starost mašine za pranje veša	Broj nedeljnih uključenja	Broj godišnjih uključenja	Prosečna potrošnja vode po jednom pranju	Godišnja potrošnja tople vode za pranje	Godišnja potrošnja tople vode po članu domaćinstva( mašine za pranje veša)
			/	/	/	/	litar	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /član/god.
Izvor		Upitnik	Upitnik	Upitnik	Upitnik (k <sub>ui</sub> )	Izračunato (k <sub>ui</sub> · k <sub>ng</sub> )	Iz literature (V <sub>pv</sub> )	Izračunato (k <sub>ui</sub> · k <sub>ng</sub> · V <sub>pv</sub> )/1000	Izračunato (k <sub>ui</sub> · k <sub>ng</sub> · V <sub>pv</sub> )/1000/n <sub>di</sub>
1.	1	1971-1980	Struja	Manje od 5	3	156	49	7.644	2.548
2.	3	1971-1980	Struja	Između 6 i 10	2	104	61	6.344	6.344
3.	4	1971-1980	Struja	Manje od 5	4	208	49	10.192	2.548
4.	7	1946-1970	Struja	Manje od 5	5	260	49	12.74	3.185
5.	16	1946-1970	Struja	Manje od 5	5	260	49	12.74	3.185
6.	17	1946-1970	Struja	Manje od 5	3	156	49	7.644	2.548
7.	20	1971-1980	Struja	Manje od 5	3	156	49	7.644	3.822
8.	21	1971-1980	Struja	Manje od 5	5	260	49	12.74	3.185
9.	22	1971-1980	Struja	Vise od 10	6	312	106	33.072	6.614
10.	23	1971-1980	Struja	Vise od 10	1	52	106	5.512	5.512
11.	24	1971-1980	Struja	Između 6 i 10	5	260	61	15.86	3.965
12.	25	1971-1980	Struja	Vise od 10	6	312	106	33.072	6.614
13.	28	1946-1970	Struja	Manje od 5	1	52	49	2.548	2.548
14.	29	1946-1970	Struja	Manje od 5	4	208	49	10.192	2.548
15.	35	1971-1980	Struja	Manje od 5	3	156	49	7.644	7.644
16.	36	1971-1980	Struja	Vise od 10	4	208	106	22.048	5.512
17.	45	1971-1980	Struja	Manje od 5	5	260	49	12.74	3.185
18.	48	1946-1970	Struja	Vise od 10	4	208	106	22.048	11.024
19.	52	1946-1970	Struja	Bez odgovora	4	208	79	16.432	8.216
20.	55	1971-1980	Struja	Između 6 i 10	4	208	61	12.688	4.229
21.	56	1971-1980	Struja	Bez odgovora	3	156	79	12.324	12.324
22.	57	1946-1970	Struja	Manje od 5	4	208	49	10.192	2.548
23.	60	1946-1970	Struja	Između 6 i 10	4	208	61	12.688	3.172
24.	63	1946-1970	Struja	Bez odgovora	3	156	79	12.324	4.108
25.	68	1946-1970	Struja	Manje od 5	4	208	49	10.192	3.397
26.	85	1971-1980	Struja	Vise od 10	3	156	106	16.536	4.134
27.	99	1971-1980	Struja	Manje od 5	5	260	49	12.74	2.548

Tabela P3-2. Nastavak

No	ID domaćinstva	Godišnja potrošnja struje za zagrevanje vode (bojleri i mašine za sudove)	Godišnja potrošnja tople vode (bojleri i mašine za sudove)	Godišnja potrošnja po članu domaćinstva (bojleri i mašine za sudove)	Ukupna godišnja potrošnja tople vode po članu domaćinstva
		kWh	m <sup>3</sup> /god.	m <sup>3</sup> /član/god.	m <sup>3</sup> /član/god.
		Izračunato (0.23·E <sub>eei</sub> )	Izračunato (0.23·E <sub>eei</sub> ·k <sub>ve</sub> )	Izračunato (0.23·E <sub>eei</sub> ·k <sub>ve</sub> )/ n <sub>di</sub>	Izračunato (k <sub>ui</sub> )
1.	1	1966.5	39.77	13.26	15.81
2.	3	1138.5	23.03	23.03	29.37
3.	4	1324.8	26.79	6.70	9.25
4.	7	2139	43.26	10.82	14.00
5.	16	2035.5	41.17	10.29	13.48
6.	17	2001	40.47	13.49	16.04
7.	20	2104.5	42.56	21.28	25.10
8.	21	2070	41.86	10.47	13.65
9.	22	2277	46.05	9.21	15.82
10.	23	524.4	10.61	10.61	16.12
11.	24	2070	41.86	10.47	14.43
12.	25	2208	44.66	8.93	15.55
13.	28	552	11.16	11.16	13.71
14.	29	1656	33.49	8.37	10.92
15.	35	1226.8	24.81	24.81	32.46
16.	36	1710.5	34.59	8.65	14.16
17.	45	1193.7	24.14	6.04	9.22
18.	48	1190.3	24.07	12.04	23.06
19.	52	1345.5	27.21	13.61	21.82
20.	55	1025.3	20.74	6.91	11.14
21.	56	1110.9	22.47	22.47	34.79
22.	57	1428.3	28.89	7.22	9.77
23.	60	1421.4	28.75	7.19	10.36
24.	63	1035	20.93	6.98	11.09
25.	68	1587	32.10	10.70	14.10
26.	85	3105	62.80	15.70	19.83
27.	99	3708.8	75.01	15.00	17.55
<i>Srednje vrednosti</i>					16.76

**Ekonomski podindikator potrošnje električne energije za kuvanje, Ec4** predstavlja srednju specifičnu potrošnju električne energije za kuvanje po članu domaćinstva u okviru posmatrane opcije. Vrednost ovog podindikatora je izračunata kao srednja za svaku opciju koju čini “k” domaćinstava.

$$Ec4 = \frac{\sum_1^k \left( \frac{k_{ki} \cdot Eee_i}{n_{di}} \right)}{k} \quad (50)$$

- Eee<sub>i</sub> (kWh/god.) - električna energija koja se u jednom domaćinstvu utroši u toku jedne godine (bez grejanja) (tabela p3-3)
- k<sub>ki</sub> (-) - koeficijent koji zavisi od broja dana u nedelji kada se u i-tom domaćinstvu kuva a koji je dobijen iz Upitnika (prosečan broj dana u nedelji kada se kuva za ceo reprezentativni uzorak je 5.5 i njemu odgovara k<sub>ki</sub>=0.3, tj. 30% električne energije koja se utroši u domaćinstvu [129] ) (tabela P3-3)
- n<sub>di</sub> (-) - broj članova i-tog domaćinstva u okviru posmatrane opcije (podatak iz Upitnika)
- k (-) - broj objekata u okviru jedne opcije (k=27)

$$Ec4 = 768 \text{ kWh}/\text{član}/\text{god.}$$

Tabela P3-3. Podaci o objektima opcije 2

<i>No</i>	<i>ID domaćinstva</i>	<i>Broj članova domaćinstva</i>	<i>Godišnja potrošnja struje</i>	<i>Koliko često kuvate tokom nedelje?</i>	<i>Koeficijent</i>	<i>Godišnja potrošnja električne energije za kuvanje</i>
		/	kWh	/	/	kWh/član/god.
<i>Izvor</i>		Upitnik ( $n_{di}$ )	Izračunato ( $E_{eei}$ )	Upitnik	Izračunato $k_{ki}$	Izračunato ( $k_{ki} \cdot E_{eei} / n_{di}$ )
1.	1	3	8550	Svakog dana	0.38	1083
2.	3	1	4950	Svakog dana	0.38	1881
3.	4	4	5760	Svakog dana	0.38	883.5
4.	7	4	9300	Dva dana u nedelji	0.11	319
5.	16	4	8850	Tri dana u nedelji	0.16	732
6.	17	3	8700	Svakog dana	0.38	855
7.	20	2	9150	Pet dana u nedelji	0.27	534.6
8.	21	4	9000	Jednom u nedelji	0.05	114
9.	22	5	9900	Pet dana u nedelji	0.27	303.8
10.	23	1	2280	Svakog dana	0.38	729.6
11.	24	4	9000	Cetiri dana u nedelji	0.22	528
12.	25	5	9600	Cetiri dana u nedelji	0.22	198
13.	28	1	2400	Svakog dana	0.38	2026.9
14.	29	4	7200	Svakog dana	0.38	706.5
15.	35	1	5334	Cetiri dana u nedelji	0.22	285.5
16.	36	4	7437	Svakog dana	0.38	491.6
17.	45	4	5190	Pet dana u nedelji	0.27	789.8
18.	48	2	5175	Svakog dana	0.38	282.3
19.	52	2	5850	Svakog dana	0.38	1835.4
20.	55	3	4458	Pet dana u nedelji	0.27	417.2
21.	56	1	4830	Dva dana u nedelji	0.11	165
22.	57	4	6210	Svakog dana	0.38	1282.5
23.	60	4	6180	Svakog dana	0.38	1225.5
24.	63	3	4500	Svakog dana	0.38	1083
25.	68	3	6900	Svakog dana	0.38	1881
26.	85	4	13500	Svakog dana	0.38	883.5
27.	99	3	16125	Dva dana u nedelji	0.11	319
<i>Srednje vrednosti</i>						768



**Podindikator temperature vazduha, En1** definisan je kao apsolutno odstupanje srednje dnevne temperature vazduha u toku grejne sezone u dnevnom boravku od 22°C. Kontinualno merenje temperature vazduha u dnevnom boravku je vršeno u toku jedne cele godine na svakih 30min u svim objektima.

$$En1 = |t_{sr} - 22| \quad (51)$$

$t_{sr}$  (°C) - srednja dnevna temperatura posmatrane opcije u toku grejne sezone  
(tabela P3-4)

Tabela P3-4. Podaci o objektima opcije 2

<i>No</i>	<i>ID domaćinstva</i>	<i>Srednja dnevna temperatura</i>	<i>Srednja dnevna relativna vlažnost</i>
		°C	%
<i>Izvor</i>		Izračunate srednje vrenosti na osnovu merenja	Izračunate srednje vrenosti na osnovu merenja
1.	1	22.0	50
2.	3	23.2	36
3.	4	23.8	39
4.	7	22.5	45
5.	16	22.5	41
6.	17	22.1	37
7.	20	21.9	37
8.	21	23.1	39
9.	22	22.2	44
10.	23	22.1	38
11.	24	21.9	43
12.	25	23.6	40
13.	28	20.6	44
14.	29	24.1	38
15.	35	24.2	37
16.	36	22.6	41
17.	45	24.3	44
18.	48	24.3	37
19.	52	23.0	40
20.	55	22.1	46
21.	56	22.8	37
22.	57	23.0	43
23.	60	22.3	47
24.	63	23.0	44
25.	68	23.0	37
26.	85	21.2	42
27.	99	22.6	44
<i>Srednje vrednosti</i>		22.7	41

$$En1 = |22.7 - 22| = 0.7 \quad ^\circ\text{C}$$

**Podindikator relativne vlažnosti, En2** je definisan kao odstupanje srednje dnevne relativne vlažnosti u toku grejne sezone od 50%. Takođe je srednja dnevna relativna vlažnost dobijena kontinualnim merenjem rel. vlažnosti u toku jedne godine na svakih 30min.

$$En2 = |Rh_{sr} - 50| \quad (52)$$

$Rh_{sr}$  (%) - srednja dnevna relativna vlažnost posmatrane opcije

$$En2 = |41 - 50| = 9 \quad \%$$

**Podindikator koncentracije CO<sub>2</sub>, En3** je definisan kao srednja vrednost izmerene koncentracije ugljendioksida u dnevnoj sobi u zimskom periodu u toku 72h merenja na svakih 5min. Vrednost srednje koncentracije CO<sub>2</sub> kao podindikator En3 za opciju 2 uzeta je za objekat ID=21 u kome je izvršeno merenje.

$$En3 = 901 \quad \text{ppm}$$

**Sociološki podindikator stambenog prostora, Sc1**, predstavlja srednju vrednost površine stambenog prostora po članu domaćinstva u okviru jedne opcije i izračunava se na sledeći način:

$$Sc1 = \frac{\sum_1^k A_i}{\sum_1^k n_{di}} \quad (53)$$

$A_i$  (m<sup>2</sup>) - površina i-tog objekta u okviru jedne opcije (podatak iz Upitnika) (tabela P3-1)

$n_{di}$  (-) - broj članova i-tog domaćinstva u okviru posmatrane opcije (podatak iz Upitnika) (tabela P3-1)

$$Sc1 = \frac{60 + 50 + 90 + \dots + 125}{3 + 1 + 4 + \dots + 3} = 22.3 \text{ m}^2 / \text{član}$$

**Sociološki podindikator klimatizacije stambenog prostora, Sc2**, predstavlja procenat stambenog prostora koji je klimatizovan na nivou jedne opcije i izračunava se kao:

$$Sc2 = \frac{\sum_1^k A_{ki}}{\sum_1^k A_i} \cdot 100 \quad (54)$$

$A_{ki}$  (m<sup>2</sup>) - površina i-tog objekta koja je klimatizovana (podatak iz Upitnika) (tabela P3-4)

$A_i$  (m<sup>2</sup>) - površina i-tog objekta (podatak iz Upitnika) (tabela P3-1)

$$Sc2 = \frac{35 + 20 + 50 + \dots + 100}{60 + 50 + 90 + \dots + 125} \cdot 100 = 40 \text{ \%}$$

**Sociološki podindikator zastupljenosti sudomašina, Sc3**, predstavlja udeo stanova ili kuća u okviru jedne opcije u kojima se koriste mašine za pranje sudova i izračunava se kao:

$$Sc3 = \frac{k_{dsm}}{k} \cdot 100 \quad (55)$$

$k_{dsm}$  (-) - broj domaćinstava u okviru posmatrane opcije koji koriste sudomašinu (podatak iz Upitnika) ( $k_{dsm}=19$  za opciju 2)

k (-) - broj objekata u okviru jedne opcije (k=27)

$$Sc3 = \frac{19}{27} \cdot 100 = 70 \%$$

Tabela P3-4. Podaci o objektima opcije 2

<i>No</i>	<i>ID domaćinstva</i>	<i>Da li imate rashladni uređaj?</i>	<i>Površina objekta koja je klimatizovana</i>	<i>Da li imate mašinu za pranje sudova?</i>	<i>Kako biste ocenili kvalitet vazduha u vašem stambenom prostoru?</i>
		/	m <sup>2</sup>	/	/
<i>Izvor</i>		Upitnik	Upitnik (A <sub>ki</sub> )	Upitnik	Upitnik
1.	1	Da	35	Da	optimalan
2.	3	Da	20	Ne	optimalan
3.	4	Da	50	Da	svež
4.	7	Da	60	Da	zagušljiv
5.	16	Da	20	Da	optimalan
6.	17	Da	35	Da	optimalan
7.	20	Da	30	Da	zagušljiv
8.	21	Da	50	Da	svež
9.	22	Da	40	Da	optimalan
10.	23	Ne		Ne	optimalan
11.	24	Da	25	Ne	optimalan
12.	25	Ne		Ne	optimalan
13.	28	Ne		Ne	optimalan
14.	29	Da	35	Da	optimalan
15.	35	Ne		Da	optimalan
16.	36	Ne		Ne	optimalan
17.	45	Ne		Da	optimalan
18.	48	Ne		Da	svež
19.	52	Da	30	Ne	optimalan
20.	55	Da	20	Da	svež
21.	56	Da	62	Da	optimalan
22.	57	Da	55	Da	optimalan
23.	60	Da	20	Da	optimalan
24.	63	Da	20	Da	optimalan
25.	68	Da	30	Da	optimalan
26.	85	Da	30	Ne	optimalan
27.	99	Da	100	Da	optimalan

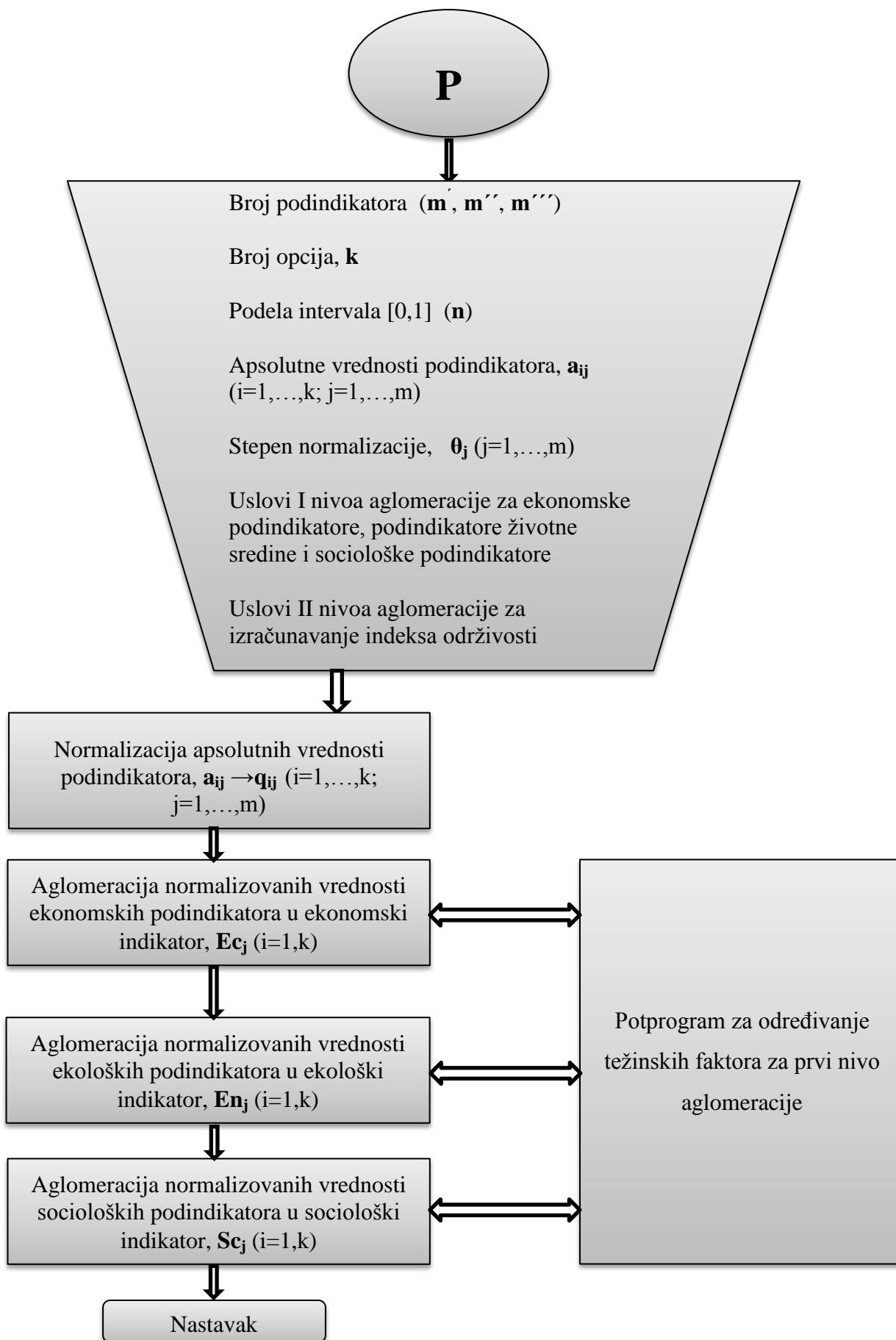
**Sociološki podindikator kvaliteta vazduha, Sc4**, je kvalitativni atribut. Predstavlja srednju vrednost subjektivnih ocena koje su dali stanari objekata na nivou posmatrane opcije. Ponuđeni odgovori na pitanje “Kako biste ocenili nivo kvaliteta vazduha u Vašem stanu/individualnoj kući?” su bili: “svež”, “optimalan” i “zagušljiv”. Da bi se ovaj kvalitativni atribut preveo u brojnu vrednost koja će opisati kvalitet vazduha na nivou opcije svakom od ponuđenih odgovora je dodeljena ocena na skali od 0 do 1 [133]. Odgovoru “svež” je dodeljena najviša ocena 1, odgovoru “optimalan” srednja ocena 0.5, a odgovoru “zagušljiv” najlošija ocena 0. Srednja ocena kvaliteta vazduha na nivou opcije je izračunata kao:

$$Sc4 = w_s \cdot 1 + w_o \cdot 0.5 + w_z \cdot 0 \quad (56)$$

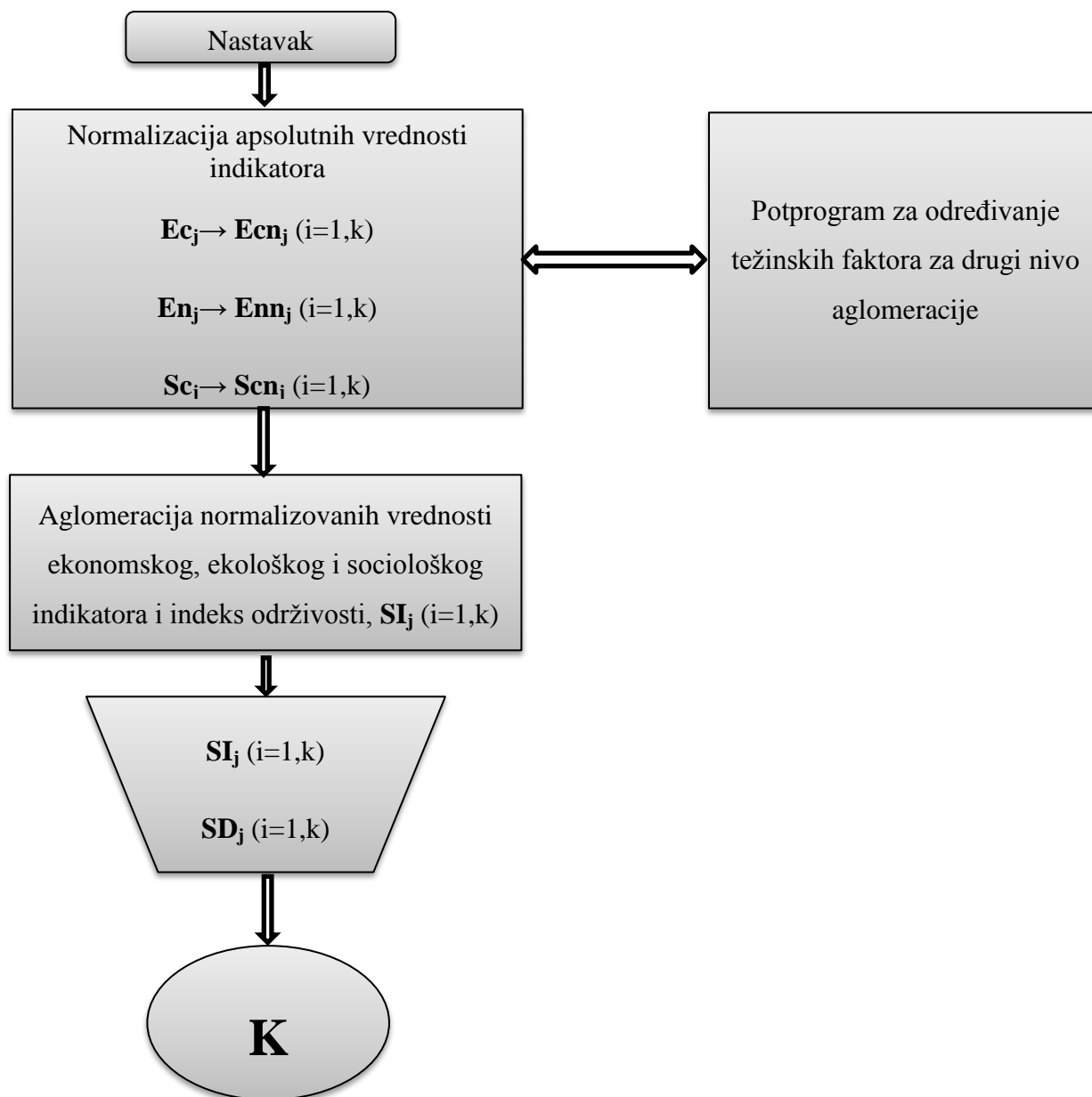
gde su  $w_s$ ,  $w_o$  i  $w_z$  težinski faktori bez dimenzije. Ovi težinski faktori su izračnati za jednu opciju kao odnos broja objekata sa svežim vazduhom u odnosu na ukupan broj objekata koji čine tu opciju ( $w_s$ ), odnos broja objekata sa optimalnim vazduhom u odnosu na ukupan broj objekata te opcije ( $w_o$ ) i odnosa broja objekata sa lošim kvalitetom vazduha u odnosu na ukupan broj ( $w_z$ ). Zbir ova tri težinska faktora je jednak 1.

$$Sc4 = \frac{4}{27} \cdot 1 + \frac{21}{27} \cdot 0.5 + \frac{2}{27} \cdot 0 = 0.5$$

***PRILOG 4: Algoritam***







## **Biografija**

Ime i prezime: Biljana Vučićević

Datum rođenja: 23. 10. 1969.

Mesto rođenja: Beograd, Srbija

Porodično stanje: Udata, dvoje dece

### **Školovanje:**

1976.-1985. Osnovna i prvi razred srednje škole u Lazarevcu

1985.-1988. Matematička gimnazija "Veljko Vlahović" u Beogradu

1988.-1994. Studije na Mašinskom fakultetu u Beogradu, smer Termotehnika

30.6.1994. Odbranjen diplomski rad na Katedri za termomehaniku

1994.-1997. Postdiplomske studije na Mašinskom fakultetu u Beogradu, odsek  
Primenjena termomehanika

2. 12. 2004. Odbranjen magistarski rad na Mašinskom fakultetu u Beogradu sa  
temom "Prilog proučavanju problema određivanja totalne polusferne  
emisivnosti naslaga domaćih lignita koji se sagorevaju u  
termoenergetskim postrojenjima"

10. '99.- 3. '01. Usavršavanje na Kjoto Univerzitetu u Japanu na Katedri za inženjersku  
fiziku i mehaniku kod profesora Tošira Makina kao stipendista  
japanske Vlade

### **Kretanje u poslu:**

1995.-1996. Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija za termotehniku i  
energetiku kao stipendista Ministarstva za nauku i tehnologiju  
Republike Srbije

1996.- Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija za termotehniku i  
energetiku, radni odnos



Прилог 1.

**ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ**

Изјављујем да је докторска дисертација, под насловом

**„Анализа и оцена одрживог развоја енергетског система у зградарству“**

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација, ни у целини, ни у деловима, није била предложена за добијање било које дипломе, према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права, нити злоупотребио/ла интелектуалну својину других лица.

у Нишу, јануар 2014.год.

Аутор дисертације:

**Биљана С. Вучићевић**

Потпис докторанда:

*Биљана Вучићевић*





Прилог 2.

**ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ДОКТОРСКЕ  
ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Име и презиме аутора: **Биљана С. Вучићевић**

Студијски програм:

Наслов рада: „Анализа и оцена одрживог развоја енергетског система у зградарству“

Ментор: **проф. др Младен Стојиљковић, Машински факултет Универзитета у Нишу**

Изјављујем да је штампана верзија моје докторске дисертације истоветна електронској верзији, коју сам предао/ла за уношење у **Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци, који су у вези са добијањем академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада, и то у каталогу Библиотеке, Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Нишу, као и у публикацијама Универзитета у Нишу.

У Нишу, јануар 2014.год.

Аутор дисертације: **Биљана С. Вучићевић**

Потпис докторанда:





Прилог 3.

### ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Никола Тесла“ да, у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, унесе моју докторску дисертацију, под насловом:

„Анализа и оцена одрживог развоја енергетског система у зградарству“

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату, погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију, унету у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons), за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство – некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да подвучете само једну од шест понуђених лиценци; кратак опис лиценци је у наставку текста).

У Нишу, јануар 2014.год.

Аутор дисертације:

Биљана С. Вучићевић

Потпис докторанда: