

Univerzitet u Beogradu

Tehnološko – metalurški fakultet

Predrag D. Škobalj

Multikriterijalna analiza održivosti  
termoenergetskih blokova primenom

ASPID metodologije

Doktorska disertacija

Beograd, 2017.

University of Belgrade  
Faculty of Technology and Metallurgy

Predrag D. Skobalj

Multi – Criteria sustainability  
analysis of thermal power units  
by ASPID methodology

PhD thesis

Belgrade, 2017.

**Mentor:**

**Prof. dr Mirjana Kijevčanin, redovni profesor**

Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

**Članovi komisije:**

**Prof. dr Ivona Radović, vanredni profesor**

Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

**Dr Marina Jovanović, viši naučni saradnik**

Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke "Vinča"

**Dr Valentina Turanjanin, viši naučni saradnik**

Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke "Vinča"

**Prof. dr Neven Duić, redovni profesor**

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje

**Datum odbrane:**

## PREDGOVOR

Doktorska disertacija ne bi imala ovakav kvalitet da nije postojala nesebična pomoć ljudi, kojima dugujem neizmernu zahvalnost.

Najveću zahvalnost dugujem mentoru ovog rada prof. Dr. Mirjani Kijevčanin. Podrška, razumevanje i sugestije koje mi je pružala doprineli su prevazilaženju svih prepreka koje su se javljale tokom izrade disertacije.

Izuzetnu zahvalnost dugujem prof. Dr. Naimu Afganu pored koga sam stekao prve spoznaje o održivom razvoju kao naučnoj oblasti. Njegova pomoć pri izradi ovog rada, od formiranja teze do objavljivanja naučnih radova i pružanja korisnih saveta i sugestija bila je nemevljiva.

Veliku zahvalnost dugujem Dr Marini Jovanović i Dr Valentini Turanjanin koje su stalnom motivacijom autora uz snažnu stručnu podršku dale veliki doprinos u izradi i kvalitetu ove teze.

Zahvalnost dugujem rukovodiocu projekta na kojem sam saradnik Dr. Predragu Stefanoviću na korisnim i dobronamernim savetima tokom izrade ove disertacije kao i na vremenu koje mi je omogućeno sa njegove strane da bi ovaj rad poprimio ovakav oblik.

Takođe bih hteo da se zahvalim Dr. Predragu Radovanoviću koji je zajedno sa prof. Dr. Naimom Afganom učestvovao u formiranju disertacije i uvek pružao razumevanje i podršku.

Neizmernu zahvalnost dugujem svojoj porodici na svemu što su mi pružili u životu. Podrška, ljubav i vera koju su mi nesebično pružali omogućile su da uvek koračam napred.

.

Multikriterijalna analiza održivosti termoenergetskih sistema primenom ASPID metodologije

## **Rezime**

Potrebe za električnom energijom udvostručile su se u periodu od 1990 – 2011. godine i na osnovu predviđanja energetskih stručnjaka one će nastaviti da rastu i u narednim decenijama. Proizvodnja električne energije iz čvrstih goriva u termoenergetskim postrojenjima predstavlja oslonac najvećeg broja zemalja u svetu i pored sve bržeg razvoja sistema za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora.

U ovom radu na primeru bloka 2 TE "Kolubara A" čiji je radni vek na isteku prikazana je mogućnost određivanja održivosti termoenergetskih sistema sa više aspekata (resursi, ekonomski, ekološki, socijalni). Za analizirani objekat formirano je sedam opcija (revitalizacija bloka na ugalj, kosagorevanje uglja i čvrstog obnovljivog goriva, kosagorevanje uglja i biomase, kosagorevanja uglja i otpadnih materija u kondenzacionom režimu, revitalizacija bloka kombinovanog gasno-parnog postrojenja u kondenzacionom režimu, proizvodnja električne energije snage 32 MW iz vetrogeneratora i proizvodnja električne energije iz sunčeve energije (fotonaponske ćelije)) održivosti i unutar svake od njih četiri indikatora (indikator resursa, ekonomski, ekološki i socijalni) i njihovi podindikatora. Indikator resursa i ekonomski indikator sadrže dva podindikatora, a ekološki i socijalni četiri i šest. Za sve navedene indikatore izračunate su vrednosti za analizirane opcije tako da se predstavi potrošnja goriva za projektovani rad postrojenja, količina proizvedene električne energije, proizvodna cena električne energije, troškovi investicija i emisija gasova staklene baste.

Unutar primene multikriterijalne analize koristila se ASPID metodologija. Matematički postupak se sastojao iz aglomeracije normalizovanih vrednosti podindikatora u indikator resursa, ekonomski, ekološki i socijalni indikator (prvi nivo) i aglomeracije ovih indikatora u indeks održivosti (drugi nivo).

Multikriterijalnom analizom primenom ASPID metodologije na primeru ovog termoenergetskog bloka izračunate su vrednosti indeksa održivosti i data je mogućnost da se strateške poslovne odluke donose na osnovu objektivnih parametara.

**Ključne reči:** termo-energetski sistem, održivi razvoj, multikriterijalna analiza, energetski indikatori, indeks održivosti, ASPID metodologija

**Naučna oblast:** Tehnološko inženjerstvo

**Uža naučna oblast:** Hemijsko inženjerstvo

**UDK:** 536.7:551.511.33

Multi-criteria sustainability analysis of thermo-energetic systems by using ASPID methodology.

## **SUMMARY**

The need for electric energy doubled in period 1990-2011 and based on experts' prediction it is going to rise in upcoming decades. Production of electric energy from solid fuels is the strongest source in the most countries despite ever more faster development of systems for production of electric energy from renewable sources.

The possibility of determining the sustainability of thermo-energetic systems from a multiple aspects (resources, economic, environmental, social) is shown in this work in the example of block 2 TE „Kolubara A“ which approaches the end of its useful life. For analysed object seven options of sustainability were created and within each of them four indicators (resources indicator, economic, environmental and social) as well as their sub-indicators were created. Resources indicator and economic indicator contain two sub indicators and environmental and social contain four and six respectively. For all mentioned indicators the values for analysed options were calculated in order to show fuel consumption for projected work of facility, the quantity of produced electric energy, cost price of electric energy and green house gas emission.

Within the application of multicriteria analysis ASPID methodology was used. Mathematical proceeding consisted of agglomeration of normalized values of subindicators into resources indicator, economic, environmental and social indicator (first level) and agglomeration of these indicators into sustainability index (second level).

In the example of thermoenergetic block by using multi-criteria analysis and ASPID methodology values of sustainability index were calculated and possibility of making strategic business decisions on the base of objective parameters was created.

**Key words:** thermo-energetic system, sustainable development, multi-criteria analysis, energy indicators, sustainability index, ASPID methodology

**Scientific field:** Technological engineering

**Narrow scientific field:** Chemical engineering

**UDC:** 536.7:551.511.33



## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b>	<b>1</b>
<b>2. ENERGETSKI SISTEM I ODRŽIVI RAZVOJ</b>	<b>5</b>
2.1. Energetski sistemi	5
2.1.1 Potrebe za električnom energijom u svetu	7
2.1.2 Proizvodnja električne energije u svetu	9
2.1.3 Proizvodnja električne energije u zemljama OECD	10
2.1.4 Proizvodnja električne energije u zemljama koje nisu članice OECD	11
2.1.5 Kapaciteti za proizvodnju električne energije u zemljama OECD	12
2.1.6 Potrošnja električne energije u svetu	13
2.1.7 Sadašnji status i potencijal obnovljivih izvora energije u svetu	13
2.1.8 Kapaciteti za proizvodnju električne energije u Srbiji	14
2.2 Održivi razvoj	16
2.2.1 Koncept održivog razvoja	16
2.2.2 Definicija održivosti	17
2.3 Jaka naspram slabe održivosti	18
2.3.1 Koncept slabe održivosti	18
2.3.2 Koncept jake održivosti	20
2.4 Indikatori održivosti	22
2.4.1. Energetski indikatori održivog razvoja	22

2.5 Indikatori održivosti bloka 2 TE "Kolubara A"	23
2.5.1. Indikator resursa	24
2.5.2 Ekonomski indikator	24
2.5.3 Ekološki indikator	25
2.5.4 Socijalni indikatori	26
<b>3. OPCIJE ZA ANALIZU ODRŽIVOSTI TERMOENERGETSKIH BLOKOVA</b>	<b>28</b>
3.1 Revitalizacija bloka 2 TE "Kolubara A" na ugalj (kolubarski lignit) u kondenzacionom režimu	29
3.2 Revitalizacija bloka 2 TE "Kolubara A" na bazi kosagorevanja uglja (kolubarski lignit) i SRF u kondenzacionom režimu – Opcija 2	33
3.2.1 Karakteristike SRF kao goriva koje se dobija iz otpadnih materija, proizvodnja i korišćenje	36
3.2.2 Prednosti kosagorevanja SRF uz ugalj	37
3.3 Revitalizacija bloka 2 TE "Kolubara A" na bazi kosagorevanja uglja (kolubarski lignit) i biomase u kondenzacionom režimu	45
3.3.1 Biomasa kao gorivo	46
3.3.2 Poređenje domaće biomase i kolubarskog lignita	49
3.3.3 Organizacija (tipovi) kosagorevanja	51

3.3.4 Proces kosagorevanja uglja (kolubarskog lignita) i biomase u revitalizovanom postrojenju	53
3.4 Revitalizacija bloka 2 TE "Kolubara A" na bazi kosagorevanja uglja (kolubarski lignit) i otpadnih materija u kondenzacionom režimu	57
3.4.1 Otpadni materijali iz procesa sušenja uglja	58
3.4.2 Proces kosagorevanja uglja (kolubarskog lignita) i otpadnih materija u revitalizovanom postrojenju	62
3.5 Revitalizacija bloka 2 TE "Kolubara A" na gas u kondenzacionom režimu (kombinovano gasno – parno postrojenje)	66
3.6 Proizvodnja električne energije snage 32 MW iz vetrogeneratora	71
3.6.1 Potencijali vetra	71
3.6.2 Energija vetra (fizičko značenje)	71
3.6.3 Instalirani kapaciteti vetrogeneratora na području Evrope	73
3.7 Proizvodnja električne energije iz sunčeve energije (fotovoltaik)	79
3.7.1 Solarni potencijali	79
3.7.2 Tehnologija i istorijat fotovoltaike	80
<b>4. MULTIKRITERIJALNA ANALIZA</b>	
<b>TERMOENERGETSKIH BLOKOVA</b>	82
4.1 Donošenje odluka na temelju višestrukih kriterija	82
4.2 Metode koje se primenjuju za multikriterijalnu analizu	85
4.2.1 Hijerarhijsko analitički metod (AHP - Analytic Hierarchy Process)	86

4.2.2 Metod ELECTRE – eliminacija i prevođenje izbora realnosti	89
4.2.3 Metod rangiranja preferencije organizacija za procenu obogaćivanja (PROMETHEE)	90
4.2.4 Metoda MAUT (teorija iskorištenosti multiatributa)	91
4.3 ASPID metod višekriterijalne analize za procenu održivosti izabranih opcija	91
4.3.1 Matematička procedura ASPID metode	93
4.3.2 Procedura procene opcija	93
<b>5. REZULTATI I ANALIZA REZULTATA ODRŽIVOSTI</b>	
<b>ENERGETSKOG SISTEMA</b>	<b>105</b>
5.1 Analiza održivosti Opcija za karakteristične slučajeve koji pripadaju Grupi I	111
5.2 Analiza održivosti Opcija za karakteristične slučajeve koji pripadaju Grupi II	113
5.3 Analiza održivosti Opcija za karakteristične slučajeve koji pripadaju Grupi III	116
5.4 Analiza održivosti Opcija za karakteristične slučajeve koji pripadaju Grupi IV	119
5.5 Odnos indikatora i podindikatora za karakteristične slučajeve V, VI, VII i VIII grupe	125
5.6 Analiza održivosti Opcija za karakteristične slučajeve koji pripadaju Grupi V	126
5.7 Analiza održivosti Opcija za karakteristične slučajeve koji pripadaju Grupi VI	130
5.8 Analiza održivosti Opcija za karakteristične slučajeve koji pripadaju Grupi VII	134
5.9 Analiza održivosti Opcija za karakteristične slučajeve koji pripadaju Grupi VIII	139
5.10 Analiza održivosti Opcija za karakteristične slučajeve grupa IX - XVI	141
<b>6. ZAKLJUČAK</b>	<b>143</b>

<b>LITERATURA</b>	<b>150</b>
<b>PRILOG 1: Proračun indikatora za analizu</b> održivosti bloka 2 TE "Kolubara - A"	158
<b>PRILOG 2: Rezultati indeksa održivosti slučajeva IX – XVI</b>	215
<b>PRILOG 3: Vrednosti težinskih koeficijenata i standardne devijacije</b> analiziranih slučajeva	226

## SPISAK OZNAKA

$A [m^2]$  – površina koju obuhvata rotor

$A_{FP} [m^2]$  – površina fotonaponskog panela

$C_{biomase} \left[ \frac{€}{t} \right]$  – cena biomase

$C_{fix} [\%]$  – udeo fiksnog ugljenika u elementarnom sastavu goriva

$C_{gasa\ spec} \left[ \frac{€}{m^3} \right]$  - cena prirodnog gasa

CI - Indeks konzistencije

$C_{ik}$  - Indeks ukupne usaglašenosti

$C_{izdvajanja} [€]$  - izdvajanje za lokalnu zajednicu

$C_{inv} [€]$  - investirana sredstva u revitalizaciju termoenergetskog postrojenja

$C_{plata} [€]$  - prosečna plata zaposlenih

$C_p$  – koeficijent koji predstavlja stepen konverzije energije vetra (Beetz limit)

$C_{SRF} \left[ \frac{€}{t} \right]$  - cena SRF-a po toni

$C_{ugljaspac} \left[ \frac{€}{GJ} \right]$  – cena uglja

$CH_4 [\%]$  - metan

$CO [\%]$  - ugljen-monoksid

$CO_2 [\%]$  - ugljen-dioksid

$E_k [J]$  – kinetička energija

$E_{bruto\ proizvedeno} [GWh]$  - ukupna proizvedena električna energija u projektovanom radnom veku termoenergetskog postrojenja

$E_{\text{neto proizvedeno}}$  [GWh] – električna energija koja izađe na mrežu (koja "ide prema potrošačima")

$E_{\text{uč}}$  [MJ] - energija potrebna za proizvodnju ugljeničnog čelika

$E_{\text{učspec}}$   $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}\right]$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg ugljeničnog čelika

$E_{\text{lč}}$  [MJ] - energija potrebna za proizvodnju legiranog čelika

$E_{\text{lčspec}}$   $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}\right]$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg legiranog čelika

$E_{\text{Cu+Al}}$  [MJ] - energija potrebna za proizvodnju bakra i aluminijuma

$E_{\text{Cu+Alspec}}$   $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}\right]$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg bakra i aluminijuma

$E_{\text{iz}}$  [MJ] - energija potrebna za proizvodnju izolacije

$E_{\text{izspec}}$   $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}\right]$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg izolacije

$EF_C$   $\left[\frac{\text{tC}}{\text{TJ}}\right]$  - emisioni faktor ugljenika

$E_{\text{NO}_x}$  [gNO<sub>x</sub>] – emisija azotnih oksida

$E_{\text{praškastih materija}}$   $\left[\frac{\text{mg}}{\text{Nm}^3}\right]$  - emisija praškastih materija

$H$  [kWh/m<sup>2</sup>god] – prosečna vrednost zračenja za teritoriju Republike Srbije

$H_{\text{dgas}}$   $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]$  - donja toplotna moć prirodnog gasa

$H_{\text{dbiomase}}$   $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]$  - donja toplotna moć biomase

$H_{\text{dSRF}}$   $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]$  - donja toplotna moć SRF-a

$H_{\text{dv}}$  [kJ/kg] - Donja toplotna vrednost

$I_{RE}$  - Indikator resursa

$I_{EK}$  - Ekonomski indikator

$I_{EL}$  - Ekološki indikator

$I_{SC}$  - Socijalni indikator

$I_{ug}$  [t] - Podindikator proizvodnje uglja

$I_{gas}$  [t] - Podindikator potrebne količine gasa

$I_{pr.e.e.}$  [kWh] - Podindikator proizvodnje električne energije

$I_{cee}$  [€/kWh] - Podindikator proizvodne cene električne energije

$I_{inv.}$  [€/kWh] - Podindikator investicija

$I_{CO_2}$   $\left[ \frac{kgCO_2}{kWh} \right]$  - Podindikator emisije CO<sub>2</sub>

$I_{SO_2}$   $\left[ \frac{gSO_2}{kWh} \right]$  - Podindikator emisije SO<sub>2</sub>

$I_{NO_x}$   $\left[ \frac{gNO_x}{kWh} \right]$  - Podindikator emisije NO<sub>x</sub>

$I_{praš.mat.}$   $\left[ \frac{g}{kWh} \right]$  - Podindikator emisije praškastih materija

$I_{plata}$  [€/kWh] - Podindikator plata

$I_{zap.}$  [-] - Podindikator zaposlenih

$I_{lok.zj.}$  [€/kWh] - Podindikator lokalne zajednice

$I_{pov.radu}$  [-] - Podindikator povreda na radu

$I_{bol.}$  [h/god.] - Podindikator bolovanja

$I_{pz.snab.}$  [-] - Podindikator pouzdanosti snabdevanja

$KF$   $\left[ \frac{TJ}{Unit} \right]$  - konverzioni faktor

$K_{sp}$  – sopstvena potrošnja bloka (iznosi oko 11,5% ukupno proizvedene električne energije)

$K_{sp}$  – sopstvena potrošnja bloka (iznosi oko 11,5% ukupno proizvedene električne energije)



$m_{u\check{c}}$  [kg] - masa ugljeničnog čelika potrebnog za revitalizaciju bloka

$m_{l\check{c}}$  [kg] - masa legiranog čelika potrebnog za revitalizaciju bloka

$m_{Cu+Al}$  [kg] - masa bakra i aluminijuma potrebnog za revitalizaciju bloka

$m_{iz}$  [kg] - masa izolacije potrebne za revitalizaciju bloka

$m_{uglja\ pr.}$  [t] - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) da bi se proizvela projektovana

količina električne energije

$m_{SRF}$  [t] - potrebna količina SRF da bi se proizvelo 5%

količina električne energije

$m_{biomase}$  [t] - potrebna količina biomase da bi se proizvelo 5%

$m$  – broj polaznih atributa (indikatora) odnosno specifičnih kriterija

količina električne energije

$NO_x$  [%] – azotni oksidi

$n$  [-] – broj delova na koji je podeljen segment [0,1]

$N$  - broj svih mogućih izbora težinskih koeficijenata iz skupa

$n_{meseci}$  – broj isplaćenih plata, shodno radnom veku termoenergetskog postrojenja

$n_{panela}$  – broj panela

$n_{zaposlenih}$  - broj zaposlenih

$O_2$  [%] - kiseonik

$P$  [W] - snaga

$P(i,l;I)$  [-] – mera pouzdanosti (verovatnoća)

$PO_C$  - procenat oksidovanog ugljenika

$PR$  – stepen korisnosti postrojenja

$P$  [W] - snaga

$P(i,l;I)$  [-] – mera pouzdanosti (verovatnoća)

$PO_c$  - procenat oksidovanog ugljenika

$q_{spec}$   $\left[ \frac{kJ}{kWh} \right]$  - specifični utrošak toplote bloka

$u$  [m/s] – brzina vazduha

$Q_+(q;w)$  [-] – aditivna sintezna funkcija

$q_{ij}$  [-] – normalizovane vrednosti podindikatora

$u$  [m/s] – brzina vazduha

$S_d$  – standardna devijacija vrednosti indeksa održivosti I težinskih koeficijenata

$SO_2$  [%] - sumpor-dioksid

$t_{rv}$  [h] – projektovani radni vek termoenergetskog postrojenja

$t_{god}$  [h] – ukupan broj časova rada termoenergetskog postrojenja godišnje

$V_{dgsuvo}$  –  $\left[ \frac{Nm^3 \text{ suvog gasa}}{kg \text{ uglja}} \right]$  – količina suvog dimnog gasa pri  $O_2 = 6$  [%]

$V_{dgvit}$  –  $\left[ \frac{Nm^3 \text{ gasa}}{kg \text{ uglja}} \right]$  - količina vlažnog dimnog gasa pri  $O_2 = 6$  [%]

$V$  [m<sup>3</sup>] – protok vazduha

$w$  [-] – težinski koeficijent (relativna težina specifičnog kriterijuma)

$W(I,m,n)$  [-] – skup svih prihvatljivih težinskih koeficijenata

$W(m,n)$  [-] - skup svih mogućih težinskih koeficijenata

### Grčki simboli

$\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] – gustina vazduha

$\theta$  – stepen normalizacije

$\lambda_{max}$  - maksimalna Eigen vrednost matrice

$\pi(a,b)$  - Indeks višestruke preferencije

## SKRAĆENICE

AHP – Analitički hijerarhijski proces (Analytic Hierarchy Process)

ASPID – Analiza i sinteza parametara usled nedostatka informacija (Analysis and Synthesis of Parameters under Information Deficiency)

CVP – cilindar visokog pritiska

CSP – cilindar srednjeg pritiska

CNP – cilindar niskog pritiska

DSS – Sistem za podršku odlukama (Decision Support Systems)

EIOR – Energetski indikatori održivog razvoja

ELECTRE – Metod eliminacije i izbor u prihvatanju realnosti (Elimination and Choice Expressing Reality)

EU - Evropska Unija

EWEA - The European Wind Energy Association

FN - Fotonaponska tehnologija (sistemi)

IEA – Međunarodna agencija za energiju (International Energy Agency)

IO – Indeks održivosti

JP EPS - Javno preduzeće "Elektroprivreda Srbije"

KiM – Kosovo i Metohija

MADM – Višeatributno odlučivanje (Multi-attribute Decision Making Method)

MAUT - Metoda teorije iskorištenosti multiatributa (Multi-Attribute Utility Theory)

MCDM – Višekriterijumske metode za donošenje odluka (Multicriteria Decision Making)

NNN – nenumerička, neegzaktna, nekompletna (non – numeric, non – exact, non – complete)

OECD – Organizacija za ekonomsku saradnju i razvoj (Organisation for Economic Cooperation and Development)

OIE – Obnovljivi izvori energije

PROMETHEE – Metod određivanja ranga alternativa (Preference Ranking Organization Method of Enrichment Evaluation)

RB Kolubara - Rudarski basen Kolubara

SODM – (Single Objective Decision Making)

SRF (Solid Recovery Fuel)- čvrsto obnovljivo gorivo

SD – Standardna devijacija

TENT - "Termoelektrane Nikola Tesla"

## 1. UVOD

Energetika je višestruko povezana sa ukupnim privrednim razvojem i uslovima i kvalitetom života stanovništva, pa otud, i neophodnost stvaranja uslova za njen održivi razvoj. Jedan od najvažnijih elemenata ekonomskog i društvenog razvoja predstavlja obezbeđivanje električne energije potrošačima. Porast stanovništva na zemlji i tehnološki razvoj povećavaju potrebe za električnom energijom. Sve do prve energetske "krize" koja se javila 70 – tih godina prošlog veka nije se razmišljalo o korišćenju fosilnih goriva i njihovoj eksploataciji. Ova energetska kriza sedamdesetih godina prošlog veka je rezultirala naglim skokom cena energenata što je bio signal za ekonomije razvijenih zemalja da odlučno krenu sa organizovanim i planski vođenim akcijama za smanjenje specifičnih utrošaka energije u svim sektorima. Te aktivnosti ne prestaju ni danas. Razlika je samo u prilagođavanju novonastaloj situaciji i poboljšanju oblika organizovanja i delovanja.

Neodvojiv deo u strategiji održivog razvoja predstavlja i zaštita životne sredine. Strahovi vezani za povećanje gasova "staklene bašte" i globalno zagrevanje planete danas su vrlo intenzivni, tako da se ekološki uticaji energetike veoma intenzivno proučavaju sa analizom uzorka, pojava, posledica i troškova. Zaključci i konvencije svetskih konferencija o klimi u Rio de Žaneiru (1992), Kjotou (1997), Buenos Airesu (1998), Hagu (2000) i Johaneshurgu (2002) utvrdili su jedinstvena pravila zaštite okoline za ceo svet, pa će ta regulativa imati znatan uticaj na obim i strukturu potrošnje energije. Bez obzira na teškoće da te konvencije prihvate i najrazvijenije zemlje, posebno SAD kao najveći zagađivač okoline, zbog svojih ekonomskih i političkih interesa, jasno je da će se ekologiji ubuduće poklanjati izuzetna pažnja u cilju održivog života na našoj planeti. Pošto se samo nuklearna energija, hidroenergija i obnovljivi izvori mogu smatrati, sa aspekta efekta "staklene bašte" i globalnih klimatskih promena, "prijateljskim" energetskim izvorima, normalno je da se insistira na njihovom većem korišćenju, ali to nije moguće ostvariti u kratkom periodu. Zbog toga će nafta, prirodni gas i "čiste tehnologije" uglja i dalje biti osnovni izvori energije u bliskoj budućnosti.

Termoelektrane na teritoriji Republike Srbije izgrađene sredinom prošlog veka imajući u vidu nivo tadašnjih tehnologija, njihovu jediničnu snagu, relativno loš kvalitet domaćeg lignita kao osnovnog primarnog energenta, imaju projektovani stepen efikasnosti oko 30 % (u svetu se danas u modernim termoelektranama dostiže efikasnost i do 45 % za konvencionalna postrojenja zasnovana na parnom ciklusu, kao što su i naša). Ovaj stepen efikasnosti gorepomenutih termoenergetskih blokova izuzetno je nizak i kao posledica se javlja veća potrošnja inače vrlo ograničenih rezervi uglja.

U Srbiji (bez Kosova i Metohije) može se računati na potvrđene rezerve od oko tri milijarde tona lignita (Kolubara i Kostolac–Kovin), a samo za potrebe postojećih termoelektrana se eksploataše i do 40 miliona tona godišnje. Ako se ovome doda i buduća potrošnja planiranih zamenskih i novih termoelektrana na ugalj, jasno je da ćemo naše rezerve potpuno istrošiti za narednih šezdesetak godina. Bilansne rezerve kamenog, mrkog i mrkolignitnog uglja iznose oko 400 miliona tona. Godišnja eksploatacija ovih ugljeva je sa 1,4 miliona tona godišnje, pala na svega 600 hiljada tona godišnje.

Termoenergetski blokovi su važan deo energetskih sistema, a posebno u zemljama koje kao resurs koriste fosilna goriva. U Republici Srbiji osnovni resurs koji se koristi za dobijanje električne energije predstavlja ugalj (lignit), a iz termoenergetskih blokova se procentualno proizvede najveća količina električne energije, tako da održivost ovih blokova predstavlja izuzetno važno pitanje za društvo.

U ovoj tezi analiziran je, sa aspekta održivosti, rad bloka 2 TE "Kolubara - A" snage 32 MW, izgrađen 1956. godine. Usled starosti postrojenja poslovodstvo Elektroprivrede Srbije (EPS) planira da ugasi ovaj blok. Da bi se procenila održivost određenog energetskog sistema (u ovom slučaju termoenergetskog bloka) sa aspekta potrošnje resursa, ekonomskog, ekološkog i socijalnog aspekta, potrebno je formirati opcije koje predstavljaju skupove razmatranih objekata. Formirano je sedam različitih opcija. Prvih pet opcija podrazumeva revitalizaciju sadašnjeg postrojenja, a dve podizanje novog postrojenja iste snage. Unutar svake opcije formirani su energetski indikatori održivog razvoja (EIOR) koji izražavaju aspekte ili posledice proizvodnje ili potrošnje energije i predstavljaju osnovni

alat pri uspostavljanju veze između energetske ciljeve i održivog razvoja za one koji učestvuju u formiranju politike održivog razvoja. Za analizirani sistem formirani su indikator resursa, ekonomski, ekološki i socijalni indikator, kao i njihovi podindikator.

Donošenje odluka unutar poslovnog sistema i kreiranje energetske politike predstavlja kompleksan zadatak.

U ovoj tezi formiran je model na osnovu multikriterijalne analize primenom ASPID (Analiza i sinteza indeksa pri nedostatku informacija) metodologije koji omogućava bolje sagledavanje problema unutar energetske sistema i donošenje odluka koje su u skladu sa održivosti. To u idealnom slučaju podrazumeva energetske sistema sa visokom efikasnošću, niskim troškovima proizvodnje i održavanja, smanjenjem emisije gasova staklene bašte, kao i zadovoljavajućim socijalnim efektima.

Primenom ASPID metode višekriterijalne analize dobijaju se rangirane opcije (alternative) koje se razmatraju sa aspekata održivosti. Kod ovog procesa prioritete definiše donosilac odluka u cilju svojih interesa i potreba preko težinskih koeficijenata koji predstavljaju udeo u krajnjem rezultatu. Primenom ove metode i matematičkog alata obezbeđuje se:

- objektivna procena težinskih koeficijenata, koji se određuju uvođenjem nenumeričke informacije i
- procena održivosti složenog energetske sistema na osnovu nenumeričkih informacija, koje su date u obliku međusobnog odnosa različitih kriterijuma

Na osnovu odnosa indikatora i njihovih podindikatora, kao krajnji rezultat primenom ASPID metodologije uspostavlja se indeks održivosti (IO). Indeks održivosti pokazuje meru kvaliteta posmatrane opcije u smislu održivog razvoja.

Oblast istraživanja održivosti termoenergetskih blokova predstavlja kompleksnu oblast za istraživanje koja iziskuje multidisciplinarni pristup za rešavanje. Osnovni cilj ovog doktorskog rada je da kroz ovakav pristup otvori jednu relativno novu, usku naučnu oblast i da podstakne istraživanja unutar predmetne oblasti koja će predstavljati izazov u budućnosti.



## 2. ENERGETSKI SISTEMI I ODRŽIVI RAZVOJ

### 2.1 Energetski sistemi

Energetski sistem čine sektori snabdevanja različitim vrstama energije kao i proizvodne tehnologije. Sektori energetskog snabdevanja obuhvataju različite procese eksploatacije energetskih resursa (kao što su ugalj i nafta), transformaciju resursa u željene i odgovarajuće oblike energije (električna energija, toplotna energija itd.), kao i isporuku energije do mesta gde postoje potrebe za njom [1]. Energetski sektori ili servisi predstavljaju krajnji rezultat kombinacije tehnologija, infrastrukture, radne snage, materijala i različitih nosioca energije [2].

Ukupna efikasnost energetskog sistema je rezultat efikasnosti celog lanca energetskog snabdevanja, konverzije, distribucije, i krajnjih energetskih procesa. U analizama, najslabiju vezu u energetskom lancu predstavlja definisanje energetskih sektora i njihovo kvantifikovanje zbog nedostatka podataka o krajnjim korisničkim uređajima i postrojenjima. Prema podacima za 1997. godinu ukupna efikasnost konverzije primarne energije u finalnu energiju uključujući i električnu energiju, je bila 70% [3]. Efikasnost konverzije finalne energije u energetski oblik pogodan za direktno korišćenje je procenjen na 40% (srednja vrednost) [3]. Rezultat srednje vrednosti ukupne efikasnosti konverzije primarne energije u energetski oblik pogodan za direktno korišćenje je izveden iz prethodne dve efikasnosti i iznosi 28%. Usled nedostataka statističkih podataka za mnoge energetske servise uvode se približni proračuni za efikasnost tako da se u literaturi podaci za ukupnu efikasnost kreću u intervalu od 15 – 30% [3].

Kod vrlo jednostavnih analiza kada se posmatra samo konverzija energije resursa u finalnu energiju, interakcija energetskog sistema i okoline definisana je stepenom efikasnosti. Stepem efikasnosti zavisi, pre svega, od vrste upotrebljenog energetskog oblika, a potom od konstrukcije postrojenja za realizaciju transformacije i nivoa njegovog održavanja [4]. Transformacijom finalne energije dobija se energetski oblik pogodan za direktno korišćenje kod krajnjeg potrošača (zagrevanje prostorija, osvetljavanje, pokretanje mašina i sl.).

Ako se u razmatranja uzmu i problemi zagađenja životne sredine povećava se kompleksnost takvog energetskeg sistema. Teorija *Onsager-a* predstavlja dobar primer mogućih odnosa i različitih kretanja između energetskeg sistema i životne sredine. Ova teorija pokazuje težnju ka definisanju nelinearnih relacija mogućih odnosa i različitih kretanja u odnosu na promene u strukturi sistema. Pošto svaki energetski sistem ima i socijalnu funkciju veza između energetskeg sistema i okoline, definiše se uzajamnom vezom takvog sistema, društva i životne sredine [5].

U ovom radu pretpostaviće se da je energetski sistem kompleksan sistem koji se menja tokom vremena kao rezultat unutrašnjih i spoljnih interakcija (korišćenje resursa, razmena produkata koji nastaju usled konverzije energije, korišćenje energije koja nastaje pri procesima konverzije, socijalni aspekt). Zbog kompleksne interakcije između elemenata energetskeg sistema koji su sastavni delovi sistema i njegove okoline koriste se energetski indikatori. Energetski indikatori predstavljaju meru različitih međusobnih odnosa energetskeg sistema i okoline, odnosno meru resursa, kapaciteta životne sredine, kvaliteta života i ekonomskog profita određenog energetskeg sistema [6,7]. Energetski sistem predstavlja kompleksan sistem sa odgovarajućom strukturom i može biti definisan različitim granicama u zavisnosti od problema. Ukoliko je jedina funkcija energetskeg sistema konvertovanje resursa u krajnju energetsku formu, onda je sistem definisan samo termodinamičkom efikasnošću. Energetski sistem možemo posmatrati kroz interakciju sa okolinom. U tom smislu dobar primer predstavlja zagađenje koje predstavlja posledicu konvertovanja resursa u traženu energetsku formu [8]. S obzirom na to da svaki energetski sistem ima društvenu funkciju u našem životu, njegova veza može biti uspostavljena između energetskeg sistema i njegovog okruženja, uzimajući u obzir socijalne interakcije između sistema i okruženja [9]. Energetski sistem je složen sistem koji sa svojim okruženjem interaguje korišćenjem resursa, pretvaranjem resursa u finalni oblik energije itd. Predmet istraživanja ovog rada su termoenergetski blokovi, pres vega imajući u vidu da najveći deo ukupno proizvedene električne energije u svetu dolazi iz ovih postrojenja.

### 2.1.1 Potrebe za električnom energijom u svetu

Potražnja za električnom energijom skoro se udvostručila u periodu od 1990. – 2011. godine, rastući na godišnjem nivou za 3,1%. Predviđanja su da će u periodu 2011. – 2035. godine potrebe za električnom energijom rasti više nego bilo koji drugi oblik energije [10]. Svetska energetska agencija (eng. IEA – International Energy Agency) dala je predviđanje za potrebama električne energije u narednim decenijama (Tabela 1) Potrebe za električnom energijom su direktno povezane sa budućim ekonomskim rastom.

Stopa rasta električne energije na osnovu predviđanja prvenstveno zavisi od prirode i obima državnih intervencija, posebno politike koja se odnosi na energetska efikasnost, zaštitu životne sredine i energetska sigurnost. Ove odluke direktno utiču na potrebu za električnom energijom. Potrebe za električnom energijom u svetu povećaće se za više od dve trećine u periodu od 2011. – 2035. godine, sa godišnjim rastom od 2,2% (Tabela 1) [10].

Tabela 1 Potrebe i predviđanja potrošnje električne energije (TWh) [10]

Zemlje	1990.	2011.	2035.	2011. – 2035.
OECD	6.591	9.552	11.745	0,9
SAD	2.713	3.883	4.753	0,8
Evropa	2.320	3.160	3.740	0,7
Azija – Okeanija	1.016	1.698	2.093	0,9
Japan	758	954	1.119	0,7
Zemlje koje nisu članice OECD	3.493	9.453	20.405	3,3
Istočna Evropa – Evroazija	1.584	1.367	2.004	1,6
Rusija	909	838	1.256	1,7
Azija	1.049	5.888	13.913	3,6
Kina	558	4.094	8.855	3,3
Indija	212	774	2.523	5,0
Srednji Istok	190	702	1.484	3,2
Afrika	262	584	1.296	3,4
Latinska Amerika	407	912	1.708	2,6
Brazil	214	471	939	2,9
Svet	10.085	19.004	32.150	2,2
Evropska Unija	2.241	2.852	3.246	0,5

Prema predviđanju za period 2011. – 2035. godine, industrija zadržava poziciju kao najveći potrošač električne energije i čini 41% od ukupnih potreba za električnom energijom u 2035. godini (Tabela 2) [11]. Potrebe industrije rastu 2,2% na godišnjem nivou. Potražnja za električnom energijom raste 2,5% na godišnjem nivou u rezidencijalnom sektoru, što predstavlja odraz veće upotrebe električnih uređaja, većih potreba za hlađenjem, kao i pristup većeg dela stanovništva električnoj energiji. Udeo svetske populacije koja nema električnu energiju pada sa 18% (1,2 milijarde) u 2011. godini, na 12% (970 miliona) u 2030. godini [12]. Potrebe u sektoru usluga rastu sporije i imaju rast od 1,9% na godišnjem nivou, za razliku od sektora transporta gde se očekuje porast potražnje u godišnjem iznosu od 3,9% (Tabela 2) [13]. Ovakav rast u sektoru transporta očekuje se kao posledica sve većeg ulaska na tržište vozila na električni pogon.

U Tabeli 3 prikazano je iz kojih izvora energije se dobija električna energija širom sveta, kao i predviđanja za period 2011. – 2035. godina.

Tabela 2 Potrebe i predviđanja potrošnje električne energije po sektorima (TWh) [13]

	1990.	2011.	2020.	2025.	2030.	2035.	2011. – 2035.
Potrebe	10.085	19.004	24.249	26.974	29.520	32.150	2,2
Industrija	4.419	7.802	10.288	11.385	12.268	13.187	2,2
Domaćinstva	2.583	5.195	6.507	7.362	8.325	9.336	2,5
Usluge	2.086	4.560	5.636	6.214	6.698	7.137	1,9
Transport	245	292	408	486	590	734	3,9
Drugi sektori	748	1.151	1.419	1.535	1.648	1.763	1,8
Gubici u mreži	1.003	1.816	2.308	2.589	2.862	3.138	2,3
Sopstvena potrošnja	733	1.298	1.434	1.550	1.668	1.791	1,4
Ukupna potrošnja	11.818	22.113	27.999	31.121	34.058	37.087	2,2

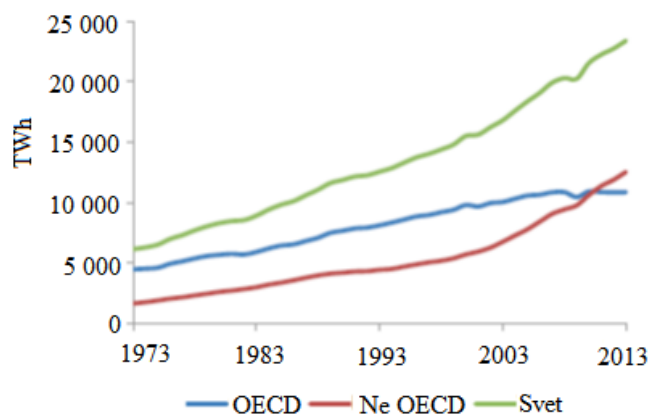
Tabela 3 Proizvedena električna energija (TWh) u zavisnosti od izvora energije [10]

	1990.	2011.	2020.	2035.
OECD	7.629	10.796	11.827	13.104
Ugalj	3.093	3.618	3.529	2.775
Prirodni gas	770	2.630	2.855	3.398
Nafta	697	345	149	84
Nuklearna	1.729	2.087	2.300	2.412
Hidro	1.182	1.388	1.490	1.616
Drugi obnovljivi	157	728	1.504	2.820
Zemlje koje nisu članice OECD	4.189	11.317	16.172	23.983
Ugalj	1.333	5.522	7.089	9.537
Prirodni gas	960	2.217	3.128	4.915
Nafta	635	717	652	472
Nuklearna	283	497	1.100	1.881
Hidro	963	2.102	3.065	4.212
Drugi obnovljivi	15	263	1.138	2.965
Svet	4.426	9.140	10.618	12.312
Prirodni gas	1.730	4.847	5.983	8.313
Nafta	1.332	1.062	801	556
Nuklearna	2.013	2.584	3.400	4.294
Hidro	2.144	3.490	4.555	5.827
Drugi obnovljivi	173	992	2.642	5.785

### 2.1.2 Proizvodnja električne energije u svetu

Proizvodnja električne energije u OECD zemljama u 2014. godini pala je za 0,8% u odnosu na 2013. godinu. Ovo je uglavnom uslovljeno padom proizvodnje električne energije iz fosilnih goriva. Sa druge strane proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora je porasla i to: iz vetra za 8,1%, a primenom fotonaponskih ćelija 26,9 % [13]. Od 1973. – 2013. godine, proizvodnja električne energije u svetu porasla je sa 6.144 TWh na 23.391 TWh sa prosečnim godišnjim porastom od 3,4% (Slika 1) [10]. Porast proizvodnje električne energije u zemljama koje nisu članice OECD je veoma značajan u periodu od 1973. godine. U poslednjih 40 godina porast proizvodnje električne energije u zemljama koje nisu članice OECD godišnje je iznosio 5,2%, dok je

porast u OECD zemljama za isti period iznosio 2,2%. Proizvedena količina električne energije 2011. godine je po prvi put bila veća u zemljama koje nisu članice OECD.

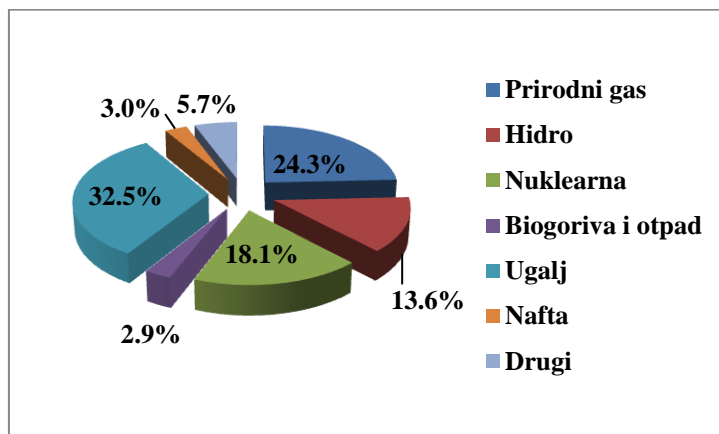


Slika 1 Rast proizvodnje električne energije [10]

Od ukupno proizvedene električne energije u svetu u 2013. godini 67,2% dobijeno je iz fosilnih goriva. Na drugom mestu po količini proizvedene električne energije nalaze se hidropostrojenja sa 16,6%, a iz nuklearnih postroje ja proizvedeno je 10,6%. Obnovljivi izvori energije (OIE) kao što su vetar i sunce učestvuju sa oko 3%, a biogoriva i otpad sa 2% u proizvodnji električne energije na svetskom nivou [11].

### 2.1.3 Proizvodnja električne energije u zemljama OECD

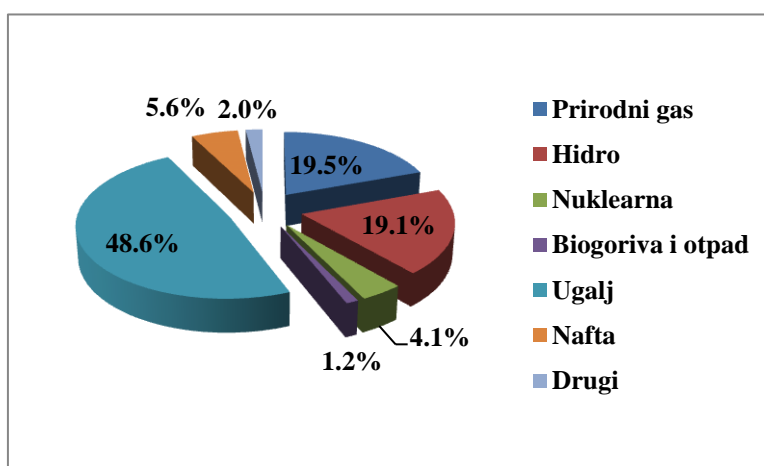
Ukupna proizvodnja električne energije u OECD zemljama za 2014. godinu iznosila je 10.773 TWh, što predstavlja pad za 0,8% u odnosu na nivo iz 2013. i 1,4% u odnosu na 2010. godinu. U ukupno proizvedenoj električnoj energiji u 2014. godini nuklearna postrojenja učestvovala su sa 18,4 %, hidroelektrane 13,5%, a postrojenja koja koriste fosilna goriva 58,7%. OIE (vetar, sunce, geotermalni izvori) proizvedeno je 6,4%, a iz postrojenja koja kao resurs za proizvodnju električne energije koriste biogoriva i otpad 3%.



Slika 2 Proizvodnja električne energije u zavisnosti od izvora u OECD zemljama [13]

#### 2.1.4 Proizvodnja električne energije u zemljama koje nisu članice OECD

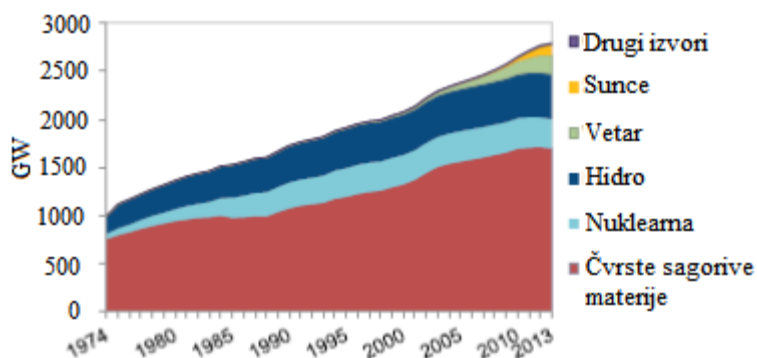
Podaci o proizvedenoj električnoj energiji za 2014. godinu nisu kompletni za sve zemlje koje nisu članice OECD, ali validni podaci su dostupni za 2013. godinu. Ukupna proizvedena količina električne energije za 2013. godinu u zemljama koje nisu članice OECD iznosila je 12.533 TWh što predstavlja rast u odnosu na 2012. godinu za 5,4%. Iz fosilnih goriva proizvedeno je 73,8% električne energije, 19,0% iz hidropostrojenja, 4,1% iz nuklearnih postrojenja, a 3,1% iz biogoriva, otpada, geotermalnih izvora, vetra i sunca [13].



Slika 3 Proizvodnja električne energije u zavisnosti od izvora u u zemljama koje nisu članice OECD [13]

### 2.1.5 Kapaciteti za proizvodnju električne energije u zemljama OECD

Podaci o postrojenjima za proizvodnju električne energije i njihovoj instaliranoj snazi dostupni su samo za OECD zemlje. Prema podacima iz 2013. godine ukupna instalirana snaga u OECD zemljama iznosila je 2.794 GW., što u odnosu na 2012. godinu predstavlja porast od 0,8%. Instalirana snaga u postrojenjima koja sagorevaju fosilna goriva i druge sagorljive materije iznosi 1.704 GW, 302 GW instalirano je u nuklearnim postrojenjima, 470 GW u hidropostrojenjima, 194 GW u vetrogeneratorima, a 114 GW u postrojenjima koja kao izvor koriste sunčevu energiju. Ukupna instalirana snaga postrojenja za proizvodnju električne energije u periodu 1974. – 1990. godine imala je rast od 3,5% i to u nuklearnim za 10,6%, hidro za 4,8% i u fosilnim postrojenjima za 2,2% na godišnjem nivou. U periodu od 1990. – 2013. godine porast ukupne instalirane snage postrojenja za proizvodnju električne energije iznosio je 2,1% na godišnjem nivou. U ovom periodu počeo je ozbiljan razvoj eksploatacije OIE, gde su najveći rast imala postrojenja koja koriste energiju vetra (47,7%) i postrojenja koja koriste sunčevu energiju (fotonaponske ćelije (21,1%)) (Slika 4) [11].

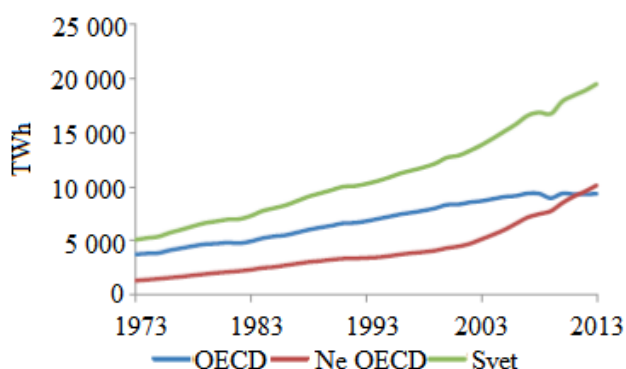


Slika 4 Razvoj kapaciteta za proizvodnju električne energije u zavisnosti od izvora energije u periodu 1974. – 2013. godine u OECD [11]



### 2.1.6 Potrošnja električne energije u svetu

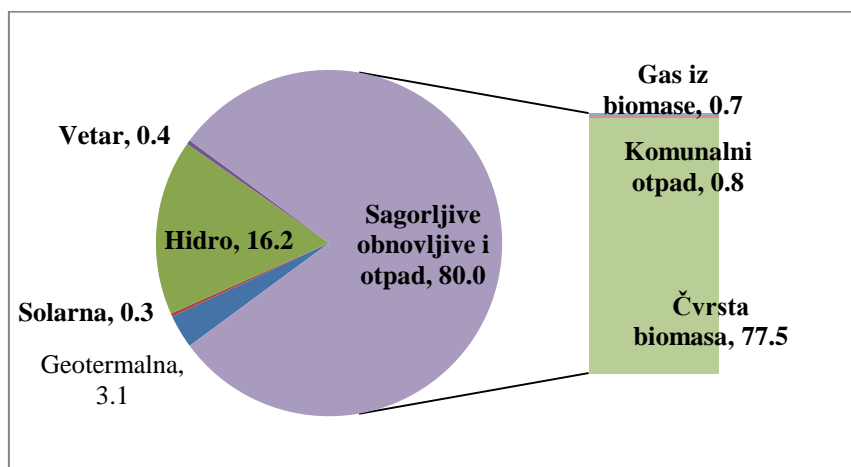
Potrošnja električne energije u OECD zemljama za 2013. godinu iznosila je 10.771 TWh što predstavlja rast u odnosu na 2012. godinu za 0,9% (Slika 5). Prema podacima iz 2013. godine potrošnja električne energije u zemljama koje nisu članice OECD iznosila je 10.142 TWh što predstavlja porast od 5,8% u odnosu na 2012. godinu (Slika 5).



Slika 5 Potrošnja električne energije u periodu 1974. – 2013. godine [10]

### 2.1.7 Sadašnji status i potencijal obnovljivih izvora energije u svetu

OIE učestvuju sa 13,3% isporučene primarne energije u Svetu za 2013. godinu (Tabela 4). Gotovo 80% isporučene energije iz obnovljivih izvora je bilo iz biomase (Slika 6). Današnje isporuke su samo 20% od onoga što bi se moglo ostvariti pretvaranjem u modernim efikasnijim i omogućenim tehnologijama. Može se primetiti da biomasa predstavlja samo 11% ukupne svetske primarne energije što je mnogo manje od trenutnog potencijala. Ukupni svetski tehnološki održivi potencijal energije biomase je 3-4 TWe [14].



Slika 6 Udeo resursa u svetu u isporuci obnovljivih izvora energije [14]

U 2013. udeo biomase i hidro energije u ukupnoj primarnoj energiji na svetu iznosio je 11%, a hidroenergije i 2%. Svi drugi obnovljivi izvori energije uključujući solarnu toplotnu, fotonaponske ćelije, vetar, geotermalnu i okeansku energiju osiguravaju samo oko 1% ukupne primarne energije.

Tabela 4 Udeo pojedinih goriva u svetskoj isporuci primarne energije [14]

Izvor	Udeo (%)
Nafta	34,4
Prirodni gas	21,2
Ugalj	24,4
Nuklearna	6,5
Obnovljivi izvori	13,3

#### 2.1.8 Kapaciteti za proizvodnju električne energije u Srbiji

JP "Elektroprivreda Srbije" (EPS) predstavlja najveće preduzeće u Republici Srbiji. Instalirana snaga kojom EPS raspolaže za proizvodnju električne energije iznosi 8.359 MW[15] i to:

- u termoelektranama na lignit 5.171 MW (Tabela 5)
- u termoelektranama-toplanama na gas i tečna goriva 353 MW (Tabela 6)
- u hidroelektranama 2.835 MW (Tabela 7)

EPS je najveći proizvođač lignita u zemlji sa mogućom godišnjom potrošnjom od 38 miliona tona[16]. Ugljeni baseni Kolubare, Kostolca i Kosova i Metohije\* nalaze se u neposrednoj blizini termoelektrana. U elektranama kojima upravlja EPS 2012. godine proizvedeno je 34.509 GWh. Privredno društvo "Termoelektrane Nikola Tesla" (TENT) je najveći proizvođač električne energije u Jugoistočnoj Evropi i posluje u okviru EPS-a. Ima 14 blokova instalisane snage 3.288 MW i godišnje proizvede više od 50% srpske električne energije. U sklopu PD TENT posluje 5 organizacionih Celina: TENT A u Obrenovcu (6 blokova ukupne snage 1.650 MW), TENT B na Ušću (2 bloka od po 620 MW), TE "Kolubara" u Velikim Crljenima (5 blokova ukupne snage 271 MW), TE "Morava" u Svilajncu (jedan blok od 125 MW) i Železnički transport koji godišnje preveze oko 28 miliona tona lignite sa površinskih kopova basena "Kolubara"[15].

Tabela 5 Kapaciteti termoelektrana u sastavu EPS [15]

Termoelektrane	Instalisana snaga (MW)
TENT A	1502
TENT B	1160
TE Kolubara	245
TE Morava	108
TEKO A	281
TEKO B	640
TE Kosovo A*	617
TE Kosovo B*	618
Ukupno	5171

Tabela 6 Kapaciteti termoelektrana – toplana u sastavu EPS [15]

Termoelektrane – toplane	Instalisana snaga (MW)
TE – TO Novi Sad	208
TE – TO Zrenjanin	100
TE – TO Sremska Mitrovica	45
Ukupno	353

\*Od 1. Juna 1999. Godine EPS ne upravlja svojim kapacitetima na području Kosova i Metohije

Tabela 7 Kapaciteti hidroelektrana u sastavu EPS [15]

Hidroelektrane	Instalisana snaga (MW)
HE Đerdap 1	1058
HE Đerdap 2	270
HE Vlasina	129
HE Pirot	80
HE Bajina Bašta	354
RHE Bajina Bašta	614
HE Zvornik	96
HE Elektromorava	13
HE Potpeć	51
HE Bistrica	102
HE Kokin Brod	22
HE Uvac	36
Ukupno	2.835

## 2.2 Održivi razvoj

### 2.2.1 Koncept održivog razvoja

Koncept održivog razvoja je postao vodeći princip u ekonomskoj politici i politici životne sredine u društvenim organizacijama počev od internacionalnog i državnog do lokalnog nivoa. Održivost, ili održivi razvoj, se javlja kako kao suštinski preduslov, tako i kao krajnji cilj efikasne organizacije brojnih ljudskih aktivnosti. Danas u svetu postoji široka saglasnost da koncept održivog razvoja donosi nadu za preporod naše planete, ali i da je nastupajućih desetak godina kritično za sprovođenje tog koncepta [2]. Postojeća ekonomska kriza uslovlila je novi osećaj da je potrebno hitno reagovati na veliki broj neodrživih trendova u proizvodnji, potrošnji, odnosima u društvu i navikama ljudi. Neodložno se moraju rešavati problemi, klimatskih promena, smanjiti visoka potrošnja energije, kao i zaustaviti nestajanje biološke raznovrsnosti i prirodnih resursa [1]. Temelj održivog razvoja čine tri komponente: ekonomija, društvo i životna sredina (slika 1).



Slika 7 Princip održivog razvoja [17]

Ekonomska komponenta održivosti zasniva se na naporu da društva prate puteve ekonomskog rasta koji kao svoju posledicu imaju povećanje realnih zarada u društvu, a

ne da preduzimaju trenutne akcije koje na duži rok dovode do povećanja siromaštva [18]. Društvena dimenzija održivosti temelji se na premisi da jednakost i razumevanje odnosa između ljudi unutar zajednice predstavljaju osnovni preduslov održivog razvoja. Da bi razvoj bio dugoročno održiv, bogatstvo, resursi i mogućnosti moraju se raspodeliti na takav način da svi građani mogu da uživaju bar minimalne standarde bezbednosti, ljudskih prava i socijalnih privilegija, kao što su hrana, zdravlje, obrazovanje, stanovanje i mogućnosti za razvoj svoje ličnosti. Društvena jednakost znači osiguravanje svim ljudima da mogu da se obrazuju i omogućavanje da svojim radom doprinesu napretku društva. Komponenta zaštite životne sredine u održivom razvoju predstavlja osnovu održavanja dugoročnog integriteta, produktivnosti sistema i infrastrukture kojima se obezbeđuje zdrava životna sredina i život uopšte na planeti [19]. Dostizanje ovih standarda zahteva ulaganja u infrastrukturu biosfere, kako bi se osigurao kvalitet dobara i usluga u sferi životne sredine od kojih zavisi život. Održivost životne sredine nameće takav način postupanja sa ovim dobrima i uslugama koji neće ugroziti mogućnost prirode da se samo reprodukuje. Osiguravanje komponente zaštite životne sredine podrazumeva održivo korišćenje resursa i ograničenje zagađenja [4].

### 2.2.2 Definicija održivosti

Postoji više definicija održivosti:

a) Svetska komisija za ekologiju i razvoj (definicija Brundlantove komisije)

Održivi razvoj je razvoj koji udovoljava potrebama sadašnjosti bez dileme da buduće generacije zadovolje svoje vlastite potrebe [20].

b) Agenda 21: Nauka za održivi razvoj, Konferencija Ujedinjenih Nacija o okolini i razvoju - poglavlje 35 [21]

Održivi razvoj zahteva uzimanje u obzir dugoročnih perspektiva, integriše lokalne i regionalne uticaje na globalne promene, te uticaj na razvojni proces koristeći se najboljim tradicionalnim i naučnim dostignućima i znanjem.

c) Thomas Jefferson, Sept. 3, 1889

"Mogu da kažem da Zemlja pripada svakoj generaciji za vreme njenog doba, a uz obavezu da nijedna generacija ne sme da stvori dugove veće nego što ih može sama otplatiti tokom svog postojanja."

### 2.3 Jaka naspram slabe održivosti

Značenje pojma održivosti predstavlja predmet intenzivne rasprave između ekološke stručne javnosti sa jedne i ekonomske sa druge strane. Od uvođenja pojma održivog razvoja u svakodnevnu upotrebu i prepoznavanja njegove mnogoznačnosti pojavile su se dve kategorije: jake i slabe održivosti [22].

#### 2.3.1 Koncept slabe održivosti

Koncept slabe održivosti podrazumeva da različite vrste kapitala (pre svega prirodni i stvoreni kapital) mogu biti supstituisane jedne drugima i da ukupni kapital treba da ostane očuvan. Ovaj koncept se zasniva na principu da nije važno kakva je struktura kapitala već kakve su ukupne vrednosti. Primena koncepta slabe održivosti dozvoljava iscrpljivanje prirodnog kapitala (resursa) sa tim što se pretpostavlja da se on ulaže u druge vrste kapitala i na taj način se obezbeđuje povećanje ukupnog (prirodnog i radom stvorenog) kapitala. Poznato je Hartvikovo pravilo [23] u literaturi prema kome se određuje održivost u smislu neopadajuće potrošnje čovečanstva u toku vremena i na osnovu ovog pravila potrošnja može ostati konstantna ili se povećavati pri čemu se smanjuju neobnovljivi resursi [24].

Koncept slabe održivosti su zastupali i ekonomisti neoklasične škole, koji prirodni i radom stvoreni kapital tretiraju kao supstitute u proizvodnji. Ovakav način razmišljanja predstavlja potpuni "tehnološki optimizam", jer se zastupa mišljenje da će razvoj nauke i tehnološki napredak uvek ponuditi odgovarajuće substitute (zamene) za iscrpljene prirodne resurse. Za koncept slabe održivosti na prvom mestu se nalazi ukupan kapital kome je prioritetan ekonomski razvoj, ali ne obraća pažnju na sastav ukupnog kapitala. Koncept slabe održivosti predstavlja razmišljanje da privredni razvoj ima šanse da bude održiv, uprkos u prošlosti utrošenim nereproduktivnim resursima, ukoliko smanjene

zalihe resursa budu nadoknađene povećanom količinom i kvalitetom fizičkog kapitala, kao i akumuliranim intelektualnim kapitalom [25].

Slaba održivost predstavlja ukupnu sumnu vrednost kapitala nekog društva koji se sastoji iz sledećih komponenata [26]:

- kapital po čoveku
- prirodni kapital
- kapital u ljudima i njihovim veštinama i znanju
- moralni i kulturni kapital

Savremene ekonomske doktrine se drže koncepta slabe održivosti jer je politički i ekonomski prihvatljiv, ali kritičari upozoravaju da ovaj koncept uzrokuje smanjivanje raspoloživosti prirodnog kapitala i smanjivanje kvaliteta životne sredine što će značiti manje blagostanja za buduća pokolenja i direktno narušiti koncept održivog razvoja.

### 2.3.2 Koncept jake održivosti

Koncept jake održivosti podrazumeva da su različite vrste kapitala (humani kapital, tehnološki kapital, prirodni resursi, životna sredina) prvenstveno komplementarne i treba da budu očuvane nezavisno jedne od drugih. Unutar ovog koncepta polazi se od stava da je svaka vrsta kapitala neophodna za razvoj društva i ekonomije i da je kao takva nenadoknadiiva. Pobornici koncepta jake održivosti označavaju se u literaturi kao tehnološki pesimisti, jer prirodni i radom stvoreni kapital smatraju komplementarnim u proizvodnom procesu. Koncept jake održivosti odbacuje mogućnost pripisivanja monetarne vrednosti i zamenjivosti prirodnom kapitalu. Kod ovog koncepta svaka stavka kapitala održava se konstantno zasebno. Jaka održivost predstavlja da prirodni i stvoreni kapital su komplementi te time nisu zamenjivi. Analogno toj činjenici zalihe prirodnog kapitala ne smeju se smanjivati tokom vremena [27]. Održivi razvoj predstavlja razvoj koji obezbeđuje održive prinose. Koncept slabe održivosti podrazumeva da svaki oblik prirodnog kapitala može biti iscrpljen ako postoji mogućnost zamene drugim oblicima kapitala dok jaka održivost zahteva da zalihe prirodnog kapitala ne smeju da se smanjuju. Ovde se mora napraviti razlika između



zahteva za čuvanjem svakog prirodnog resursa i zahteva za čuvanjem ukupnih zaliha prirodnog kapitala, što ostavlja prostor različitim oblicima supstitucije. Jaka održivost zagovara korenite promene u društvu i odnosu čoveka prema prirodi i još se naziva i ekološki razvoj [27]. U ekološki sistem ulaže se onoliko koliko se iz njega uzima.

## 2.4 Indikatori održivosti

Svetska ekonomija beleži duplirani rast na svakih dvadeset godina, a svetska populacija se duplira na svakih 40 – 50 godina. Za razliku od rasta ekonomije i populacije resursi kojima planeta snabdeva čovečanstvo nemaju rast [17]. Indikatori se koriste u raznim oblastima i predstavljaju pokazatelj stanja neke pojave. Podatke koji se koriste za procenu odgovarajućeg sistema potrebno je pretvoriti u indikatore. Indikatori predstavljaju parametre za merenje karakteristika sistema i koriste se za poređenje između različitih stanja ili struktura sistema. Oni smanjuju veliku količinu podataka na najprostiji oblik, zadržavajući suštinsko značenje o pitanjima koje karakterišu date podatke pri čemu su jako kompaktni i imaju lako razumljive ciljeve. Pitanje održivosti je veoma složeno i indikatori moraju da odražavaju celovitost sistema, kao i interakcije njenih podsistema. Da bi indikator bio efikasan on mora da sadrži karakteristike koje opisuju sistem koji se razmatra i zavise od sistema koji opisuju.

Na konferenciji Earth Summit održanoj 1992 u Rio de Žaneiru [20] uočena je važna uloga indikatora pri donošenju odluka vezanih za održivi razvoj. Ovo saznanje verifikovano je kroz poglavlje 40 Agende 21 [21].

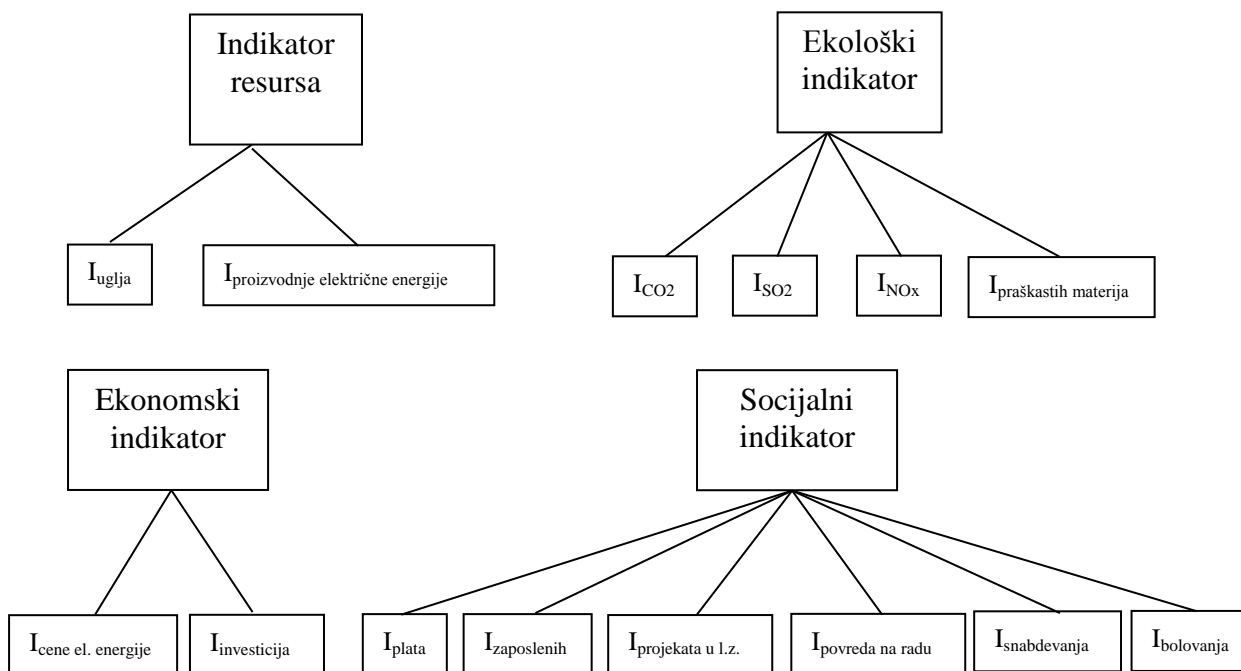
### 2.4.1 Energetski indikatori održivog razvoja

Energetski indikatori održivog razvoja (EIOR) izražavaju aspekte ili posledice proizvodnje ili potrošnje energije i predstavljaju osnovni alat pri uspostavljanju veze između energetskih ciljeva i održivog razvoja za one koji učestvuju u formiranju politike održivog razvoja. Takođe, koriste se u proceni položaja energetskog sistema i proceni efektivne energetske politike u smislu održivog razvoja. Energetski indikatori obezbeđuju informacije koje opisuju energetske tokove u takvom obliku koji može da pruži pomoć onima koji odlučuju na različitim nivoima odlučivanja (lokalnom, nacionalnom, na nivou proizvodnih sistema itd.) [5,15,16]. Energetski indikatori održivog razvoja ne predstavljaju samo statističke podatke, već omogućavaju širi pogled i dublje razumevanje energetskih sistema. Oni predstavljaju vezu između energetskih, ekonomskih, ekoloških i socijalnih pokazatelja. Posmatrano uopšteno, oni predstavljaju kompletnu sliku energetskog sistema. Promene u vrednostima formiranih indikatora u

toku vremena pokazuju napredak ili nazadovanje sa aspekta održivog razvoja. Kreatorima energetske politike neke zemlje potrebni su indikatori koji im mogu dati procene trenutnih i budućih posledica korišćenja energije na zdravlje stanovništva, uticaj na društvo, vazduh, zemljište i vodu [28]. Energetski indikatori održivog razvoja omogućavaju donosiocim odluka u energetskoj politici poznavanje trenutnog statusa sistema koji posmatraju u vezi sa energetskom, ekonomskom, ekološkom i socijalnom održivošću, kao i šta uraditi da bi se ostvarila poboljšanja.

## 2.5 Indikatori održivosti bloka 2 TE "Kolubara A"

U ovom radu su odabrani, definisani i izračunati indikatori: resursa, ekološki, ekonomski i za procenu održivosti bloka A2 termoelektrane "Kolubara" za projektovani radni vek postrojenja od 20 godina (Slika 8). Svaki od indikatora se sastoji od grupe podindikatora (ukupno 14 podindikatora).



Slika 8 Prikaz indikatora korišćenih za procenu održivosti bloka A2 [5]

### 2.5.1 Indikator resursa

Indikatorima resursa se definiše količina utrošenih resursa za proizvodnju električne energije prema različitim opcijama. Da bi se dobro definisala ova grupa indikatora, treba posvetiti pažnju intenzivnom prikupljanju podataka i definisanju trendova potrošnje fosilnih goriva, potencijalima obnovljivih izvora energija i tehnologijama za proizvodnju električne energije.

Efikasnost proizvodnje električne energije predstavlja veoma važno pitanje za energetske sisteme i definiše trendove održivosti. Smanjenjem potrošnje električne energije bez ugrožavanja ekonomskog i društvenog razvoja primenom novih tehnologija omogućava se napredak održivosti energetske sistema [29,30].

U okviru ove teze u sklopu indikatora resursa formirana su dva podindikatora:

1. Podindikator uglja ( $I_{\text{uglja}}$  [ $\text{kg}_{\text{uglja}}/\text{kWh}$ ]), koji pokazuje kolika je potrošnja uglja (kolubarski lignit) u procesu proizvodnje električne energije na bloku A2 termoelektrane "Kolubara".
2. Podinikator proizvodnje električne energije ( $I_{\text{proizvodnje električne energije}}$  [ $\text{kWh}$ ]) pokazuje koliko je proizvedeno električne energije u projektovanom radnom veku postrojenja

### 2.5.2 Ekonomski indikator

Dostupnost i pouzdanost energetske usluga je neophodna za obezbeđivanje ekonomskog rasta. Svi sektori ekonomije uključujući industrijske, stambene, komercijalne, transportne, usluge i poljoprivrede zavisi od pouzdanih energetske usluga. Cena energije kao jedan od osnovnih ekonomskih pokazatelja direktno utiče na zapošljavanje, industrijsku proizvodnju, urbani, ruralni razvoj kao isve glavne privredne aktivnosti [31].

Svaka procena energetske sistema mora obuhvatiti ekonomsku validaciju i neophodno je da formirani ekonomski indikator bude jedan od osnovnih elemenata za procenu održivosti posmatranog sistema. Kvalitet energetske sistema obuhvata ekonomsku validaciju kao element kompleksnosti. Za određivanje ekonomskog indikatora potrebno

je uzeti u obzir veliki broj parametara. U klasičnoj proceni energetskeg sistema ekonomski rezultati su od primarnog interesa i prikazuju konačnu cenu energije. Vrednost izračunatog ekonomskog indikatora direktno utiče i na ostale indikatore održivosti energetskeg sistema [32]. U ovom radu u okviru ekonomskog indikatora za posmatrani energetske sistem TE Kolubara "A2" formirana su dva podindikatora:

1. Podindikator cene električne energije ( $I_{cene\ el.energije}$  [€/kWh]), koji se formira na osnovu svih troškova koji utiču na proizvodnju električne energije posmatranog energetskeg sistema za vreme projektovanog radnog veka
2. Podindikator investicija ( $I_{cene\ el.energije}$  [€/kWh]), pokazuje kolika su potrebna ulaganja po instalisanom kWh električne energije u zavisnosti od opcije koja se razmatra

### 2.5.3 Ekološki indikator

Proizvodnja energije i njena upotreba dovodi do značajnih antropogenih pritisaka na životnu sredinu kao što su klimatske promene, krčenje šuma, zagađenje vode, vazduha i zemljišta. Mnogi od ovih uticaja su dugoročni i ostavljaju posledice na životnu sredinu. Uticaj na životnu sredinu se javlja na svim nivoima, od nivoa domaćinstava, radnog mesta, lokalne zajednice, grada, pa do nacionalnog, regionalnog i globalnog nivoa. Uticaji energetske delatnosti na životnu sredinu u velikoj meri zavise od toga kako se energija proizvodi i u koje svrhe se koristi. Ekološki indikatori bave se uticajem energije na atmosferu, vodu i zemlju [32,33].

Na globalnom nivou, trend povećanja emisije gasova staklene bašte predstavlja osnovni faktor životne sredine sa potencijalnim dugoročnim posledicama na klimu Zemlje.

U sklopu razmatranog energetskeg sistema TE Kolubara A2 formirana su četiri podindikatora u okviru ekološkog indikatora:

1. Podindikator CO<sub>2</sub> ( $I_{CO_2}$  [kgCO<sub>2</sub>/kWh]) pokazuje kolika je emisija u ugljen-dioksida po proizvedenom kWh električne energije
2. Podindikator SO<sub>2</sub> ( $I_{SO_2}$  [gSO<sub>2</sub>/kWh]) pokazuje kolika je emisija u sumpornih oksida po proizvedenom kWh električne energije

3. Podindikator  $\text{NO}_x$  ( $I_{\text{NO}_x}$  [ $\text{g}_{\text{NO}_x}/\text{kWh}$ ]) pokazuje kolika je emisija u azotnih oksida po proizvedenom kWh električne energije
4. Podindikator praškastih materija ( $I_{\text{praškastih materija}}$  [ $\text{g}/\text{kWh}$ ]) pokazuje kolika je emisija praškastih materija po proizvedenom kWh električne energije

#### 2.5.4 Socijalni indikatori

Socijalna dimenzija energetskeg održivog razvoja odražava potrebu ljudi širom sveta da imaju pristup osnovnim energetskeim uslugama po pristupačnim cenama. Socijalni aspekt održivosti je veoma važan posebno za zemlje u razvoju i tranziciji koje još uvek imaju veliki broj stanovnika koji ne mogu da zadovolje osnove energetske potrebe [31,32].

Dve teme se posebno razmatraju u okviru razvoja socijalnih indikatora: jednakost i zdravlje. Socijalna jednakost je jedan od osnovnih principa održivog razvoja. Ona uključuje stepen raspodele energetskeih dobara i njihovu distribuciju. Potrebno je da energetskei sistemi budu dostupni svim korisnicima po cenama prihvatljivim za nivo ekonomskog razvoja posmatrane zajednice [32].

Nedostatak ili ograničen pristup energiji podstiče siromaštvo i ozbiljno ugrožava mogućnosti stanovništva da unaprede uslove života. Nedostatak energije direktno je povezan sa neadekvatnim osvetljenjem, ograničenim komunikacijama, hlađenjem, grejanjem što direktno utiče i na zdravlje stanovništva [31].

U ovoj tezi je formirano šest socijalnih podindikatora:

1. Podindikator plata ( $I_{\text{plata}}$  [ $\text{€}/\text{kWh}$ ]), predstavlja utrošak koji se izdvaja za zaposlene po proizvedenom kWh električne energije u radnom veku posmatranog bloka
2. Podindikator zaposlenih ( $I_{\text{zaposlenih}}$  [-]), predstavlja broj zaposlenih u posmatranom energetskeom sistemu
3. Podindikator projekata u lokalnoj zajednici ( $I_{\text{projekata u l.z.}}$  [ $\text{€} /\text{kWh}$ ]), koji se formira na osnovu izdvajanja za projekte u lokalnoj zajednici po proizvedenom kWh

4. Podindikator povreda na radu ( $I_{\text{povreda na radu}} [-]$ ), koji se formira na osnovu povreda zaposlenih u procesu proizvodnje na godišnjem nivou
5. Podindikator bolovanja ( $I_{\text{bolovanja}} [\text{h/god}]$ ), koji se formira na osnovu broja sati koji zaposleni provedu na bolovanju na godišnjem nivou
6. Podindikator sigurnosti snabdevanja ( $I_{\text{snabdevanja}} [-]$ ) predstavlja vrednost koja je vezana za resurse, uvoz energenta i mogućnost eksploatacije (obnovljivi izvori energije)

### 3. OPCIJE ZA ANALIZU ODRŽIVOSTI TERMOENERGETSKIH BLOKOVA

Termoelektrana "Kolubara A" – Veliki Crljeni je najstarija aktivna termoelektrana u okviru "Elektroprivrede Srbije". U okviru ovog termoelektranskog postrojenja nalazi se pet blokova sa ukuno 270 MW instalisane snage. Dva turboagregata snage od po 32 MW puštena su u rad 1956. godine. 1960. godine počeo je da radi blok 3 snage 65 MW, a naredne godine pušten je u rad i blok 4 snage 32 MW. 1979. godine počeo je da radi i blok 5 snage 110 MW [15]. Plan posloводства EPS-a je da do 2020. godine određene blokove ugasi zbog njihove starosti i niske energetske efikasnosti. Među ovim blokovima nalazi se i blok A2 TE "Kolubara".

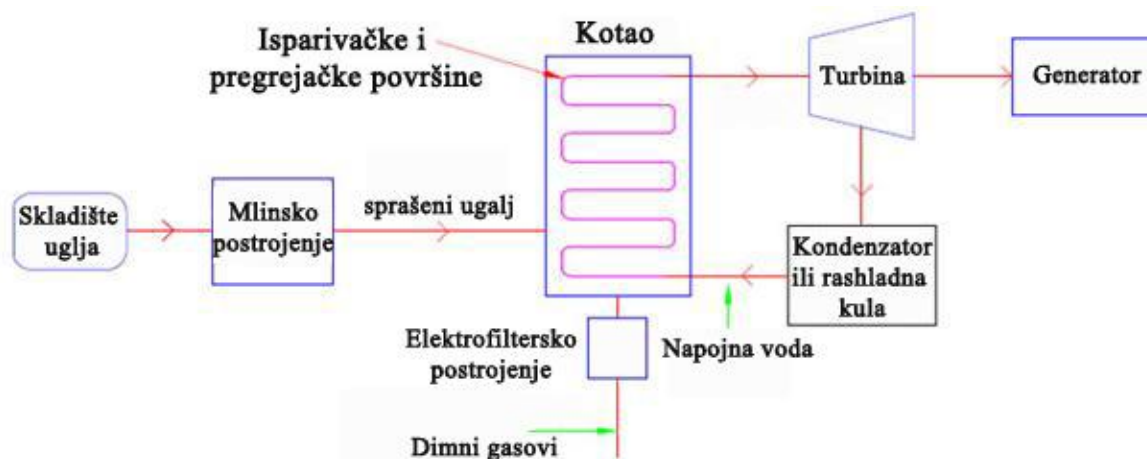
Da bi se ispitala mogućnost produženja radnog veka bloka A2 (projektovani radni vek postrojenja je 20 godina), u ovoj tezi je analizirano sedam opcija revitalizacije razmatranog termobloka. Za svaku predloženu opciju formirani su sistemi indikatora održivog razvoja (indikator i podindikator) u cilju boljeg razumevanja različitih aspekata održivog razvoja ovih opcija. Predložene opcije su:

1. Revitalizacija bloka 2 TE "Kolubara A" na ugalj (kolubarski lignit) u kondenzacionom režimu – Opcija 1
2. Revitalizacija bloka 2 TE "Kolubara A" na bazi kosagorevanja uglja (kolubarski lignit) i čvrstog obnovljivog goriva (Solid Recovery Fuel – SRF) u kondenzacionom režimu – Opcija 2
3. Revitalizacija bloka 2 TE "Kolubara A" na bazi kosagorevanja uglja (kolubarski lignit) i biomase u kondenzacionom režimu – Opcija 3
4. Revitalizacija bloka 2 TE "Kolubara A" na bazi kosagorevanja uglja (kolubarski lignit) i otpadnih materija u kondenzacionom režimu – Opcija 4
5. Revitalizacija bloka 2 TE "Kolubara A" kombinovanog gasno-parnog postrojenja u kondenzacionom režimu – Opcija 5
6. Proizvodnja električne energije snage 32 MW iz vetrogeneratora – Opcija 6
7. Proizvodnja električne energije iz sunčeve energije (fotonaponske ćelije) – Opcija



### 3.1 Revitalizacija bloka 2 TE "Kolubara A" na ugalj (kolubarski lignit) u kondenzacionom režimu

Prva opcija predstavlja revitalizaciju bloka A2 TE "Kolubara" gde je u sklopu revitalizacije potrebno realizovati aktivnosti na poboljšanju procesa sagorevanja uglja kroz zamenu postojećeg ložišta kotla uključujući i niskoemitujuće gorionike, zamenu na turbini kompletnog cilindra visokog pritiska (CVP), cilindra srednjeg pritiska (CSP) i cilindra niskog pritiska (CNP), zatim remont generatora (uključujući zamenu namotaja statora generatora), te zamenu većeg dela opreme automatike i elektrike. Na Slici 9 prikazana je šema bloka u kondenzacionom režimu rada.



Slika 9 Šema rada bloka u kondenzacionom režimu [5]

Poboljšanjem procesa sagorevanja i tehnoloških procesa na turbopostrojenju dolazi do povećanja efikasnosti bloka i smanjuje se specifična potrošnja bloka, koja je u ovom trenutku na bloku A2 TE "Kolubara" visoka. Predviđeno je da se u projektovanom radnom veku bloka kao gorivo koristi ugalj (kolubarski lignit) donje toplotne moći ( $H_d$ ) 7.000 kJ/kg [34]. Revitalizacijom bloka treba težiti da se dostigne specifična potrošnja bloka koja bi iznosila oko 12.500 kJ/kWh. Smanjenjem specifične potrošnje bloka smanjuje se i količina goriva što utiče na produkciju gasova staklene bašte i smanjenu cenu proizvodnje električne energije. Za Opciju 1 formirani su sledeći indiktori resursa,

ekonomski, ekološki i socijalni indikatori. Proračun vrednosti podindikatora za različite razmatrane opcije je dat u Prilogu 1.

#### Indikator resursa za Opciju 1

Za Opciju 1 formiran je indikator resursa koji se sastoji iz dva podindikatora:

1. Podindikator proizvodnje uglja ( $I_{ugl.}$  [t]) koji pokazuje koja količina uglja će se utrošiti u procesu sagorevanja u projektovanom radnom veku termobloka. Vrednost podindikatora proizvodnje uglja za Opciju 1 iznosi:

$$I_{ugl.} = 7.437.941 [t]$$

2. Podindikator proizvodnje električne energije  $I_{pr.e.e.}$  [kWh] koji pokazuje količinu električne energije koja će se proizvesti u projektovanom radnom veku termobloka pri specifičnoj potrošnji 12.500 kJ/kWh:

$$I_{pr.e.e.} = 3.681.600.000 [kWh]$$

#### Ekonomski indikator za Opciju 1

Unutar analize Opcije 1 formiran je ekonomski indikator koji se sastoji od dva podindikatora:

1. Podindikator proizvodne cene električne energije ( $I_{c.e.e.}$  [ $\frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ ]) koji u sebi sadrži troškove cene goriva (uglja – kolubarski lignit), održavanja, remonta i troškove radne snage u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{c.e.e.} = 0,03 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

2. Podindikator investicija ( $I_{inv.} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja ulaganja koja su potrebna da bi se termoblok revitalizovao i ispunio tehničke karakteristike potrebne za rad u projektovanom radnom veku:

$$I_{inv.} = 0.0022 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

#### Ekološki indikator za Opciju 1

Za Opciju 1 definisan je ekološki indikator koji se sastoji iz četiri podindikatora:

1. Podindikator emisije CO<sub>2</sub> ( $I_{CO_2} \left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja emisiju ugljen-dioksida nastalog u procesu sagorevanja uglja (kolubarskog lignita) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{CO_2} = 1,51 \left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} \right]$$

2. Podindikator emisije SO<sub>2</sub> ( $I_{SO_2} \left[ \frac{\text{gSO}_2}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja emisiju sumpornih oksida nastalih u procesu sagorevanja uglja (kolubarskog lignita) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{SO_2} = 20,2 \left[ \frac{\text{gSO}_2}{\text{kWh}} \right]$$

3. Podindikator emisije NO<sub>x</sub> ( $I_{NO_x} \left[ \frac{\text{gNO}_x}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja emisiju azotnih oksida nastalih u procesu sagorevanja uglja (kolubarskog lignita) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{NO_x} = 3,91 \left[ \frac{\text{gNO}_x}{\text{kWh}} \right]$$

4. Podindikator emisije praškastih materija ( $I_{pr.mat.} \left[ \frac{\text{g pr.mat.}}{\text{kWh}} \right]$ ) predstavlja emisiju praškastih materija nastalih u procesu sagorevanja uglja (kolubarskog lignita)

po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka i takođe predstavlja efikasnost elektrofilterskog postrojenja kao dela termobloka:

$$I_{pr.mat.} = 0,55 \left[ \frac{\text{g pr.mat.}}{\text{kWh}} \right]$$

### Socijalni indikator za Opciju 1

Za Opciju 1 definisan je socijalni indikator koji sadrži šest podindikatora:

1. Podindikator plata (  $I_{plata} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$  ) koji predstavlja utrošena sredstva za radnu snagu po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{plata} = 0,0059 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

2. Podindikator zaposlenih (  $I_{zap.}[-]$  ) koji predstavlja broj osoblja potrebnog za funkcionisanje termobloka u projektovanom radnom veku postrojenja:

$$I_{zap.} = 90[-]$$

3. Podindikator lokalne zajednice (  $I_{l.k.zaj.} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$  ) predstavlja novčana izdvajanja postrojenja prema lokalnoj zajednici (na čijoj teritoriji se nalazi termoblok) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku:

$$I_{l.k.zaj.} = 0,0004 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

4. Podindikator povreda na radu (  $I_{pov.radu}[-]$  ) predstavlja broj povreda na zaposlenih koji je nastao u procesu proizvodnje:

$$I_{pov.radu} = 4 [-]$$

5. Podindikator bolovanja ( $I_{bol.} \left[ \frac{h}{god} \right]$ ) predstavlja odsustovanja zaposlenih na godišnjem nivou:

$$I_{bol.} = 9.260 \left[ \frac{h}{god} \right]$$

6. Podindikator pouzdanosti snabdevanja ( $I_{pz.snab.} [-]$ ) predstavlja vrednost koja je vezana za resurse, uvoz energenta i mogućnost eksploatacije (obnovljivi izvori energije). U analiziranoj Opciji 1 za proces proizvodnje se koristi ugalj (kolubarski lignit) i s obzirom na dostupnost i moguću eksploataciju kao domaćeg energenta ima visoku pouzdanost:

$$I_{pz.snab.} = 0,9 [-]$$

### 3.2 Revitalizacija bloka 2 TE "Kolubara A" na bazi kosagorevanja uglja (kolubarski lignit) i čvrstog obnovljivog goriva (Solid Recovery Fuel – SRF) u kondenzacionom režimu – Opcija 2

Usled sve većeg rasta stanovništva, industrijalizacije, urbanizacije i ekonomskog bogatstva, nagomilavaju se sve veće količine otpada u razvijenim zemljama, ali i u zemljama u razvoju. Hemijski sastav otpada je sve složeniji i sve više ugrožava čovekovo zdravlje i okolinu. Porast različitih kategorija i vrsta otpada, zagađivača i zagađujućih materijala ima sve veći uticaj na zagađenje životne sredine sredine, odnosno smanjivanje njenog kapaciteta.

Prema podacima o nastanku i ponovnoj upotrebi otpada, svaki stanovnik EU prosečno godišnje doprinosi nastanku 534 kg čvrstog komunalnog otpada. Količina čvrstog komunalnog otpada varira od zemlje do zemlje. Naprimer, godišnje po stanovniku, u Danskoj količina čvrstog komunalnog otpada iznosi 802 kg, a u Češkoj Republici 306 kg [35, 36].

Prema zvaničnoj statistici EU [36], iz domaćinstava i industrije u Evropskoj Uniji (EU – 27), već 2006. proizvedeno je više od šest tona svih vrsta otpada po osobi i ta količina

raste iz godine u godinu. Više od polovine otpada u industrijskom sektoru. U našoj zemlji (bez KiM), prema zvaničnim procenama [37], tokom 2009. godine prosečna količina čvrstog komunalnog otpada stvorenog po stanovniku iznosila je 318 kg.

Postoji više načina podele čvrstog otpada (ČO), ali obično se koriste sledeće: (1) otpad iz domaćinstava, (2) komercijalni, (3) institucionalni, (4) građevinski, (5) javni komunalni, (6) otpad iz postrojenja za tretman voda, ili postrojenja za spaljivanje, (7) industrijski i (8) poljoprivredni. Čvrsti komunalni otpad uključuje sve kategorije otpada, sem industrijskog i poljoprivrednog koji nisu u nadležnosti javnih komunalnih službi. Otpad se, prema mogućnosti korišćenja, deli i na onaj koji može da ima dalju upotrebnu vrednost (direktnom doradom, ili preradom) kao sirovine u istoj, ili nekoj drugoj proizvodnji i na vrste otpada koje više nemaju upotrebnu vrednost, tj. koje se ne mogu ponovo iskoristiti.

Otpad iz domaćinstva i komercijalni otpad, izuzimajući specijalni i opasni otpad, sastoji se od organskog (sagorljivog) i neorganskog (nesagorljivog) čvrstog otpada iz domaćinstava i komercijalnih ustanova. Obično se organska frakcija ovog otpada sastoji od materijala kao što su otpad od hrane (biootpad), papir svih vrsta, karton, plastika svih vrsta, tekstil, guma, koža, drvo i otpad iz dvorišta. Neorganska frakcije sastoji se od stakla, posuđa, konzervi od aluminijuma i gvožđa i prašine. Ako se ovi sastojci ne razdvajaju prilikom odbacivanja, oni čine mešani otpad iz domaćinstava i komercijalni otpad.

Iskorišćenje otpada u energetske svrhe ima više pozitivnih efekata i predstavlja neminovnost u savremenim društvima. Kako pokazuju svetska iskustva, projekti tipa „od otpada do energije“ (*waste-to-energy*) mogu biti održivi samo ako su ekonomski opravdani, podrazumevajući postojanje odgovarajućih tehničkih rešenja.

Ekonomski efekat iskorišćenja otpada za dobijanje energije najviše zavisi od sastava, količine tokova otpada i ukupne organizacije, računajući tu i državnu legislativu. Ekološki efekat se prepoznaje u razvijanju i unapređenju tehnologija za obradu otpada i njegovu energetska valorizaciju, kao i bitnom smanjenju trajno deponovanih količina.

Čvrsto obnovljivo gorivo, koje se dobija u postrojenjima za mehaničku, biološku i termičku preradu neopasnih otpadnih materijala (komunalnih, ili industrijskih), uglavnom se koristi u procesima (ko)sagorevanja u velikim postrojenjima za dobijanje energije. Ovo gorivo se u EU proizvodi i koristi pod nazivom „čvrsto obnovljivo gorivo“ – SRF (Solid Recovery Fuel) i treba da zadovoljava zahteve standard prCEN 15359 i drugih [38, 34]. Ukoliko zadovoljava uslove postavljenih standarda, čak i jedna otpadna materija može da nosi naziv SRF (naprimer otpaci iz proizvodnje hartije i sl.).

Prednosti korišćenja SRF su:

- dugoročna dostupnost korišćenja
- mogućnost dugoročnog predviđanja cena i
- obezbeđenje odgovarajućeg kvaliteta obnovljivog goriva u procesima (ko)sagorevanja

Korišćenje SRF u termoenergetskim postrojenjima koja sagorevaju ugalj i imaju obavezu smanjenja emisije CO<sub>2</sub> predstavlja jednu od opcija delimične zamene uglja kosagorevanjem SRF sa ugljem. Osnovni parametri koji opravdavaju korišćenje SRF kao goriva su (dotirana) niska cena i znatno veća toplotna moć u odnosu na nisko vredne ugljeve (lignit). Delimična zamena primarnog goriva SRF-om zahteva tržište i proizvodnju od nekoliko hiljada, do nekoliko desetina hiljada tona SRF godišnje, što utiče na pouzdanost i uslovnost korišćenja obnovljivog goriva u procesu (ko)sagorevanja [39]. Napominje se da (ko)sagorevanje SRF uz ugalj u principu ne zahteva postojanje posebnih uređaja vezanih za zagađenje vazduha, ukoliko postrojenje u kome se vrši kosagorevanje zadovoljava zahteve za zaštitom životne sredine u skladu sa EU normama, kao ni značajnije povećanje obima održavanja postrojenja.

### 3.2.1 Karakteristike SRF kao goriva koje se dobija iz otpadnih materija, proizvodnja i korišćenje

SRF i Refused Derived Fuel (RDF) su goriva koja su proizvedena od otpada iz domaćinstava, komercijalnog i industrijskog otpada. SRF se razlikuje od RDF po tome što se proizvodi u skladu sa zahtevima standard prCEN/TS 15359 i drugih [34, 35]. Evropska komisija za standardizaciju objavila je skup tehničkih specifikacija za proizvodnju i trgovinu SRF-om [27]. Prema ovom standard, u tabeli 8 data je osnova klasifikacije SRF i klasifikacioni sistem koji se bazira na tri važna parametra:

- ekonomskom – toplotna moć goriva
- tehničko – tehnološkom – sadržaj hlora i
- ekološkom – sadržaj žive

Tabela 8 Klasifikacija SRF [34]

Parametar	Statistička mera	Jedinica	Klase				
			1	2	3	4	5
Donja toplotna moć	srednji	MJ/kg (dm)	$\geq 25$	$\geq 20$	$\geq 15$	$\geq 10$	$\geq 3$
Sadržaj hlora	srednji	%(c)	$\leq 0,2$	$\leq 0,6$	$\leq 1,0$	$\leq 1,5$	$\leq 3$
Sadržaj žive	srednji 80%	MJ/kg (dm)	$\leq 0,02$	$\leq 0,03$	$\leq 0,08$	$\leq 0,15$	$\leq 0,05$
		MJ/kg(dm)	$\leq 0,04$	$\leq 0,06$	$\leq 0,16$	$\leq 0,30$	$\leq 1,00$

Kategorije otpada koje mogu da uđu u sastav SRF su sledeće: komunalni, industrijski, građevinski i specifičan otpad, kao i otpad od ocedenog mulja iz kanalizacije. Tokom proizvodnje, gorivo dobijeno iz otpada može se usitniti na čestice ujednačenih veličina, sabiti u brikete, ili neke druge vrste otpresaka. U razvoju sistema kombinovanog načina proizvodnje toplotne i električne energije neki od doprinosa korišćenja SRF su: povećanje ukupne energetske efikasnosti, omogućavanje lakšeg planiranja zbog fleksibilnosti pri izboru lokacije, sigurnost snabdevanja gorivom, stabilnost cena goriva i mogućnost razvoja lanca snabdevanja. U EU, rad postrojenja koje sagoreva, ili kosagoreva SRF mora da bude u skladu sa Direktivom o industrijskim emisijama [39].



## Sastav SRF

Organski sagorivi deo SRF čine: ugljenik, vodonik, azot i veliki udeo kiseonika. Takođe SRF može da ima visok udeo vlage (10 – 60%), sadrži sumpor, hlor i nesagorivi deo. Органски сагориви део SRF чине: угљеник, водоник, азот и велики удео кисеоника. Такође, SRF може да има висок удео vlage (10-60%), садржи сумпор, хлор и несагориви део. Ova goriva mogu da imaju visok sadržaj alkalnih metala (natrijuma i kalijuma) koji tokom sagorevanja reaguju sa hlorom i formiraju alkalne hloride koji imaju niske temperature topljenja. Sadržaj teških metala u ovim gorivima mora da bude strogo ograničen. Prisustvo hlora u SRF može da dovede do korozije metala uređaja za sagorevanje, a prisustvo plastike do smanjene kontrole plamena. Sadržaj hlora u SRF je znatno viši nego kod evropskih fosilnih goriva, pa su zato potrebne vrlo pouzdane informacije o njegovom sadržaju, kao i o sadržaju natrijuma, sumпора i kalijuma [40]. Na osnovu istraživanja o nastaloj količini HCl pri sagorevanju sagorljivog dela čvrstog komunalnog otpada, ustanovljeno je da neorganski hlor uglavnom potiče iz otpadaka hrane, dok se veće količine organskog hlora nalaze u plastici i gumi. I pored toga što su količine organskog hlora u drvetu, hartiji i tekstilu male, pri njihovom sagorevanju može doći do formiranja značajne količine HCl. U poslednjih nekoliko godina, različitim metodama, pri proizvodnji SRF bitno se umanjuje sadržaj hlora [41]. SRF koji sadrže plastiku i karton (na primer iz ambalažnog materijala) imaju velike vrednosti donje toplotne moći, 15 – 25 MJ/kg. Takva vrsta SRF se koristi da unapredi paljenje i doprinese stabilnijem sagorevanju čvrstog goriva uz koje se kosagoreva.

### 3.2.2 Prednosti kosagorevanja SRF i uglja

#### Ekološke prednosti

Glavne prednosti koje se ostvaruju kosagorevanjem SRF uz ugalj, sa ekološkog aspekta, su sledeće:

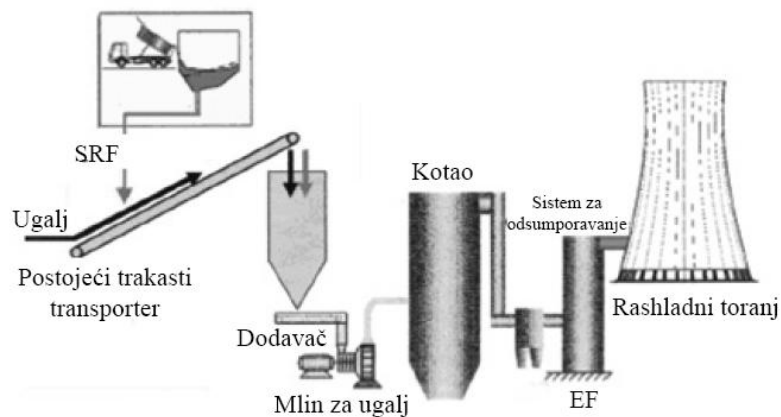
- značajno se smanjuju količine otpada koje se odlažu na deponije odnosno u zemlju, što doprinosi smanjenju negativnog uticaja otpada na životnu sredinu, odnosno, dolazi do:
  - smanjenju emisije metana ( $\text{CH}_4$ ), koji se emituje sa deponija i utiče na promenu klime, ima 21 put štetniji efekat od ugljen-dioksida ( $\text{CO}_2$ ) i ulazi u proračun ekvivalentne emisije  $\text{CO}_2$
  - smanjenju prostora koji zauzimaju deponije i značajnom smanjenju zagađenja zemljišta, nadzemnih i podzemnih voda
- sagorevanjem SRF (proračunski) smanjuje se emisija  $\text{CO}_2$  [42]. Naime SRF se smatra delom obnovljivim gorivom i u proračunima emisije  $\text{CO}_2$  uzima se da je 50% energije dobijene njegovim sagorevanjem u termopostrojenjima obnovljivo, odnosno 50% energije proizvedene iz otpada smatra se „zelenom“ i ima neutralnu emisiju  $\text{CO}_2$
- korišćenjem SRF smanjuje se korišćenje neobnovljivih – fosilnih goriva, što doprinosi održivosti proizvodnje energije

### Ekonomске prednosti

Ekonomске prednosti korišćenja SRF u proizvodnji energije u odnosu na korišćenje fosilnih goriva utvrđuju se odgovarajućim merama koje države donose u cilju pospešivanja korišćenja obnovljivih izvora uopšte. Za proizvođača, energije dobijena sagorevanjem SRF, u konačnom bilansu, treba da je bar minimalno jeftinija od energije dobijene iz fosilnih goriva, kako bi proizvođač energije imao interes da koristi SRF. Ovde su od ključnog značaja:

- visine tzv. ulaznih taksi (gate fee) za SRF u lancu proizvodnje i sagorevanja. U EU, Landfill directive obezbeđuje mehanizam delovanja, a visina ulaznih taksi je u nadležnosti zemalja članica i od zemlje do zemlje je različita, odnosno razlike u taksama postoje i unutar jedne zemlje, naime visina ulaznih taksi zavisi od dosta činioca, kako o stanja na tržištu energenata, tako i od pojedinih lokalnih uslova [43]

- nacionalne regulative EU koje se odnose na emisiju gasova; Naime, u skladu sa Kjoto protokolom, za svaku državu koja ima status tzv. Aneks I – potpisnice (Srbija još nema taj status), utvrđuje se kvota za emisiju CO<sub>2</sub>; svako prekoračenje kvote mora da se plati, a ukoliko kvota nije ispunjena, jer je došlo do smanjenja emisije (npr. Zbog korišćenja SRF), raspoloživi višak kvote može da se proda drugoj državi (prema EU ETS – *Emissions Trading System*);
- ekonomska dobit može se ostvariti u situaciji kada su uvozni energenti cenovno nestabilni, dok je SRF, kao domaći proizvod, cenovno dugoročno stabilniji; s druge strane; posedovanje domaće obnovljive energetske sirovine znači i energetska nezavisnost, odnosno sigurnost, što je nemerljiva dobit
- ukoliko je moguće da se uvede direktno kosagorevanje SRF (Slika 10), onda su investicioni troškovi najmanji i gotovo zanemarljivi



Slika 10 Direktno kosagorevanje uglja i SRF [34]

#### Prednosti korišćenja SRF sa socijalnog aspekta

Prednosti korišćenja SRF, kao obnovljivog goriva, sa socijalnog stanovišta, a koje su već iskazane u praksi, su sledeće:

- otvaranje novih radnih mesta i povećanje zaposlenosti u proizvodnji SRF i u čitavom lancu od prikupljanja otpada do mesta sagorevanja SRF; prema raspoloživoj statistici, zaključno sa 2009. godinom, u sektoru obnovljivih izvora

energije u EU-27, ne računajući hidroelektrane, otvoreno je oko 400 hiljada novih radnih mesta, a u periodu 2010-2015. očekuje se otvaranje još oko 700 hiljada novih radnih mesta prema baznom scenariju [44]; njih će u manjem obimu popuniti radna snaga čija će postojeća radna mesta nestati zbog smanjenja obima korišćenja fosilnih goriva, a u mnogo većem obimu radi se o potpuno novim radnim mestima u industriji, poljoprivredi, pripremi biogoriva, prikupljanju i tretmanu otpada sa velikim udelom biomase; otvaranje radnih mesta u takvim oblastima doprinosi smanjenju priliva stanovništva u velike industrijske centre, odnosno predstavlja doprinos iznalaženju najboljih rešenja u cilju stvaranja održivog razvoja društva.

#### Potencijali SRF-a za kosagorevanje u termoelektranama EPS-a

Prema podacima o raspoloživim količinama otpadnih materija pogodnim za kosagorevanje uz ugalj i mogućim lokacijama postrojenja za proizvodnju SRF, te uzimajući u obzir kriterijum za isplativost prevoza SRF kopnenim putem (do 200 km), za termoenergetska postrojenja EPS-a mogle bi da budu raspoložive sledeće količine otpadnih materija pogodnih za kosagorevanje prema stanju u 2010. godini:

- za TENT – A, ili TENT – B, ili TE „Kolubara“ raspoloživo je oko 540.000 t/god otpadnih materija pogodnih za kosagorevanje sa toplotnim fondom od oko 210 ktoe/god, odnosno, tokom 6000 h/god mogla bi da bude prosečno angažovana snaga nekog bloka od oko 130 MWe [34]
- za TE „Morava“, ili TE „Kostolac“, raspoloživo je oko 240.000 t/god otpadnih materija pogodnih za kosagorevanje sa toplotnim fondom od oko 90 ktoe/god, odnosno tokom 6000 h/god mogla bi da bude prosečno angažovana snaga nekog bloka od oko 60 MWe [34]

Proces kosagorevanja uglja (kolubarskog lignita) i SRF-a u revitalizovanom postrojenju

Za Opciju 2 u procesu kosagorevanja uglja (kolubarskog lignita) i SRF-a, predviđeno je da se 95% električne energije dobija iz uglja, a ostatak iz SRF-a. Donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita) iznosi 7.000 kJ/kg, a SRF-a 16.000 kJ/kg. Specifični utrošak toplote iznosi 12.500 kJ/kWh. Na osnovu ovih podataka formirani su indikatori resursa, ekonomski, ekološki i socijalni indikatori:

Indikator resursa za Opciju 2

Za Opciju 2 formiran je indikator resursa koji se sastoji iz dva podindikatora:

1. Podindikator proizvodnje uglja ( $I_{ugl.}$  [t]) koji pokazuje koja količina uglja će se utrošiti u procesu sagorevanja u projektovanom radnom veku termobloka. Vrednost podindikatora proizvodnje uglja za Opciju 1 iznosi:

$$I_{ugl.} = 6.958.970[t]$$

Pored ove utrošene količine uglja u procesu proizvodnje električne energije utroši se i količina SRF-a koja iznosi 160.000 [t].

2. Podindikator proizvodnje električne energije  $I_{pr.e.e.}$  [kWh] koji pokazuje količinu električne energije koja će se proizvesti u projektovanom radnom veku termobloka pri specifičnoj potrošnji 12.500 kJ/kWh:

$$I_{pr.e.e.} = 3.624.960.000 [kWh]$$

Ekonomski indikator za Opciju 2

Unutar analize Opcije 2 formiran je ekonomski indikator koji se sastoji od dva podindikatora:

1. Podindikator proizvodne cene električne energije ( $I_{c.e.e.} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$ ) koji u sebi sadrži troškove cene goriva (uglja – kolubarski lignit i SRF-a), održavanja, remonta i troškove radne snage u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{c.e.e.} = 0,032 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

2. Podindikator investicija ( $I_{inv.} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja ulaganja koja su potrebna da bi se termoblok revitalizovao i ispunio tehničke karakteristike potrebne za rad u projektovanom radnom veku:

$$I_{inv.} = 0.0024 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

Ekološki indikator za Opciju 2

Za Opciju 2 definisan je ekološki indikator koji se sastoji iz četiri podindikatora:

1. Podindikator emisije  $\text{CO}_2$  ( $I_{CO_2} \left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja emisiju ugljen-dioksida nastalog u procesu sagorevanja uglja (kolubarskog lignita i SRF-a) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{CO_2} = 1,46 \left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} \right]$$

2. Podindikator emisije  $\text{SO}_2$  ( $I_{SO_2} \left[ \frac{\text{gSO}_2}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja emisiju sumpornih oksida nastalih u procesu sagorevanja uglja (kolubarskog lignita i SRF-a) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{SO_2} = 19,4 \left[ \frac{\text{gSO}_2}{\text{kWh}} \right]$$

3. Podindikator emisije  $\text{NO}_x$  ( $I_{\text{NO}_x} \left[ \frac{\text{gNO}_x}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja emisiju azotnih oksida nastalih u procesu sagorevanja uglja (kolubarskog lignita i SRF-a) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{\text{NO}_x} = 3,88 \left[ \frac{\text{gNO}_x}{\text{kWh}} \right]$$

4. Podindikator emisije praškastih materija ( $I_{pr.mat.} \left[ \frac{\text{g pr.mat.}}{\text{kWh}} \right]$ ) predstavlja emisiju praškastih materija nastalih u procesu sagorevanja uglja (kolubarskog lignita i SRF-a) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka i takođe predstavlja efikasnost elektrofilterskog postrojenja kao dela termobloka:

$$I_{pr.mat.} = 0,51 \left[ \frac{\text{g pr.mat.}}{\text{kWh}} \right]$$

#### Socijalni indikator za Opciju 2

Za Opciju 2 definisan je socijalni indikator koji sadrži šest podindikatora:

1. Podindikator plata ( $I_{plata} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja utrošena sredstva za radnu snagu po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{plata} = 0,0064 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

2. Podindikator zaposlenih ( $I_{zap.} [-]$ ) koji predstavlja broj osoblja potrebnog za funkcionisanje termobloka u projektovanom radnom veku postrojenja:

$$I_{zap.} = 95 [-]$$

3. Podindikator lokalne zajednice (  $I_{l.k.zaj.} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$  ) predstavlja novčana izdvajanja postrojenja prema lokalnoj zajednici (na čijoj teritoriji se nalazi termoblok) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku:

$$I_{l.k.zaj.} = 0,00055 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

4. Podindikator povreda na radu (  $I_{pov.radu} [-]$  ) predstavlja broj povreda na zaposlenih koji je nastao u procesu proizvodnje:

$$I_{pov.radu} = 5 [-]$$

5. Podindikator bolovanja (  $I_{bol.} \left[ \frac{\text{h}}{\text{god}} \right]$  ) predstavlja odsustovanja zaposlenih na godišnjem nivou:

$$I_{bol.} = 10.750 \left[ \frac{\text{h}}{\text{god}} \right]$$

6. Podindikator pouzdanosti snabdevanja (  $I_{pz.snab.} [-]$  ) predstavlja vrednost koja je vezana za resurse, uvoz energenta i mogućnost eksploatacije (obnovljivi izvori energije). U analiziranoj Opciji 2 za proces proizvodnje se koristi ugalj (kolubarski lignit) i SRF i s obzirom na dostupnost uglja i moguću eksploataciju kao domaćeg energenta i mogućnost proizvodnje SRF-a na teritoriji Republike Srbije ima visoku pouzdanost:

$$I_{pz.snab.} = 0,8 [-]$$



### 3.3 Revitalizacija bloka 2 TE "Kolubara A" na bazi kosagorevanja uglja (kolubarski lignit) i biomase u kondenzacionom režimu

OIE (biomasa, solarna, geotermalna, vetar) predstavljaju značajnu alternative fosilnim gorivima, kako sa energetske, tako i sa ekološke stanovišta. Prema statističkim podacima, 2007. godine u svetu je potrošeno skoro 19 triliona kWh električne energije, a prema validnim predviđanjima, i pored sadašnje globalne ekonomske krize, 2020. potrošnja električne energije kretaće se oko 25, a 2035. godine oko 35 triliona kWh. Istovremeno, u periodu do 2035. godine, udeo obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije u svetu rašće po prosečnoj stopi od 3%, odnosno sa 18 % u 2007. dostići će 23% u 2035. godini. Prema raspoloživim podacima, u svetu ima preko 50 GWe instaliranih kapaciteta za proizvodnju električne energije koji koriste biomasu, bilo da je reč o direktnom sagorevanju biomase, kosagorevanju sa ugljem, ili sagorevanju biogasa (kao produkta gasifikacije biomase). Očekuje se da će u sledećih 5 godina u svetu na elektromreže priključiti više od 12 GWe termokapaciteta na biomasu, a do 2050. udeo biomase u proizvodnji električne energije povećaće se sa sadašnjih 1,3% na oko 3 – 5%. U Evropskoj uniji trenutno ima više od 1000 aktivnih termopostrojenja na biomasu, pri čemu je proizvodnja električne energije iz biomase 2008. godine dostigla 3% ukupne proizvodnje, odnosno oko 100.000 GWh, što je 1/5 proizvedene električne energije iz svih "zelenih izvora" računajući i hidropotencijal [44]. Međutim, aktuelni energetske sistem EU ima sve karakteristike neodrživog razvoja: drastičan manjak sopstvenih energetske izvora uz sve veći rast potrošnje energije. To uslovljava stalni porast uvoza fosilnih goriva, posebno gasa i nafte i posledično porast emisije ugljen-dioksida. Strategija EU, koja se odnosi na energetske sigurnost i borbu protiv klimatske promena (*Energy Review Report, EC 2007*), propisuje različite mere za značajno ublažavanje navedenog stanja do 2020. godine: u prvom redu, prioriteti su smanjenje potrošnje energije za 20% i povećanje udela obnovljivih izvora energije za 20% (obe promene u odnosu na 2005. godinu), kao i smanjenje emisije gasova koji dovode do efekta staklene bašte za 20% u odnosu na stanje 1990. god. Što se tiče proizvodnje električne energije, u našoj zemlji, već više godina oko 67 % struje dobija se iz termoelektrana koje sagorevaju ugalj, oko 32 % iz hidroelektrana i nešto manje od 1% iz zemnog gasa. U industriji zanemarljiv je broj

termopostrojenja na biomasu, a lokalne toplane je uopšte ne koriste. Međutim, za zagrevanje uglavnom individualnog stambenog prostora, još uvek se dosta koristi ogревно drvo koje se sagoreva u ložištima niske tehničke efiksanosti (oko 1,3 miliona m<sup>3</sup> godišnje, što je 50% ukupne godišnje seče šuma u Srbiji bez KiM [16]).

### 3.3.1 Biomasa kao gorivo

Biomasa u energetskom smislu je “biorazgradiva frakcija proizvoda, otpada i ostataka biološkog porekla iz poljoprivrede (uključujući biljne i životinjske materije), šumarstva i odgovarajućih industrija uključujući ribarstvo i gajenje vodenih biljnih kultura, kao i birazgradive frakcije iz industrijskog i komunalnog otpada, čije je korišćenje u energetici dopušteno u skladu sa odgovarajućim propisima iz oblasti zaštite životne sredine”. Iz navedenih materija (organskog porekla) biomase, konverzijom hemijske energije koju sadrže može se dobiti toplota bilo njihovim direktnim sagorevanjem, bilo sagorevanjem produkata gasifikacije, ili produkata nekih drugih procesa kojima se biomasa može podvrgnuti. Poslednjih godina postaje sve aktuelnije pronalaženje najracionalnijih načina za dobijanje energije iz biomase niske energetske vrednosti, tj. iz otpadnih materija dobijenih pri preradi poljoprivrednih kultura, drveta, proizvodnji papira i dr [44].

Procesom sagorevanja, kao najčešćim oblikom konverzije hemijske u toplotnu energiju, u atmosferi dolazi do neprestanog povećanja koncentracije ugljen-dioksida (CO<sub>2</sub>), ugljen-monoksida (CO), sumpor-dioksida (SO<sub>2</sub>), azotnih (NO<sub>x</sub>) i drugih štetnih oksida koji dovode do efekta tzv. “staklene bašte”. Biljke u procesu fotosinteze koriste ugljen-dioksid za stvaranje kiseonika (O<sub>2</sub>) i povećanje sopstvene mase, pri čemu dolazi do smanjenja koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi. Odavde se može zaključiti da se pri sagorevanju biomase bilans CO<sub>2</sub> u atmosferi ne menja, tj. ugljen-dioksid proizveden pri sagorevanju biomase bilans CO<sub>2</sub> u atmosferi ne menja, tj. ugljen-dioksid proizveden pri sagorevanju biljke ponovo apsorbuju u procesu fotosinteze. U svom sastavu, biomasa sadrži izuzetno male količine sumpora (S) i mineralnih materija, tako da je količina emitovanog sumpor-dioksida i pepela gotovo zanemarljiva. Imajući sve ovo u vidu, može se zaključiti da je sa ekološkog stanovišta održivog razvoja, biomasa veoma

prihvatljiv izvor energije. Prilikom sagorevanja biomase u energetske svrhe, neophodno je voditi računa da su ispunjena sledeća tri osnovna uslova:

- energetska efikasnost
- zaštita životne sredine
- održivi razvoj

Prema prvom uslovu, sopstvena potrošnja energije, pri procesu konverzije hemijske energije biomase u toplotnu, treba da bude što je moguće manja, kako bi efektivni stepen konverzije bio što je moguće veći. Ovo je moguće ostvariti smanjenjem, odnosno optimizacijom utroška energije potrebne za pripremanje biomase (sušenje, mehanička priprema i transport itd.) za proces sagorevanja, pa sledi da je najmanje energije za pripremu potrebno ako se biomasa koristi iz relativno bliske okoline termoenergetskog postrojenja u što izvornijem obliku. Drugi uslov dobrim delom je ispunjen samim izborom biomase kao goriva, pri čemu je potrebno da tehnologije pripreme i konverzije budu što savršenije kako bi se emisija nastalih štetnih jedinjenja (ugljenmonoksid, azotni oksidi i dr.) svela na najmanju moguću meru. Poslednji uslov, u smislu održivog razvoja, je ispunjen ako se u energetske svrhe koristi deo biomase koji predstavlja ostatak iz primarne poljoprivredne proizvodnje, ili ako se koristi takozvana energetska biomasa (namenski proizvedena u cilju dobijanja energije). Tada proizvodnja energije ni na koji način ne utiče na proces proizvodnje hrane što je osnovni cilj poljoprivredne proizvodnje. Inače, biomasa kao obnovljivi izvor energije u potpunosti zadovoljava uslov održivosti. Pored toga, biomasa ne samo da je jeftin izvor energije, nego se njenim korišćenjem često rešava i problem odlaganja otpada iz poljoprivredne proizvodnje i prehrambene industrije. U svetu se danas u energetske svrhe uglavnom koristi otpadna biomasa, ali se u prethodnoj deceniji naglo razvila i upotreba namenski proizvedene biomase kao svojevrsnog energenta. Na slici 11 prikazana je biomasa koja se koristi za energetske svrhe.



Slika 11 Biomasa za energetske svrhe [34]

Pod otpadnom biomasom podrazumevaju se ostaci iz poljoprivredne i industrijske proizvodnje i mogu se klasifikovati u pet grupa. Najobimnija i najznačajnija je grupa u koju spade otpadna biomasa nastala iz poljoprivredne proizvodnje i to: ostaci iz ratarske proizvodnje (slama, ljuska, itd) i voćarske proizvodnje (granje). Sledeću grupu predstavlja otpadna biomasa koja nastaje u industrijskoj preradi drveta (kora drveta, strugotina, šumski otpad, itd.). Ostaci koji nastaju preradom poljoprivrednih proizvoda u cilju proizvodnje hrane čine posebnu grupu u koju ulaze ostaci prilikom prerade voća i povrća, koštice i sl.). Pri uzgoju stoke javljaju se značajne količine otpada u vidu tečnog stajnjaka koji može biti veoma značajan sa energetskeg stanovišta. Poslednju grupu čine ostaci koji nastaju prilikom uređenja gradskih zelenih površina u koje uglavnom spada granje [45].

Kao potencijalna goriva za nas su, pre svega, najznačajniji ostaci iz ratarske proizvodnje, jer se javljaju u velikim količinama pri proizvodnji i preradi žitarica, kao i u voćarstvu i vinogradarstvu. Najznačajnije i najzastupljenije ratarske kulture su pšenica i kukuruz. Količina balasta pri preradi poljoprivrednih kultura u Srbiji može biti čak i do tri puta veća od osnovnog proizvoda.

### 3.3.2 Poređenje domaće biomase i kolubarskog lignita

Nastajanje fosilnih goriva (treset, ugalj, nafta i zemni gas) vezano je za dug period transformacije biljnih i životinjskih organizama. Izumiranjem ovih organizama u atmosferi dolazi do njihovog razlaganja na ugljen-dioksid i vodu. Međutim u anaerobnim uslovima ovakav oblik razlaganja je onemogućen. U hidrosferi, morima i rekama, izumrli živi organizmi i biomasa talože se na dno i pod dejstvom anaerobnih bakterija sadržaj kiseonika i vodonika im se smanjuje, dok sadržaj ugljenika raste, prilikom čega nastaje treset. U daljoj evoluciji, pramaterija biva zasipana slojem peska i gline pod čijim se pritiskom izdvajaju gasoviti sastojci, a sadržaj ugljenika ponovo raste. Daljim preobražajem pramaterije, u veoma dugom vremenskom period, nizom složenih procesa na povišenom pritisku i temperaturi, dolazi do nastajanja fosilnih goriva. Treba pomenuti da je nastajanje uglja povezano, uglavnom, sa razgradnjom biljnih ostataka, dok se nastajanje nafte i zemnog gasa vezuje za životinjske ostatke. Imajući u vidu veoma dug vremenski period stvaranja fosilnih goriva (više miliona godina) sa razlogom se ovi izvori energije mogu svrstati u obnovljive. Vremenski period stvaranja biomase se meri godinama, ili čak mesecima, pa je zbog toga opravdano smatrati biomasu obnovljivim izvorom energije. Osim toga, eksploatacija biomase je daleko jeftinija od eksploatacije fosilnih goriva, kao i način pripreme za korišćenje u energetske svrhe.

Tabela 9 Poređenje sastava i toplotne moći domaće biomase i kolubarskog lignite [45]

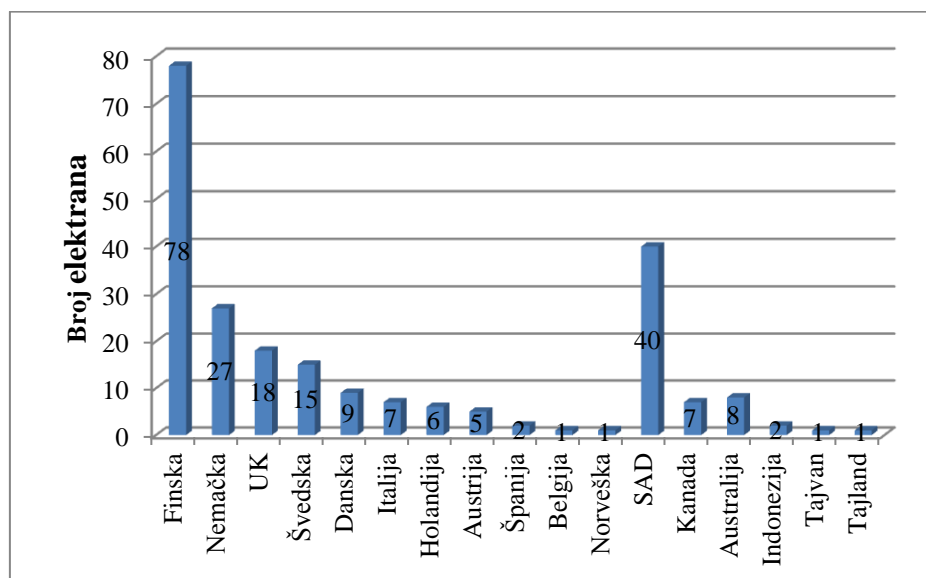
Vrsta goriva	Vlaga (%)	Isparljive komponente (%)	C <sub>fix</sub> (%)	Pepeo (%)	Donja toplotna moć (MJ/kg)
Poljoprivredna biomasa	6 – 11*	55 – 73	12 – 21	1 – 5	13 – 16
Šumska biomasa	7 - 15*	67 – 76	12 – 23	0,5 – 4	12 – 15
Lignit Kolubara	43 – 50	13 – 25	12 – 15	12 – 22	6 – 8,8

(\*) nakon sušenja prirodnim putem

Iz tabele 9 se uočava da su podaci iz tehničke analize domaće biomase i kolubarskog lignita veoma različiti osim kada je u pitanju sadržaj fiksnog ugljenika. Sadržaj vlage i sadržaj pepela su mnogo viši kod lignita nego kod biomase osušene nakon žetve, ili seče na vazduhu. Posledično, donja toplotna moć takve biomase je značajno viša, pa je njeno korišćenje kao goriva znatno povoljnije sa stanovišta ukupnog sadržaja balastnih i zagađujućih materija nego lignita.

Problem kod korišćenja biomase predstavlja njena mala nasipna gustina, koja se kod poljoprivrednih ostataka kreće od 100-200 kg/m<sup>3</sup>, dok se kod domaćih lignite kreće od 500-600 kg/m<sup>3</sup>, što zahteva veće gabarite ložišta i bunkera za skladištenje. Osim toga, nehomogenost po veličini i obliku predstavlja osnovni problem pri konstruisanju ložišta i uređaja za doziranje.

Kosagorevanje biomase i uglja uspešno funkcioniše u oko 230 termoenergetskih postrojenja u svetu različitih instalisanih snaga, sistema sagorevanja i udela biomase. Najviše ih je u Evropi (169), zatim slede SAD (40), Australija (8), Kanada (7) i druge zemlje (slika 12)



Slika 12 Broj elektrana koje koriste biomasu za kosagorevanje sa ugljem [46]

### 3.3.3 Organizacija (tipovi) kosagorevanja

Pojam kosagorevanja koristi se za karakterisanje simultanog sagorevanja dve, ili više vrsta goriva gde se jedna vrsta goriva nalazi u višku (npr. uglj), dok manji udeo goriva predstavlja dopunsko gorivo, koje može biti i obnovljivo [47].

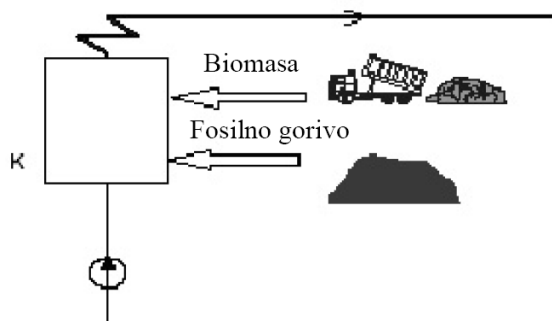
Kao dodatno gorivo u procesima kosagorevanja uz uglj, u termoelektranama i toplanama EU već više godina i sve masovnije koristi se biomasa. Tehnikom kosagorevanja uglja i biomase ovladano je pre gotovo dve decenije, ali ekonomski isplativo korišćenje biomase u procesima kosagorevanja u termoenergetskim postrojenjima praktično nije moguće bez konkretnih rešenja na nivou nacionalne energetske politike i strategije razvoja energetike, uključiv i državne podsticaje.

Razvijena su tri osnovna tipa (organizacije) kosagorevanja uglja i biomase:

#### 1. Direktno kosagorevanje

Predstavlja najjednostavniju i najčešću primenjivanu opciju kosagorevanja, koja podrazumeva istovremeno sagorevanje uglja i biomase u ložištu u nekom odnosu, pri

čemu je uglj u višku. U primeni je zajednički, ili odvojen sistem za pripremu (drobilice, mlinovi) i doziranje goriva (zajednički ili zasebni gorionici), zavisno od karakteristika goriva koja se kosagorevaju. Za ovu opciju potrebna su najmanja investiciona ulaganja, posebno ako se koriste isti sistemi za pripremu i doziranje goriva. Međutim, kod ovakvog načina kosagorevanja, ukoliko nisu dobro poznate karakteristike i jednog i drugog goriva, te ukoliko nisu određeni odgovarajući odnosi masa goriva koja se kosagorevaju, mogu se javiti problemi pri pripremi i doziranju mešanog goriva (gušenje mlinova, taloženje griva u kanalima gorionika i sl.), kao i stvaranje naslaga mineralnog dela goriva na grejnim površinama termoenergetskog postrojenja (Slika 13).



Slika 13 Direktno kosagorevanje [34]

## 2. Indirektno kosagorevanje

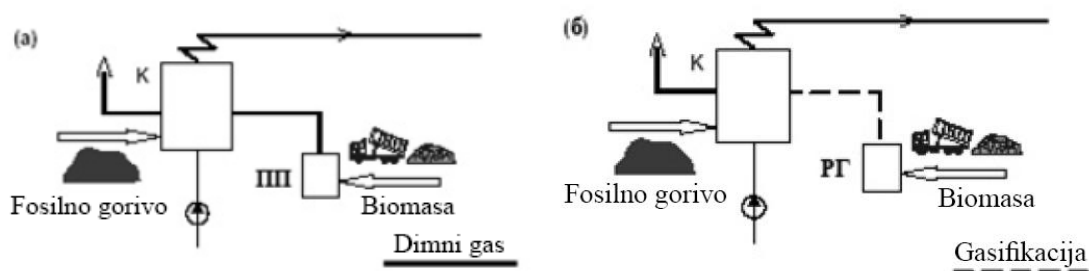
Primenjuju se dve varijante indirektnog kosagorevanja (Slika 14):

- a) biomasa ili biogas (gasovito gorivo dobijeno iz biomase) sagoreva u posebnom predložištu, a dimni gasovi (mogu biti bogati ugljen-monoksidom) uvode se (na dogorevanje) u ložište u kome sagoreva uglj
- b) biomasa se prethodno gasifikuje i tako dobijeni gas se uvodi kroz posebne gorionike u ložište na uglj

Kod obe varijante sistemi za pripremu i doziranje (transport) goriva u ložište su nezavisni. Pepeo različitih vrsta goriva koja se kosagorevaju se ne meša. Pogodnosti koje ovakvi tehnološki sistemi imaju ogledaju se u tome što su praktično prevaziđeni svi



glavni tehnički problem koje može da ima prethodno opisani sistem direktnog kosagorevanja, pa je moguć i mnogo veći udeo biomase pri kosagorevanju sa ugljem. Međutim, investicioni troškovi kod ovakvih postrojenja su znatno veći nego u prethodnom slučaju. Primeri za uspešne sisteme sa indirektnim kosagorevanjem uglja i biomase su postrojenja instalirana u Austriji (Zeltweg), Finskoj (Lahti) i Holandiji (Geertruidenberg).



Slika 14 Prikaz varijanti direktnog i indirektnog kosagorevanja uglja i biomase [34]

### 3.3.4 Proces kosagorevanja uglja (kolubarskog lignita) i biomase u revitalizovanom postrojenju

Za Opciju 3 u procesu kosagorevanja uglja (kolubarskog lignita) i biomase, predviđeno je da se 95% električne energije dobija iz uglja, a ostatak iz biomase. Donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita) iznosi 7.000 kJ/kg, a biomase 12.000 kJ/kg. Specifična potrošnja toplote iznosi 12.500 kJ/kWh. Na osnovu ovih podataka formirani su indikatori resursa, ekonomski, ekološki i socijalni indikatori:

#### Indikator resursa za Opciju 3

Za Opciju 3 formiran je indikator resursa koji se sastoji iz dva podindikatora:

1. Podindikator proizvodnje uglja ( $I_{ugl}$  [t]) koji pokazuje koja količina uglja će se utrošiti u procesu sagorevanja u projektovanom radnom veku termobloka. Vrednost podindikatora proizvodnje uglja za Opciju 1 iznosi:

$$I_{ugl.} = 6.959.970[t]$$

Pored ove utrošene količine uglja u procesu proizvodnje električne energije utroši se i količina biomase koja iznosi 213.333 [t].

2. Podindikator proizvodnje električne energije  $I_{pr.e.e.} [kWh]$  koji pokazuje količinu električne energije koja će se proizvesti u projektovanom radnom veku termobloka pri specifičnoj potrošnji 12.500 kJ/kWh:

$$I_{pr.e.e.} = 3.624.960.000 [kWh]$$

Ekonomski indikator za Opciju 3

Za analizu Opcije 3 formiran je ekonomski indikator koji se sastoji od dva podindikatora:

1. Podindikator proizvodne cene električne energije ( $I_{c.e.e.} [\frac{€}{kWh}]$ ) koji u sebi sadrži troškove cene goriva (uglja – kolubarski lignit i biomasa), održavanja, remonta i troškove radne snage u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{c.e.e.} = 0,033 \left[ \frac{€}{kWh} \right]$$

2. Podindikator investicija ( $I_{inv} [\frac{€}{kWh}]$ ) koji predstavlja ulaganja koja su potrebna da bi se termoblok revitalizovao i ispunio tehničke karakteristike potrebne za rad u projektovanom radnom veku:

$$I_{inv.} = 0.0026 \left[ \frac{€}{kWh} \right]$$

## Ekološki indikator za Opciju 3

Za Opciju 3 definisan je ekološki indikator koji se sastoji iz četiri podindikatora:

1. Podindikator emisije CO<sub>2</sub> ( $I_{CO_2} \left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja emisiju ugljen-dioksida nastalog u procesu sagorevanja uglja (kolubarskog lignita i biomase) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{CO_2} = 1,44 \left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} \right]$$

2. Podindikator emisije SO<sub>2</sub> ( $I_{SO_2} \left[ \frac{\text{gSO}_2}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja emisiju sumpornih oksida nastalih u procesu sagorevanja uglja (kolubarskog lignite i biomase) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{SO_2} = 19,3 \left[ \frac{\text{gSO}_2}{\text{kWh}} \right]$$

3. Podindikator emisije NO<sub>x</sub> ( $I_{NO_x} \left[ \frac{\text{gNO}_x}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja emisiju azotnih oksida nastalih u procesu sagorevanja uglja (kolubarskog lignite i biomase) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{NO_x} = 3,88 \left[ \frac{\text{gNO}_x}{\text{kWh}} \right]$$

4. Podindikator emisije praškastih materija ( $I_{pr.mat.} \left[ \frac{\text{g pr.mat.}}{\text{kWh}} \right]$ ) predstavlja emisiju praškastih materija nastalih u procesu sagorevanja uglja (kolubarskog lignite i biomase) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka i takođe predstavlja efikasnost elektrofilterskog postrojenja kao dela termobloka:

$$I_{pr.mat.} = 0,48 \left[ \frac{\text{g pr.mat.}}{\text{kWh}} \right]$$

## Socijalni indikator za Opciju 3

Za Opciju 3 definisan je socijalni indikator koji sadrži šest podindikatora:

1. Podindikator plata (  $I_{plata} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$  ) koji predstavlja utrošena sredstva za radnu snagu po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{plata} = 0,0065 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

2. Podindikator zaposlenih (  $I_{zap.}[-]$  ) koji predstavlja broj osoblja potrebnog za funkcionisanje termobloka u projektovanom radnom veku postrojenja:

$$I_{zap.} = 100[-]$$

3. Podindikator lokalne zajednice (  $I_{l.k.zaj.} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$  ) predstavlja novčana izdvajanja postrojenja prema lokalnoj zajednici (na čijoj teritoriji se nalazi termoblok) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku:

$$I_{l.k.zaj.} = 0,0005 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

4. Podindikator povreda na radu (  $I_{pov.radu}[-]$  ) predstavlja broj povreda na zaposlenih koji je nastao u procesu proizvodnje:

$$I_{pov.radu} = 6 [-]$$

5. Podindikator bolovanja (  $I_{bol.} \left[ \frac{\text{h}}{\text{god}} \right]$  ) predstavlja odsustovanja zaposlenih na godišnjem nivou:

$$I_{bol.} = 11.830 \left[ \frac{\text{h}}{\text{god}} \right]$$

6. Podindikator pouzdanosti snabdevanja ( $I_{pz.snab. [-]}$ ) predstavlja vrednost koja je vezana za resurse, uvoz energenta i mogućnost eksploatacije (obnovljivi izvori energije). U analiziranoj Opciji 2 za proces proizvodnje se koristi ugalj (kolubarski lignit) i biomasa i s obzirom na dostupnost uglja i moguću eksploataciju kao domaćeg energenta i mogućnost proizvodnje biomase na teritoriji Republike Srbije ima visoku pouzdanost:

$$I_{pz.snab.} = 0,8 [-]$$

### 3.4 Revitalizacija bloka 2 TE "Kolubara A" na bazi kosagorevanja uglja (kolubarski lignit) i otpadnih materija u kondenzacionom režimu

U okviru PD RB "Kolubara" d.o.o. posluje i Ogranak "Prerada", koja vrši transport, preradu i oplemenjivanje uglja sa površinskih kopova "Polje D" i "Polje B". Sa tehničko-tehnološkog aspekta, čine ga sledeći proizvodni pogoni: suva separacija, oplemenjivanje uglja (mokra separacija, sušara i toplana) i železnički transport. Procesi otkopavanja, transporta, presipanja i sušenja kolubarskog uglja generišu velike količine sušenog ugljenog praha i drugih otpadnih materijala koji višestruko otežavaju radne aktivnosti i zagađuju životnu sredinu. U suvoj separaciji se obavlja usitnjavanje i klasiranje uglja u količini od oko 9.700.000 t godišnje [47].

Mokra separacija preraduje oko 3.000.000 tona lignita godišnje. Ova tehnologija obuhvata procese čišćenja uglja u gustom suspenziji, zatim sušenje i klasiranje. Kao otpadni proizvod iz ovog procesa javlja se jalovina u godišnjoj količini od oko 200.000 t koja se žičarom transportuje do deponije u Polje „D“.

Sušenje, prethodno pripremljenog lignita, obavlja se po postupku "Fleissner" u autoklavama sa pregrejanom vodenom parom. Projektovani kapacitet sušare je 855.000 t, ali se poslednjih godina ostvaruje proizvodnja od 450.000 – 650.000 t lignita godišnje [47].

U okviru pogona „Oplemenjivanje uglja“ radi "Toplana", koja proizvodi tehnološku paru za potrebe pogona sušare, kao i za grejanje grada Lazarevca. Toplana ima dva parna kotla, ukupne proizvodnje pare od 2 x 60 t/h, pri potrošnji lignita od 63,2 t/h.

Otpadne vode Mokre separacije Sušare kao i sakupljene otpadne vode od pranja proizvodnih pogona uključujući i Toplanu, podvrgavaju se kompletnoj obradi pre ispuštanja u recipijent. Pre svega se vrši taloženje čvrstih čestica u taložniku otpadne vode, a prelivna voda upućuje na dalju obradu. Sve prethodno navedene otpadne materije, koje nastaju u procesu prerade uglja u pogonima ogranka "Kolubara Prerada", imaju nepovoljan uticaj na životnu sredinu.

Značajne negativne uticaje na životnu sredinu imaju: sušeni ugljeni prah, talog iz procesa sušenja uglja i talog iz otpadne vode mokre separacije.

Ugljevi niske toplotne moći, koji se odlažu na unutrašnjim odlagalištima površinskih kopova, predstavljaju neobnovljivi gubitak prirodnog resursa. Ovako odloženi material, takozvani glinoviti ugalj ili ugljevita glina, ne meša se sa lignitom više toplotne moći, već se nepovratno odlaže. U slojevima ovako odloženog materijala, koji sadrži ugalj, vrlo često dolazi do samoupale i emisije štetnih gasova u atmosferu.

Biomassom, koja se uklanja sa prostora nastupajućih rudarskih aktivnosti, neadekvatno se upravlja, što samo po sebi predstavlja gubitak kvalitetnog resursa sa širokim mogućnostima korišćenja.

#### 3.4.1 Otpadni materijali iz procesa sušenja uglja

##### Ugljena prašina iz procesa sušenja uglja

U procesu klasiranja sušenog uglja izdvaja se sušeni ugljeni prah klase -5+0 mm. Procenjena količina sušenog ugljenog praha kreće se između 27.000 i 45.000 tona na godišnjem nivou.

Proizvodnja sušenog uglja je u 2009. godini iznosila 464.631 tona, a u 2010. godini 556.105 tona (projektovano učešće sušenog ugljenog praha iznosi 8-10 % od ukupne proizvodnje sušenog uglja).

Prema raspoloživim podacima, srednje vrednost donje toplotne vrednosti sušenog ugljenog praha iznosi  $H_d=15.600$  kJ/kg [47].

U dosadašnjem period rada pogona sušara, sušena ugljena prašina, tj. klasa prah, se sagoreva u TE „Kolubara“-A и TE „Morava“ kao dodatak redovnom uglju i to u manjem procentu.

#### Talog iz kondenzata- sitne frakcije uglja

Kao rezultat procesa u autoklavama nastaje kondenzat koji sadrži sitne frakcije uglja. U procesu primarnog prečišćavanja ovih voda izdvaja se talog u betonskim bazenima u količini od 8.000 do 10.000 tona godišnje, ili 800-850 tona/mesečno. Sitna frakcija uglja je, po dosadašnjim podacima, klase - 5+0 mm, donje toplotne moći  $H_{dv} = 4.000 - 6.000$  kJ/kg sa vlažnošću 40-78% [47]. Taloženje materijala se odvija kontinualno, punjenjem tri betonska taložnika tako što se prvi betonski taložnik puni kondenzatom, u oviru drugog betonskog taložnika dolazi do ceđenja kondenzata dok se treći taložnik prazni budući da se u njemu nalazi oceden kondenzat. Sva tri betonska taložnika prolaze kroz sve faze postupka: punjenje, ceđenje i pražnjenje. Ovaj materijal, kao oceden, prodaje se preduzećima za proizvodnju građevinskog materijala.

#### Talog iz prečišćavanja otpadnih voda mokre separacije, sušare i toplane

U tehnološkom procesu prerade i oplemenjivanja uglja nastaju otpadne vode Mokre separacije, iz Sušare i Toplane koje se prečišćavaju u postrojenju otpadnih voda. Pri tome nastaje talog u kaseti taložnika. Trenutno postoje dve pune kasete koje nisu aktivne, ukupne površine 10,3 ha i treća aktivna kasete površine 3,25 ha [47]. Količina istaloženog materijala u ovim taložnicima iznosi približno 900.000 tona od čega u neaktivnim kasetama 568.000 tona što sa izdvojenim količinama za transport iznosi 613.000 tona. Ne raspolaže se tačnim podacima o količinama ovog otpadnog materijala

na godišnjem nivou ali se procenjuju na 12.500 tona. Količine se kreću do 15.000 tona, u početnom periodu rada, do oko 8.000 tona, koliko je bilo od kraja sedamdesetih [16].

#### Odložena jalovina u krugu prerade, Kolubara prerada

U pogonu mokre separacije u procesu čišćenja uglja izdvaja se na godišnjem nivou približno 200.000 tona jalovine, klasa krupnoće -150+30 mm, donje toplotne vrednosti  $Q_{dv} = 600 - 2.000$  kJ/kg, vlažnosti oko 35 %. Jalovina se žičarom odlaže na obodu Polje "D". Mali deo jalovine se prodaje po ceni od 100 dinara/tona, a preuzeta količina zaključno sa septembrom 2010. godinu je svega 5.128 tona. Na prostoru odložene jalovine javlja se često samopaljenje, što dovodi do emisije gasova sa negativnim uticajem, pre svega, na lokalno stanovništvo. U pogon mokre separacije doprema se ugalj sa površinskih kopova Polje „B i C“ i Polje „D“ gde se vrši njegovo usitnjavanje i čišćenje. Posle primarnog usitnjavanja, ugalj se doprema u odeljenje sekundarnog drobljenja gde se osim klasiranja i usitnjavanja vrši i ručno izdvajanje krupnih komada jalovine, ksilita (lika) i eventualno metalnih i drvenih predmeta. Ksilit (lika) klase krupnoće +150 mm se ručno odvaja na prebirmim trakama. Količina ovog materijala, drvenaste strukture, zavisi od strukture ugljenog sloja i iznosi približno pedesetak tona na mesečnom nivou. Donja toplotna vrednosti ovog materijala je 10.200 kJ/kg, vlažnosti oko 50%. Uzorci odložene jalovine uzorkovani su u samom krugu postrojenja Kolubara prerade [47].

#### Biomasa

Šumski otpad koji nastaje od sanitarne seče na površini od oko 600 ha šuma, koje su vlasništvo RB "Kolubara", kao i šumski otpad koji nastaje napredovanjem površinskih kopova, procenjen je na ukupnu zapreminu od oko 4.175 m<sup>3</sup>. Od toga 500 m<sup>3</sup> otpada je od četinarara, 2.000 m<sup>3</sup> od lišćara i oko 1.660 m<sup>3</sup> su panjevi. Ovaj drvni otpad se do sada nije koristio. Osim razmatranja navedenog, takođe je bilo potrebno razmotriti mogućnosti korišćenja i dodatnih količina uzgajane biomase. Pored navedenog fonda biomase na trenutno raspoloživih 150 ha rekultivisanog poljoprivrednog zemljišta, moguće je izvršiti prenamenu za uzgajanje brzorastućih vrsta za proizvodnju biomase.



U nekom budućem periodu, a sve u skladu sa Prostornim planom posebne namene za eksploataciju Kolubarskog lignita, predviđeno je stvaranje novih rekultivisanih površina po sledećem modelu: šumsko zemljište na oko 65 km<sup>2</sup>, a poljoprivredne površine na oko 42 km<sup>2</sup> [47]. Sve ovo ukazuje na mogućnost proizvodnje biomase na rekultivisanim površinama i stvaranje dobre baze za proizvodnju energije iz obnovljivih izvora. Okruženje RB "Kolubara" je takvo da se očekuje proizvodnja biomase i na privatnim posedima, što može biti dobra osnova za dalja unapređenja i razvoj.

#### Ostali otpadni materijali nastali u procesu rada RB Kolubara

U okviru RB "Kolubara" generišu se znatne količine industrijskog otpada kao što su: otpadni pneumatiki i gume od transportnih traka, otpadna ulja i drugi sagoriv industrijski otpad koji može biti potencijalno gorivo za korišćenje u energetske svrhe. Procenjena količina pneumatika je 45-50 t/godišnje, a otpadnog ulja od 350–400 t/godišnje. Kao potencijalno gorivo se ovde smatraju preostale količine pneumatika i ulja koje nisu mogle biti vraćene u upotrebu postupkom regenerisanja. Prema Programu uzorkovanja potrebno je bilo uzeti uzorak iz jednog velikog pneumatika, jedan komad transportne trake, tri uzorka otpadnog ulja po vrstama. Proces uzorkovanja je sproveden tako što su uzorkovana dva pneumatika (letnji i zimski), transportna traka, gumeni prstenovi sa rolni, gumena traka, jedan uzorak reduktorskog ulja, dva uzorka hidrauličkog ulja, jedan uzorak transmisionog ulja i jedan uzorak motornog ulja. Od analiza potrebno je bilo odrediti donju toplotnu moć i elementarnu analizu, a za otpadna ulja dodatno i sadržaj vode kao i mehaničke nečistoće [48].

#### Prednosti kosagorevanje uglja i otpadnih materija nastalih u procesu rada RB Kolubara

Mogućim kosagorevanjem kolubarskog lignita i otpadnih materija nastalih u procesu rada RB Kolubara javlja se veliki broj pozitivnih efekata od kojih su najbitniji ekološki, ekonomski i socijalni.

Ekološki efekti odslikavaju se u tome što se kosagorevanjem kolubarskog lignita i otpadnih materija smanjuje emisija gasova staklene bašte zbog niže toplotne moći otpadnih materija i smanjuju se količine otpada.

Mogućim kosagorevanjem kolubarskog lignita i otpadnih materija nastalih u procesu proizvodnje u okviru RB Kolubara smanjile bi se dosadašnje potrebe za lignitom koji se koristi za proizvodnju električne energije. Time se štede resursi (očuvanje rezervi lignita), vrše se ekonomske uštede i stvara se potreba za otvaranjem radnih mesta.

### 3.4.2 Proces kosagorevanja uglja (kolubarskog lignita) i otpadnih materija u revitalizovanom postrojenju

Za Opciju 4 u procesu kosagorevanja uglja (kolubarskog lignita) i otpadnih materija, predviđeno je da se 90% električne energije dobija iz uglja, a ostatak iz otpadnih materija. Donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita) iznosi 7.000 kJ/kg, a otpadnih materija 3.000 kJ/kg. Specifična potrošnja toplote iznosi 12.500 kJ/kWh. Na osnovu ovih podataka formirani su indikatori resursa, ekonomski, ekološki i socijalni indikatori:

Indikator resursa za Opciju 4

Za Opciju 4 formiran je indikator resursa koji se sastoji iz dva podindikatora:

1. Podindikator proizvodnje uglja ( $I_{ugl}$  [t]) koji pokazuje koja količina uglja će se utrošiti u procesu sagorevanja u projektovanom radnom veku termobloka. Vrednost podindikatora proizvodnje uglja za Opciju 1 iznosi:

$$I_{ugl} = 6.695.084[t]$$

Pored ove utrošene količine uglja u procesu proizvodnje električne energije utroši se i količina otpadnih materija koja iznosi 1.733.333 [t].

2. Podindikator proizvodnje električne energije  $I_{pr.e.e.}$  [kWh] koji pokazuje količinu električne energije koja će se proizvesti u projektovanom radnom veku termobloka pri specifičnoj potrošnji 12.500 kJ/kWh:

$$I_{pr.e.e.} = 3.681.600.000 \text{ [kWh]}$$

Ekonomski indikator

Unutar analize Opcije 4 formiran je ekonomski indikator koji se sastoji od dva podindikatora:

1. Podindikator proizvodne cene električne energije ( $I_{c.e.e.}$  [ $\frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ ]) koji u sebi sadrži troškove cene goriva (uglja – kolubarski lignit i otpadne materije), održavanja, remonta i troškove radne snage u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{c.e.e.} = 0,0295 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

2. Podindikator investicija ( $I_{inv.}$  [ $\frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ ]) koji predstavlja ulaganja koja su potrebna da bi se termoblok revitalizovao i ispunio tehničke karakteristike potrebne za rad u projektovanom radnom veku:

$$I_{inv.} = 0,0023 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

Ekološki indikator

Za Opciju 4 definisan je ekološki indikator koji se sastoji iz četiri podindikatora:

1. Podindikator emisije CO<sub>2</sub> ( $I_{CO_2}$  [ $\frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}}$ ]) koji predstavlja emisiju ugljen-dioksida nastalog u procesu sagorevanja uglja (kolubarskog lignita i otpadnih materija) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{CO_2} = 1,55 \left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} \right]$$

2. Podindikator emisije  $SO_2$  ( $I_{SO_2} \left[ \frac{\text{gSO}_2}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja emisiju sumpornih oksida nastalih u procesu sagorevanja uglja (kolubarskog lignite i biomase otpadnih materija) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{SO_2} = 22,9 \left[ \frac{\text{gSO}_2}{\text{kWh}} \right]$$

3. Podindikator emisije  $NO_x$  ( $I_{NO_x} \left[ \frac{\text{gNO}_x}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja emisiju azotnih oksida nastalih u procesu sagorevanja uglja (kolubarskog lignite i biomase otpadnih materija) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{NO_x} = 3,95 \left[ \frac{\text{gNO}_x}{\text{kWh}} \right]$$

4. Podindikator emisije praškastih materija ( $I_{pr.mat.} \left[ \frac{\text{g pr.mat.}}{\text{kWh}} \right]$ ) predstavlja emisiju praškastih materija nastalih u procesu sagorevanja uglja (kolubarskog lignite i otpadnih materija) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka i takođe predstavlja efikasnost elektrofilterskog postrojenja kao dela termobloka:

$$I_{pr.mat.} = 0,63 \left[ \frac{\text{g pr.mat.}}{\text{kWh}} \right]$$

## Socijalni indikator

Za Opciju 4 definisan je socijalni indikator koji sadrži šest podindikatora:

1. Podindikator plata (  $I_{plata} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$  ) koji predstavlja utrošena sredstva za radnu snagu po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{plata} = 0,0065 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

2. Podindikator zaposlenih (  $I_{zap.} [-]$  ) koji predstavlja broj osoblja potrebnog za funkcionisanje termobloka u projektovanom radnom veku postrojenja:

$$I_{zap.} = 100 [-]$$

3. Podindikator lokalne zajednice (  $I_{l.k.zaj.} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$  ) predstavlja novčana izdvajanja postrojenja prema lokalnoj zajednici (na čijoj teritoriji se nalazi termoblok) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku:

$$I_{l.k.zaj.} = 0,00068 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

4. Podindikator povreda na radu (  $I_{pov.radu} [-]$  ) predstavlja broj povreda na zaposlenih koji je nastao u procesu proizvodnje:

$$I_{pov.radu} = 5 [-]$$

5. Podindikator bolovanja (  $I_{bol.} \left[ \frac{\text{h}}{\text{god}} \right]$  ) predstavlja odsustovanja zaposlenih na godišnjem nivou:

$$I_{bol.} = 10.290 \left[ \frac{\text{h}}{\text{god}} \right]$$

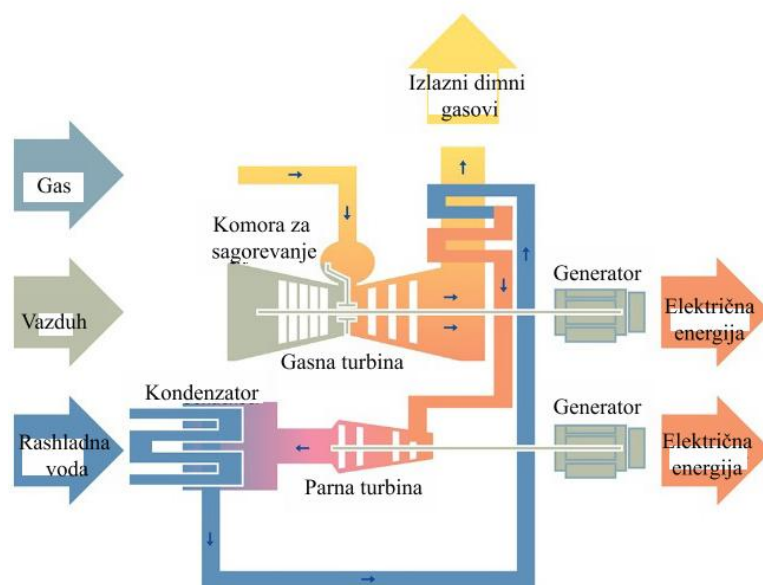
6. Podindikator pouzdanosti snabdevanja ( $I_{pz.snab.} [-]$ ) predstavlja vrednost koja je vezana za resurse, uvoz energenta i mogućnost eksploatacije (obnovljivi izvori energije). U analiziranoj Opciji 4 za proces proizvodnje se koristi ugalj (kolubarski lignit) i otpadne materije i s obzirom na dostupnost uglja i otpadnih materija domaćih energenata ima visoku pouzdanost:

$$I_{pz.snab.} = 0,9 [-]$$

### 3.5 Revitalizacija bloka 2 TE "Kolubara A" na gas u kondenzacionom režimu (kombinovano gasno – parno postrojenje)

Analize koje se odnose na proizvodnju energije su pokazale da je elektrana sa kombinovanim postrojenjem (Slika 15), zahvaljujući vrlo značajnom smanjenju kapitalnih troškova i znatnom povećanju sveukupne efikasnosti u odnosu na druga konvencionalna postrojenja, prvi izbor za proizvodnju električne i toplotne energije. Takođe, tome treba dodati mogućnost ostvarenja proizvodnje u širokom dijapazonu opterećenja (fleksibilnost postrojenja) i izuzetno kratak period ulaska postrojenja u rad [42].

Povećanje ukupne efikasnosti kombinovanih postrojenja leži u činjenici da dovođenje toplote se vrši pri znatno višoj prosečnoj temperaturi u odnosu na odvojeni gasni proces. U ovom slučaju se razmatralo kombinovano gasno-parno postrojenje snage na pragu od 32 MW, u kondenzacionom režimu rada. Najveća prednost ove opcije je niska specifična potrošnja toplote koja iznosi oko 7.000 kJ/kWh [42]. Osim toga postižu se znatno niži investicioni troškovi, fleksibilnost postrojenja i manje zagađenje životne sredine. Za proračun se koristi donja toplotna moć prirodnog gasa od 34.432 kJ/m<sup>3</sup>. Na osnovu ovih podataka formirani su indikatori resursa, ekonomski, ekološki i socijalni indikatori:



Slika 15 Prikaz kombinovanog gasno – parnog postrojenja [43]

Indikator resursa za Opciju 5

Za Opciju 5 formiran je indikator resursa koji se sastoji iz dva podindikatora:

1. Podindikator proizvodnje uglja ( $I_{ugl.}$  [t]) koji pokazuje koja količina uglja će se utrošiti u procesu sagorevanja u projektovanom radnom veku termobloka. Vrednost podindikatora proizvodnje uglja za Opciju 5 iznosi:

$$I_{ugl.} = 4.489.367[t ]$$

Indikator uglja za Opciju 5 predstavlja količinu uglja donje toplotne moći 7.000 kJ/kg koja bi se utrošila u procesu proizvodnje električne energije kada bi se sagorevala umesto prirodnog gasa.

2. Podindikator proizvodnje električne energije  $I_{pr.e.e.}$  [kWh] koji pokazuje količinu električne energije koja će se proizvesti u projektovanom radnom veku termobloka pri specifičnoj potrošnji 7.000 kJ/kWh:

$$I_{pr.e.e.} = 4.166.400.000 \text{ [kWh]}$$

Ekonomski indikator

Unutar analize Opcije 4 formiran je ekonomski indikator koji se sastoji od dva podindikatora:

1. Podindikator proizvodne cene električne energije ( $I_{c.e.e.}$  [ $\frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ ]) koji u sebi sadrži troškove cene goriva (prirodni gas), održavanja, remonta i troškove radne snage u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{c.e.e.} = 0,088 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

3. Podindikator investicija ( $I_{inv.}$  [ $\frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ ]) koji predstavlja ulaganja koja su potrebna da bi se termoblok revitalizovao i ispunio tehničke karakteristike potrebne za rad u projektovanom radnom veku:

$$I_{inv.} = 0,0046 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

Ekološki indikator

Za Opciju 4 definisan je ekološki indikator koji se sastoji iz četiri podindikatora:

1. Podindikator emisije CO<sub>2</sub> ( $I_{CO_2}$  [ $\frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}}$ ]) koji predstavlja emisiju ugljen-dioksida nastalog u procesu sagorevanja uglja (prirodni gas) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{CO_2} = 0,42 \left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} \right]$$



2. Podindikator emisije  $\text{SO}_2$  ( $I_{\text{SO}_2} \left[ \frac{\text{gSO}_2}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja emisiju sumpornih oksida nastalih u procesu sagorevanja uglja (prirodni gas) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{\text{SO}_2} = 0,072 \left[ \frac{\text{gSO}_2}{\text{kWh}} \right]$$

3. Podindikator emisije  $\text{NO}_x$  ( $I_{\text{NO}_x} \left[ \frac{\text{gNO}_x}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja emisiju azotnih oksida nastalih u procesu sagorevanja uglja (prirodni gas) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{\text{NO}_x} = 0,62 \left[ \frac{\text{gNO}_x}{\text{kWh}} \right]$$

4. Podindikator emisije praškastih materija ( $I_{pr.mat.} \left[ \frac{\text{g pr.mat.}}{\text{kWh}} \right]$ ) predstavlja emisiju praškastih materija nastalih u procesu sagorevanja uglja (prirodni gas) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka i takođe predstavlja efikasnost elektrofilterskog postrojenja kao dela termobloka:

$$I_{pr.mat.} = 0,01 \left[ \frac{\text{g pr.mat.}}{\text{kWh}} \right]$$

## Socijalni indikator

Za Opciju 4 definisan je socijalni indikator koji sadrži šest podindikatora:

1. Podindikator plata ( $I_{plata} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja utrošena sredstva za radnu snagu po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{plata} = 0,0016 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

2. Podindikator zaposlenih ( $I_{zap.}[-]$ ) koji predstavlja broj osoblja potrebnog za funkcionisanje termobloka u projektovanom radnom veku postrojenja:

$$I_{zap.} = 25 [-]$$

3. Podindikator lokalne zajednice ( $I_{l.k.zaj.} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$ ) predstavlja novčana izdvajanja postrojenja prema lokalnoj zajednici (na čijoj teritoriji se nalazi termoblok) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku:

$$I_{l.k.zaj.} = 0,00024 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

4. Podindikator povreda na radu ( $I_{pov.radu}[-]$ ) predstavlja broj povreda na zaposlenih koji je nastao u procesu proizvodnje:

$$I_{pov.radu} = 2 [-]$$

5. Podindikator bolovanja ( $I_{bol.} \left[ \frac{\text{h}}{\text{god}} \right]$ ) predstavlja odsustovanja zaposlenih na godišnjem nivou:

$$I_{bol.} = 1286 \left[ \frac{\text{h}}{\text{god}} \right]$$

6. Podindikator pouzdanosti snabdevanja ( $I_{pz.snab.} [-]$ ) predstavlja vrednost koja je vezana za resurse, uvoz energenta i mogućnost eksploatacije (obnovljivi izvori energije). U analiziranoj Opciji 5 za proces proizvodnje se koristi prirodni gas i s obzirom da je prirodni gas uvozni energent nema visoku pouzdanost:

$$I_{pz.snab.} = 0,3 [-]$$

## 3.6 Proizvodnja električne energije snage 32 MW iz vetrogeneratora

### 3.6.1 Potencijali vetra

U prirodi postoje tokovi energije nastali kao direktna posledica dospele Sunčeve energije na Zemlju. Međutim zbog svog kretanja oblika i nagnutosti ose rotacije istovremeno površina planete ne dobija ravnomernu količinu energije. Tome treba dodati i raznolikost reljefa čime se neki efekti povećavaju ili ublažavaju (različite vrste zemljišta i voda različito absorbuju Sunčevo zračenje). Zbog toga se javlja razlika u temperaturi koja za posledicu ima kretanje vazduha, odnosno javlja se vetar. Ukupna solarna radijacija koja je primljena na Zemlji iznosi oko 180.000 TW godišnje, a ukupna godišnja svetska potrošnja električne energije iznosi 1.5 TW na godišnjem nivou [48]. Iako se svega 3 % energije Sunca dospele na površinu planete pretvara u kretanje vazdušnih masa, snaga nije zanemarljiva. Naprotiv, radi se o ogromnoj količini dostupne energije, uz pogodnost da je ima svih 24h i na jako nepristupačnim mestima [49].

Za samo dve decenije od 1980.-2000. godine industrija proizvodnje električne energije iz vetrogeneratora porasla je od nekoliko eksperimentalnih turbina do vrednosti od nekoliko milijardi dolara godišnje na svetskom tržištu. Početkom 2000. godine instalisani kapacitet iznosio je 13.000 MW, da bi krajem 2015. godine prema podacima Evropske Agencije za vetar na području Evrope instalisani kapacitet iznosio oko 110.000 MW [50].

### 3.6.2 Energija vetra

Kinetička energija protoka vazduha  $V$  koji se kreće brzinom  $u$  predstavljena je sledećom jednačinom:

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V \cdot u^2 \quad (1)$$

gde je:

$E_k$  [J] – kinetička energija

$\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] – gustina vazduha

$V$  [m<sup>3</sup>] – protok vazduha

$u$  [m/s] - brzina vazduha

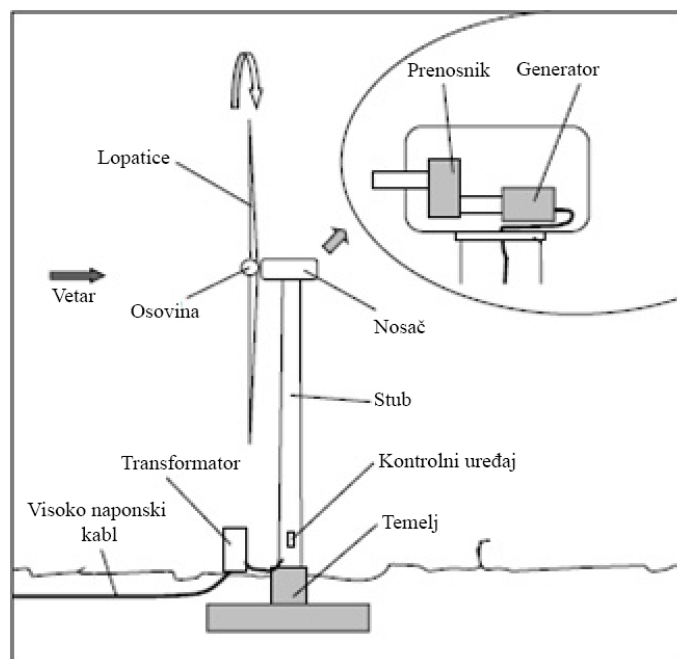
Snaga je definisana kao rad u jedinici vremena ili promena kinetičke energije po vremenu  $\frac{d(E_k)}{dt}$ . Da bi se dobio izraz za snagu, prethodnu jednačinu možemo prikazati kao:

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (A \cdot dx) \cdot u^2 \quad (2)$$

gde je protok  $V$  izražen kao površina ( $A$ ) normalna na kretanje vetra pomnožena sa horizontalnim pomerajem ( $dx$ ) kretanja vetra, pa onda izraz za snagu ( $P$ [W]) izgleda:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot u^3 \quad (3)$$

Na Slici 16 prikazan je princip rada vetrogeneratora



Slika 16 Princip rada vetrogeneratora [49]

### 3.6.3 Instalirani kapaciteti vetrogeneratora na području Evrope

Tokom 2014. godine širom Evrope instalirano je 12.744 MW iz energije vetra [50]. U okviru zemalja Evropske unije instalirano je 11.895 MW, a ostatak od 1.166 MW u zemljama koje nisu članice EU. Investicije u proizvodnju električne energije dobijene iz energije vetra iznosila je između 12,8 i 17,2 milijardi €. Najviše instaliranih kapaciteta u 2014. godini je na teritoriji SR Nemačke 2.415 MW, UK je na drugom mestu sa 1.897 MW, a Italija na trećem sa 1.273 MW. Instalirana snaga vetrogeneratora je u 2015. godini porasla za 26,5 % što predstavlja drugi najveći porast posle fotovoltaike (37%), a ispred instaliranih kapaciteta na gas (23%) [51]. U tabeli 10 je prikazana instalirana snaga vetrogeneratora na području Evrope prema podacima EWEA (The European Wind Energy Association) [53], a u tabeli 11 instalirana snaga vetrogeneratora na teritoriji zemalja kandidata.

Tabela 10 Instalirana snaga vetrogeneratora na području EU [51]

	Instalirano 2014.	Ukupno 2014.	Instalirano 2015.	Ukupno 2015.
Instalirana snaga vetrogeneratora u EU (MW)				
Austrija	73	1.084	296	1.378
Belgija	191	1.078	297	1.375
Bugarska	28	516	168	684
Kipar	52	134	13	147
Češka	2	217	44	260
Danska	211	3.956	217	4.162
Estonija	35	184	86	269
Finska	2	199	89	268
Francuska	830	6.807	757	7.564
Nemačka	2.100	29.071	2.415	31.308
Grčka	316	1.634	117	1.749
Mađarska	34	329	0	68
Irska	208	1.614	125	225
Italija	1.090	6.878	1.273	8.144
Letonija	17	48	21	68
Litvanija	16	179	46	225
Luksemburg	1	45	0	45
Malta	0	0	0	0
Holandija	59	2.272	119	2.391
Poljska	436	1.616	880	2.497
Portugal	341	4.379	145	4.525
Rumunija	520	982	923	1.905
Slovačka	0	3	0	3
Slovenija	0	0	0	0
Španija	1.050	21.674	1.122	22.796
Švedska	754	2.899	846	3.745
UK	1.298	6.556	1.897	8.445
Ukupno	9.664	94.352	11.895	106.040

Tabela 11 Instalirana snaga vetrogeneratora na teritoriji zemalja kandidata EU [51]

	Instalirano 2011	Ukupno 2011	Instalirano 2012	Ukupno 2012
<b>Zemlje kandidati (MW)</b>				
Hrvatska	52	131	48	180
BJRM	0	0	0	0
Srbija	0	0	0	0
Turska	477	1.806	506	2.312
Ukupno	529	1.937	554	2.492
<b>EFTA (MW)</b>				
Island	0	0	0	0
Lihtenštajn	0	0	0	0
Norveška	99	537	166	703
Švajcarska	3	46	4	50
Ukupno	102	583	170	753
<b>Druge zemlje (MW)</b>				
Farska ostrva	0	4	0	4
Ukrajina	66	151	125	276
Rusija	0	15	0	15
Ukupno	66	170	125	295

#### Socijalni efekti proizvodnje električne energije iz vetrogeneratora

Električna energija proizvedena u vetrogeneratorima je postala važan činilac na svetskom energetsom tržištu. Gradnjom vetroelektrana otvaraju se nova radna mesta. Ova grana energetike u svetu trenutno zapošljava preko 400. 000 ljudi, a očekuje se da će u bliskoj budućnosti ova cifra iznositi nekoliko miliona [51].

#### Novo postrojenje za proizvodnju električne energije iz vetrogeneratora snage 32 MW

Unutar Opcije 6 predviđa se postavljanje 16 vetrogeneratora svaki snage 2 MW na teritoriji opštine Vršac gde je srednja prosečna godišnja brzina strujanja vetra 5 m/s [52]. Postavljaju se vetrogeneratori model Gamesa G87 gde je dužina lopatice rotora iznosi 50 m. Na osnovu ovih podataka formirani su indikatori resursa, ekonomski, ekološki i socijalni indikatori za Opciju 6:

## Indikator resursa za Opciju 6

Za Opciju 6 formiran je indikator resursa koji se sastoji iz dva podindikatora:

1. Podindikator proizvodnje uglja ( $I_{ugl.}$  [t]) za Opciju 6 predstavlja količinu uglja čija je energija potrebna da bi se proizveli materijali potrebni za postavljanje vetrogeneratora

$$I_{ugl.} = 1.280 \text{ [t ]}$$

2. Podindikator proizvodnje električne energije  $I_{pr.e.e.}$  [kWh] koji pokazuje količinu električne energije koja će se proizvesti u projektovanom radnom veku vetrogeneratora:

$$I_{pr.e.e.} = 758.145.062 \text{ [kWh]}$$

## Ekonomski indikator

Unutar analize Opcije 6 formiran je ekonomski indikator koji se sastoji od dva podindikatora:

1. Podindikator proizvodne cene električne energije ( $I_{c.e.e.}$  [ $\frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ ]) koji u sebi sadrži troškove održavanja, remonta i troškove radne snage u projektovanom radnom veku vetrogeneratora:

$$I_{c.e.e.} = 0,0067 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

2. Podindikator investicija ( $I_{inv.}$  [ $\frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ ]) koji predstavlja ulaganja koja su potrebna da bi se termoblok revitalizovao i ispunio tehničke karakteristike potrebne za rad u projektovanom radnom veku:



$$I_{inv.} = 0,042 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

Ekološki indikator

Za Opciju 6 definisan je ekološki indikator koji se sastoji iz četiri podindikatora:

1. Podindikator emisije CO<sub>2</sub> ( $I_{CO_2} \left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja emisiju ugljen-dioksida nastalog u procesu sagorevanja uglja po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{CO_2} = 0,0013 \left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} \right]$$

2. Podindikator emisije SO<sub>2</sub> ( $I_{SO_2} \left[ \frac{\text{gSO}_2}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja emisiju sumpornih oksida nastalih u procesu sagorevanja uglja (prirodni gas) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{SO_2} = 0,017 \left[ \frac{\text{gSO}_2}{\text{kWh}} \right]$$

3. Podindikator emisije NO<sub>x</sub> ( $I_{NO_x} \left[ \frac{\text{gNO}_x}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja emisiju azotnih oksida nastalih u procesu sagorevanja uglja (prirodni gas) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{NO_x} = 0,0011 \left[ \frac{\text{gNO}_x}{\text{kWh}} \right]$$

4. Podindikator emisije praškastih materija ( $I_{\text{praškastih materija}} \left[ \frac{\text{g praškastih materija}}{\text{kWh}} \right]$ ) predstavlja emisiju praškastih materija nastalih u procesu sagorevanja uglja  $I_{\text{praškastih materija}} = 0 \left[ \frac{\text{gCO}_2}{\text{kWh}} \right]$  (Prilog 1)

## Socijalni indikator

Za Opciju 6 definisan je socijalni indikator koji sadrži šest podindikatora:

1. Podindikator plata (  $I_{plata} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$  ) koji predstavlja utrošena sredstva za radnu snagu po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{plata} = 0,0057 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

2. Podindikator zaposlenih (  $I_{zap.} [-]$  ) koji predstavlja broj osoblja potrebnog za funkcionisanje termobloka u projektovanom radnom veku postrojenja:

$$I_{zap.} = 15 [-]$$

3. Podindikator lokalne zajednice (  $I_{l.k.zaj.} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$  ) predstavlja novčana izdvajanja postrojenja prema lokalnoj zajednici (na čijoj teritoriji se nalazi termoblok) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku:

$$I_{l.k.zaj.} = 0,001 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

4. Podindikator povreda na radu (  $I_{pov.radu} [-]$  ) predstavlja broj povreda na zaposlenih koji je nastao u procesu proizvodnje:

$$I_{pov.radu} = 1 [-]$$

5. Podindikator bolovanja (  $I_{bol.} \left[ \frac{\text{h}}{\text{god}} \right]$  ) predstavlja odsustovanja zaposlenih na godišnjem nivou:

$$I_{bol.} = 772 \left[ \frac{\text{h}}{\text{god}} \right]$$

6. Podindikator pouzdanosti snabdevanja (  $I_{pz.snab. [-]}$  ) predstavlja vrednost koja je vezana za resurse, uvoz energenta i mogućnost eksploatacije (obnovljivi izvori energije). U analiziranoj Opciji 6 s obzirom da je u pitanju korišćenje energije vetra pouzdanost je niska:

$$I_{pz.snab.} = 0,3 [-]$$

### 3.7 Proizvodnja električne energije iz sunčeve energije (fotonaponske ćelije)

#### 3.7.1 Solarni potencijali

Energija Sunčevog zračenja koje se prima na planeti značajno prevazilazi potrebe čovečanstva. Ona varira u zavisnosti od položaja i vremena i nije u potpunosti predvidiva. U svakom trenutku na Suncu se odvijaju procesi u kojima se više od četiri miliona tona (uglavnom vodonika i helijuma) pretvara u energiju. Kao proizvod javlja se Sunčevo zračenje i mali deo (pola trilioniti) ove energije pada na Zemlju posle putovanja od 150 miliona kilometara, što traje nešto više od osam minuta.

Količina energije koju Sunce emituje putem solarnog zračenja po jedinici površine koja je direktno izložena po normali iznosi  $1368 \text{ W/m}^2$  [53,54], i predstavlja solarnu konstantu. Međutim, sunčevo zračenje na Zemlji je ublaženo atmosferom, tako da manja snaga stiže na površinu i iznosi oko  $1000 \text{ W/m}^2$  u uslovima kada je Sunce blizu zenita. Zemljina kugla nema oblik diska, već je vrsta lopte. Površina lopte je četiri puta veća od površine diska istog prečnika. Kao posledica, primljena Sunčeva energija u proseku iznosi jednu četvrtinu solarne konstante odnosno  $342 \text{ W/m}^2$ . Od  $342 \text{ W/m}^2$  oko  $77 \text{ W/m}^2$  se reflektuje nazad kroz oblake, aerosoli i atmosferu, a  $67 \text{ W/m}^2$  apsorbuje atmosfera. Ostatak od  $198 \text{ W/m}^2$  (57% ukupne energije) udari o površinu Zemljine kugle [54].

Ukupno, sunce kao izvor energije emituje 885 miliona TWh/god. prema površini Zemljine kugle što predstavlja 6200 puta više energije od potreba čovečanstva za

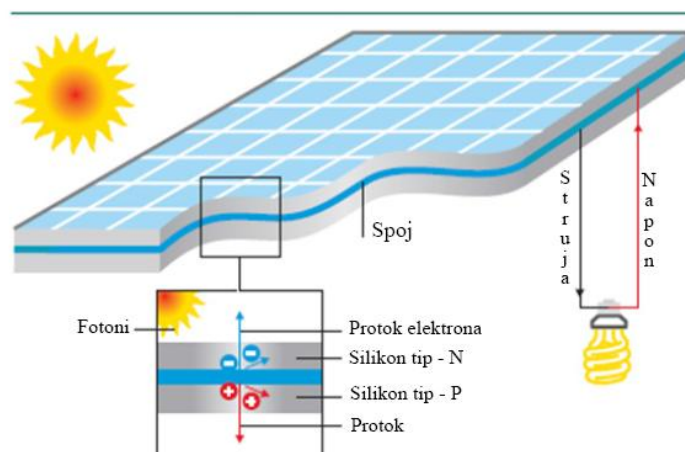
primarnom energijom u 2008 godini (IEA) i 4200 puta više od projekcija potrošnje energije za 2035 godinu (IEA) [53].

### 3.7.2 Tehnologija i istorijat fotonaponskih ćelija

Proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora eliminiše upotrebu fosilnih i smanjuje emisiju gasova staklene bašte. Dok dokazane rezerve fosilnih goriva imaju zalihe za 46 godina (nafta), 58 godina (prirodni gas) i 150 godina (ugalj), energija dobijena od Sunca ukoliko bi se u potpunosti iskoristila predstvaljala bi zalihi za narednih 6000 godina [54].

Fotonaponsko pretvaranje znači neposredno pretvaranje svetlosne energije sunčevog zračenja u električnu energiju. Osnovni elementi solarnih fotonaponskih elektrana sastavljeni su iz dva dela. Prvi deo čine solarni fotonaponski moduli, koji su srce svake solarne elektrane i pretvaraju elektromagnetne talase Sunca u jednosmernu električnu struju i napon (solarne ćelije). Drugi deo su elektroenergetski elementi, namenjeni korišćenju proizvedene električne energije za pojedinačne namene. Među njih spadaju: inverteri, prekidači i zaštitni uređaji, kao i ostali instalacioni material.

Fotonaponski modul je sastavljen od niza uporedno vezanih solarnih ćelija, koje su sa svake strane obložene posebnom EVA (Ethylene-Vinyl Acetate) folijom, koja ima visok sadržaj gela i nizak indeks refleksije (Slika 17).



Slika 17 Princip rada fotonaponskih ćelija [53]

Folija nepropusno inkapsulira ćelije između sloja poledinske folije sa zadnje strane modula, koja se koristi kao zaštita modula od UV zračenja, mehaničkih oštećenja i drugih spoljašnjih uticaja i električno izoluje modul i stakla sa prednje strane.

Visoko propusno kaljeno staklo omogućava jaku otpornost na mehaničke udarce, čak i grad, i visoku propustljivost svetlosti, čime se povećava efikasnost rada solarnih ćelija. Na zadnjoj strani modula nameštena je kutija sa priključcima, koja omogućava priključivanje na električne provodnike, a ovi dalje na invertore koji jednosmerni napon pretvaraju u naizmjenični.

Pri evaluaciji konkurentnosti cena solarnih elektrana mora se voditi računa o stepenu razvijenosti ovih sistema, odnosno da je ova grana tek nedavno prešla iz laboratorijske na masovnu industrijsku ravan, i tako kao kod svih drugih komercijalno konkurentnih grana značajno je dostići potreban ekonomski obim. Tehnologija fotonaponskih ćelija se ubrzano razvija i cena ovih postrojenja u poslednjoj dekadi beleži značajan pad (Tabela 12). Primena fotovoltaike tehnologije počela sedamdesetih godina prošlog veka u ruralnim krajevima na eksperimentalnom nivou. Prvo komercijalno postrojenje izgrađeno je osamdesetih godina u pustinji Mohave u kaliforniji. Do kraja osamdesetih instalisana snaga na ovom postrojenju iznosila je 354 MWe. 1995. godine Japanska vlada je obezbedila podsticaje za projekat proizvodnje električne energije iz fotovoltaike postavljajući ove sisteme na 70. 000 krovova. Rast globalnog tržišta počeo je naglo da se razvija od 2003. godine istopa rasta do 2009 godine iznosila je 40 %. Od ukupno

instaliranih 5 GW u 2005. godini došlo se do 40 GW u 2010. Cene postrojenja su počele da padaju i daljim razvojem ove tehnologije očekuje se njihov dalji pad.

Tabela 12 Prikaz trenutnih cena fotonaponskih sistema i predviđanja [55]

Cena fotonaponskih sistema [USD/kWh]	2010.	2020.	2030.	2050.
	3.400	1.850	1.325	980

Novo postrojenje za proizvodnju električne energije korišćenjem Sunčeve energije (fotonaponske ćelije) snage 32 MW

Na teritoriji Republike Srbije prosečna vrednost zračenja iznosi 1400 [kWh/m<sup>2</sup>god] [56]. Planirano je postavljanje 400 panela snage 80 kW svaki. Na osnovu ovih podataka formirani su indikatori resursa, ekonomski, ekološki i socijalni indikatori.

#### Indikator resursa za Opciju 7

Za Opciju 7 formiran je indikator resursa koji se sastoji iz dva podindikatora:

1. Podindikator proizvodnje uglja ( $I_{ugl.}$  [t]) za Opciju 6 predstavlja količinu uglja čija je energija potrebna da bi se proizveli materijali potrebni za proizvodnju materijala potrebnih za izgradnju fotonaponskih postrojenja

$$I_{ugl.} = 1.500 \text{ [t]}$$

2. Podindikator proizvodnje električne energije  $I_{pr.e.e.}$  [kWh] koji pokazuje količinu električne energije koja će se proizvesti u projektovanom radnom veku fotovoltaičnog postrojenja:

$$I_{pr.e.e.} = 672.000.000 \text{ [kWh]}$$

## Ekonomski indikator

Unutar analize Opcije 7 formiran je ekonomski indikator koji se sastoji od dva podindikatora:

1. Podindikator proizvodne cene električne energije ( $I_{c.e.e.} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$ ) koji u sebi sadrži troškove održavanja, remonta i troškove radne snage u projektovanom radnom veku fotovoltaiik postrojenja:

$$I_{c.e.e.} = 0,0094 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

2. Podindikator investicija ( $I_{inv.} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja ulaganja koja su potrebna da bi se instaliralo novo postrojenje:

$$I_{inv.} = 0,1 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

## Ekološki indikator

Za Opciju 7 definisan je ekološki indikator koji se sastoji iz četiri podindikatora:

1. Podindikator emisije CO<sub>2</sub> ( $I_{CO_2} \left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja emisiju ugljen-dioksida nastalog u procesu sagorevanja uglja po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku fotovoltaiik postrojenja :

$$I_{CO_2} = 0,0017 \left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} \right]$$

2. Podindikator emisije SO<sub>2</sub> ( $I_{SO_2} \left[ \frac{\text{gSO}_2}{\text{kWh}} \right]$ ) koji predstavlja emisiju sumpornih oksida nastalih u procesu sagorevanja uglja po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku fotovoltaiik postrojenja:

$$I_{SO_2} = 0,022 \left[ \frac{\text{gSO}_2}{\text{kWh}} \right]$$

3. Podindikator emisije NO<sub>x</sub> ( $I_{NO_x} \left[ \frac{gNO_x}{kWh} \right]$ ) koji predstavlja emisiju azotnih oksida nastalih u procesu sagorevanja uglja po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku fotovoltaiak postrojenja:

$$I_{NO_x} = 0,0014 \left[ \frac{gNO_x}{kWh} \right]$$

4. Podindikator emisije praškastih materija ( $I_{pr.mat.} \left[ \frac{g pr.mat.}{kWh} \right]$ ) predstavlja emisiju praškastih materija nastalih u procesu sagorevanja uglja

$$I_{praškastih materija} = 0 \left[ \frac{g pr.mat.}{kWh} \right]$$

#### Socijalni indikator

Za Opciju 7 definisan je socijalni indikator koji sadrži šest podindikatora:

1. Podindikator plata ( $I_{plata} \left[ \frac{€}{kWh} \right]$ ) koji predstavlja utrošena sredstva za radnu snagu po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku termobloka:

$$I_{plata} = 0,0084 \left[ \frac{€}{kWh} \right]$$

2. Podindikator zaposlenih ( $I_{zap.} [-]$ ) koji predstavlja broj osoblja potrebnog za funkcionisanje termobloka u projektovanom radnom veku postrojenja:

$$I_{zap.} = 20 [-]$$



3. Podindikator lokalne zajednice (  $I_{l.k.zaj.} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$  ) predstavlja novčana izdvajanja postrojenja prema lokalnoj zajednici (na čijoj teritoriji se nalazi termoblok) po proizvedenom kWh u projektovanom radnom veku:

$$I_{l.k.zaj.} = 0,00074 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

4. Podindikator povreda na radu (  $I_{pov.radu} [-]$  ) predstavlja broj povreda na zaposlenih koji je nastao u procesu proizvodnje:

$$I_{pov.radu} = 1 [-]$$

5. Podindikator bolovanja (  $I_{bol.} \left[ \frac{\text{h}}{\text{god}} \right]$  ) predstavlja odsustovanja zaposlenih na godišnjem nivou:

$$I_{bol.} = 1029 \left[ \frac{\text{h}}{\text{god}} \right]$$

6. Podindikator pouzdanosti snabdevanja (  $I_{pz.snab.} [-]$  ) predstavlja vrednost koja je vezana za resurse, uvoz energenta i mogućnost eksploatacije (obnovljivi izvori energije). U analiziranoj Opciji 7 s obzirom da je u pitanju korišćenje Sunčeve energije pouzdanost je niska:

$$I_{pz.snab.} = 0,3 [-]$$

## 4. MULTIKRITERIJALNA ANALIZA TERMOENERGETSKIH BLOKOVA

### 4. 1 Donošenje odluka na temelju višestrukih kriterijuma

Sredinom prošlog veka energetske sistemi su obično optimizovani prema tehničkim i ekonomskim kriterijuma. Danas, održivi razvoj zahteva da se u razmatranja podjednako uključuju ekonomski, ekološki i socijalni uticaji. Da bi se izmerila održivost energetskog sistema koji proizvodi i isporučuje energiju moraju se sagledati različiti aspekti i dimenzije kako bi se uključile sve posledice koje bi nastale pri njihovoj implementaciji. Kako su energetska pitanja i problemi obično složeni zbog suprotstavljenih aspekata socijalnih, tehnoloških, ekoloških i ekonomskih faktora, dinamički i neodređeni (nastala usled donošenja odluke od strane ljudi i različitih interesnih grupa) postoji potreba za uvođenjem novih alata u oblasti održivosti kako bi se ona izmerila.

Zato su razvijeni i koriste se metodi višekriterijalne analize koji su pogodni za procenu održivosti energetskih projekata. Kako su energetske problemi obično kompleksni, dinamički i povezani sa neodređenošću i različitim interesnim grupama, postoji potreba za novim alatima koji bi se koristili u procesima odlučivanja kao što je višekriterijalna analiza (MCDM) [57,58]. Ovi alati za donošenje odluka su u mogućnosti da povežu različite perspective interesnih grupa, uzimaju u proračun kvantitativne i kvalitativne kriterijume i odvajaju objektivne i subjektivne aspekte problema odlučivanja. U procesu odlučivanja, za uspešan i održivi kompleksni energetske sistem neophodno je učešće interesnih grupa.

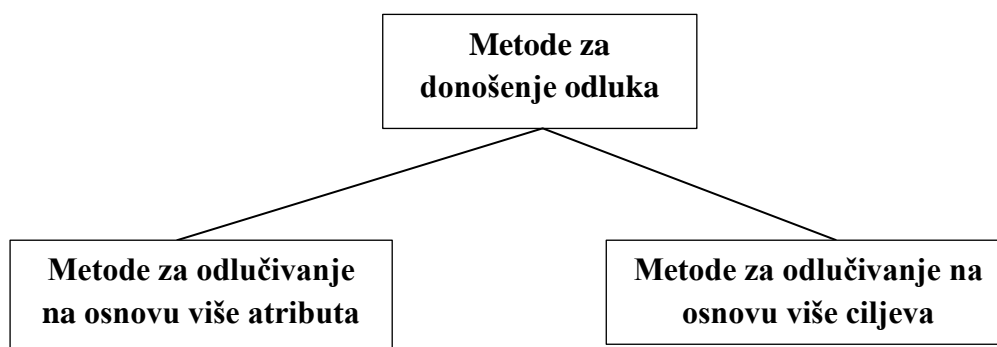
Višekriterijalna analiza ili višekriterijalno odlučivanje je opšti naziv koji se koristi za metode koji pomažu ljudima u procesu donošenja odluke u slučajevima kada postoji razmena između različitih kriterijuma. Višekriterijumska analiza može da obezbedi tehničko-naučnu podršku kao alat u donošenju odluka koja je u stanju da opravda svoje izbore jasno i dosledno, posebno u sektoru obnovljive energije.

Postoje dve grupe postoje dve grupe višekriterijalnih metoda (slika 18):

- Metode višekriterijalne analize ili donošenja odluka (MCDA/MCDM) gde postoji ograničen broj prethodno poznatih alternativa (opcija) koje moraju da budu

procenjene i rangirane. U zavisnosti od primenjenog metoda može da se postigne kompletno ili delimično rangiranje alternativa.

- Višeobjektivno donošenje odluka (MODM) gde je moguće na osnovu skupa velikog broja izvodljivih alternativa dobiti optimalno rešenje. Alternative nisu unapred determinisane ali je skup funkcija optimizovan pod određenim uslovima.



Slika 18 Glavna podela metoda za donošenje odluka

Princip MCDM je zasnovan na jasnim prioritetima donosioca odluka. Jasno strukturiran i optimizovani problem će biti rešen u matematičkom procesu. MCDA u poređenju sa MCDM, kao krajnji rezultat, daje više značaja procesu pomoći u donošenja odluka za razliku od matematičkog procesa. Sa MCDA, Evropska škola teži da pruži preporuke, međutim Američka škola pokušava da nađe idealno rešenje. Osim toga, pristup MCDA gleda da li je 'za ili protiv' odgovarajuće alternative bez neophodnog predstavljanja dominantnog rešenja. Prema tome, process pomoći pri odlučivanju u samom centru pažnje obezbeđuje mogućnost učenja od odgovarajućih interesnih grupa. Pristup MCDM radi sa takozvanim *monistic ethics*. Tako, različitost etičkih pristupa unutar održivog razvoja se neće uzimati u proračunu procesa procene. Prema Omann, pristup MCDM se ne smatra kao pogodan za probleme kod odluka u kontekstu održivog razvoja [59].

U literaturi postoji nekoliko pristupa koji kategorizuju MCDA metode [60-62]. Postoje, kao što je već prethodno napomenuto (MODM), grupa metoda zasnovane na iskorišćenju i vrednosti (“Utility or Value based methods”, “Outranking Methods” i druge). Metode zasnovane na iskorišćenju, rangiraju alternative prema pojedinačnoj

agregovanoj vrednosti koja predstavlja ukupni rezultat alternative. Ovoj grupi pripadaju metodi kao što su 'Teorija višeatributne iskorišćenosti' (MAUT) i Analitički hijerarhijski proces (AHP). 'The outranking' metode potiču iz Evropske škole, pokušavaju da daju rangiranje ili delimično rangiranje zasnovano na poređenju para alternativa. Ovaj pristup ima za cilj uspostavljanje binarne relacije na skupu alternativa i često se naziva 'an outranking relation'. Nasuprot pristupima koji su zasnovani na iskorišćenosti i vrednosti ova relacija se ne uspostavlja preko jednog kriterijuma. Ove metode sadrže i kvantitativne kao i kvalitativne kriterijume i analiziraju suprotstavljene kriterijume i donosioce odluka. Najviše se koriste više-atributne metode (MADM) kod kojih imamo procenu skupa alternativa kada postoji skup kriterijuma. Glavni cilj MADM je odabir alternative koja je najbolje ocenjena u skladu sa skupom kriterijuma za ocenjivanje. U principu, MCDM metode imaju četiri osnovna koraka koji su podrška u donošenju najefikasnije i racionalne odluke: (1) Struktura procesa donošenja odluke, odabir alternative i formulacija kriterijuma; (2) Prikazivanje kompromisa među kriterijumima i utvrđivanje žinskih koeficijenta; (3) Primena procene vrednosti s obzirom na prihvatljive kompromise i evaluaciju; i (4) Izračunavanje konačne agregacije i donošenje odluke.

Neki razlozi za primenu MCDA metoda u procesu odlučivanja je njihova sposobnost da rade sa subjektivnim elementima i kvalitativnim kriterijumima. MCDA metode su u mogućnosti da uključe različite perspektive interesnih grupa, dodavanjem subjektivnih elemenata kao što su težinski faktori različitih kriterijuma za procenu. Odvajanjem subjektivnih i objektivnih podataka process odlučivanja postaje više transparentan tako što se subjektivna mišljenja jasno saopštavaju i nisu sakrivena u pretpostavkama. Posebno, MCDA ima priliku da inkorporira kvalitativne i kvantitativne kriterijume. Ekološki i socijalni kriterijumi su teški da se izmere tako da kroz relativne skale mišljenja eksperata mogu biti kvantifikovani i uključeni u proces odlučivanja.

Sa druge strane, u pokušaju da se u jedan metod uključe svi aspekti kao što su: subjektivna procena, učešće interesnih grupa, modelovanje složenog okruženja, pitanja održivosti, i td. može dovesti do stvaranja glomaznog pristupa koji je suviše složen za rukovanje. Rizik koji može nastati korišćenjem ovako struktuiranih modela je da donosilac odluke ne može da prati metod i oseća neudobnost kada je u pitanju rešenje. Glavni izazov je u izradi naučnovalidnog a time i upravljivog metoda [60-62].

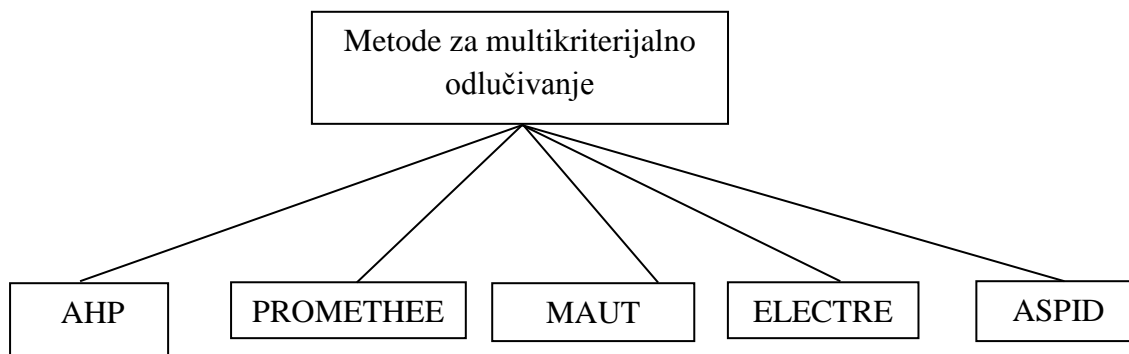
MCDM se već primenjuju u procesu donošenja odluka u oblasti upravljanja energijom. Takođe, postoji snažan focus na sistemima sa obnovljivim izvorima energije. U literaturi se podvlače prednosti MCDA metoda za primenu u energetskej politici, naročito mogućnost ovih metoda da mogu da se primene na sistemima koji imaju kompleksan i višedimenzijalni karakter. Međutim, u radovima nisu napomenuti rizici takvih procesa koji se odnose na pitanja upućena, na primer, na napore pri prikupljanju podataka za sveobuhvatnu procenu [63].

#### 4.2 Metode koje se primenjuju za multikriterijalnu analizu

Donošenje odluka na osnovu multikriterijalne analize predstavlja dobro poznati ogranak odlučivanja. To je ogranak opšte klase modela operacionih istraživanja koji se bavi problemima odlučivanja u prisustvu brojnih kriterija za odlučivanje [63]. Od donosioca odluke se zahteva da bira između kriterija koji se mogu ili ne mogu kvantifikovati i višestrukih kriterija. Ciljevi su međusobno suprotstavljeni i rešenje jako zavisi od preferenci donosioca odluka. U većini slučajeva različite grupe donosioca odluka su uključene u proces odlučivanja. Svaka grupa donosi različite kriterije i poglede koji moraju biti rešeni unutar okvira razumevanja i međusobnih kompromisa.

Postoji nekoliko metoda u svakoj od pomenutih kategorija. Izbor metode (zasnovani na prioritetima, rangovima, udaljenosti itd.) se vrši u zavisnosti od problema koji se analizira. Svaki metod ima svoje sopstvene karakteristike. Metode mogu biti klasifikovane kao determinističke (bazirane na tačno određenim zakonitostima), stohastičke (bazirane na zakonima verovatnoće) i fuzzy (metode slučajnih izbora). Mogu postojati kombinacije ovih metoda u zavisnosti od broja donosioca odluka. Takođe, metode se mogu klasifikovati i kao pojedinačne ili grupne metode donošenja odluka. Donošenje odluka u uslovima neizvesnosti i sistemi za podršku odlučivanju su takođe istaknute tehnike donošenja odluka [64].

U donošenju odluka sa više ciljeva traži se rešenje koje najviše zadovoljava i koje je najefikasnije. U ovakvom rešenju nije moguće podići performanse nekog cilja bez obaranja performansi bar jednog od ostalih ciljeva. Na Slici 19 prikazani su različite metode bazirane na primeni višekriterijalne analize.



Slika 19 Metode za multukriterijalno odlučivanje

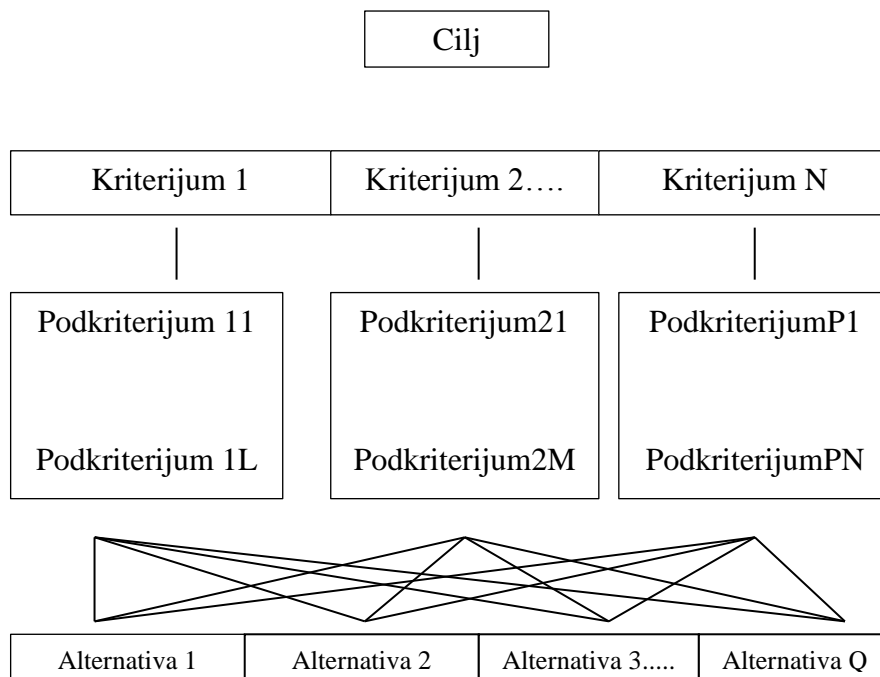
#### 4.2.1 Analitički hijerarhijski postupak (Analytic Hierarchy Process – AHP)

Analitički hijerarhijski postupak (AHP) [65,66] omogućava donošenje odluka na osnovu multikriterijalne analize. AHP metod se koristi za rešavanje složenih problema odlučivanja. Unutar ovog metoda formirane su hijerarhijske strukture koje se sastoje od: ciljeva, kriterijuma, podkriterijuma i alternativa. Poređenja se koriste za dobijanje težinskih koeficijenata koji omogućavaju da se dođe do cilja. Ukoliko poređenja nisu sasvim dosledna, unutar metoda razvijena su mehanizmi za njihovo poboljšanje.

Metod AHP omogućava da se problem unutar hijerarhijske strukture razloži na skup pod-problema koji se mogu lakše sagledati. Metodologija AHP se može objasniti kroz sledećih 6 koraka:

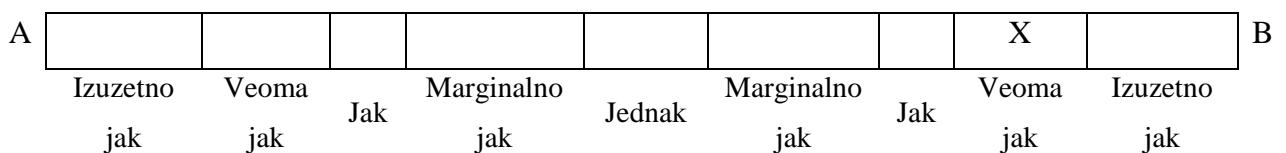
Korak 1: Razmatrani problem se razlaže unutar hijerarhije na cilj, kriterijume, podkriterijume i alternative. Ovo je najvažniji deo u procesu donošenja odluke. Formiranje hijerarhijske strukture prilikom donošenja odluke predstavlja osnovni princip AHP metodologije. Unutar hijerarhije formiraju se veze između gore navedenih nivoa. Svi nivoi su međusobno povezani, makar i na indirektan način. Metodom se sugerše da je najkorisniji način formirati hijerarhijsku strukturu od cilja ka svim ostalim podnivoima. Na Slici 20 je prikazana hijerarhijska struktura. U korenu hijerarhije nalazi se cilj problema, dok se na krajnjim granama nalaze alternative. Između njih nalaze se različiti skupovi kriterijuma i podkriterijuma. Važno je napomenuti da prilikom

poređenja na svakom nivou donosilac odluke mora da vodi računa o doprinosu elemenata nižeg nivoa.



Slika 20 Hijerarhijska struktura

Korak 2: Podaci koji se nalaze u hijerarhijskoj strukturi prikupljeni od strane eksperata i donosioca odluka koriste se za poređenje alternativa i opisuju se kvalitativno kroz skalu koja je prikazana na Slici 21.



Slika 21 Skala kvalitativnog poređenja alternativa

Donosioci odluka i eksperti mogu poređenja oceniti kao jednaka, marginalno jaka, jaka, veoma jaka i izuzetno jaka.

Tabela 13 Poređenja unutar AHP metode

Opcije	Numeričke vrednosti
Jednak	1
Marginalno jak	3
Jak	5
Veoma jak	7
Izuzetno jak	9
Kompromisne vrednosti	2,4,6,8

Korak 3: Poređeni skupovi kriterijuma koji su prikazani u Koraku 2 organizuju se u matricu. Vrednost dijagonalnih elemenata u matrici ima vrednost 1.

Korak 4: Glavna vrednost Eigen vektora i odgovarajući normalizovani uspravni Eigen vektor matrice poredjenja daju relativni značaj različitih kriterija koje se porede. Elementi normalizovanih Eigen vektora su nazivne težine u odnosu na kriterijume i sub kriterijume.

Korak 5: Konzistentnost matrice reda  $n$  se procenjuje. Poredjenja napravljena ovim metodom su subjektivna i AHP toleriše nekonzistentnost preko iznosa viška. Ako indeks konzistentnosti ne dosegne traženi nivo tada odgovori na poredjenja mogu biti preispitani. Indeks konzistencije ( $CI$ ) se računa kao:

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{n - 1} \quad (4)$$

Gde je  $\lambda_{max}$  maksimalna Eigen vrednost matrice ocenjivanja. Ovaj  $CI$  se može porediti sa onim iz nasumične matrice ( $RI$ ). Izvedeni odnos  $CI/RI$ , je nazvan odnos konzistentnosti,  $CR$ . Saaty predlaže da bi vrednost  $CR$  trebalo da bude manje od 0,1.

Korak 6: Rang svake alternative se množi sa težinom podkriterijuma i omogućava da se dobiju lokalne rangovne vrednosti u odnosu na svaki kriterij. Lokalni rangovi se zatim množe sa težinama kriterijuma i omogućavaju da se dobije globalni rang.



AHP daje vrednosti težina za svaku alternativu na osnovu procenjenog značaja jedne alternative u odnosu na drugu s obzirom na zajedničke kriterije.

#### 4.2.2 Metod eliminacije i izbora u prihvatanju realnosti (ELECTRE)

Metod eliminacije i izbora u prihvatanju realnosti (ELECTRE) [67] omogućava donosiocima odluka da rade sa diskretnim kriterijima koji su kvantitativni i kvalitativni po svojoj prirodi i obezbeđuju da se alternative rangiraju po određenom redosledu. Problem bi trebalo tako formulisati da se biraju alternative kojima se daje prednost u većini kriterijuma i da ne izaziva neočekivani nivo “nezadovoljstva” za bilo koji od kriterija. Indeks usaglašenosti i neusaglašenosti i pragovi vrednosti se koriste primenom ove metode. Na temelju indeksa se razvijaju grafici za jake i slabe relacije. Grafici se koriste u iterativnoj proceduri da bi se dobilo rangiranje alternative. Indeks neusaglašenosti ima vrednosti u rasponu od 0 do 1, i pokazuje stepen kredibiliteta svake više alternative u odnosu na prethodnu, a predstavlja test verifikacije ostvarenja svake alternative [67]. Indeks ukupne usaglašenosti  $C_{ik}$  predstavlja obim dokaza da se podrži usaglašenost između svih kriterija u uslovima hipoteze da  $A$  nadmašuje  $A_k$ . Metod ELECTRA se može prikazati na sledeći način:

$$\pi(a, b) = \frac{\sum_{j=1}^j w_j P(a,b)}{\sum_{j=1}^j w_j} \quad (5)$$

$$\Phi^+ = \sum_A \pi(a, b) \quad (6)$$

$$\Phi^- = \sum_A \pi(a, b) \quad (7)$$

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (8)$$

gde  $w_j$  predstavlja težinski koeficijent koji je povezan sa  $j$  – tim kriterijumima.

Metod ELECTRE daje celovit sistem binarno viših relacija između alternativa. Pošto sistem nije nužno kompletan, metod ELECTRE ponekad ne može da identifikuje preferiranu alternativu. On samo eliminiše manji broj alternativa u procesu odlučivanja o problemu.

#### 4.2.3 Metod određivanja ranga alternativa (PROMETHEE)

Metod određivanja ranga alternativa (PROMETHEE) [68] koristi hijerarhijski princip rangiranja alternative u kombinaciji sa jednostavnom upotrebom I smanjenom složenošću. Unutar metoda vrši se poređenje alternativa u parovima da bi se one rangirale u pogledu određenog broja kriterija. Brans [69] je ponudio šest generalizovanih funkcija kriterija za reference: uobičajeni kriterij, kvazi kriterij, kriterij sa linearnom preferencijom, ravni kriterij, kriterij sa linearnom preferencijom I područjem indiferencije i Gaussov kriterij. Ovaj metod koristi funkcije preferencije  $P_j(a,b)$  koja je funkcija razlike  $d_j$  između dve alternative za neki kriterij  $j$ : tj.  $d_j = f(a,j) - f(b,j)$ , gde su  $f(a,j)$  i  $f(b,j)$  vrednosti dve alternative  $a$  i  $b$  za kriterij  $j$  [68]. Pragovi indiferencije  $q'$  i  $p'$  su takođe definisani u zavisnosti od tipa funkcije kriterija. Dve alternative su indiferentne za kriterij  $j$  dok  $d_j$  ne prelazi prag indiferencije  $q'$ . Ako  $d_j$  postane veći od  $p'$ , tu postoji stroga preferencija. Indeks višestruke preferencije  $\pi(a,b)$  predstavlja ponderisanu sredinu funkcije preferencije  $P_j(a,b)$  za sve kriterije  $i$  i definisan je kao:

$$C_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^m W_j(A_i A_k)}{\sum_{j=1}^m W_j} \quad (9)$$

gde je  $W_j$  predstavlja težinski koeficijent dodeljen kriteriju  $j$ .

#### 4.2.4 Metoda teorije iskorištenosti multiatributa (MAUT)

Teorija iskorištenosti multiatributa (MAUT) [69] uzima u obzir preferencije donosioca odluka u formi funkcije iskorištenosti koja se definiše preko seta atributa. Vrednost iskorištenosti se može odrediti utvrđivanjem funkcije iskorištenosti jednog atributa i verifikovanjem preferencijalnih i uslova od kojih zavisi iskorištenost kao i derivacijom funkcija iskorištenosti multiatributa. Funkcija iskorištenosti može biti dodatno odvojiva ili multiplikativno odvojiva u pogledu funkcija iskorištenosti multiatributa. Multiplikativna forma jednačine za vrednost iskorištenosti je definisana:

$$1 + ku(x_1 \dots x_n) = \prod_{j=1}^n (1 + k_j u_j(x_j)) \quad (10)$$

gde je  $j$  indeks atributa,  $k$  je sveukupna konstanta slaganja (veća ili jednaka  $-1$ ),  $k_j$  je konstanta slaganja za atribut,  $j$ ,  $u(\cdot)$  je sveukupni operater funkcije iskorištenosti za svaki atribut [69].

#### 4.3 ASPID (Analiza i sinteza parametara usled nedostatka informacija) metod višekriterijalne analize za procenu održivosti izabranih opcija

U poslednje vreme sve širu primenu pri rešavanju zadataka procene održivosti složenih tehničko-ekonomskih objekata različite prirode i namene (na primer energetskih sistema, rudnika, šumarstva itd.) ima metod generalnih (svedenih) indeksa (MGI). Suština ove metode je u sintezi specifičnih kriterija ( $q$ ) koji opisuju različite aspekte objekta (na bazi inicijalnih atributa odnosno indikatora) i koji se ocenjuju jedinstvenim generalnim indeksom koji karakteriše objekat u celini ili opcije kao u ovom radu. Nažalost, adekvatna primena MGI metoda često je ograničena deficitom informacija, koji ne dozvoljava direktno dobijanje jednoznačne brojne procene kvaliteta ispitivanih objekata odnosno opcija [70-78].

Kod većeg broja MCD modela težinski koeficijenti za kriterijume se određuju na subjektivan način (zavise od mišljenja eksperata), na osnovu merljive skale pomoću kojih se koeficijent relativne težine ( $w$ ) izražava numerički ili verbalno.

Primenom metode analize i sinteze indeksa pri nedostatku informacija (ASPID) [79-81], odnosno primenom višekriterijalne analize dobijaju se rangirane opcije (alternative) koje se razmatraju sa aspekata održivosti. Kod ovog procesa prioritete definiše donosilac odluka u cilju svojih interesa i potreba preko težinskih koeficijenata koji predstavljaju udeo u krajnjem rezultatu [79-81]. Primenom ove metode obezbeđuje se:

- objektivna procena težinskih koeficijenata, pošto se u procesu randomizacije određuje neodređenost vektora težinskog koeficijenta,
- da se težinski koeficijenti za kriterijume matematički određuju. Uvođenjem nenumeričke informacije i prema uslovima koje zadaju nenumeričke,

neegzaktne i nepotpune informacije vrši se odabir težinskih koeficijenata koji ove uslove ispunjavaju,

- da nenumeričke informacije, koje su date u obliku međusobnog odnosa različitih kriterijuma, mogu biti korisno sredstvo u proceni održivosti složenog energetskeg sistema,
- ispitivanje međusobnih odnosa težinskih koeficijenata kriterijuma u odnosu na različite aspekte održivog razvoja tako što se prednost daje nekom od kriterijuma,
- da se kod procene održivosti složenog energetskeg sistema normalizacijom indikatora ne gube se neke informacije koje mogu biti dragocene na nekim nivoima procene (a što je slučaj kod drugih metoda),
- matematička i grafička sinteza svih indikatora koji su relevantni održivom razvoju,
- da sa gledišta praktične primene višekriterijalnih metoda, ova metoda (ASPID) pruža bolje razumevanje i prikazivanje rezultata.

#### 4.3.1 Matematička procedura ASPID metode

ASPID metoda bazira se na stohastičkim modelima neodređenosti i dozvoljava realizaciju u obliku različitih sistema podrške preuzetih rešenja, koji omogućavaju dobijanje MGI-a, korištenjem nenumeričke i nepotpune informacije, dobijene iz izvora različite pouzdanosti i verovatnoće. Može se zaključiti da se pomoću ove metode može izvršiti vrednovanje opcija i u situacijama kada imamo nepotpune (nekompletne) ili intervalne (neegzaktne) informacije, koje imaju različite pouzdanosti. To se radi na bazi utvrđenih specifičnih kriterijuma ( $q$ ) i uz pomoć težinskih koeficijenata [82-86]. Metoda se bazira na neodređenosti zadanih težinskih koeficijenata, koji koriste stohastičke modele koji vode ka randomizaciji (eng. Random=slučajnost) ovih težinskih koeficijenata, a shodno tome i generalnim indeksima koji se na takav način pretvaraju, u randomizirane generalne (svedene) indekse.

#### 4.3.2 Procedura procene opcija

Osnovi elastičnih interaktivnih sistema podrške donošenju odluka pomoću ASPID metode leže u metodi generalnih indeksa (kriterijuma) MGI čija se suština sastoji u agregaciji (objedinjavanju) mnogih procena složenog objekta u jedinstvenu procenu koja predstavlja generalni indeks. MGI sintetizira specifične (lokalne, pojedinačne, marginalne, analitičke) kriterije koji karakterišu kvalitet (efektivnost, pouzdanost, sigurnost, rentabilnost, korisnost, davanje prednosti itd.) više parametarskih objekata složenih tehničkih sistema.

U apstraktnom obliku postupak konstrukcije (dobijanja) generalnog indeksa se sastoji od sledećeg niza koraka:

1. Formiranje vektora  $x = (x_1 \dots x_m)$  svih polaznih atributa (karakteristika) koji su nužni za potpunu procenu određenih kvaliteta ispitivanih objekata. U ovom radu atributi su predstavljeni pomoću četiri indikatora u okviru sedam razmatranih opcija. Indikatore svih sedam opcija možemo predstaviti matricom oblika:

$$\begin{array}{cccc} x_1^1 & x_2^1 & x_3^1 & x_4^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & x_3^2 & x_4^2 \\ x_1^3 & x_2^3 & x_3^3 & x_4^3 \\ x_1^4 & x_2^4 & x_3^4 & x_4^4 \\ x_1^5 & x_2^5 & x_3^5 & x_4^5 \\ x_1^6 & x_2^6 & x_3^6 & x_4^6 \\ x_1^7 & x_2^7 & x_3^7 & x_4^7 \end{array}$$

gde je  $x_1$  – indikator resursa,  $x_2$  – ekonomski indikator,  $x_3$  – ekološki indikator,  $x_4$  – socijalni indikator.

Početne attribute (indikatore) opcije možemo predstaviti vektorom:  $x^j = (x_1^{(j)}, x_2^{(j)}, \dots, x_m^{(j)})$ . Komponenta  $x_i^{(j)}$  vektora  $x^{(j)}$  je vrednost inicijalnog

atributa (indikatora)  $x_i$  opcije  $x^j$  odnosno "j" – te opcije. U ovom radu broj opcija je  $j = 7$ , a broj inicijalnih atributa (indikatora) je  $m = 4$ .

Formiranje vektora specifičnih kriterijuma  $q = (q_1 \dots q_m)$  kojima se procenjuju polazni atributi (indikatora). Vrednost  $q_i = q_i(x_i)$  zavisi od "i"-tog atributa (indikatora)  $x_i$  tj.  $q_i = q_i(x_i)$ ;  $i = 1, \dots, m$ ; i u ovom radu m predstavlja broj specifičnih kriterija. Specifični kriterijumi svih sedam opcija mogu se predstaviti matricom oblika:

$$\begin{pmatrix} q_1^1 & q_2^1 & q_3^1 & q_4^1 \\ q_1^2 & q_2^2 & q_3^2 & q_4^2 \\ q_1^3 & q_2^3 & q_3^3 & q_4^3 \\ q_1^4 & q_2^4 & q_3^4 & q_4^4 \\ q_1^5 & q_2^5 & q_3^5 & q_4^5 \\ q_1^6 & q_2^6 & q_3^6 & q_4^6 \\ q_1^7 & q_2^7 & q_3^7 & q_4^7 \end{pmatrix}$$

gde je  $q_i = q_i(x_i)$

Kvalitet određene opcije npr.  $x^j$  možemo proceniti pomoću specifičnih kriterija  $q_1 \dots q_m$  gde je svaki od njih funkcija odgovarajućeg atributa  $q_i = q_i(x_i)$  gde je  $i = 1, \dots, m$  tj:

$$q^j = (q_1^{(j)}, q_2^{(j)}, \dots, q_m^{(j)}) \tag{11}$$

Pomoću vrednosti  $q_i^{(j)} = q_i(x_i^{(j)})$  se procenjuje nivo kvaliteta (stepen preferabilnosti) "j"-te opcije sa "i"-tog specifičnog kriterija. Normalizacijom bilo koji kriterij mora da zadovolji nejednačinu:

$$0 \leq q_i^{(j)} \leq 1 \quad (12)$$

Treba napomenuti da se normalizacija specifičnih kriterija vrši na baz inicijalnih atributa (indikatora). Kod provedene normalizacije vidimo da vrednost  $q_i^{(j)} = 0$  znači da je procenjena "j"-ta opcija kao najlošija, tj. da ima minimalni stepen preferabilnosti sa "i"-tog specifičnog kriterija, a za vrednost  $q_i^{(l)} = 1$  znači da je "l"- ta opcija procenjena kao najbolja, tj. da ima maksimalni stepen preferabilnosti sa "i"-tog specifičnog kriterija.

Generalno posmatrajući opcija  $x^{(j)}$  je preferabilnija od opcije  $x^{(l)}$  ako i samo ako su svi specifični kriteriji opcije  $x^{(j)}$  veći od specifičnih kriterija opcije  $x^{(l)}$  sa stanovišta svakog specifičnog kriterija tj:

$$q_i^{(j)} \geq q_i^{(l)} \quad (13)$$

2. Kako bi se odredio uticaj specifičnih kriterija uvodi se veličina težinskih koeficijenata, čime se multikriterijska procena opcija izražava pomoću aditivne agregatne funkcije, odnosno sintetizirajuće funkcije oblika:

$$Q_+(q; w) = \sum w_i q_i \quad (14)$$

Izbor sintetizirajuće funkcije  $Q_+(q; w) = Q(q_1 \dots q_m; w_1 \dots w_m)$  ili kraće  $Q(q)$ . Funkcija  $Q(q)$  svakom vektoru  $q = (q_1 \dots q_m)$ , pridružuje broj  $Q = Q(q; w)$  koji igra ulogu generalnog (opšteg, zajedničkog) indeksa. Pri tome funkcija  $Q = Q(q; w)$ , pored zavisnosti od  $q = (q_1 \dots q_m)$ , zavisi i od težinskih koeficijenata  $w = (w_1 \dots w_m)$ ,  $w_i \geq 0$  za  $i = 1, 2, \dots, m$ . Težinski koeficijent  $w_i (i = 1, \dots, m)$  pokazuje koji se značaj pridaje, specifičnom kriteriju  $q_i$  pri formiranju generalnog indeksa  $Q(q; w)$ .

3. Izbor vektora  $w = (w_1 \dots w_m)$ ,  $w_i \geq 0$ , težinskih koeficijenata.

Vektor težinskih koeficijenata se uvek odabere tako da bude zadovoljen uslov  $w_1 + \dots + w_m = 1$ , što će se primeniti u izboru objekta ili opcije u našem slučaju. U ovom slučaju važi da je  $0 \leq w_i \leq 1$  za svako  $i = 1, 2, \dots, m$ , pa zbog toga broj  $w_i$  je relativna težina specijalnog indeksa  $q_i$ . Što je veći  $w_i$ , to specijalni indeks  $q_i$  više utiče na vrednost generalnog indeksa  $Q(q) = Q(q; w)$ .

Najvažnije je znati da je izbor vektora  $w = (w_1 \dots w_m)$  najdelikatniji od četiri navedena koraka. Svakom promenom koeficijenta  $w_i$ , ( $\sum_{i=1}^m w_i = 1; w_i \geq 0$ ), ustvari se menja uticaj koji  $q_i = q_i(x_i)$  ima na generalni indeks održivosti  $Q = Q(q; w)$ , tj. promenom koeficijenta menjamo važnost koju dajemo specifičnom indeksu  $q_i$  pri formiranju generalnog indeksa  $Q = Q(q; w)$ . Prema tome, od izbora vektora (preferabilnosti)  $w = (w_1 \dots w_m)$  zavisi I kvalitet procene ispitivanih objekata pomoću generalnog indeksa. Poznato je da je najdelikatnija faza u metodi generalnog indeksa MGI upravo faza procene "težina"  $w = (w_1 \dots w_m)$  zbog uobičajenog nedostatka informacija o stvarnim numeričkim vrednostima težinskih koeficijenata.

U nastavku su navedeni koraci koji čine metog generalnog indeksa (MGI), a koji se realizuju uz pomoć ASPID metode .

Specifični indeksi  $q_i = q_i(x_i)$  uzimaju se u obliku stepene funkcije definisane na sledeći način. Neka se veličina  $x_i$  odnosno veličina indikatora može menjati u intervalu MIN, MAX i neka je  $\theta$  neki pozitivan broj. Ako veličina  $q_i$ , raste kada raste  $x_i$  odnosno indikator, onda se funkcija  $q_i(x_i)$  definiše jednačinom:

$$q_i(x_i) = \begin{cases} 0 & x_i \leq MIN_i \\ \left(\frac{x_i - MIN_i}{MAX_i - MIN_i}\right)^\theta & MIN_i < x_i \leq MAX_i \\ 1 & x_i > MAX_i \end{cases} \quad (15)$$



No, ako veličina  $q_i$  opada kada raste  $x_i$ , onda funkciju  $q_i(x_i)$  uzimamo u sledećem obliku:

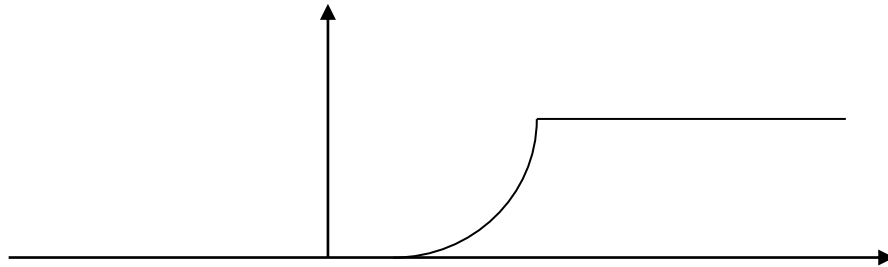
$$q_i(x_i) = \begin{cases} 1 & x_i \leq MIN_i \\ \left(\frac{MAX_i - x_i}{MAX_i - MIN_i}\right)^\theta & MIN_i < x_i \leq MAX_i \\ 0 & x_i > MAX_i \end{cases} \quad (16)$$

Eksponent  $\theta$  koji pojavljuje u formulama bira se na osnovu iskustva istraživača. Taj eksponent određuje karakter konveksnosti krive  $q_i = q_i(x_i)$ . Naime u slučaju (1) imamo:

$$q_i' = \theta \left(\frac{x_i - MIN_i}{MAX_i - MIN_i}\right)^{\theta-1} \cdot \frac{1}{MAX_i - MIN_i} \quad (17)$$

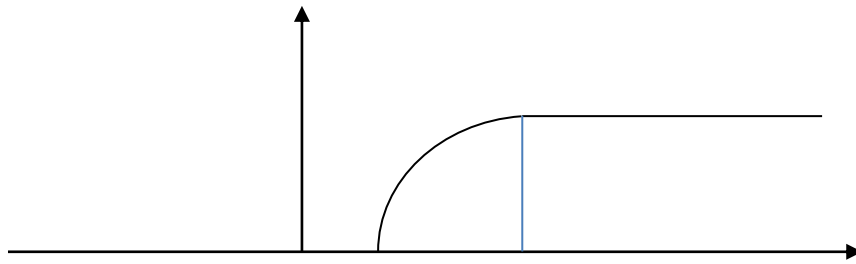
$$q_i'' = \theta(\theta - 1) \left(\frac{x_i - MIN_i}{MAX_i - MIN_i}\right)^{\theta-2} \cdot \frac{1}{(MAX_i - MIN_i)^2} \quad (18)$$

gde su  $q_i'$  i  $q_i''$  izvodi funkcije  $q_i(x_i)$  po  $x_i$ . Ako je  $\theta > 1$  onda iz izraza ... sledi da je  $q_i'' > 0$ , pa je funkcija  $q_i(x_i)$  konveksna što pokazuje Slika 22.



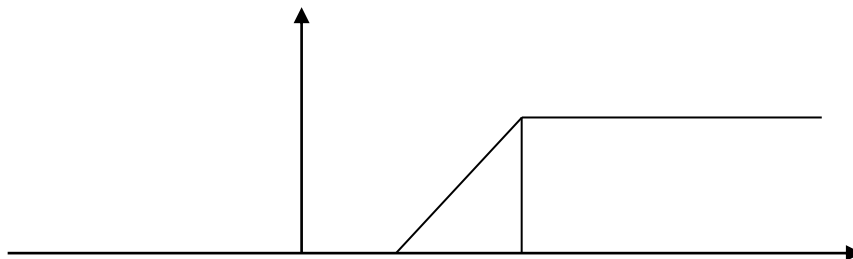
Slika 22 Rastuća funkcija  $q_i(x_i)$  konveksna prema dole

Ako je  $0 < \theta < 1$  onda iz .... sledi  $q_i'' < 0$ , pa je funkcija  $q_i(x_i)$  konveksna prema gore što pokazuje Slika 23



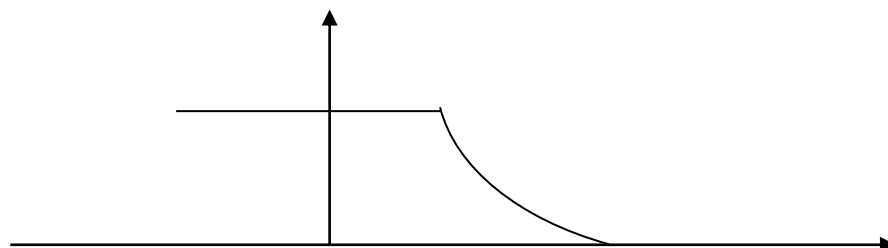
Slika 23 Rastuća funkcija  $q_i(x_i)$  konveksna prema gore

Specijalni slučaj je za  $\theta = 1$ . Tada je funkcija  $q_i(x_i)$  linearna između  $MIN_i$  i  $MAX_i$  što pokazuje Slika 24.

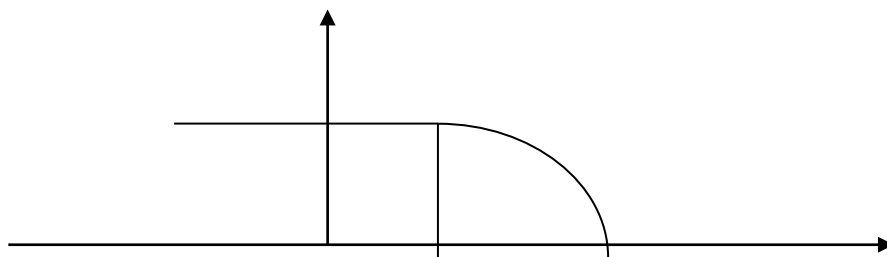


Slika 24 Rastuća linearna funkcija  $q_i(x_i)$

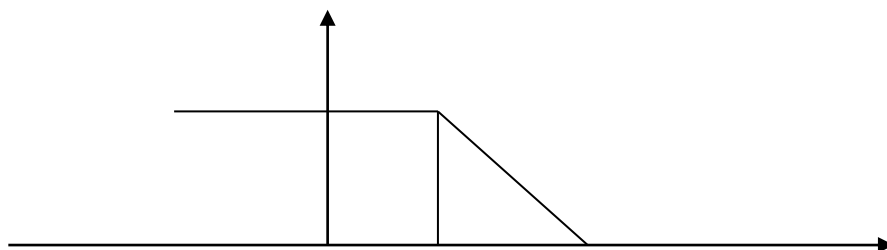
U slučaju formule za opadajuću funkciju dobija se slično rešenje, prikazano na slikama 25-27.



Slika 25 Opadajuća funkcija  $q_i(x_i)$  konveksna prema dole



Slika 26 Opadajuća funkcija  $q_i(x_i)$  konveksna prema gore



Slika 27 Opadajuća linearna funkcija  $q_i(x_i)$

Sintetizirajuća funkcija  $Q(q) = Q(q; w)$  uzima se često u obliku:

$$Q(q) = Q(q; w) = q_1 w_1 + q_2 w_2 + \dots + q_m w_m \quad (19)$$

gde su  $w_1 \dots w_m$  već spomenuti težinski koeficijenti.

Oni se uzimaju tako da je  $w_i \geq 0$  ( $i = 1, \dots, m$ ) i  $w_1 + \dots + w_m = 1$ .

Vidimo da je ovako odabrana funkcija  $Q(q)$  linearna po promenljivim  $q_1 \dots q_m$  (a i po  $w_1 \dots w_m$ ).

Generalni indeks  $Q(q; w)$  odabran prema formuli očigledno ima sledeća dva svojstva:

1. Ima osobinu monotonosti koja se sastoji u sledećem: ako se ispituju dva objekta ili dve opcije i ako su  $q^{(1)} = (q_1^{(1)}, \dots, q_m^{(1)})$  i  $q^{(2)} = (q_1^{(2)}, \dots, q_m^{(2)})$  vektori specifičnih indeksa prvog, odnosno drugog objekta, te ako vredi  $q_i^{(1)} \geq q_i^{(2)}$ , pri  $i = 1, \dots, m$ , onda je  $Q(q^{(1)}; w) \geq Q(q^{(2)}; w)$ .

2. Ako je  $q_i = 0$  za svako  $i = 1, \dots, m$  onda je  $Q(q; w) = 0$ , a ako je  $q_i = 1$  za svako  $i = 1, \dots, m$ , onda je  $Q(q; w) = 1$ .

Ova svojstva su neposredna posledica nelinearnosti funkcije  $Q(q; w)$  i činjenice da je  $w_1 + \dots + w_m = 1, w_i \geq 0$

Težinski koeficijenti se biraju iz nekog konačnog skupa. To je skup  $\{0, \frac{1}{n}, \frac{2}{n}, \dots, \frac{n-1}{n}, 1\}$ .

Ako se sa  $N$  označi broj svih mogućih izbora težinskih koeficijenata iz skupa  $\{0, \frac{1}{n}, \frac{2}{n}, \dots, \frac{n-1}{n}, 1\}$  onda sledi:

$$N = \binom{n+m-1}{m-1} = \frac{(n+m-1)!}{n!(m-1)!} \quad (20)$$

gde je:

$n$  – broj delova na koje je podeljen segment od 0 do 1. U ovom radu se primenjuje podela segmenta 0-1 na 70 delova

$m$  – broj polaznih atributa (indikatora) odnosno specifičnih kriterija. U ovom radu  $m = 4$

Izbor težinskih koeficijenata je otežan i time što u praksi istraživač obično nema dovoljno informacija na osnovu kojih bi tačno odredio koeficijente  $w_i$ . Iz iskustva, a i na osnovu teoretskih argumenata se zna da je u takvim slučajevima najpogodnije imati tzv. ordinalnu (rednu informaciju).

U praksi se najčešće susreće situacija da se zbog nedovoljnih informacija ne može tačno odrediti vektor  $w = (w_1 \dots w_m)$  tačno odrediti. U tom slučaju koristimo postupak randomizacije koji se sastoji u sledećem: umesto jednog vektora  $w$ , imamo, kao što smo ranije pomenuli, neki skup vektora  $W(I)$ . Ovaj skup je određen skupom svih informacija kojima raspolažemo (a označavamo ga sa  $I$ ). Ako npr. raspolažemo intervalnom informacijom, onda se skup  $I$  sastoji od svih relacija oblika  $a_i \leq w_i \leq b_i$  koje posedujemo. Ako sa druge strane raspolažemo ordinalnom informacijom, onda je  $I$  skup svih relacija oblika  $w_i = w_j, w_i > w_s$  koje imamo.

U ovakvoj situaciji, umesto određenih težinskih koeficijenata  $w = (w_1 \dots w_m)$  imamo skupove svih prvih, drugih, ...,  $m$  – tih težinskih koeficijenata koje posmatramo kao

slučajne veličine. Dakle, sad imamo slučajne veličine  $\widetilde{w}_1(I), \dots, \widetilde{w}_m(I)$ . Možemo sada uzeti matematička očekivanja (srednje vrednosti)  $M\widetilde{w}_1(I), \dots, M\widetilde{w}_m(I)$  slučajnih veličina  $\widetilde{w}_1(I), \dots, \widetilde{w}_m(I)$  kao tražene težinske koeficijente. Označavaćemo ih sa  $w_i(I)$ ,  $i = 1, \dots, m$ :

Tačnost ovakvog izraza težinskih koeficijenata određujemo standardnim odstupanjem  $S\widetilde{w}_1(I), \dots, S\widetilde{w}_m(I)$ ,

$$S_j = S(q^{(j)}; I) = \sqrt{\frac{1}{N(I; m; n)} \sum_{s=1}^{N(I; m; n)} [Q_+^{(s)}(q^{(j)}) - \overline{Q_+}(q^{(j)})]^2} \quad (21)$$

Pouzdanost dominacije ovako randomizirane "težine" specifičnog indeksa  $q_i$  nad randomiziranom "težinom" indeksa  $q_j$  meri se tada verovatnoćom  $Pw(i, j; I)$  stohastičke nejednakosti  $\widetilde{w}_i(I) > \widetilde{w}_j(I)$ .

Kada ovako radimo sa randomiziranim težinskim koeficijentima  $\widetilde{w}_1(I), \dots, \widetilde{w}_m(I)$  onda umesto određenog generalnog indeksa

$$Q(q) = Q(q; w) = q_1 w_1 + q_2 w_2 + \dots + q_m w_m \quad (22)$$

dobijamo randomizirani generalni indeks:

$$Q(q; I) = q_1 \widetilde{w}_1 + q_2 \widetilde{w}_2 + \dots + q_m \widetilde{w}_m \quad (23)$$

koji je takođe slučajna veličina.

Slučajno kao i u prethodnom postupku, od ove slučajne veličine prelazimo na matematičko očekivanje  $\widetilde{M}Q(q; I)$  (tj. srednja vrednost) slučajne veličine  $\widetilde{Q}(q; I)$ . Označavamo je sa  $Q(q; I) = \widetilde{M}Q(q; I)$ . Tačnost (ili pogodnost) ovakvog iskaza generalnog indeksa određujemo, slično kao pre, pomoću standardnog odstupanja  $S\widetilde{Q}(q; I)$ , a pouzdanost ovako odabranog (tj. randomiziranog) generalnog indeksa i-tog objekta (opcije) nad randomiziranim generalnim indeksom j-tog objekta određujemo pomoću verovatnoće  $PQ(i, j; I)$  stohastičke nejednakosti  $\widetilde{Q}^{(i)}(q; I) > \widetilde{Q}^{(j)}(q; I)$ .  $\widetilde{Q}^{(i)}(q; I)$  je randomizirani generalni indeks i-tog objekta, a  $\widetilde{Q}^{(j)}(q; I)$  j-tog objekta.

Postoji mnogo sintetizirajućih funkcija  $Q$ , ali najjednostavnija modifikacija uopštene težinske sredine u upotrebi je aditivna agregativna funkcija (težinsko aritmetička sredina)

$$Q_+(q; w) = \sum_{i=1}^m w_i q_i \quad (24)$$

U ovoj formuli  $w = (w_1 \dots w_m)$ ,  $w_i \geq 0$ ,  $w_1 + \dots + w_m = 1$ , je vector težinskih koeficijenata,  $w_1 \dots w_m$  (težinski vector). Težinski vektor  $w_i$  jeste mera relativnog značaja odgovarajućeg specifičnog kriterija  $q_i$  za ukupnu procenu  $Q(q^{(j)})$  opšte preferabilnosti jednog objekta  $x^{(j)} \in X$ .

Težinska aritmetička sredina je najpopularniji tip sintetizirajućih funkcija. Funkcija  $Q_+(q; w)$  je najjednostavnija i lako objašnjiva sintetizirajuća funkcija i ona je sasvim prirodna forma agregacije specifičnih funkcija za većinu stvarnih donosioca odluka.

Aditivnom formulom  $Q_+(q; w)$  za agregativnu funkciju koja je fiksno određena završava se proces formiranja specifičnih indeksa  $q_1 \dots q_m$  sintetiziranih u opšti indeks  $Q$  pomoću izbora jednog elementa iz skupa (simplex)  $W = \{w = (w_1, \dots, w_m) : w_i \geq 0, w_1 + \dots + w_m = 1\}$  svih mogućih težinskih vektora. Dobro je poznato da je najprefinjenija i delikatna faza MGI – metode upravo faza procene težina  $w_1 \dots w_m$  zbog uobičajenog nedostatka informacija o egzaktnim numeričkim vrednostima težinskih koeficijenata. Po pravilu postoje samo nenumeričke (ordinalne) informacije koje se mogu predstaviti:

$$OI = \{w_i > w_j, w_r = w_s, \dots, i, j, r, s, \dots \in \{1, \dots, m\}\} \quad (25)$$

jednačina i nejednačina i/ili ne egzaktnih (intervalnih) informacija koje se mogu predstaviti sistemom:

$$II = \{0 \leq a_i \leq w_i \leq b_i \leq 1, i \in \{1, \dots, m\}\} \quad (26)$$

Nejednačina koja određuje intervale  $[a_i, b_i]$  za moguće vrednosti težinskih koeficijenata. Moguće je da neki težinski koeficijenti ne ulaze u ove sisteme OI i II

jednačina i nejednačina. U takvom slučaju se može reći da je informacija  $I = OI \cup II$  jednačina i nejednačina. Stoga, se radi o neegzaktnim i nekompletnim informacijama. Smatra se da je merenje težinskih koeficijenata precizno u okviru koraka  $h = 1/n$ ,  $n -$  pozitivni integrator. U tom slučaju je skup svih vektora prikazan sa:

$$W(m, n) = \left\{ w^{(t)} = \left( w_1^{(t)}, \dots, w_m^{(t)} \right) : w_i^{(t)} \in \left\{ \frac{0,1}{n}, \frac{2}{n}, \dots, 1 \right\}, w_1^{(t)} + \dots + w_m^{(t)} = 1 \right\} \quad (27)$$

gde je  $W(m, n)$  skup svih vektora  $w^{(t)} = \left( w_1^{(t)}, \dots, w_m^{(t)} \right)$  kod kojih se sve koordinate uzimaju iz skupa  $\left\{ 0, 1/n, 2/n, \dots, 1, w_1^{(t)} + \dots + w_m^{(t)} = 1 \right\}$  pri čemu je  $w_1^{(t)} + \dots + w_m^{(t)} = 1$ .

Broj elemenata skupa  $W(m, n)$  može se računati formulom:

$$N(m, n) = \binom{n+m-1}{n} = \binom{n+m-1}{m-1} = \frac{(n+m-1)!}{n!(m-1)!} \quad (28)$$

Ako imamo neke informacije izražene ordinalnim ili intervalnim uslovima onda sa  $W(I, m, n)$  označavamo skup svih onih vektora iz  $W(m, n)$  koji zadovoljavaju te uslove. Skup svih uslova označava se sa  $I$ . Broj vektora koji pripadaju skupu  $W(I, m, n)$  tj. koji zadovoljavaju uslove se označavaju sa  $N(I, m, n) \leq N(m, n)$ . Od svakog vektora  $W^{(s)}$  koji ulazi u skup  $W(I, m, n)$  dobijamo generalni indeks  $Q_+^{(s)}(q) = Q_+(q; w^{(s)})$ ,  $s = 1, \dots, N(I, m, n)$  skup svih dopustivih agregativnih funkcija.

Prosečna opšta procena  $\overline{Q}_- + (q; I)$  može se računati po formuli:

$$\overline{Q}_- + (q; I) = \frac{1}{N(I; m, n)} \sum_{s=1}^{N(I; m, n)} Q_+^{(s)}(q) = \frac{1}{N(I; m, n)} \sum_{s=1}^{N(I; m, n)} Q_+(q; w^{(s)}), \quad (29)$$

gde je  $w^{(s)} \in W(I, m, n)$ .

Tačnost procene preferabilnosti opšteg proseka  $\overline{Q}_- + (q^{(j)}; I)$  iz  $j$ -tog objekta može se meriti standardnom devijacijom:

$$S_j = S(q^{(j)}; I) = \sqrt{\frac{1}{N(I; m, n)} \sum_{s=1}^{N(I; m, n)} \left[ Q_+^{(s)}(q^{(j)}) - \overline{Q}_+(q^{(j)}) \right]^2} \quad (30)$$

Zbog linearizacije brojnih vrednosti indikatora, javlja se rasipanje koje zavisi od vrednosti  $n$ . Verovatnoća dominacije jedne opcije uvodi se kao dodatni factor za ocenu para opcija. Izračunava se po formuli:

$$P(i, l, I) = P\left(\left\{\tilde{Q}_+^{(i)}(I) > \tilde{Q}_+^{(l)}(I)\right\}\right) = \frac{N\{s: Q_+^{(s)}(q^{(i)}) > Q_+^{(s)}(q^{(l)})\}}{N(m, n; I)} \quad (31)$$

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



## 5. REZULTATI I ANALIZA REZULTATA ODRŽIVOSTI ENERGETSKOG SISTEMA

Primenom metodologijom višekriterijalne analize, prikazane u poglavlju 4, urađena je procena i analiza održivosti sedam opcija razmatranih na bloku A2 TE "Kolubara" uspostavljenih u poglavlju 3. Evaluacija predloženih opcija, kao i izračunavanje Indeksa održivosti (IO), izvršeno je korišćenjem višekriterijalne ASPID analize zasnovane na stohastičkom vrednovanju skupova indikatora i podindikatora. Da bi se formirao IO koji predstavlja merljivu skalu za procenu kvaliteta predloženih opcija (indikator kvaliteta), prethodno su odabrani, definisani i kvantifikovani energetski indikatori sa stanovišta održivog razvoja (određivanje vrednosti različitih indikatora dato je u Prilogu 1). Pošto agregovani indikatori predstavljaju posebne izomorfne skupove, korišćena je normalizovana funkcija (linearna agregacija) u matematičkoj proceduri na osnovu koje se izračunava IO za opisivanje kvaliteta sistema. Cilj višekriterijalne ASPID metode je ispitivanje uticaja pojedinačnih kriterijuma (indikatora) kao i međusobnog uticaja kriterijuma na formiranje liste prioriteta ispitivanih opcija. Zbog složenosti donošenja dugoročnih odluka u energetske politici, vazane za održivost, u ovom radu je predstavljen matematički alat za procenu održivosti kompleksnog energetskog sistema koji može da integriše višedimenzionalne parametre.

U ovom radu je urađena analiza održivosti za sedam složenih energetskih sistema-*opcija* (Tabela 13), tako što je formirano 16 grupa, a u okviru svake grupe nekoliko karakterističnih slučajeva.

Tabela 14 Prikaz opcija održivosti za analizirani blok 2 TE "Kolubara - A"

Opcije održivosti razmatranog energetskog sistema bloka 2 TE "Kolubara - A"	
1.	Opcija 1 – Revitalizacija bloka 2 TE "Kolubara A" na ugalj (kolubarski lignit) u kondenzacionom režimu
2.	Opcija 2 - Revitalizacija bloka 2 TE "Kolubara A" na bazi kosagorevanja uglja (kolubarski lignit) i SRF u kondenzacionom režimu
3.	Opcija 3 - Revitalizacija bloka 2 TE "Kolubara A" na bazi kosagorevanja uglja (kolubarski lignit) i biomase u kondenzacionom režimu
4.	Opcija 4 - Revitalizacija bloka 2 TE "Kolubara A" na bazi kosagorevanja uglja (kolubarski lignit) i otpadnih materija u kondenzacionom režimu
5.	Opcija 5 - Revitalizacija bloka 2 TE "Kolubara A" kombinovanog gasno-parnog postrojenja u kondenzacionom režimu
6.	Opcija 6 - Proizvodnja električne energije snage 32 MW iz vetrogeneratora
7.	Opcija 7 - Proizvodnja električne energije iz sunčeve energije (foltovoltaik)

Pri formiranju IO za svaku opciju, izračunate su relativne težine specifičnih kriterijuma (indikatora) ili težinski koeficijentii ( $w$ ). Ako je vrednost koju ima težinski koeficijent veća, specifični kriterijum više utiču na vrednost IO. Svakom promenom težinskog koeficijenta, menja se važnost koja se daje indikatoru pri formiranju IO. Od izbora davanja prioriteta nekom od težinskih koeficijenata zavisi i kvalitet procene ispitivanih opcija pomoću IO. Takođe, izračunate su verovatnoće ( $p$ ) za svaki par opcija i standardna devijacija (Sd) pri izračunavanju IO. Velika vrednost verovatnoće (veće od 50% za posmatrani par opcija predstavlja meru pouzdanosti i pokazuje da je kombinacija realan slučaj u ukupnom broju kombinacija koje se razmatraju. Standardna devijacija meri nepouzdanost procene IO.

U zavisnosti od unapred utvrđenog ograničenja kojim se definiše prioritet određenog indikatora dobijene su rejting liste (liste prioriteta) opcija koji se procenjuju. Rezultat različitog davanja prioriteta nekom od indikatora je različit rejting opcija na listama prioriteta za svaki karakteristični slučaj analiziranih grupa, tako da je primenom ASPID metode višekriterijalne analize izvršen izbor najbolje opcije u smislu održivosti.

Urađena je detaljna analiza za sledeće grupe i karakteristične slučajeve:

1. **Grupa I** razmatra tri karakteristična slučaja kada indikator resursa ( $I_{RE}$ ) ima prioritet ( $w = 0,64$ ) u odnosu na ekonomski ( $I_{EK}$ ), ekološki ( $I_{EL}$ ) i socijalni indikator ( $I_{SC}$ ), a koji su međusobno jednaki po značaju. Kod grupe I menjao se prioritet podindikatora resursa, dok ostali podindikatorima imaju isti značaj za razmatrane slučajeve.
2. **Grupa II** razmatra tri karakteristična slučaja kada je prioritet dat ekonomskom indikatoru ( $I_{EK}$ ,  $w = 0,64$ ), dok su indikatori resursa ( $I_{RE}$ ), ekološki ( $I_{EL}$ ) i socijalni ( $I_{SC}$ ) međusobno jednaki po značaju. Kod grupe II menjan je prioritet ekonomskih podindikatora, dok ostali podindikatorima imaju isti značaj za razmatrane slučajeve.

3. **Grupa III** razmatra šest karakterističnih slučajeva, u kojima najveći težinski koeficijent ima ekološki indikator ( $I_{EL}$ ,  $w = 0,64$ ) u odnosu na indikator resursa ( $I_{RE}$ ), ekonomski ( $I_{EK}$ ) i socijalni ( $I_{SC}$ ) koji su međusobno jednaki po značaju. Prioritet ekoloških podindikatora se menjao za analiziranu grupu IV, dok ostali podindikatorima imaju isti značaj za razmatrane slučajeve.
4. **Grupa IV** razmatra devet karakterističnih slučajeva gde najveći težinski koeficijent ima socijalni indikator ( $I_{SC}$ ,  $w = 0,64$ ) u odnosu na ekonomske ( $I_{EK}$ ), ekološke ( $I_{EL}$ ) i indikatore resursa ( $I_{RE}$ ) koji su jednaki po značaju. Kod grupe V menjao se prioritet socijalnih podindikatora, dok ostali podindikatorima imaju isti značaj za razmatrane slučajeve.
5. **Grupa V** razmatra devet karakterističnih slučajeva kada prioritet ima indikator resursa ( $I_{RE}$ ,  $w = 0,64$ ) u odnosu na ekonomski ( $I_{EK}$ ), ekološki ( $I_{EL}$ ) i socijalni ( $I_{SC}$ ) indikator, koji su međusobno jednaki po značaju. U okviru analize Grupe V u zavisnosti od slučaja, različiti podindikatorima u okviru određenog skupa indikatora imaju prioritet.
6. **Grupa VI** razmatra devet karakterističnih slučajeva i prioritet daje ekonomskom indikatoru ( $I_{EK}$ ,  $w = 0,64$ ) u odnosu na indikator resursa ( $I_{RS}$ ), ekološki ( $I_{EL}$ ) i socijalni ( $I_{SC}$ ) koji su jednaki po značaju. U okviru ove grupe analiziranu su slučajevi kada različiti podindikatorima u okviru određenog skupa indikatora imaju prioritet.
7. **Grupa VII** razmatra devet karakterističnih slučajeva gde prioritet ima ekološki indikator ( $I_{EL}$ ,  $w = 0,64$ ) u odnosu na indikatore resursa ( $I_{RE}$ ), ekonomske ( $I_{EK}$ ) i socijalne indikatore ( $I_{SC}$ ), koji su međusobno jednaki po značaju. U okviru analize Grupe VII u zavisnosti od slučaja, različiti podindikatorima u okviru određenog skupa indikatora imaju prioritet.
8. **Grupa VIII** razmatra devet karakterističnih slučajeva kada prioritet ima socijalni indikator ( $I_{SC}$ ,  $w = 0,64$ ) u odnosu na ekonomski ( $I_{EK}$ ), ekološki ( $I_{EL}$ ) i

indikator resursa ( $I_{RS}$ ), koji su međusobno jednaki po značaju. U okviru ove grupe analiziranu su slučajevi kada različiti podindikator u okviru određenog skupa indikatora imaju prioritet.

9. **Grupa IX** razmatra devet karakterističnih slučajeva kada prioritet ima indikator resursa ( $I_{RE}$ ,  $w = 0,59$ ) u odnosu na ekonomski ( $I_{EK} = 0,25$ ) dok su ekološki ( $I_{EL}$ ) i socijalni ( $I_{SC}$ ) indikator jednaki po značaju, a njihov težinski koeficijent iznosi  $7,6 \cdot 10^{-2}$ . U okviru analize Grupe IX u zavisnosti od slučaja, različiti podindikator u okviru određenog skupa indikatora imaju prioritet.
10. **Grupa X** razmatra devet karakterističnih slučajeva i prioritet se daje ekonomskom indikatoru ( $I_{EK}$ ,  $w = 0,59$ ) u odnosu na indikator resursa ( $I_{RS} = 0,25$ ), dok su ekološki ( $I_{EL}$ ) i socijalni ( $I_{SC}$ ) indikator jednaki po značaju i njihov težinski koeficijent iznosi  $7,6 \cdot 10^{-2}$ . U okviru ove grupe analiziranu su slučajevi kada različiti podindikator u okviru određenog skupa indikatora imaju prioritet.
11. **Grupa XI** razmatra devet karakterističnih slučajeva gde prioritet ima ekološki indikator ( $I_{EL}$ ,  $w = 0,59$ ) u odnosu na ekonomski indikator ( $I_{EK} = 0,25$ ), dok su indikator resursa ( $I_{RS}$ ) i socijalni ( $I_{SC}$ ) indikator jednaki po značaju i njihov težinski koeficijent iznosi  $7,6 \cdot 10^{-2}$ . U okviru analize Grupe XI u zavisnosti od slučaja, različiti podindikator u okviru određenog skupa indikatora imaju prioritet.
12. **Grupa XII** razmatra devet karakterističnih slučajeva kada prioritet ima socijalni indikator ( $I_{SC}$ ,  $w = 0,53$ ) u odnosu na ekološki ( $I_{EL} = 0,25$ ), dok su ekonomski ( $I_{EK}$ ) i indikator resursa ( $I_{RS}$ ) jednaki po značaju i njihov težinski koeficijent iznosi  $7,6 \cdot 10^{-2}$ . U okviru ove grupe analiziranu su slučajevi kada različiti podindikator u okviru određenog skupa indikatora imaju prioritet.
13. **Grupa XIII** razmatra devet karakterističnih slučajeva kada prioritet ima indikator resursa ( $I_{RE}$ ,  $w = 0,53$ ) u odnosu na ekonomski ( $I_{EK} = 0,27$ ), ekološki ( $I_{EL} = 0,14$ ) i socijalni indikator ( $I_{SC} = 5,5 \cdot 10^{-2}$ ). U okviru analize Grupe XIII

u zavisnosti od slučaja, različiti podindikator u okviru određenog skupa indikatora imaju prioritet.

14. **Grupa XIV** razmatra devet karakterističnih slučajeva i prioritet daje ekonomskom indikatoru ( $I_{EK}$ ,  $w = 0,53$ ) u odnosu na indikator resursa ( $I_{RS} = 0,27$ ), ekološki ( $I_{EL} = 0,14$ ) i socijalni indikator ( $I_{SC} = 5,5 \cdot 10^{-2}$ ). U okviru ove grupe analiziranu su slučajevi kada različiti podindikator u okviru određenog skupa indikatora imaju prioritet.
15. **Grupa XV** razmatra devet karakterističnih slučajeva gde prioritet ima ekološki indikator ( $I_{EL}$ ,  $w = 0,53$ ) u odnosu na ekonomski indikator ( $I_{EK} = 0,27$ ), socijalni ( $I_{SC} = 0,14$ ) indikator resursa ( $I_{RS} = 5,5 \cdot 10^{-2}$ ). U okviru analize Grupe XV u zavisnosti od slučaja, različiti podindikator u okviru određenog skupa indikatora imaju prioritet.
16. **Grupa XVI** razmatra devet karakterističnih slučajeva kada prioritet ima socijalni indikator ( $I_{SC}$ ,  $w = 0,53$ ) u odnosu na ekološki ( $I_{EL} = 0,27$ ), ekonomski ( $I_{EK} = 0,14$ ) i indikator resursa ( $I_{RS} = 5,5 \cdot 10^{-2}$ ). U okviru ove grupe analiziranu su slučajevi kada različiti podindikator u okviru određenog skupa indikatora imaju prioritet.

Na osnovu dobijene vrednosti IO izvršeno je rangiranje razmatranih opcija, prema kriterijumima prikazanim u Tabeli 14.

Tabela 15 Rangiranje opcija na osnovu dobijene vrednosti IO

Vrednost IO	Opis rangirane opcije
0 – 0,2	vrlo loše rangirana opcija
0,2 – 0,4	loše rangirana opcija
0,4 – 0,6	srednje rangirana opcija
0,6 – 0,8	dobro rangirana opcija
0,8 – 1	odlično rangirana opcija

U sklopu ove teze korišćen je fortranski program za određivanje održivosti kompleksnih energetskih sistema [17,90], a koji se zasniva na upotrebi ASPID metodologije za matematičko određivanje težinskih koeficijenata na oba nivoa aglomeracije. Kao krajnji rezultat primene ovog programa dobijaju se vrednosti indeksa održivosti koje rangiraju analizirane opcije. U sklopu ovog programa koristili su se sledeći ulazni podaci:

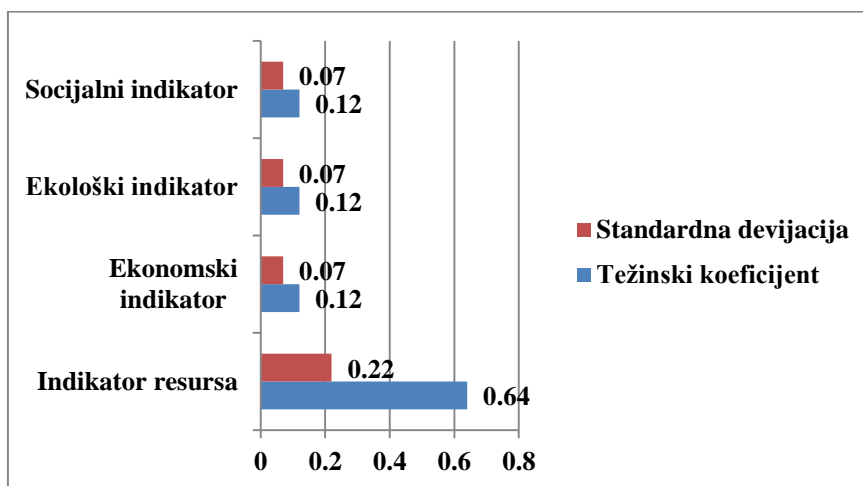
1. Četiri indikatora ( $m=4$ ) i ukupno, za sva četiri indikatora, 14 podindikatora;
2. Sedam opcija ili alernativa (Poglavlje 3);
3. Broj na koji se deli interval  $[0,1]$ ,  $n=70$ ;
4. Apsolutne vrednosti podindikatora (procedura određivanja je data u Prilogu 1);
5. Vrednosti stepena normalizacije po kriterijumima;
6. Nenumeričke informacije pretvorene u niz jednačina i nejednačina za određivanje težinskih koeficijenata na prvom nivou aglomeracije;
7. Nenumeričke informacije pretvorene u niz jednačina i nejednačina za određivanje težinskih koeficijenata na drugom nivou aglomeracije.

Program daje sledeće izlazne podatke:

1. Normalizovane vrednosti apsolutnih vrednosti podindikatora;
2. Srednje aglomerisane vrednosti indikatora (resursa, ekonomski, ekološki i socijalni);
3. Izabrane vrednosti težinskih koeficijenata na prvom i drugom nivou aglomeracije;
4. Srednje vrednosti indeksa održivosti i odgovarajuće standardne devijacije za svaku odabranu opciju;
5. Odgovarajuće standardne devijacije za svaku odabranu opciju;
6. Verovatnoća za posmatrani par opcija koja pokazuje da li je posmatrana kombinacija realan slučaj u ukupnom broju kombinacija koje se razmatraju.

## 5.1 Analiza održivosti Opcija za karakteristične slučajeve koji pripadaju Grupi I

Na slici 28 su prikazane vrednosti težinskih koeficijenata i standardne devijacije za indikator resursa, socijalni, ekonomski i ekološki indikator održivog razvoja, za analiziranu Grupu I. Kada se prioritet daje indikatoru resursa, primenom ASPID metodologije, za indikator resursa vrednost težinskog koeficijenta je  $w=0,64$ , a standardne devijacije  $Sd=0,22$  i  $w=0,12$  i  $Sd=0,22$  za socijalni, ekološki i ekonomski indikator. Grupa 1 razmatra tri karakteristična slučaja kod kojih je prednost uvek data indikatoru resursa ( $I_{RE}$ ) u odnosu na ekonomske ( $I_{EK}$ ), ekološke ( $I_{EL}$ ) i socijalne indikatore ( $I_{SC}$ ) koji imaju istu važnost. Što se tiče važnosti podindikatora, svi podindikator ekonomskog ekološkog i socijalnog indikatora su jednaki po važnosti, a važnost podindikatora resursa se menja. U grupi I razmatrana su tri slučaja (Tabela 14). Rezultati IO analiziranih opcija prikazani su na Slici 29.

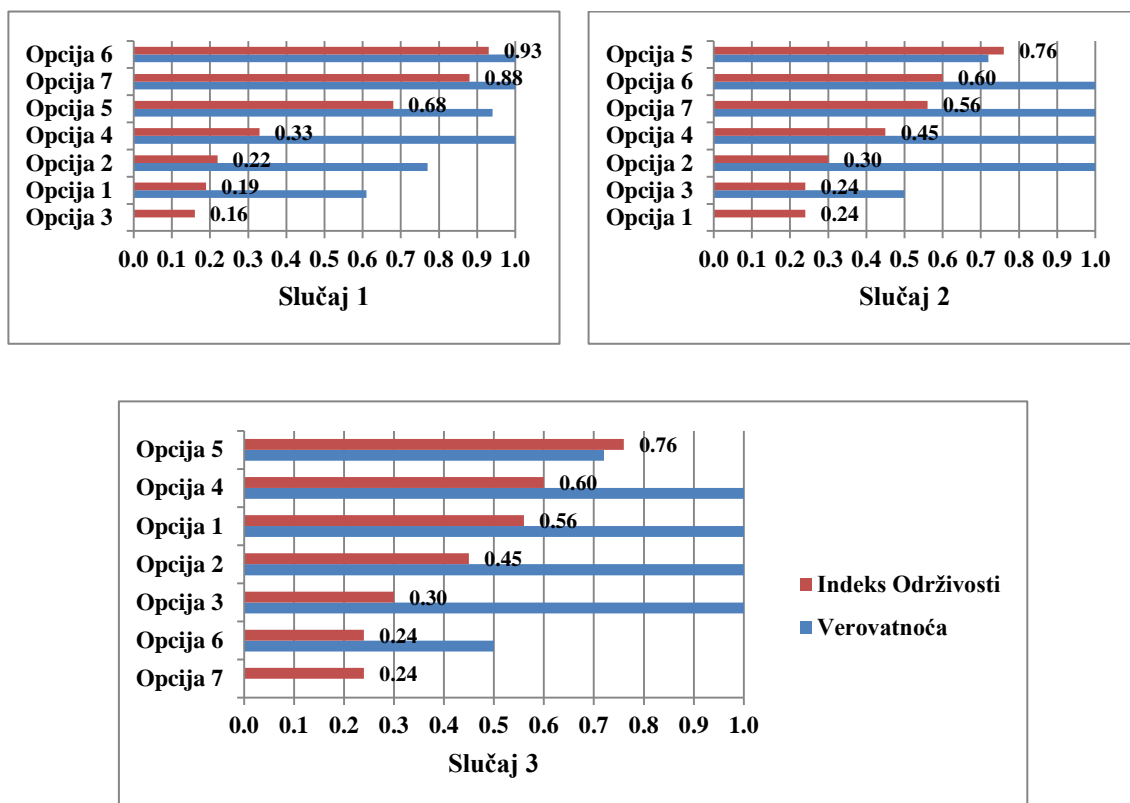


Slika 28 Vrednost težinskih koeficijenata i standardna devijacija za Grupu I

$$\text{Ograničenje } I_{RE} > I_{EK} = I_{EL} = I_{SC} \quad (32)$$

Tabela 16 Prikaz odnosa podindikatora za Slučajeve Grupe I

Indikatori	Slučaj	Odnosi podindikatora
Indikator resursa	1	$I_{ugl.} > I_{pr.e.e}$
	2	$I_{ugl.} = I_{pr.e.e}$
	3	$I_{ugl.} < I_{pr.e.e}$
Ekonomski indikator		$I_{cec} = I_{inv.}$
Ekološki indikator		$I_{CO2} = I_{SO2} = I_{Nox} = I_{pr.mat}$
Socijalni indikator		$I_{plata} = I_{zap.} = I_{lok.zj.} = I_{pov.radu} = I_{bol.} = I_{pz.snab.}$



Slika 29 Rezultati slučajeva grupe I

Kada je važnost data podindikatoru uglja ( $I_{\text{uglja}}$ ) u odnosu na podindikator proizvodnje električne energije ( $I_{\text{proizvodnje električne energije}}$ ) kao u **Slučaju 1** vidimo da Opcija 6 (vetrogeneratori) i Opcija 7 (FN tehnologija) imaju visoku vrednost IO i pripadaju grupi odlično rangiranih opcija. Visoka vrednost IO za Opcije 6 i 7 proističe iz niske vrednosti izračunatog podindikatora uglja za ove opcije (Tabela). Sa vrednošću IO 0,68 Opcija 5 (sagorevanje gasa u ciklusu gas-para) pripada veoma dobro rangiranim opcijama. Opcija 4 (kosagorevanje lignita i otpadnih materija) i Opcija 2 (kosagorevanje lignite i SRF-a) na osnovu vrednosti IO pripadaju lose rangiranim, a Opcija 1 (revitalizacija) i Opcija 3 (kosagorevanje lignita i biomase) veoma lose rangiranim opcijama.

Kod **Slučaja 2** važnost nije data nijednom od podindikatora resursa. Na osnovu dobijenih rezultata IO vidimo da nijedna opcija nije odlično rangirana. Opcija 5 (sagorevanje gasa u ciklusu gas-para) sa vrednošću IO 0,76 nalazi se na prvom mestu i



pripada veoma dobro rangiranim opcijama. Opcije 4, 6 i 7 pripadaju grupi dobro rangiranih, a Opcija 1 i Opcija 3 loše rangiranih opcija

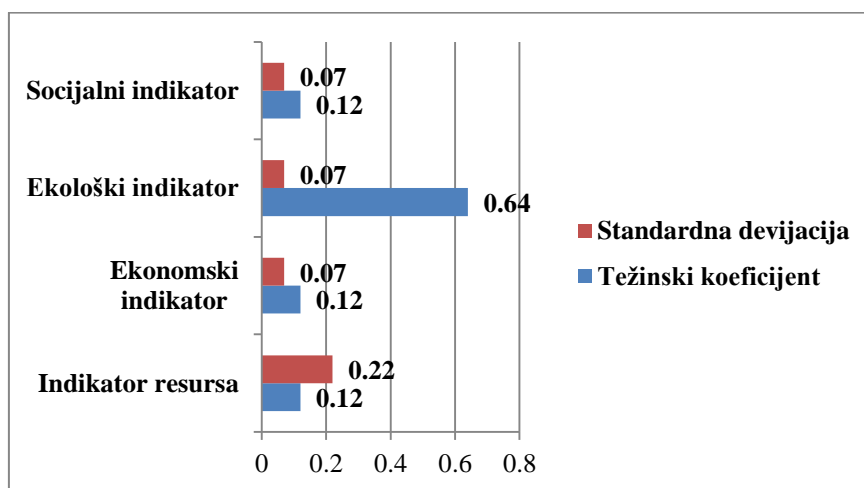
Prednost podindikatora proizvodnje električne energije za **Slučaj 3**, svrstava Opciju 5 na prvo mesto među analiziranim opcijama, koja sa vrednošću IO 0,76 spada u grupu veoma dobro rangiranih opcija. Opcije 1, 2 i 4 na osnovu vrednosti IO pripadaju grupi dobro rangiranih, a Opcija 6 i Opcija 7 grupi loše rangiranih opcija. Niska vrednost IO Opcija 6 i 7 objašnjava se niskom vrednošću njihovog izračunatog podindikatora proizvodnje električne energije (Prilog 1).

Na osnovu tri analizirana slučaja grupe I, može se primetiti izuzetna važnost odnosa podindikatora. Rangiranost razmatranih opcija za Grupu I pokazuje da višu vrednost IO imaju opcije kod kojih je električnu energiju moguće proizvesti iz obnovljivih izvora kada je prednost data podindikatoru uglja, a ukoliko je prednost data podindikatoru proizvodnje električne energije višu vrednost IO imaju opcije kod kojih se električna energija proizvodi iz uglja ili kosagorevanja uglja sa drugim materijama (SRF, biomasa, otpadne materije). Opcija 5 je vrlo dobro procenjena opcija u sva tri slučaja IO = (0.68-0.76) dok kada je prednost data  $I_{ug}$  Opcije 6 i 7 su u vrhu liste prioriteta za razliku od slučaja kada je prednost data  $I_{pr.e.e.}$  kada su ove dve opcije procenjene kao najlošije rangirane. Dobijeni rezultati za sedam razmatranih opcija, pri unapred definisanom ograničenju gde je prednost data  $I_{RE}$  i jednom od podindikatora, pokazuju velike vrednosti verovatnoće za svaki par opcija, što znači da su sve kombinacije kod ovako definisanog ograničenja realne. Standardne devijacija vrednosti IO analiziranih opcija Grupe I prikazana je u Prilogu 3.

## 5.2 Analiza održivosti *Opcija* za karakteristične slučajeve koji pripadaju Grupi II

Na slici 30 su prikazane vrednosti težinskih koeficijenata i standardne devijacije za indikator resursa, socijalni, ekonomski i ekološki indikator održivog razvoja, za analiziranu Grupu II. Kada se prioritet daje ekonomskom indikatoru, primenom matematičkog alata razvijenog u ASPID metodi, za ekonomski indikator vrednost težinskog koeficijenta je  $w=0,64$ , a standardne devijacije  $Sd=0,22$  i  $w=0,12$  i  $Sd=0,22$  za indikator resursa, ekološki i socijalni indikator. Grupa II razmatra tri karakteristična

slučaja kod kojih je prednost uvek data ekonomskom indikatoru ( $I_{EK}$ ) u odnosu na indikator resursa ( $I_{RE}$ ), ekološke ( $I_{EL}$ ) i socijalne indikatore ( $I_{SC}$ ) koji imaju istu važnost. Što se tiče važnosti podindikatora, svi podindikator resursa, ekološkog i socijalnog indikatora su jednaki po važnosti, a važnost podindikatora resursa se menja i u ovoj grupi imamo tri slučaja (Tabela 15). Rezultati IO analiziranih opcija prikazani su na Slici 31.

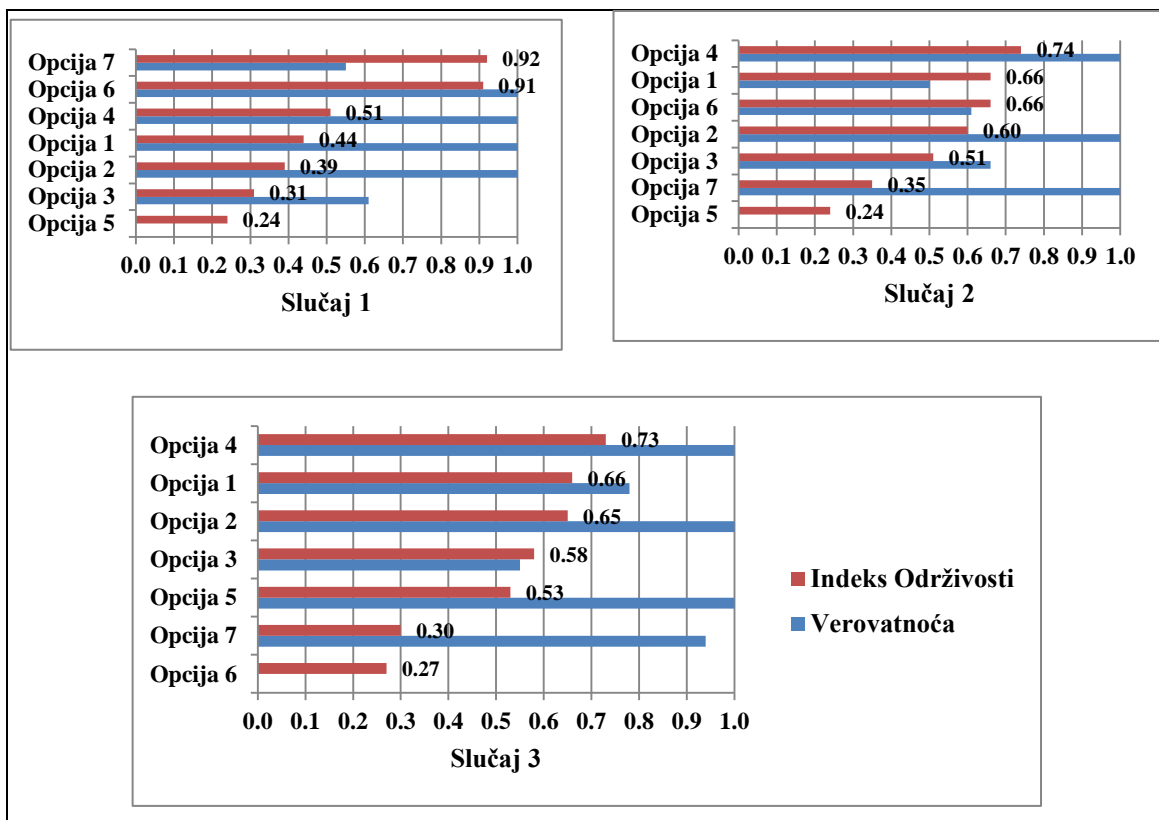


Slika 30 Vrednost težinskih koeficijenata i standardna devijacija za Grupu II

$$\text{Ograničenje } I_{EK} > I_{RE} = I_{EL} = I_{SC} \quad (33)$$

Tabela 17 Prikaz odnosa podindikatora za Slučajeve Grupe II

Indikatori	Slučaj	Odnosi podindikatora
Ekonomski indikator	1	$I_{c.e.e.} > I_{inv.}$
	2	$I_{c.e.e.} = I_{inv.}$
	3	$I_{c.e.e.} < I_{inv.}$
Indikator resursa		$I_{ugl.} = I_{pr.e.e.}$
Ekološki indikator		$I_{CO2} = I_{SO2} = I_{NOx} = I_{pr.mat.}$
Socijalni indikator		$I_{plata} = I_{zap.} = I_{lok.zj.} = I_{pov.radu} = I_{bol.} = I_{pz.snab.}$



Slika 31 Rezultati slučajeva grupe II

Za **Slučaj 1** gde je važnost data podindikatoru cene električne energije ( $I_{\text{cene električne energije}}$ ) Opcija 7 i Opcija 6 imaju najviše vrednosti IO i spadaju u grupu odlično rangiranih opcija. Vrednost izračunatog podindikatora cene električne energije za Opciju 7 i Opciju 6 je izuzetno nizak i utiče na vrednost IO ovih opcija. Na osnovu izračunatih vrednosti IO Opcija 4 i Opcija 1 pripadaju grupi dobro rangiranih, a Opcije 2, 3 i 5 grupi loše rangiranih opcija.

Podindikator cene električne energije i investicija imaju istu važnost za analizirani **Slučaj 2**. Na prvom mestu po vrednosti IO nalazi se Opcija 4 i zajedno sa Opcijom 1 i Opcijom 6 pripada grupi veoma dobro rangiranih opcija. Opcija 3 i Opcija 2 pripadaju grupi dobro rangiranih opcija sa vrednostima IO 0,51 i 0,6. Grupi loše rangiranih opcija pripadaju Opcija 5 i Opcija 7. Veliki pad u vrednosti izračunatog IO u odnosu na Slučaj 1 vidimo za Opciju 7 koja je iz grupe odlično rangiranih pala u grupu loše rangiranih opcija.

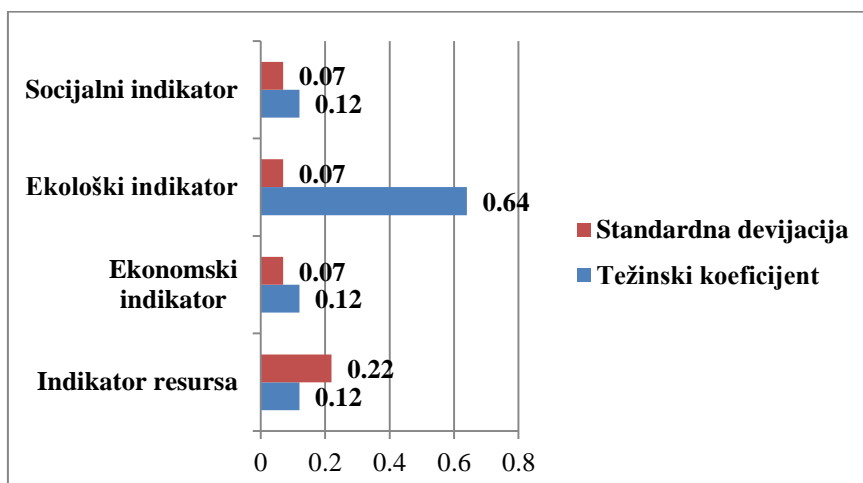
Za **Slučaj 3** važnost je data podindikatoru investicija i na osnovu vrednosti izračunatog IO grupi dobro rangiranih opcija pripadaju Opcija 4, 1 i 2 sa vrednostima IO 0,73, 0,66 i

0,65. Opcija 5 i Opcija 3 pripadaju grupi dobro rangiranih opcija. Loše rangiranim opcijama pripadaju Opcija 6 i Opcija 7 koje se nalaze na poslednjem i preposlednjem mestu na osnovu vrednosti izračunatog IO. Vidimo da u Slučaju 3, Opcija 6 u odnosu na Slučaj 1 i Slučaj 2 gde se nalazila u grupi odlično i dobro rangiranih opcija pada u grupu loše rangiranih opcija.

Na osnovu izračunatih vrednosti IO vidimo da ukoliko je prednost data podindikatoru cene električne energije Opcija 6 i Opcija 7 se nalaze u grupi odlično rangiranih. Ova visoka vrednost IO Opcije 6 i Opcije 7 objašnjava se niskom vrednošću izračunatog podindikatora cene električne energije. Ukoliko podindikator investicija ima veći ili isti značaj kao podindikator cene električne energije Opcija 4 i Opcija 1 se nalaze u vrhu po vrednosti izračunatog IO. Opcija 5 je u prva dva slučaja na osnovu izračunatog IO nalazi se u grupi loše rangiranih opcija, a za Slučaj 3 nalazi se u grupi dobro rangiranih opcija. Dobijeni rezultati za sedam razmatranih opcija, pri unapred definisanom ograničenju gde je prednost data  $I_{EK}$ , pokazuju velike vrednosti verovatnoće za svaki par opcija, što znači da su sve kombinacije kod ovako definisanog ograničenja realne. Standardna devijacija vrednosti IO analiziranih opcija Grupe II prikazana je u Prilogu 3.

### 5.3 Analiza održivosti Opcija za karakteristične slučajeve koji pripadaju Grupi III

Na slici 32 su prikazane vrednosti težinskih koeficijenata i standardne devijacije za indikator resursa, socijalni, ekonomski i ekološki indikator održivog razvoja, za analiziranu Grupu III. Kada se prioritet daje ekološkom indikatoru, primenom matematičkog alata razvijenog u ASPID metodi, za ekološki indikator vrednost težinskog koeficijenta je  $w=0,64$ , a standardne devijacije  $S_d=0,22$  i  $w=0,12$  i  $S_d=0,22$  za indikator resursa, ekonomski i socijalni indikator. Grupa III razmatra šest karakterističnih slučajeva kod kojih je prednost uvek data ekološkom indikatoru ( $I_{EL}$ ) u odnosu na indikator resursa ( $I_{RE}$ ), ekonomski ( $I_{EK}$ ) i socijalne indikatore ( $I_{SC}$ ) koji imaju istu važnost. Što se tiče važnosti podindikatora, svi ekonomski, socijalni i podindikator resursa su jednaki po važnosti, a važnost ekoloških se menja i u ovoj grupi imamo šest slučajeva (Tabela 16). Rezultati IO analiziranih opcija prikazani su na Slici 33.

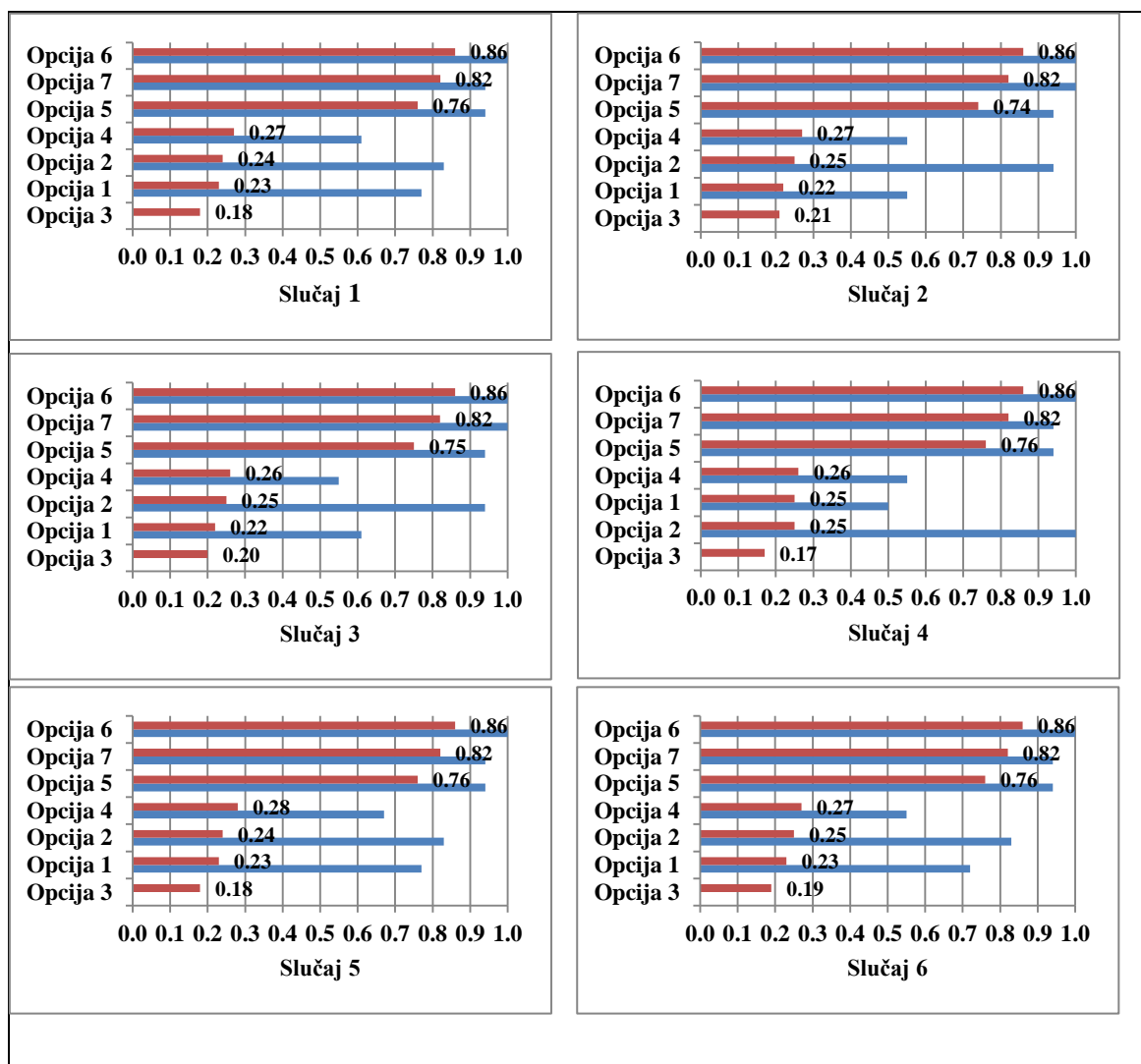


Slika 32 Vrednost težinskih koeficijenata i standardna devijacija za Grupu III

$$\text{Ograničenje } I_{EK} > I_{RE} = I_{EL} = I_{SC} \quad (34)$$

Tabela 18 Prikaz odnosa podindikatora za Slučajeve Grupe III

Indikatori	Slučaj	Odnosi podindikatora
Ekološki indikator	1	$I_{CO_2} > I_{SO_2} > I_{NOX} > I_{\text{praš. mat.}}$
	2	$I_{\text{praš. mat.}} > I_{CO_2} > I_{SO_2} > I_{NOX} >$
	3	$I_{CO_2} = I_{\text{praš. mat.}} > I_{SO_2} > I_{NOX}$
	4	$I_{NOX} > I_{CO_2} > I_{SO_2} > I_{\text{praš. mat.}}$
	5	$I_{SO_2} > I_{CO_2} > I_{NOX} > I_{\text{praš. mat.}}$
	6	$I_{CO_2} = I_{SO_2} = I_{NOX} = I_{\text{praš. mat.}}$
Indikator resursa		$I_{\text{ugl.}} = I_{\text{pr.e.e}}$
Ekonomski indikator		$I_{\text{c.e.e.}} = I_{\text{inv.}}$
Socijalni indikator		$I_{\text{plata}} = I_{\text{zap.}} = I_{\text{l.k.zj}} = I_{\text{pov.radu}} = I_{\text{bol.}} = I_{\text{pz.snab.}}$



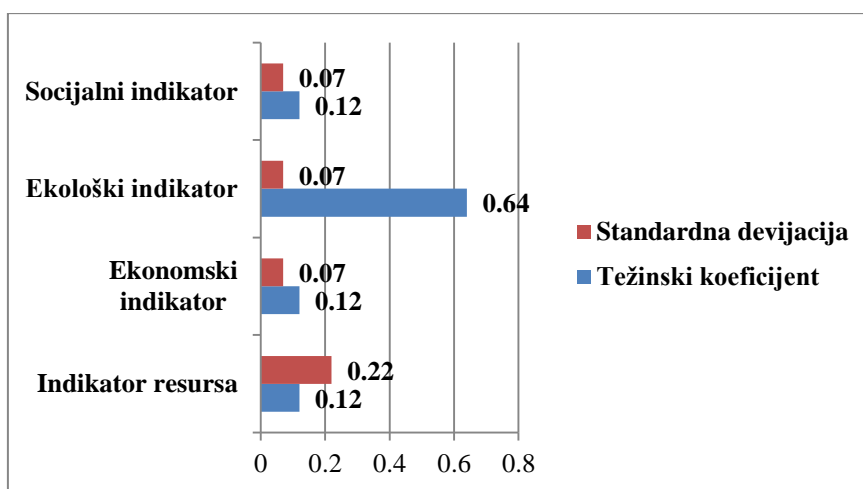
Slika 33 Rezultati slučajeva grupe III

Na osnovu izračunatih vrednosti IO vidimo da važnost podindikatora nije uticala na rangiranje opcija. Za svih šest analiziranih slučajeva rangiranost opcija je ista. Na prva dva mesta nalaze se Opcija 6 i 7 i pripadaju grupi odlično rangiranih opcija. Opcija 5 pripada grupi vrlo dobro rangiranih opcija, a Opcija 4, 2 i 1 pripadaju grupi loše rangiranih opcija. Grupi vrlo loše rangiranih opcija pripada Opcija 3. Izračunate vrednosti IO analiziranih opcija za svih šest slučajeva su veoma bliske. Za različite uslove koji definišu prioritete ekoloških podindikatora slučajeva koji su prikazani u Prilogu 1 kao odlično rangirane i veoma dobro rangirane opcije 7 (sunce), 6 (vetar) i 5 (gas) se nalaze u vrhu liste prioriteta. Kao najlošije ocenjena je Opcija 3 (kosagorevanja lignit-biomasa) za sve karakteristične slučajeve grupe III. Standardna devijacija

vrednosti IO analiziranih opcija Grupe III prikazana je u Prilogu 3. Dobijeni rezultati za sedam razmatranih opcija, pri unapred definisanom ograničenju gde je prednost data  $I_{EL}$ , pokazuju velike vrednosti verovatnoće za svaki par opcija, što znači da su sve kombinacije kod ovako definisanog ograničenja realne.

#### 5.4 Analiza održivosti Opcija za karakteristične slučajeve koji pripadaju Grupi IV

Na slici 34 su prikazane vrednosti težinskih koeficijenata i standardne devijacije za indikator resursa, socijalni, ekonomski i ekološki indikator održivog razvoja, za analiziranu Grupu IV. Kada se prioritet daje socijalnom indikatoru, primenom matematičkog alata razvijenog u ASPID metodi, za socijalni indikator vrednost težinskog koeficijenta je  $w=0,64$ , a standardne devijacije  $Sd=0,22$  i  $w=0,12$  i  $Sd=0,22$  za indikator resursa, ekološki i ekonomski indikator. Grupa IV razmatra devet karakterističnih slučajeva kod kojih je prednost uvek data socijalnom indikatoru ( $I_{SC}$ ) u odnosu na indikator resursa ( $I_{RE}$ ), ekonomski ( $I_{EK}$ ) i ekološki indikator ( $I_{EL}$ ) koji imaju istu važnost. Što se tiče važnosti podindikatora, svi ekonomski, ekološki i podindikator resursa su jednaki po važnosti, a važnost socijalnih indikatora se menja i u ovoj grupi imamo devet slučajeva (Tabela 17). Rezultati IO analiziranih opcija prikazani su na Slici 35.



Slika 34 Vrednost težinskih koeficijenata i standardna devijacija za Grupu IV

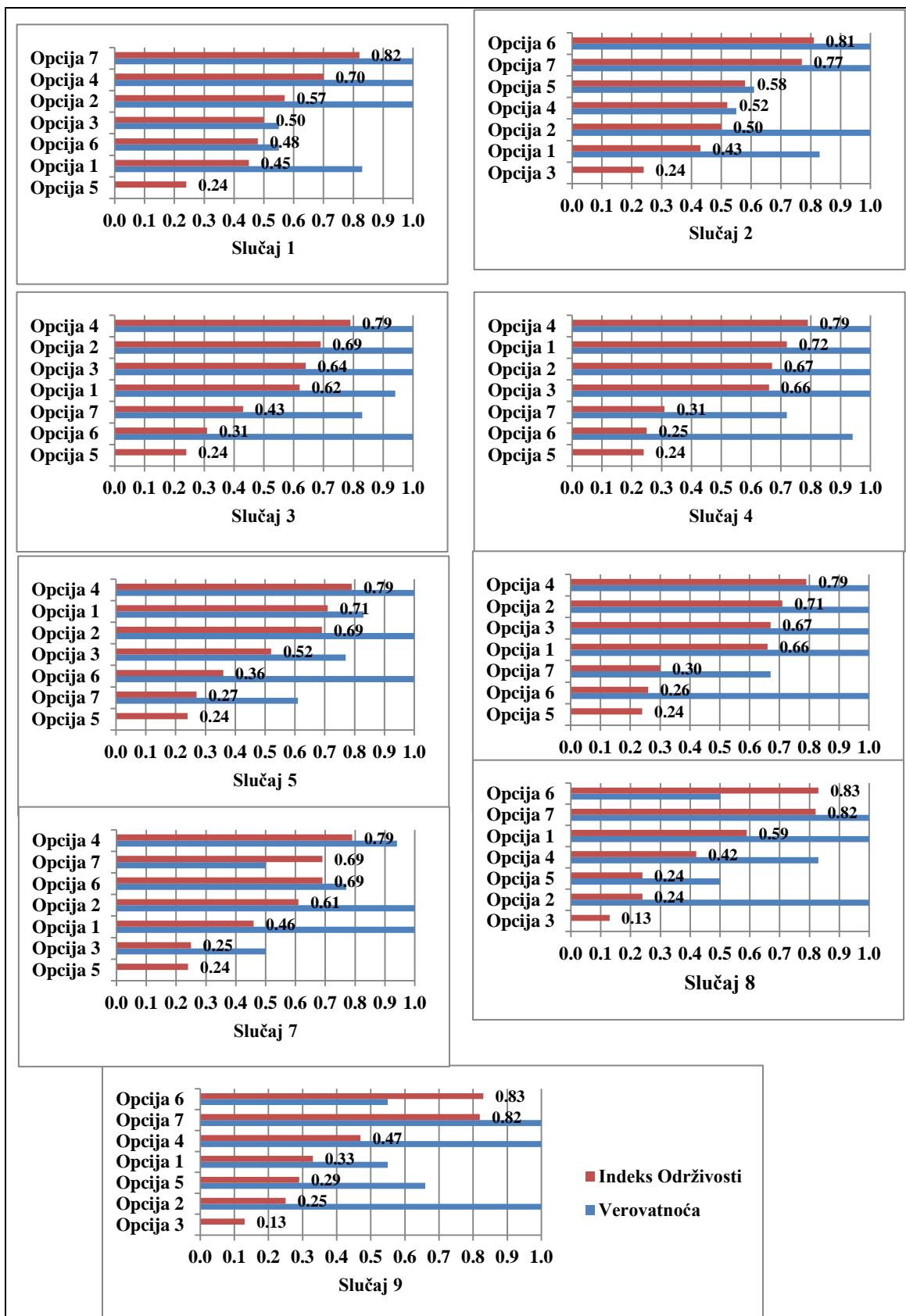
$$\text{Ograničenje } I_{SC} > I_{RE} = I_{EK} = I_{EL} \quad (35)$$

Za **Slučaj 1** važnost je data podindikatoru plata u odnosu na podindikatore broja zaposlenih i izdvajanja za lokalnu zajednicu koji ima istu važnost kao podindikator povreda na radu i bolovanja i imaju veći značaj u odnosu na podindikator snabdevanja. Na osnovu izračunatih vrednosti IO grupi odlično rangiranih opcija pripada Opcija 7. Ovu vrednost IO za Opciju 7 možemo objasniti izuzetno visokom vrednosti izračunatog podindikatora plata koji u ovom slučaju ima važnost. Grupi veoma dobro rangiranih pripada Opcija 4 sa izračunatom vrednošću IO 0,7. Opcija 2, 3, 6 i 1 na osnovu izračunatog IO pripadaju grupi dobro rangiranih opcija, a Opcija 5 sa vrednošću IO 0,24 pripada grupi loše rangiranih opcija.

Tabela 19 Prikaz odnosa podindikatora za Slučajeve Grupe IV

Indikatori	Slučaj	Odnosi podindikatora
Socijalni indikator	1	$I_{plata} > I_{zap.} > I_{l.k.zaj.} = I_{pov.radu} = I_{bol.} > I_{pz. snab.}$
	2	$I_{plata} = I_{zap.} > I_{l.k.zaj.} = I_{pov.radu} = I_{bol.} > I_{pz. snab.}$
	3	$I_{zaposlenih} > I_{plata} > I_{lok. zajednice} = I_{povreda na radu} = I_{bolovanja} > I_{pouzdanosti snabdevanja}$
	4	$I_{pz.snab} > I_{plata} > I_{zap.} > I_{l.k.zaj.} = I_{pov.radu} = I_{bol.}$
	5	$I_{pz.snab.} > I_{l.k.zaj.} > I_{zap.} > I_{plata} = I_{pov.radu} = I_{bol.}$
	6	$I_{zap.} > I_{plata} = I_{pz.snab.} > I_{l.k.zaj.} > I_{pov.radu} = I_{bol.}$
	7	$I_{l.k.zaj.} > I_{plata} = I_{pz.snab.} > I_{zap.} > I_{pov.radu} = I_{bol.}$
	8	$I_{pov.radu} > I_{zap.} > I_{plata} > I_{pz.snab.} > I_{l.k.zaj.} = I_{bol.}$
	9	$I_{bol.} > I_{plata} > I_{zap.} > I_{pz.snab.} > I_{l.k.zaj.} > I_{pov.radu}$
Indikator resursa		$I_{ugl.} = I_{pr.e.e.}$
Ekonomski indikator		$I_{c.e.e.} = I_{inv.}$
Ekološki indikator		$I_{CO2} = I_{SO2} = I_{Nox} = I_{praš.mat.}$





Slika 35 Rezultati slučajeva grupe IV

Za **Slučaj 1** važnost je data podindikatoru plata u odnosu na podindikatore broja zaposlenih i izdvajanja za lokalnu zajednicu koji ima istu važnost kao podindikator povreda na radu i bolovanja i imaju veći značaj u odnosu na podindikator snabdevanja. Na osnovu izračunatih vrednosti IO grupi odlično rangiranih opcija pripada Opcija 7. Ovu vrednost IO za Opciju 7 možemo objasniti izuzetno visokom vrednosti izračunatog podindikatora plata koji u ovom slučaju ima važnost. Grupi veoma dobro rangiranih pripada Opcija 4 sa izračunatom vrednošću IO 0,7. Opcija 2, 3, 6 i 1 na osnovu izračunatog IO pripadaju grupi dobro rangiranih opcija, a Opcija 5 sa vrednošću IO 0,24 pripada grupi loše rangiranih opcija.

Podindikator plata ima isti značaj kao podindikator zaposlenih, a veću važnost imaju u odnosu na podindikator izdvajanja za lokalnu zajednicu koji je jednak podindikatorima povreda na radu i bolovanja, a ova tri podindikatora imaju važnost u odnosu na podindikator pouzdanosti snabdevanja za **Slučaj 2**. Na osnovu izračunatih vrednosti IO na prva dva mesta nalaze se Opcija 6 i 7. Opcija 6 sa vrednošću IO 0,81 pripada grupi odlično rangiranih opcija, a vrednost IO 0,77 svrstava Opciju 7 u grupu veoma dobro rangiranih. Opcija 5, 4, 2 i 1 na osnovu izračunate vrednosti IO pripadaju grupi dobro rangiranih. Grupi loše rangiranih opcija pripada Opcija 3 sa vrednošću IO 0,23.

Za analizirani **Slučaj 3** najveća važnost je data podindikatoru zaposlenih. Drugi po značaju je podindikator plata koji ima veću važnost u odnosu na podindikator izdvajanja za lokalnu zajednicu koji je jednak po važnosti sa podindikatorima povreda na radu i bolovanja. Ova tri podindikatora imaju važnost u odnosu na podindikator pouzdanosti snabdevanja. Na osnovu izračunatih vrednosti IO na prvom mestu u analiziranom slučaju nalazi se Opcija 4 sa vrednošću IO 0,79 i pripada grupi veoma dobro rangiranih opcija. Opcija 2, Opcija 3 i Opcija 1 takođe pripadaju grupi veoma dobro rangiranih. Grupi dobro rangiranih opcija pripadaju Opcija 7 i Opcija 6 sa vrednostima IO 0,43 i 0,31, a Opcija 5 pripada grupi loše rangiranih i njena vrednost izračunatog IO iznosi 0,24.

Za analizirani **Slučaj 4** i **Slučaj 5** prednost je data podindikatoru snabdevanja dok su najmanje značajni podindikator povreda na radu i bolovanja. Jedina razlika je u tome što je za **Slučaj 4** važnost data podindikatoru plata, a za **Slučaj 5** podindikatoru izdvajanja za lokalnu zajednicu. U oba analizirana slučaja na osnovu izračunatih

vrednosti IO na prva četiri mesta nalaze se Opcija 4, Opcija 1, Opcija 2 i Opcija 3. Vrednosti IO za ova četiri slučaja su bliske. Jedina značajnija razlika može se primetiti u vrednosti IO za Opciju 3 koji za **Slučaj 4** iznosi 0,66 i svrstava je u grupu veoma dobro rangiranih, a za **Slučaj 5** 0,52 i svrstava je u grupu dobro rangiranih opcija. Na poslednja tri mesta za **Slučaj 4** nalaze se Opcija 7, Opcija 6 i Opcija 5, a za **Slučaj 5** Opcija 6, Opcija 7 i Opcija 5. Opcije 5, 6 i 7 u Slučaju 4 i Slučaju 5 na osnovu vrednosti izračunatog IO pripadaju grupi loše rangiranih opcija.

Podindikator zaposlenih ima veći značaj od podindikatora plata i pouzdanosti snabdevanja koji su jednaki po značaju za **Slučaj 6**. Podindikator plata i pouzdanosti snabdevanja ima prednost u odnosu na podindikator izdvajanja u lokalnu zajednicu koji ima veći značaj od podindikatora povreda na radu i bolovanja koji su jednaki po važnosti. Na osnovu izračunatih vrednosti IO za analizirani **Slučaj 6** na prvom mestu se nalazi Opcija 4 i pripada grupi veoma dobro rangiranih opcija. Opcija 2, Opcija 3 i Opcija 1 takođe pripadaju grupi veoma dobro rangiranih opcija. Opcija 7, Opcija 6 i Opcija 5 na osnovu izračunatih vrednosti IO pripadaju grupi loše rangiranih opcija.

U analiziranom **Slučaju 7** prednost je data podindikatoru lokalne zajednice u odnosu na podindikator plata i pouzdanosti snabdevanja koji su jednaki po važnosti. Podindikator plata i pouzdanosti snabdevanja imaju važnost u odnosu na podindikator povreda na radu i bolovanja koji su jednaki po važnosti. Na prvoj poziciji na osnovu izračunatog IO nalazi se Opcija 4. Opcija 7 i Opcija 6 i imaju istu vrednost IO koja iznosi 0,69, a Opcija 2 ima nešto nižu vrednost IO 0,61. Ove tri opcije kao i Opcija 4 pripadaju grupi veoma dobro rangiranih opcija. Grupi dobro rangiranih pripada Opcija 1, a Opcija 3 i Opcija 5 pripadaju grupi loše rangiranih opcija.

Za analizirani **Slučaj 8** podindikator povreda na radu ima veću važnost u odnosu na podindikator zaposlenih, plata, pouzdanosti snabdevanja i izdvajanja za lokalnu zajednicu koji je jednak po značaju sa podindikatorom bolovanja. Na osnovu izračunate vrednosti IO prva dva mesta pripadaju Opciji 6 i Opciji 7 i one pripadaju grupi odlično rangiranih. Grupi dobro rangiranih pripadaju Opcija 1 i Opcija 4. Opcija 5 i Opcija 2 imaju istu vrednost izračunatog indeksa održivosti i pripadaju grupi loše rangiranih. Najnižu vrednost IO ima Opcija 3 i pripada grupi veoma loše rangiranih.

Podindikator bolovanja ima najveći značaj za analizirani **Slučaj 9**. Nakon ovog podindikatora značaj je dat sledećim podindikatorima respektivno: podindikator plata, zaposlenih, pouzdanosti snabdevanja, lokalne zajednice i povreda na radu. Kao i u analiziranom Slučaju 8 na prva dva mesta nalaze se Opcija 6 i Opcija 7 i pripadaju grupi odlično rangiranih. Opcija 4 na osnovu izračunate vrednosti IO pripada grupi dobro rangiranih. Grupi loše rangiranih pripadaju Opcija 1, Opcija 5 i Opcija 2. Nanižu vrednost IO ima Opcija 3 i pripada grupi veoma loše rangiranih opcija.

Na osnovu analize Grupe IV gde je prednost data socijalnom indikatoru, a vrednost podindikatora se menja u 9 slučajeva, možemo zaključiti da se na osnovu izračunate vrednosti IO Opcije 7 (sunce) i 6 (vetar) su odlično rangirane (u vrhu liste) kada izabrani socijalni podindikatorima imaju prioritete prema postavljenim uslovima u slučajevima 1 i 2 (prioritet ima  $I_{\text{plata}}$ ), slučaju 8 (prioritet ima  $I_{\text{povrede na radu}}$ ) i slučaju 9 (prioritet ima  $I_{\text{bolovanje}}$ ) (Slika31). Dijagrami sa slike 31 pokazuju da prema postavljenim uslovima kod slučajeva 4 i 5 (prioritet  $I_{\text{pz.snab.}}$ ) i slučaja 6 (prioritet ima  $I_{\text{zap.}}$ ) veoma dobro rangirane opcije su: Opcija 1 (lignit), Opcija 2 (lignit-SRF) i Opcija 4 (lignit-otpadne materije). Standardna devijacija vrednosti IO analiziranih opcija Grupe IV prikazana je u Prilogu 3. Dobijeni rezultati za sedam razmatranih opcija, pri unapred definisanom ograničenju gde je prednost data  $I_{\text{SC}}$ , pokazuju velike vrednosti verovatnoće za svaki par opcija, što znači da su sve kombinacije kod ovako definisanog ograničenja realne.

## 5.5 Odnos indikatora i podindikatora za karakteristične slučajeve V, VI, VII i VIII grupe

Unutar analize Grupe V prednost je data indikatoru resursa ( $I_{\text{resursa}}$ ), a ostali ( $I_{\text{ekonomski}} = I_{\text{ekološki}} = I_{\text{socijalni}}$ ) su jednaki po značaju. Ekonomski indikator ( $I_{\text{ekonomski}}$ ) ima prednost u odnosu na ostale indikatore koji su jednaki po značaju ( $I_{\text{resursa}} = I_{\text{ekološki}} = I_{\text{socijalni}}$ ) u okviru analizirane grupe VI. Prednost unutar analizirane grupe VII ima ekološki indikator ( $I_{\text{ekološki}}$ ), a ostali su jednaki po značaju ( $I_{\text{resursa}} = I_{\text{ekonomski}} = I_{\text{socijalni}}$ ). Za analiziranu Grupu VIII prednost je data socijalnom indikatoru ( $I_{\text{socijalni}}$ ), a ostali ( $I_{\text{resursa}} = I_{\text{ekonomski}} = I_{\text{ekološki}}$ ) su jednaki po značaju. Za svaku od navedenih grupa analizirano je po 9 slučajeva, gde se za svaki slučaj prednost davala određenim podindikatorima. Odnos podindikatora je isti za svaku grupu da bi bilo moguće vršiti validna poređenja između analiziranih grupa (Tabela 20).

Tabela 20 Odnos indikatora i podindikatora za grupe V, VI, VII i VIII

Slučaj	Indikator			
	Indikator resursa	Ekonomski indikator	Ekološki indikator	Socijalni indikator
1	$I_{\text{ugl.}} > I_{\text{pr.e.e}}$	$I_{\text{c.e.e.}} > I_{\text{inv.}}$	$I_{\text{CO}_2} = I_{\text{SO}_2} = I_{\text{NO}_x} = I_{\text{praš.mat.}}$	$I_{\text{plata}} > I_{\text{zap.}} = I_{\text{l.k.zaj.}} = I_{\text{pov.radu}} = I_{\text{bol.}} = I_{\text{pz.snab}}$
2	$I_{\text{ugl.}} > I_{\text{pr.e.e}}$	$I_{\text{inv.}} > I_{\text{c.e.e.}}$	$I_{\text{CO}_2} = I_{\text{SO}_2} = I_{\text{NO}_x} = I_{\text{praš.mat.}}$	$I_{\text{zap.}} > I_{\text{plata}} = I_{\text{l.k.zaj.}} = I_{\text{pov.radu}} = I_{\text{bol.}} = I_{\text{pz.snab}}$
3	$I_{\text{ugl.}} > I_{\text{pr.e.e}}$	$I_{\text{c.e.e.}} = I_{\text{inv.}}$	$I_{\text{CO}_2} = I_{\text{SO}_2} = I_{\text{NO}_x} = I_{\text{praš.mat.}}$	$I_{\text{l.k.zaj.}} > I_{\text{plata}} = I_{\text{zap.}} = I_{\text{pov.radu}} = I_{\text{bol.}} = I_{\text{pz.snab}}$
4	$I_{\text{pr.e.e}} > I_{\text{ugl.}}$	$I_{\text{c.e.e.}} > I_{\text{inv.}}$	$I_{\text{CO}_2} = I_{\text{SO}_2} = I_{\text{NO}_x} = I_{\text{praš.mat.}}$	$I_{\text{pov.radu}} > I_{\text{plata}} = I_{\text{zap.}} = I_{\text{l.k.zaj.}} = I_{\text{bol.}} = I_{\text{pz.snab}}$
5	$I_{\text{pr.e.e}} > I_{\text{ugl.}}$	$I_{\text{inv.}} > I_{\text{c.e.e.}}$	$I_{\text{CO}_2} = I_{\text{SO}_2} = I_{\text{NO}_x} = I_{\text{praš.mat.}}$	$I_{\text{bol.}} > I_{\text{plata}} = I_{\text{zap.}} = I_{\text{l.k.zaj.}} = I_{\text{pov.radu}} = I_{\text{pouzdanosti snabdevanja}}$
6	$I_{\text{pr.e.e}} > I_{\text{ugl.}}$	$I_{\text{c.e.e.}} = I_{\text{inv.}}$	$I_{\text{CO}_2} = I_{\text{SO}_2} = I_{\text{NO}_x} = I_{\text{praš.mat.}}$	$I_{\text{pz.snab.}} > I_{\text{plata}} = I_{\text{zap.}} = I_{\text{l.k.zaj.}} = I_{\text{pov.radu}} = I_{\text{bol.}}$
7	$I_{\text{ugl.}} = I_{\text{pr.e.e}}$	$I_{\text{c.e.e.}} > I_{\text{inv.}}$	$I_{\text{CO}_2} = I_{\text{SO}_2} = I_{\text{NO}_x} = I_{\text{praš.mat.}}$	$I_{\text{plata}} = I_{\text{zap.}} = I_{\text{pz.snab.}} > I_{\text{l.k.zaj.}} > I_{\text{pov.radu}} > I_{\text{bol.}}$
8	$I_{\text{ugl.}} = I_{\text{pr.e.e}}$	$I_{\text{inv.}} > I_{\text{c.e.e.}}$	$I_{\text{CO}_2} = I_{\text{SO}_2} = I_{\text{NO}_x} = I_{\text{praš.mat.}}$	$I_{\text{l.k.zaj.}} = I_{\text{pov.radu}} = I_{\text{bol.}} > I_{\text{pz.snab.}} > I_{\text{plata}} > I_{\text{zap.}}$
9	$I_{\text{ugl.}} = I_{\text{pr.e.e}}$	$I_{\text{c.e.e.}} = I_{\text{inv.}}$	$I_{\text{CO}_2} = I_{\text{SO}_2} = I_{\text{NO}_x} = I_{\text{praš.mat.}}$	$I_{\text{pov.radu}} = I_{\text{bol.}} = I_{\text{pz.snab.}} > I_{\text{plata}} > I_{\text{zap.}} > I_{\text{l.k.zaj.}}$

Za prva tri slučaja kod indikatora resursa prednost je data podindikatoru potrošnje uglja ( $I_{\text{uglja}}$ ) u odnosu na podindikator proizvodnje električne energije ( $I_{\text{proizvodnje el. en.}}$ ). Ekonomski indikator za **Slučaj 1** prednost daje podindikatoru cene električne energije

( $I_{\text{cene el. en.}}$ ) u odnosu na podindikator investicija ( $I_{\text{investicija}}$ ), a za **Slučaj 2** situacija je obrnuta. Ekonomski podindikatorima imaju isti značaj za **Slučaj 3**. Ekološki podindikatorima za svih devet slučajeva imaju isti značaj. Socijalni indikator za Slučaj 1 prednost daje podindikatoru plata ( $I_{\text{plata}}$ ) dok su ostali jednaki po značaju. Podindikator zaposlenih ( $I_{\text{zaposlenih}}$ ) ima prednost za Slučaj 2, a u Slučaju 3 prednost je data podindikatoru za izdvajanje u lokalnu zajednicu ( $I_{\text{lok. zajednice}}$ ) dok su svi ostali jednaki po značaju.

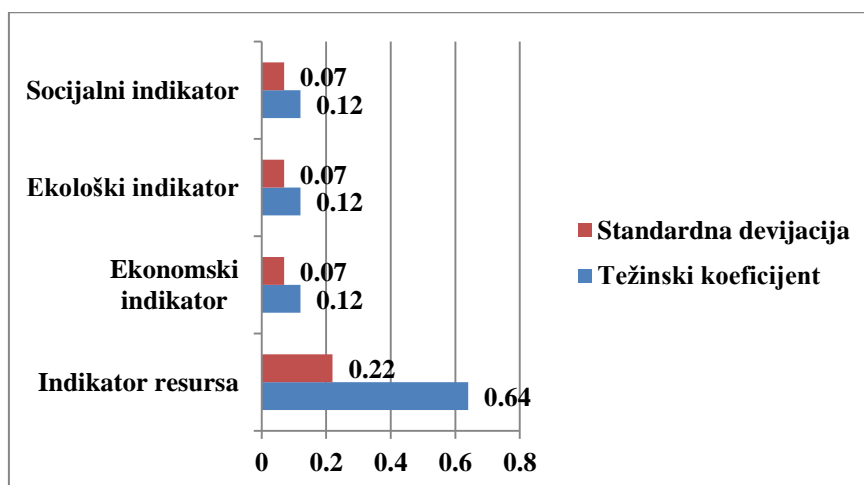
Za **Slučaj 4, 5 i 6** kod indikatora resursa prednost je data podindikatoru proizvodnje električne energije ( $I_{\text{proizvodnje el. en.}}$ ) u odnosu na podindikator potrošnje uglja ( $I_{\text{uglja}}$ ). Odnosi ekonomskih podindikatora za **Slučaj 4, Slučaj 5 i Slučaj 6** isti su kao u prva tri slučaja. Socijalni indikator za Slučaj 4 prednost daje podindikatoru povreda na radu ( $I_{\text{povreda na radu}}$ ) dok su ostali jednaki po značaju. Podindikator bolovanja ( $I_{\text{bolovanja}}$ ) ima najveći značaj za Slučaj 5, a podindikator pouzdanosti snabdevanja ( $I_{\text{pouzdanosti snabdevanja}}$ ) za Slučaj 6 dok su ostali jednaki po značaju.

Unutar indikatora resursa za **Slučaj 7, 8 i 9** podindikatorima su jednaki po značaju. Odnosi ekonomskih podindikatora isti su kao i za prethodno navedene slučajeve. Za **Slučaj 7** isti značaj unutar socijalnog indikatora imaju podindikator plata ( $I_{\text{plata}}$ ), podindikator zaposlenih ( $I_{\text{zaposlenih}}$ ) i podindikator pouzdanosti snabdevanja ( $I_{\text{pouzdanosti snabdevanja}}$ ) u odnosu na podindikator izdvajanja za lokalnu zajednicu ( $I_{\text{lok. zajednice}}$ ), podindikator povreda na radu ( $I_{\text{povreda na radu}}$ ) i podindikator bolovanja ( $I_{\text{bolovanja}}$ ). Podindikator izdvajanja za lokalnu zajednicu, podindikator povreda na radu, podindikator bolovanja imaju isti značaj za **Slučaj 8**. U odnosu na ove podindikatore za Slučaj 8, podindikator pouzdanosti snabdevanja ( $I_{\text{pouzdanosti snabdevanja}}$ ), podindikator plata ( $I_{\text{plata}}$ ) i podindikator zaposlenih ( $I_{\text{zaposlenih}}$ ) imaju manji značaj. Za **Slučaj 9** prednost je data podindikatorima povreda na radu ( $I_{\text{povreda na radu}}$ ), bolovanja ( $I_{\text{bolovanja}}$ ) i pouzdanosti snabdevanja ( $I_{\text{pouzdanosti snabdevanja}}$ ) u odnosu podinikatore plata, zaposlenih i izdvajanja za lokalnu zajednicu.

#### 5.6 Analiza održivosti Opcija za karakteristične slučajeve koji pripadaju Grupi V

Na slici 36 su prikazane vrednosti težinskih koeficijenata i standardne devijacije za indikator resursa, socijalni, ekonomski i ekološki indikator održivog razvoja, za analiziranu Grupu V. Kada se prioritet daje indikatoru resursa, primenom matematičkog alata razvijenog u ASPID metodi, za indikator resursa vrednost težinskog koeficijenta je

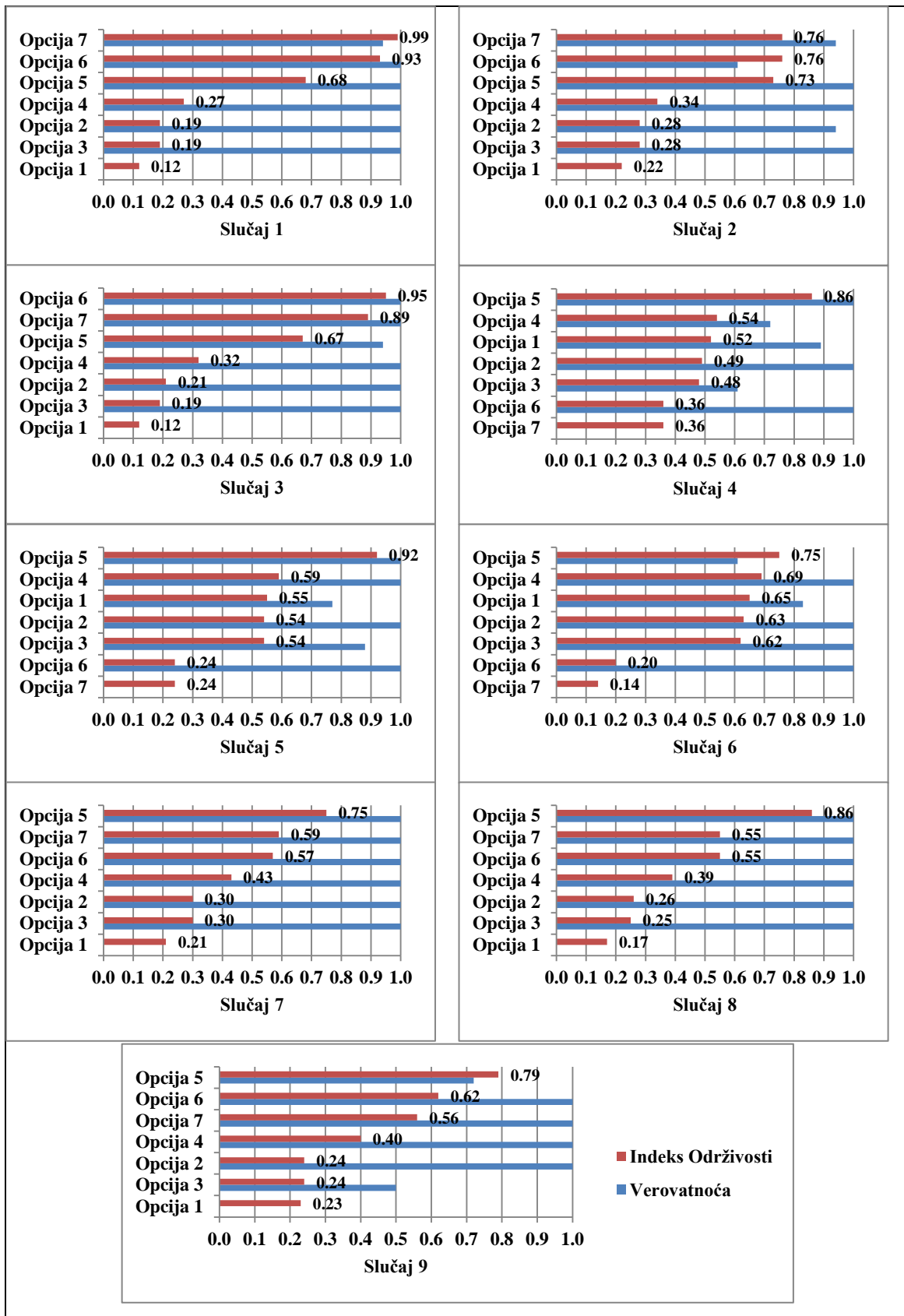
$w=0,64$ , a standardne devijacije  $Sd=0,22$  i  $w=0,12$  i  $Sd=0,22$  za socijalni, ekološki i ekonomski indikator. Grupa 1 razmatra tri karakteristična slučaja kod kojih je prednost uvek data indikatoru resursa ( $I_{RE}$ ) u odnosu na ekonomske ( $I_{EK}$ ), ekološke ( $I_{EL}$ ) i socijalne indikatore ( $I_{SC}$ ) koji imaju istu važnost. Važnost podindikatora, prikazana je u Tabeli 20. Rezultati IO analiziranih opcija prikazani su na Slici 37.



Slika 36 Vrednost težinskih koeficijenata i standardna devijacija za Grupu V

$$\text{Ograničenje } I_{RE} > I_{EK} = I_{EL} = I_{SC} \quad (36)$$

Na Slici 37 prikazani su rezultati IO slučajeva grupe V. Za analizirane slučajeve **1 i 2** sve opcije na osnovu vrednosti IO su isto rangirane. Na prva dva mesta nalaze se Opcija 7 i Opcija 6. Na trećem mestu nalazi se Opcija 5, a slede Opcija 4, 2, 3 i 1.



Slika 37 Rezultati slučajeva grupe V



Razlika koju možemo uočiti analizirajući ova dva slučaja je u tome što se vrednosti IO održivosti razlikuju tako da za Slučaj 1, Opcija 7 i 6 pripadaju grupi odlično rangiranih, a za Slučaj 2 grupi veoma dobro rangiranih. Opcija 5 i u jednom i u drugom slučaju pripada grupi veoma dobro rangiranih opcija. Za Slučaj 1 grupi loše rangiranih opcija pripada samo Opcija 4, a za Slučaj 2 Opcija 4 2, 3 i 1. Na osnovu izračunatih vrednosti IO za Slučaj 1 grupi veoma loše rangiranih opcija pripadaju Opcija 2, 3 i 1. Na osnovu ove analize možemo zaključiti da razlike u važnosti podindikatora za Slučaj 1 i Slučaj 2 nisu uticale na rangiranje Opcija, ali jesu na vrednosti IO.

Prvo i drugo mesto na osnovu vrednosti IO za analizirani **Slučaj 3** zauzimaju Opcija 6 i 7 i pripadaju grupi odlično rangiranih opcija. Na trećem mestu nalazi se Opcija 5 i ona pripada grupi veoma dobro rangiranih opcija. Grupi loše rangiranih pripadaju Opcija 4 i 2, a vrlo loše Opcija 3 i 1.

Na osnovu analize prva tri slučaja gde je kod indikatora resursa prednost data podindikatoru potrošnje uglja u odnosu na podindikator proizvodnje električne energije možemo primetiti da se na začelju po vrednosti izračunatog IO nalaze Opcija 1, Opcija 2 i Opcija 3.

Za analizirane slučajeve **4, 5 i 6** na osnovu izračunatih vrednosti IO sve opcije su isto rangirane. Opcija 5 nalazi se na prvom mestu za sva tri slučaja. Grupi odlično rangiranih opcija pripada za Slučaj 4 i Slučaj 5, a grupi veoma dobro rangiranih pripada za analizirani Slučaj 6. Opcija 4, 1, 2 i 3 za Slučaj 4 i Slučaj 5 imaju bliske vrednosti IO i pripadaju grupi dobro rangiranih, a za Slučaj 6 vrednost IO je viša i pripadaju grupi veoma dobro rangiranih. Opcija 6 i 7 za sva tri analizirana slučaja nalaze se na poslednja dva mesta s tim što na osnovu vrednosti IO za Slučaj 4 i Slučaj 5 pripadaju loše rangiranim opcijama, a za Slučaj 6 grupi veoma loše rangiranih opcija.

U analiziranim slučajevima 4, 5 i 6 na poslednja dva mesta po vrednosti IO nalaze se Opcija 6 i Opcija 7. To se može objasniti time što je za ova tri slučaja prednost unutar indikatora resursa data podindikatoru proizvodnje električne energije u odnosu na podindikator potrošnje uglja.

Na osnovu analize slučajeva **7** i **8** vidimo da su opcije isto rangirane. Na prvom mestu u oba analizirana slučaja nalazi se Opcija 5. Za analizirani Slučaj 7 Opcija 5 pripada grupi veoma dobro rangiranih, a za Slučaj 8 grupi odlično rangiranih opcija. Za oba slučaja Opcija 7 i 6 pripadaju grupi dobro rangiranih opcija. Za Slučaj 7, Opcija 4, 2, 3 i 1 pripadaju grupi loše rangiranih, dok za Slučaj 8 Opcija 1 pripada grupi vrlo loše rangiranih opcija.

Za analizirani Slučaj **9** na osnovu izračunatih vrednosti IO opcije su rangirane na sledeći način: Opcija 5, 6, 7, , 4, 2, 3 i 1. Razlika u odnosu na Slučaj 7 i Slučaj 8 je ta što je na drugom mestu po rangiranosti Opcija 6 zamenila Opciju 7.

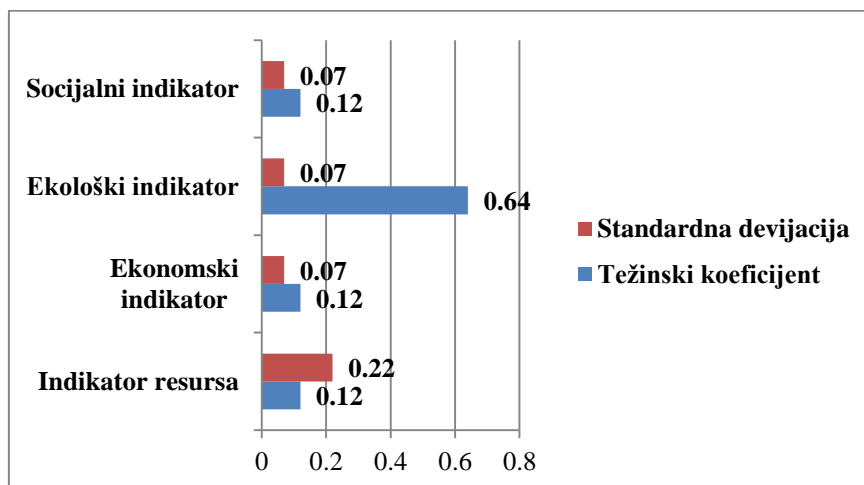
Za slučajeve 7, 8 i 9 podindikator resursa su jednaki što ukazuje da su odnosi drugih podindikatora kreirali promenu rangiranosti opcija za Slučaj 9.

Standardna devijacija vrednosti IO analiziranih opcija Grupe V prikazana je u Prilogu 3. Dobijeni rezultati za sedam razmatranih opcija, pri unapred definisanom ograničenju gde je prednost data  $I_{RE}$ , pokazuju velike vrednosti verovatnoće za svaki par opcija, što znači da su sve kombinacije kod ovako definisanog ograničenja realne.

### 5.7 Analiza održivosti Opcija za karakteristične slučajeve koji pripadaju Grupi VI

Na slici 38 su prikazane vrednosti težinskih koeficijenata i standardne devijacije za indikator resursa, socijalni, ekonomski i ekološki indikator održivog razvoja, za analiziranu Grupu II. Kada se prioritet daje ekonomskom indikatoru, primenom matematičkog alata razvijenog u ASPID metodi, za ekonomski indikator vrednost težinskog koeficijenta je  $w=0,64$ , a standardne devijacije  $S_d=0,22$  i  $w=0,12$  i  $S_d=0,22$  za indikator resursa, ekološki i socijalni indikator. Grupa II razmatra tri karakteristična slučaja kod kojih je prednost uvek data ekonomskom indikatoru ( $I_{EK}$ ) u odnosu na indikator resursa ( $I_{RE}$ ), ekološke ( $I_{EL}$ ) i socijalne indikatore ( $I_{SC}$ ) koji imaju istu važnost. Što se tiče važnosti podindikatora, svi podindikator resursa, ekološkog i socijalnog indikatora su jednaki po važnosti, a važnost podindikatora resursa se menja i u ovoj

grupi imamo tri slučaja (Tabela 15). Rezultati IO analiziranih opcija prikazani su na Slici 39.



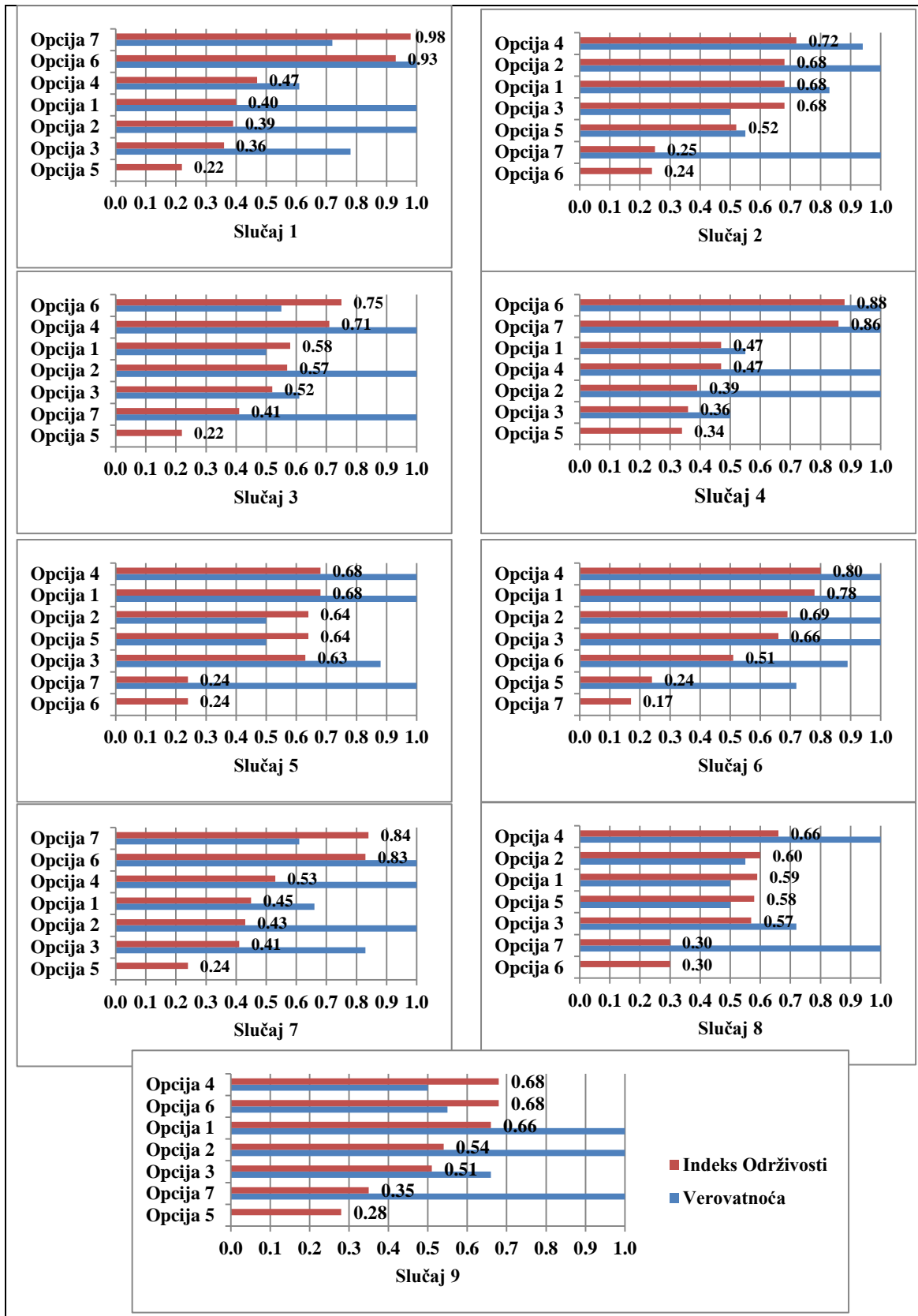
Slika 38 Vrednost težinskih koeficijenata i standardna devijacija za Grupu VI

Ograničenje  $I_{EK} > I_{RE} = I_{EL} = I_{SC}$  (37)

Na Slici 39 prikazani su rezultati IO slučajeva grupe VI.

Za analizirani **Slučaj 1** najvišu vrednost IO ima Opcija 7, a grupi odlično rangiranih pripada i Opcija 6. Grupi dobro rangiranih opcija pripadaju Opcija 4 i Opcija 1, a grupi loše rangiranih Opcija 2, 3 i 5. Analizirajući **Slučaj 1** možemo primetiti da nijedna opcija ne pripada grupi veoma dobro rangiranih.

Na prvom mestu po vrednosti izračunatog IO za **Slučaj 2** nalazi se Opcija 4 i pripada grupi veoma dobro rangiranih. Na drugom, trećem i četvrtom mestu sa istom vrednošću IO nalaze se Opcija 2, 1 i 3 i pripadaju takođe grupi veoma dobro rangiranih. Opcija 5 pripada grupi dobro rangiranih, a na poslednja dva mesta po izračunatoj vrednosti IO nalaze se Opcija 7 i Opcija 6 i pripadaju grupi loše rangiranih. Analizirajući **Slučaj 2** možemo primetiti da nijedna opcija ne pripada grupi odlično rangiranih.



Slika 39 Rezultati slučajeva grupe VI

Opcija 6 i 4 nalaze se na prva dva mesta po vrednosti izračunatog IO za analizirani **Slučaj 3** i pripadaju grupi veoma dobro rangiranih. Grupi dobro rangiranih pripadaju Opcija 1, 2 i 3 i 7. Vrednost izračunatog IO za Opciju 1, 2 i 3 je bliska, dok Opcija 7 ima nižu vrednost. Opcija 5 pripada grupi loše rangiranih opcija. Analizirajući **Slučaj 3** možemo primetiti da nijedna opcija ne pripada grupi odlično rangiranih.

Na prva dva mesta po vrednosti izračunatog IO analiziranog **Slučaja 4** nalaze se Opcija 6 i 7 i pripadaju grupi odlično rangiranih. Grupi dobro rangiranih pripadaju Opcija 1 i 4, a grupi loše rangiranih Opcija 2, 3 i 5.

Za analizirani **Slučaj 5** na prva dva mesta nalaze se Opcija 4 i 1 koji imaju jednaku izračunatu vrednost IO. Zajedno sa Opcijom 4 i 1 grupi veoma dobro rangiranih pripadaju i Opcija 2, 3 i 5. Grupi loše rangiranih pripadaju Opcija 7 i 6. Analizirajući **Slučaj 5** možemo primetiti da sve opcije na osnovu izračunate vrednosti IO možemo svrstati u dve grupe.

Na prvom mestu po vrednosti analiziranog **Slučaja 6** nalazi se Opcija 4 i zajedno sa Opcijom 1, 2 i 3 pripada grupi veoma dobro rangiranih. Grupi dobro rangiranih pripada Opcija 6, a Opcija 5 grupi loše rangiranih. Najnižu vrednost indeksa održivosti za ovaj slučaj ima Opcija 7 i pripada grupi veoma loše rangiranih.

Za analizirani **Slučaj 7** na prva dva mesta po vrednosti izračunatog IO nalaze se Opcija 7 i Opcija 6 i pripadaju grupi odlično rangiranih opcija. Grupi dobro rangiranih pripadaju 4 opcije (Opcija 4, 1, 2 i 3). Najnižu vrednost izračunatog IO ima Opcija 5 i pripada grupi loše rangiranih opcija.

Za analizirani **Slučaj 8** grupi veoma dobro rangiranih opcija pripada Opcija 4 koja se nalazi na prvom mestu na osnovu izračunate vrednosti IO. Opcija 2, 1, 5 i 3 pripadaju grupi dobro rangiranih i vrednosti njihovog IO su veoma bliske. Grupi loše rangiranih opcija pripadaju Opcija 7 i 6 i nalaze se na poslednjem mestu u analiziranom **Slučaju 8**.

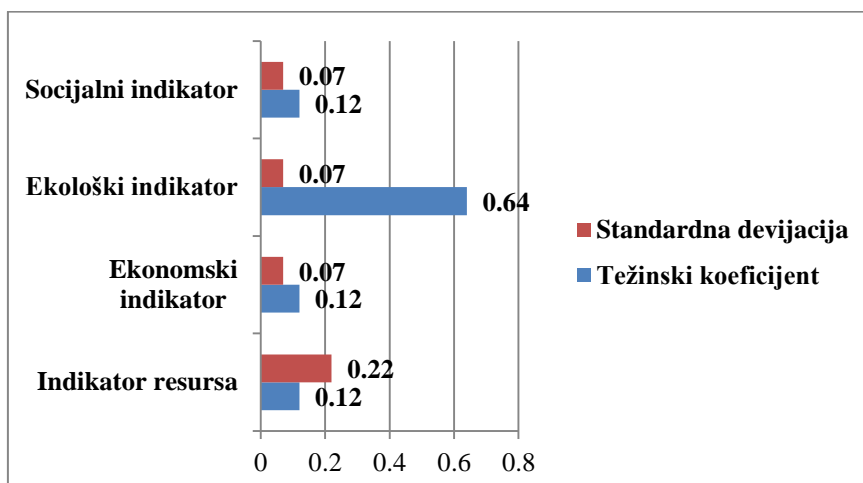
Na prva dva mesta po vrednosti izračunatog IO u analiziranom **Slučaju 9** nalaze se Opcija 4 i 6. Ove opcije zajedno sa Opcijom 1 pripadaju grupi veoma dobro rangiranih. Grupi dobro rangiranih pripadaju Opcija 2 i 3, dok Opcija 7 i 5 pripadaju grupi loše rangiranih.

Analizom Grupe VI kod koje je prednost data ekonomskom indikatoru, možemo primetiti da se u ovih devet analiziranih slučajeva najvišu vrednost IO imaju Opcija 4 i 6 u zavisnosti od toga kakav je odnos podindikatora za posmatrane slučajeve.

Standardna devijacija vrednosti IO analiziranih opcija Grupe VI prikazana je u Prilogu 3. Dobijeni rezultati za sedam razmatranih opcija, pri unapred definisanom ograničenju gde je prednost data  $I_{EK}$ , pokazuju velike vrednosti verovatnoće za svaki par opcija, što znači da su sve kombinacije kod ovako definisanog ograničenja realne.

#### 5.8 Analiza održivosti Opcija za karakteristične slučajeve koji pripadaju Grupi VII

Na slici 40 su prikazane vrednosti težinskih koeficijenata i standardne devijacije za indikator resursa, socijalni, ekonomski i ekološki indikator održivog razvoja, za analiziranu Grupu III. Kada se prioritet daje ekološkom indikatoru, primenom matematičkog alata razvijenog u ASPID metodi, za ekološki indikator vrednost težinskog koeficijenta je  $w=0,64$ , a standardne devijacije  $S_d=0,22$  i  $w=0,12$  i  $S_d=0,22$  za indikator resursa, ekonomski i socijalni indikator. Grupa III razmatra šest karakterističnih slučajeva kod kojih je prednost uvek data ekološkom indikatoru ( $I_{EL}$ ) u odnosu na indikator resursa ( $I_{RE}$ ), ekonomski ( $I_{EK}$ ) i socijalne indikatore ( $I_{SC}$ ) koji imaju istu važnost. Što se tiče važnosti podindikatora, svi ekonomski, socijalni i podindikator resursa su jednaki po važnosti, a važnost ekoloških se menja i u ovoj grupi imamo šest slučajeva (Tabela 16). Rezultati IO analiziranih opcija prikazani su na Slici 41.



Slika 40 Vrednost težinskih koeficijenata i standardna devijacija za Grupu VII

$$\text{Ograničenje } I_{EK} > I_{RE} = I_{EL} = I_{SC} \quad (38)$$

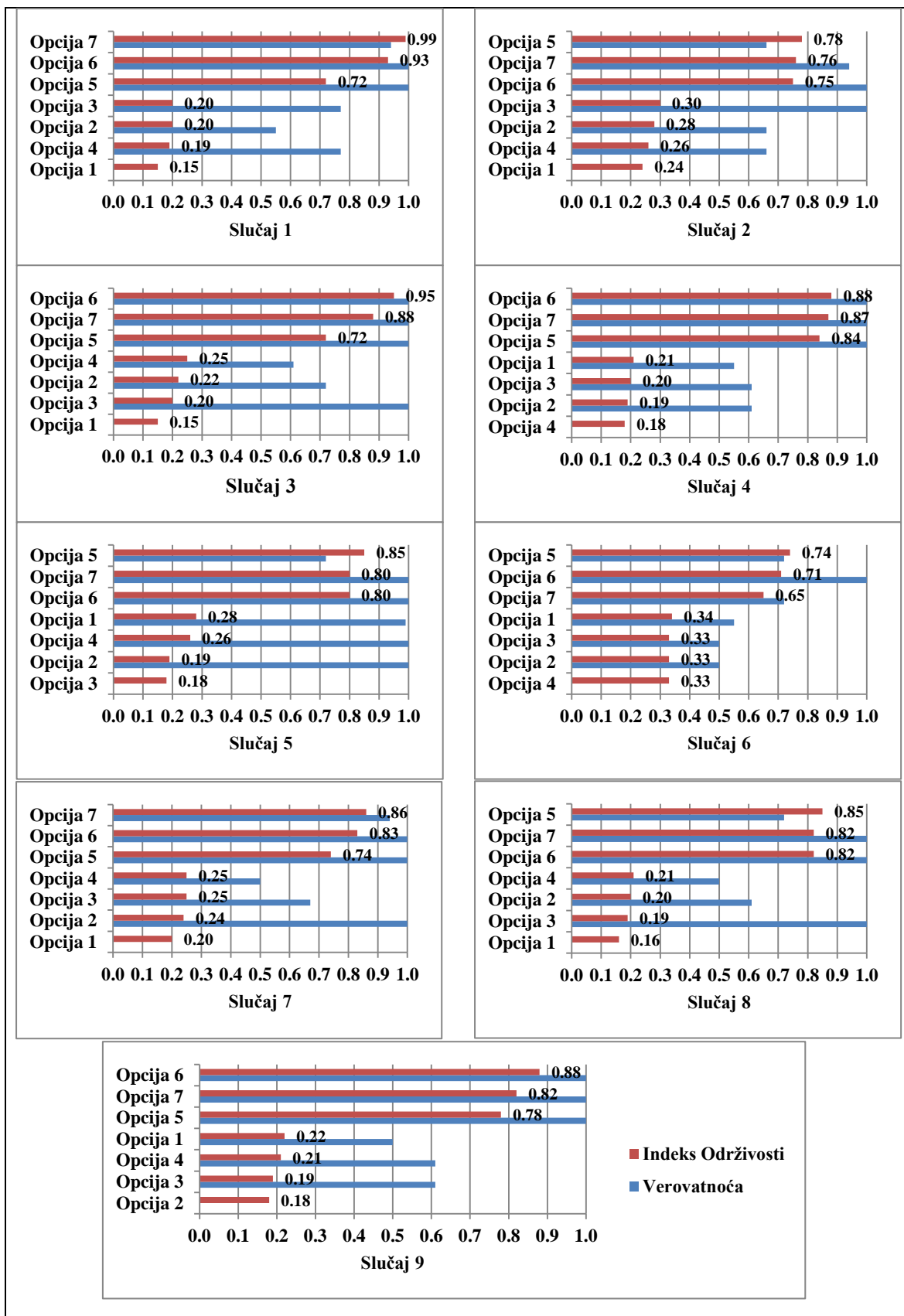
Na Slici 41 prikazani su rezultati IO slučajeva grupe VII.

Za analizirani **Slučaj 1** na osnovu izračunate vrednosti IO na prva dva mesta nalaze se Opcija 7 i 6 i pripadaju grupi odlično rangiranih. Grupi veoma dobro rangiranih pripada Opcija 5. Opcija 3, 2, 4 i 1 imaju nisku vrednost izračunatog indeksa održivosti i pripadaju grupi veoma loše rangiranih.

Opcija 5 nalazi se na prvom mestu na osnovu izračunate vrednosti IO za analizirani **Slučaj 2** i zajedno sa Opcijom 7 i 6 pripada grupi veoma dobro rangiranih. Grupi loše rangiranih pripadaju Opcija 3, 2, 4 i 1.

Opcija 6 i 7 nalaze se na prva dva mesta po vrednosti izračunatog IO za analizirani **Slučaj 3** i pripadaju grupi odlično rangiranih. Grupi veoma dobro rangiranih pripada Opcija 5. Opcija 4, 2 i 3 pripadaju grupi loše rangiranih dok najnižu izračunatu vrednost IO ima Opcija 1 i pripada grupi veoma loše rangiranih.

Za analizirani **Slučaj 4** grupi odlično rangiranih na osnovu izračunate vrednosti IO pripadaju Opcija 6, 7 i 5. Opcija 1 i 3 pripadaju grupi loše rangiranih dok najnižu vrednost izračunatog IO imaju Opcija 2 i 4 i pripadaju grupi veoma loše rangiranih.



Slika 41 Rezultati slučajeva grupe VII



Za analizirani **Slučaj 6** grupi veoma dobro rangiranih na osnovu izračunatih vrednosti IO nalaze se Opcija 5, 6 i 7. Grupi loše rangiranih sa bliskim vrednostima IO nalaze se Opcija 1, 3, 2 i 4.

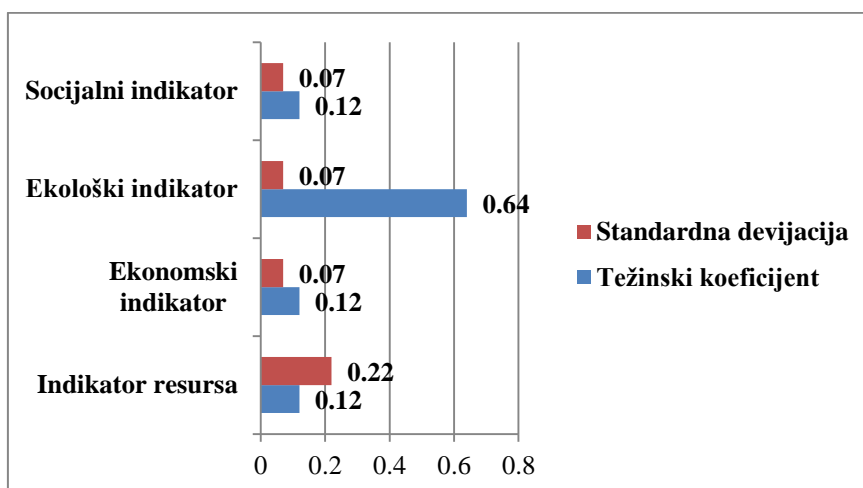
Na prva dva mesta po vrednosti izračunatog IO za analizirani **Slučaj 7** nalaze se Opcija 7 i 6. Ove opcije pripadaju grupi odlično rangiranih. Grupi veoma dobro rangiranih pripada Opcija 5. Opcija 4, 3, 2 i 1 imaju najnižu vrednost IO i pripadaju grupi loše rangiranih.

Opcija 5, 7 i 6 imaju bliske vrednosti izračunatog IO i za analizirani **Slučaj 8** pripadaju grupi odlično rangiranih. Grupi loše rangiranih pripada Opcija 4, a najniže vrednosti IO imaju Opcija 2, 3 i 1 i pripadaju grupi veoma loše rangiranih. Za analizirani **Slučaj 9** na prva dva mesta po vrednosti izračunatog IO nalaze se Opcija 6 i 7 i pripadaju grupi odlično rangiranih. Grupi veoma dobro rangiranih pripada Opcija 5. Opcija 1 i 4 pripadaju grupi loše rangiranih, a najnižu vrednost IO imaju Opcija 3 i 2 i pripadaju grupi veoma loše rangiranih.

Na osnovu dobijenih vrednosti IO za analizirane slučajeve unutar Grupe VII gde je prednost data ekološkom indikatoru možemo primetiti da se na prva tri mesta nalaze Opcija 5, 6 i 7 dok se ostale četiri opcije nalaze u grupi veoma loše ili loše rangiranih opcija. Opcija 5 nalazi se u grupi odlično rangiranih na osnovu izračunatog IO za **Slučaj 5**. Grupi veoma dobro rangiranih pripadaju Opcija 7 i 6. Grupi loše rangiranih pripadaju Opcija 1 i 4, a najnižu vrednost za analizirani slučaj imaju Opcija 2 i 3 koje pripadaju grupi veoma loše rangiranih. Standardna devijacija vrednosti IO analiziranih opcija Grupe VII prikazana je u Prilogu 3. Dobijeni rezultati za sedam razmatranih opcija, pri unapred definisanom ograničenju gde je prednost data  $I_{EL}$ , pokazuju velike vrednosti verovatnoće za svaki par opcija, što znači da su sve kombinacije kod ovako definisanog ograničenja realne.

### 5.9 Analiza održivosti Opcija za karakteristične slučajeve koji pripadaju Grupi VIII

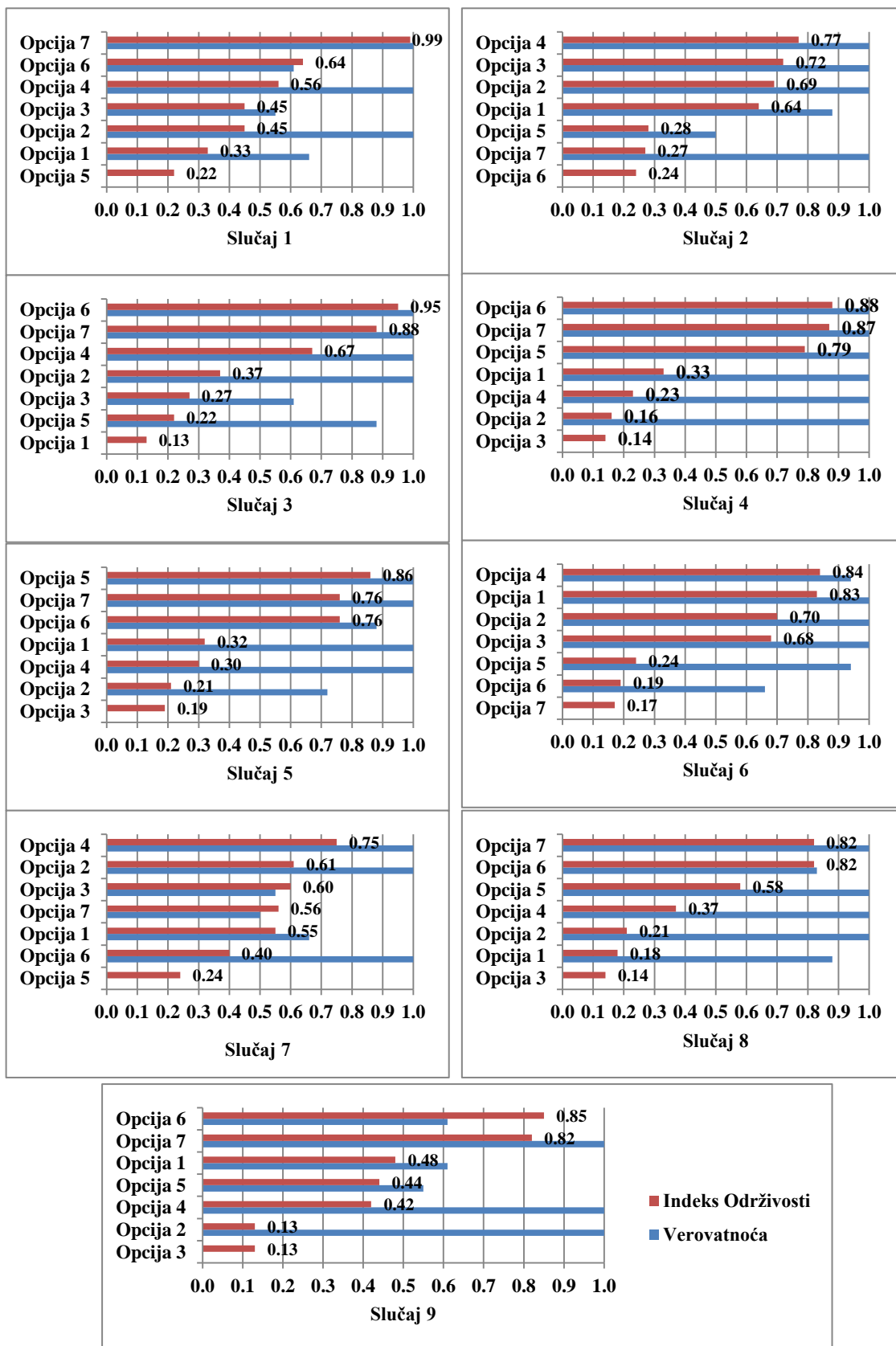
Na slici 42 su prikazane vrednosti težinskih koeficijenata i standardne devijacije za indikator resursa, socijalni, ekonomski i ekološki indikator održivog razvoja, za analiziranu Grupu VIII. Kada se prioritet daje socijalnom indikatoru, primenom matematičkog alata razvijenog u ASPID metodi, za socijalni indikator vrednost težinskog koeficijenta je  $w=0,64$ , a standardne devijacije  $Sd=0,22$  i  $w=0,12$  i  $Sd=0,22$  za indikator resursa, ekološki i ekonomski indikator. Grupa IV razmatra devet karakterističnih slučajeva kod kojih je prednost uvek data socijalnom indikatoru ( $I_{SC}$ ) u odnosu na indikator resursa ( $I_{RE}$ ), ekonomski ( $I_{EK}$ ) i ekološki indikator ( $I_{EL}$ ) koji imaju istu važnost. Što se tiče važnosti podindikatora, svi ekonomski, ekološki i podindikator resursa su jednaki po važnosti, a važnost socijalnih indikatora se menja i u ovoj grupi imamo devet slučajeva (Tabela 17). Rezultati IO analiziranih opcija prikazani su na Slici 43.



Slika 42 Vrednost težinskih koeficijenata i standardna devijacija za Grupu VIII

Ograničenje  $I_{SC} > I_{RE} = I_{EK} = I_{EL}$  (39)

Na Slici 43 prikazani su rezultati IO slučajeva grupe VIII. Za analizirani **Slučaj 1** na osnovu izračunate vrednosti IO na prvom mestu nalazi se Opcija 7 i pripada grupi odlično rangiranih. Na drugom mestu nalazi se Opcija 6 i pripada grupi veoma dobro rangiranih. Opcija 4, 3 i 2 na osnovu izračunate vrednosti IO pripadaju grupi dobro rangiranih. Najniže vrednosti IO imaju Opcija 1 i 5 i pripadaju grupi loše rangiranih.



Slika 43 Rezultati slučajeva grupe VIII

Za analizirani **Slučaj 1** na osnovu izračunate vrednosti IO na prvom mestu nalazi se Opcija 7 i pripada grupi odlično rangiranih. Na drugom mestu nalazi se Opcija 6 i pripada grupi veoma dobro rangiranih. Opcija 4, 3 i 2 na osnovu izračunate vrednosti IO pripadaju grupi dobro rangiranih. Najniže vrednosti IO imaju Opcija 1 i 5 i pripadaju grupi loše rangiranih.

Opcija 4 nalazi se na prvom mestu po izračunatoj vrednosti IO za analizirani **Slučaj 2**. Opcija 4 zajedno sa Opcijom 3, 2, 1 i 5 pripada grupi veoma dobro rangiranih. Grupi loše rangiranih pripadaju Opcija 5, 7 i 6.

Za analizirani **Slučaj 3** na prva dva mesta na osnovu izračunate vrednosti IO nalaze se Opcija 6 i 7 i pripadaju grupi odlično rangiranih. Opcija 4 na osnovu izračunatog IO pripada grupi veoma dobro rangiranih. Opcija 2, 3 i 5 pripadaju grupi loše rangiranih dok najnižu vrednost u analiziranom slučaju ima Opcija 1 i pripada grupi veoma loše rangiranih.

Na prva dva mesta na osnovu izračunate vrednosti IO za analizirani **Slučaj 4** nalaze se Opcija 6 i 7 i pripadaju grupi odlično rangiranih. Grupi veoma dobro rangiranih pripada Opcija 5. Opcija 4 i Opcija 1 na osnovu vrednosti IO pripadaju grupi veoma loše rangiranih, a Opcija 2 i Opcija 3 imaju najniži IO za analizirani slučaj I pripadaju grupi veoma loše rangiranih.

Za analizirani **Slučaj 5** na prvom mestu nalazi se Opcija 5 i pripada grupi odlično rangiranih. Opcija 7 i 6 imaju istu vrednost IO za analizirani slučaj I pripadaju grupi veoma dobro rangiranih. Grupi loše rangiranih pripadaju Opcija 1, 4 i 2. Najnižu vrednost IO ima Opcija 3 i pripada grupi veoma loše rangiranih.

Na prva dva mesta za analizirani **Slučaj 6** po vrednosti IO nalaze se Opcija 4 i 1 i pripadaju odlično rangiranim. Opcija 2 i 3 na osnovu vrednosti IO pripadaju grupi veoma dobro rangiranih. Loše rangiranim pripadaju Opcija 5 i 6, a najnižu vrednost IO za analizirani slučaj ima Opcija 7 i pripada grupi vrlo loše rangiranih.

Za analizirani **Slučaj 7** na prvom mestu po vrednosti izračunatog IO nalazi se Opcija 4 i pripada grupi veoma dobro rangiranih. Ovoj grupi opcija za analizirani slučaj pripadaju

takođe Opcija 2 i 3. Grupi dobro rangiranih pripadaju Opcija 7, 1 i 6. Najnižu vrednost izračunatog IO ima Opcija 5 i pripada grupi loše rangiranih opcija.

Na prva dva mesta za analizirani **Slučaj 8** po vrednosti izračunatog IO nalaze se Opcija 7 i 6 i pripadaju grupi odlično rangiranih. Grupi dobro rangiranih pripada Opcija 5. Opcija 4 i Opcija 2 pripadaju grupi loše rangiranih, a najnižu vrednost IO za analizirani slučaj imaju Opcija 1 i 3 i pripadaju grupi veoma loše rangiranih.

Za analizirani **Slučaj 9** na prva dva mesta po vrednosti izračunatog indeksa održivosti nalaze se Opcija 6 i 7 i pripadaju grupi odlično rangiranih. Unutar grupe dobro rangiranih nalaze se Opcija 1, 5 i 4. Najnižu vrednost IO za analizirani slučaj imaju Opcija 2 i 3 i pripadaju grupi veoma loše rangiranih.

Standardna devijacija vrednosti IO analiziranih opcija Grupe VIII prikazana je u Prilogu 3. Dobijeni rezultati za sedam razmatranih opcija, pri unapred definisanom ograničenju gde je prednost data  $I_{SC}$ , pokazuju velike vrednosti verovatnoće za svaki par opcija, što znači da su sve kombinacije kod ovako definisanog ograničenja realne.

#### 5.10 Analiza održivosti Opcija za karakteristične slučajeve grupa IX - XVI

Unutar analize ovih grupa prednost indikatorima je data kao je prikazano u Tabeli 21

Tabela 21 Odnos indikatora za analizirane grupe IX - XVI

Odnos indikatora	
Grupa IX	$I_{resursa} > I_{ekonomski} > I_{ekološki} = I_{socijalni}$
Grupa X	$I_{ekonomski} > I_{resursa} > I_{ekološki} = I_{socijalni}$
Grupa XI	$I_{ekološki} > I_{ekonomski} > I_{socijalni} = I_{resursa}$
Grupa XII	$I_{socijalni} > I_{ekološki} > I_{ekonomski} = I_{resursa}$
Grupa XIII	$I_{resursa} > I_{ekonomski} > I_{ekološki} > I_{socijalni}$
Grupa XIV	$I_{ekonomski} > I_{resursa} > I_{ekološki} > I_{socijalni}$
Grupa XV	$I_{ekološki} > I_{ekonomski} > I_{socijalni} > I_{resursa}$
Grupa XVI	$I_{socijalni} > I_{ekološki} > I_{ekonomski} > I_{resursa}$

Za svaku od navedenih grupa analizirano je po 9 slučajeva, gde se za svaki slučaj prednost davala određenim podindikatorima. Odnos podindikatora je isti za svaku grupu

da bi bilo moguće vršiti validna poređenja između analiziranih grupa. Ovaj odnos podindikatora je isti kao i u prethodno analiziranim grupama (Tabela 22).

Tabela 22 Odnos podindikatora za grupe IX – XVI

Slučaj	Indikator			
	Indikator resursa	Ekonomski indikator	Ekološki indikator	Socijalni indikator
1	$I_{ugl.} > I_{pr.e.e}$	$I_{c.e.e.} > I_{inv.}$	$I_{CO2} = I_{SO2} = I_{NOx} = I_{praš.mat.}$	$I_{plata} > I_{zap.} = I_{l.k.zaj.} = I_{pov.radu} = I_{bol.} = I_{pz.snab}$
2	$I_{ugl.} > I_{pr.e.e}$	$I_{inv.} > I_{c.e.e.}$	$I_{CO2} = I_{SO2} = I_{NOx} = I_{praš.mat.}$	$I_{zap.} > I_{plata} = I_{l.k.zaj.} = I_{pov.radu} = I_{bol.} = I_{pz.snab.}$
3	$I_{ugl.} > I_{pr.e.e}$	$I_{c.e.e.} = I_{inv.}$	$I_{CO2} = I_{SO2} = I_{NOx} = I_{praš.mat.}$	$I_{l.k.zaj.} > I_{plata} = I_{zap.} = I_{pov.radu} = I_{bol.} = I_{pz.snab.}$
4	$I_{pr.e.e} > I_{ugl.}$	$I_{c.e.e.} > I_{inv.}$	$I_{CO2} = I_{SO2} = I_{NOx} = I_{praš.mat.}$	$I_{pov.radu} > I_{plata} = I_{zap.} = I_{l.k.zaj.} = I_{bol.} = I_{pz.snab.}$
5	$I_{pr.e.e} > I_{ugl.}$	$I_{inv.} > I_{c.e.e.}$	$I_{CO2} = I_{SO2} = I_{NOx} = I_{praš.mat.}$	$I_{bol.} > I_{plata} = I_{zap.} = I_{l.k.zaj.} = I_{pov.radu} = I_{pouzdanosti\ snabdevanja}$
6	$I_{pr.e.e} > I_{ugl.}$	$I_{c.e.e.} = I_{inv.}$	$I_{CO2} = I_{SO2} = I_{NOx} = I_{praš.mat.}$	$I_{pz.snab.} > I_{plata} = I_{zap.} = I_{l.k.zaj.} = I_{pov.radu} = I_{bol.}$
7	$I_{ugl.} = I_{pr.e.e}$	$I_{c.e.e.} > I_{inv.}$	$I_{CO2} = I_{SO2} = I_{NOx} = I_{praš.mat.}$	$I_{plata} = I_{zap.} = I_{pz.snab.} > I_{l.k.zaj.} > I_{pov.radu} > I_{bol.}$
8	$I_{ugl.} = I_{pr.e.e}$	$I_{inv.} > I_{c.e.e.}$	$I_{CO2} = I_{SO2} = I_{NOx} = I_{praš.mat.}$	$I_{l.k.zaj.} = I_{pov.radu} = I_{bol.} > I_{pz.snab.} > I_{plata} > I_{zap.}$
9	$I_{ugl.} = I_{pr.e.e}$	$I_{c.e.e.} = I_{inv.}$	$I_{CO2} = I_{SO2} = I_{NOx} = I_{praš.mat.}$	$I_{pov.radu} = I_{bol.} = I_{pz.snab} > I_{plata} > I_{zap.} > I_{l.k.zaj.}$

Vrednosti dobijenih IO (Prilog 2) za grupe IX-XVI ne razlikuju se od vrednosti koje su dobijene za analizirane grupe V-VIII. Razlog je u tome što je vrednost težinskog koeficijenta prvog indikatora dominantnija u odnosu na druge (Prilog 3).

Zbog ovih činjenica analiza Grupa IX-XVI nije prikazana u nastavku, već su samo date vrednosti IO opcija u Prilogu 3.

## ZAKLJUČAK

Sve veće potrebe za energijom, značajne promene koje se dešavaju na svetskom tržištu energije i sve veći uticaj proizvodnje i potrošnje energije na životnu sredinu doprineli su da se danas energetika razmatra globalno, zbog svoje međuzavisnosti. U budućnosti energetika će imati sve veći značaj jer potrebe za energijom stalno rastu kako zbog povećanja broja stanovnika tako i zbog podizanja nivoa i standarda života u svim zemljama sveta. Iako je električna energija najplemenitiji oblik energije namenjen potrošnji u uređajima najvišeg tehnološkog nivoa, sasvim je sigurno da će sve rigorozniji, opravdani ekološki zahtevi, diktirati njenu sve izrazitiju primenu i u drugim oblastima. U saobraćaju naglo raste učešće električnih ili hibridnih vozila kojih će na drumovima biti sve više. Umesto na benzinskim stanicama oni će se puniti iz električne mreže. Eksperti očekuju i sve veću primenu toplotnih pumpi, i to je dobijanje toplote pomoću struje, na veoma ekonomičan način. Taj princip se koristi u klima uređajima, uređajima za hlađenje i grejanje na struju. Električna energija će biti prisutna u svim sferama života, što je čini civilizacijskom tekovinom najvišeg ranga. Ne treba sumnjati da će vladati velika potražnja za tom vrstom energije, ali je izuzetno važno iz čega će se ona dobijati. Postizanje osnovnih ciljeva održivosti (ekonomija, društvo, zaštita životne sredine) u termoenergetskim blokovima predstavlja značajan segment održivog razvoja uopšte i obuhvata analizu tehnologije proizvodnje, energenata koji se koriste za dobijanje električne energije, njihovu cenu, uticaj postrojenja na životnu sredinu i kvalitet života zaposlenih. U Republici Srbiji najveći deo proizvedene električne energije dobija se iz termoenergetskih postrojenja koja kao energent koriste ugalj (lignit). TE Kolubara-A jedna je od najstarijih aktivnih elektrana koja ima pet blokova i nalazi se u sastavu EPS-a.

Za analizu održivosti termoenergetskih blokova, kao primer izabran je blok 2 TE "Kolubara - A" koji je izgrađen sredinom prošlog veka i čiji je radni vek na isteku. Odabrano je sedam različitih opcija:

1. Opcija 1 predstavlja revitalizaciju bloka na ugalj (lignit) u kondenzacionom režimu

2. Opcija 2 predstavlja revitalizaciju bloka na kosagorevanje uglja i SRF-a u kondenzacionom režimu
3. Opcija 3 predstavlja revitalizaciju bloka na kosagorevanje uglja (lignita) i biomase u kondenzacionom režimu
4. Opcija 4 predstavlja revitalizaciju bloka na kosagorevanje uglja (lignita) i otpadnih materija u kondenzacionom režimu
5. Opcija 5 predstavlja revitalizaciju bloka na gas (gasno-parno postrojenje)
6. Opcija 6 predstavlja novo postrojenje koje koristi energiju vetra
7. Opcija 7 predstavlja novo postrojenje koje koristi energiju Sunca

Ove opcije se međusobno razlikuju po energentu koji se koristi za proizvodnju električne energije. Opcija 1 kao energent koristi fosilno gorivo (lignit) koje predstavlja neobnovljiv resurs, ali na teritoriji Republike Srbije nalaze se značajne količine ovog goriva. Opcija 2, Opcija 3 i Opcija 4 najvećim delom kao energent za proizvodnju električne energije koriste fosilno gorivo (lignit), a manjim delom obnovljiva goriva (SRF i biomasa) i gorivo koje nastaje kao produkt u procesu proizvodnje (otpadne materije). Opcija 5 kao energent koristi fosilno gorivo (prirodni gas). Opcija 6 i Opcija 7 predstavljaju nova postrojenja za proizvodnju električne energije koja kao resurs koriste obnovljive izvore energije. Formiranjem ovih opcija u ovom radu omogućeno je poređenje između energetskih sistema na osnovu toga koji energent koriste u procesu proizvodnje električne energije.

Na osnovu prikupljenih podataka izvršeno je formiranje i izračunavanje četiri različita indikatora koja sadrže četrnaest podindikatora. Formiran je indikator resursa, ekonomski, ekološki i socijalni indikator. Grupu podindikatora resursa u ovom radu čine: potrošnja uglja i proizvodnja električne energije; grupu ekonomskih podindikatora: proizvodna cena električne energije i cena investicija; grupu ekoloških podindikatora: emisija ugljendioksida, sumpornih oksida i azotnih oksida i emisija praškastih materija u projektovanom radnom veku termobloka; i grupu socijalnih podindikatora: mesečna primanja (plate), broj zaposlenih, materijalna izdvajanja za lokalnu zajednicu, broj povreda na radu, broj radnih sati koje zaposleni provedu na bolovanju i pouzdanost snabdevanja. Za svaku od sedam opcija izračunate su numeričke vrednosti odabranih podindikatora. Na osnovu ovih vrednosti koje su upotrebljene kao



ulazni podaci izračunate su vrednosti indeksa održivosti koji je u ovom radu korišćen za ocenu održivosti izabраниh opcija.

Prilikom izrade ovog rada primenjen je postupak normalizacije numeričkih vrednosti podindikatora upotrebom fazi logike. Ovim postupkom za svaki podindikator su dobijeni bezdimenzioni skupovi čiji elementi uzimaju vrednost iz intervala [0,1].

Primenom ASPID metode višekriterijalne analize dobijaju se rangirane opcije (alternative) koje se razmatraju sa aspekata održivosti. Kod ovog procesa prioritete definiše donosilac odluka u cilju svojih svojih interesa i potreba težinskih koeficijenata koji predstavljaju udeo u krajnjem rezultatu.

U ovom radu urađena je analiza održivosti za sedam složenih energetske sistema – opcija tako što je formirano šesnaest grupa, a u okviru svake grupe određen broj karakterističnih slučajeva. Prilikom formiranja IO za svaku opciju, izračunate su relativne težine specifičnih kriterijuma (indikatora) ili težinski koeficijenti ( $w$ ). Svakom promenom težinskog koeficijenta, menja se važnost koja se daje specifičnom kriterijumu pri formiranju indeksa održivosti. Izračunate su i verovatnoće ( $p$ ) za svaki par opcija i standardna devijacija ( $Sd$ ) pri izračunavanju IO.

Na osnovu analize šesnaest grupa dobijeni su sledeći rezultati:

- Za analiziranu grupu I (3 slučaja) gde je prednost data indikatoru resursa, dok su ekonomski, ekološki i socijalni jednaki po značaju ( $I_{RE} > I_{EK} = I_{EL} = I_{SC}$ ). Na osnovu dobijenih vrednosti IO Opcija 5 (gas) je visoko rangirana u sva tri slučaja. Opcija 6 (vetrogeneratori) i Opcija 7 (fotovoltaik) su visoko rangirane u prva dva slučaja dok se u trećem gde je najveća važnost data podindikatoru proizvodnje električne energije nalaze na poslednjim pozicijama i pripadaju grupi loše rangiranih opcija
- Za analiziranu grupu II (3 slučaja) prednost je data ekonomskom indikatoru, dok su indikator resursa, ekološki i socijalni jednaki po značaju ( $I_{EK} > I_{RE} = I_{EL} = I_{SC}$ ). Na osnovu dobijenih vrednosti IO Opcija 4 (kosagorevanje lignita i otpadnih materija) se nalazi u prve tri pozicije u svim analiziranim slučajevima. Opcija 6 (vetrogeneratori) i Opcija 7 (fotovoltaik) imaju visoku vrednost za

analizirani slučaj 1, dok za analizirani slučaj 3 imaju nisku vrednost IO i pripadaju grupi loše rangiranih opcija.

- Za analiziranu grupu III (6 slučajeva) prednost je data ekološkom indikatoru, dok su indikator resursa, ekonomski i socijalni jednaki po značaju ( $I_{EL} > I_{RE} = I_{EK} = I_{SC}$ ). Na osnovu dobijenih vrednosti IO za svih šest analiziranih slučajeva Opcija 6 (vetrogeneratori), Opcija 7 (fotovoltaik) i Opcija 5 (gas) nalaze se na prve tri pozicije. Opcija 6 i 7 pripadaju grupi odlično rangiranih, a Opcija 5 veoma dobro rangiranih opcija. Ostale opcije pripadaju grupi loše ili vrlo loše rangiranih. U ovoj analiziranoj grupi primećujemo da važnost ekoloških podindikatora za analizirane slučajeve nije imao značajan uticaj na dobijene vrednosti IO.
- Za analiziranu grupu IV (devet slučajeva) prednost je data socijalnom indikatoru, dok su indikator resursa, ekonomski i ekološki jednaki po značaju ( $I_{SC} > I_{RE} = I_{EK} = I_{EL}$ ). Na osnovu dobijenih vrednosti IO za svih devet analiziranih slučajeva Opcija 4 (kosagorevanje lignita i otpadnih materija) nalazi se na prvom mestu u pet slučajeva, Opcija 6 (vetrogeneratori) u tri slučaja, a Opcija 7 u jednom slučaju. Sve ove opcije pripadaju grupi veoma dobro ili odlično rangiranih opcija. Opcija 5 (gas) je najniže rangirana u šest analiziranih slučajeva, a Opcija 3 (kosagorevanje lignita i biomase) u tri slučaja.
- Za analiziranu grupu V (devet slučajeva) prednost je data indikatoru resursa, dok su ekonomski, ekološki i socijalni jednaki po značaju ( $I_{RE} > I_{EK} = I_{EL} = I_{SC}$ ). Na osnovu dobijenih vrednosti IO na prvom mestu za šest analiziranih slučajeva nalazi se Opcija 5 (gas), u dva slučaja Opcija 7 (fotovoltaik), a u jednom slučaju Opcija 6 (vetrogeneratori). Sve ove Opcije pripadaju grupi veoma dobro ili odlično rangiranih opcija.
- Za analiziranu grupu VI (devet slučajeva) prednost je data ekonomskom indikatoru, dok su indikator resursa, ekološki i socijalni jednaki po značaju ( $I_{EK} > I_{RE} = I_{EL} = I_{SC}$ ). Na osnovu dobijenih vrednosti IO na prvom mestu za pet analiziranih slučajeva nalazi se Opcija 4 (kosagorevanje lignita i otpadnih materija), a u po dva slučaja Opcija 6 (vetrogeneratori) i Opcija 7 (fotovoltaik). Sve ove Opcije pripadaju grupi veoma dobro ili odlično rangiranih opcija.

- Za analiziranu grupu VII (devet slučajeva) prednost je data ekološkom indikatoru, dok su indikator resursa, ekonomski i socijalni jednaki po značaju ( $I_{EL} > I_{RE} = I_{EK} = I_{SC}$ ). Na osnovu dobijenih vrednosti IO za svih devet analiziranih slučajeva na prva tri mesta nalaze se Opcija 5 (gas), Opcija 6 (vetrogeneratori) i Opcija 7 (fotovoltaik) i pripadaju grupi veoma dobro ili odlično rangiranih. Ostale analizirane opcije pripadaju grupi veoma loše ili loše rangiranih.
- Za analiziranu grupu VIII (devet slučajeva) prednost je data socijalnom indikatoru, dok su indikator resursa, ekonomski i ekološki jednaki po značaju ( $I_{SC} > I_{RE} = I_{EK} = I_{EL}$ ). Na osnovu dobijenih vrednosti IO na prvom mestu za po tri analizirana slučaja nalaze se Opcija 4 (kosagorevanje lignita i otpadnih materija), Opcija 6 (vetrogeneratori), u dva Opcija 7 (fotovoltaik) i na jednom Opcija 5 (gas). Sve ove Opcije pripadaju grupi veoma dobro ili odlično rangiranih opcija.
- Za analiziranu grupu IX (devet slučajeva) je prednost je data indikatoru resursa u odnosu na ekonomski, dok su ekološki i socijalni jednaki po značaju ( $I_{RE} > I_{EK} > I_{EL} = I_{SC}$ ). Na osnovu dobijenih vrednosti IO za analizirane slučajeve možemo primetiti da nema značajnijih razlika u vrednostima u odnosu na grupu V.
- Za analiziranu grupu X (devet slučajeva) je prednost je data ekonomskom indikatoru u odnosu na indikator resursa, dok su ekološki i socijalni jednaki po značaju ( $I_{EK} > I_{RE} > I_{EL} = I_{SC}$ ). Na osnovu dobijenih vrednosti IO za analizirane slučajeve možemo primetiti da nema značajnijih razlika u vrednostima u odnosu na grupu VI.
- Za analiziranu grupu XI (devet slučajeva) je prednost je data ekološkom indikatoru u odnosu ekonomski indikator, dok su ekološki i indikator resursa jednaki po značaju ( $I_{EL} > I_{EK} > I_{SC} = I_{RE}$ ). Na osnovu dobijenih vrednosti IO za analizirane slučajeve možemo primetiti da nema značajnijih razlika u vrednostima u odnosu na grupu VII.
- Za analiziranu grupu XII (devet slučajeva) je prednost je data socijalnom indikatoru u odnosu na ekološki indikator, dok su ekonomski i indikator resursa jednaki po značaju ( $I_{SC} > I_{EL} > I_{EK} = I_{RE}$ ). Na osnovu dobijenih vrednosti IO za

analizirane slučajeve možemo primetiti da nema značajnijih razlika u vrednostima u odnosu na grupu VIII.

- Za analiziranu grupu XIII (devet slučajeva) indikatori su rangirani po sledećem značaju: indikator resursa, ekonomski, ekološki, socijalni ( $I_{RE} > I_{EK} > I_{EL} > I_{SC}$ ). Na osnovu dobijenih vrednosti IO za analizirane slučajeve možemo primetiti da nema značajnijih razlika u vrednostima u odnosu na grupu V i grupu IX.
- Za analiziranu grupu XIV (devet slučajeva) indikatori su rangirani po sledećem značaju: ekonomski, indikator resursa, ekološki, socijalni ( $I_{EK} > I_{RE} > I_{EL} > I_{SC}$ ). Na osnovu dobijenih vrednosti IO za analizirane slučajeve možemo primetiti da nema značajnijih razlika u vrednostima u odnosu na grupu VI i grupu X.
- Za analiziranu grupu XV (devet slučajeva) indikatori su rangirani po sledećem značaju: ekološki, ekonomski, socijalni, indikator resursa ( $I_{EL} > I_{EK} > I_{SC} > I_{RE}$ ). Na osnovu dobijenih vrednosti IO za analizirane slučajeve možemo primetiti da nema značajnijih razlika u vrednostima u odnosu na grupu VII i grupu XI.
- Za analiziranu grupu XVI (devet slučajeva) indikatori su rangirani po sledećem značaju: socijalni, ekološki, ekonomski, indikator resursa ( $I_{SC} > I_{EL} > I_{EK} > I_{RE}$ ). Na osnovu dobijenih vrednosti IO za analizirane slučajeve možemo primetiti da nema značajnijih razlika u vrednostima u odnosu na grupu VIII i grupu XII.

U ovom radu razvijena je metodologija za formiranje energetske indikatora održivog razvoja za termoenergetske blokove. Poseban značaj u ovom radu zauzima formiranje socijalnog indikatora koji prikazuje kako energetski sistem utiče na društvenu zajednicu. Značaj formiranih indikatora i njihovih podindikatora ogleda se u tome što se metodologija njihovog formiranja može primeniti za različite energetske sisteme što je prikazano kroz formirane opcije.

Model sa primenom ASPID metodologije koji se koristio u ovom radu omogućava bolje sagledavanje problema unutar energetske sistema i donošenje odluka koje su u skladu sa ciljevima održivog razvoja. To u idealnom slučaju podrazumeva energetski sistem sa visokom efikasnošću, niskim troškovima proizvodnje i održavanja, smanjenjem emisije gasova staklene bašte i praškastih materija, kao i zadovoljavajućim socijalnim efektima. Unutar ovog rada kroz analizirane grupe i dobijene vrednosti IO moguće je sagledati

probleme energetskeg sistema kroz ekonomski, ekološki, socijalni i aspekt očuvanja resursa.

Metodologija formiranja energetskeg indikatora održivog razvoja termoenergetskih blokova prikazana u ovom radu može se koristiti i kao podloga za projektovanje novih i revitalizaciju postojećih postrojenja.

Dalji razvoj ove metodologije trebao bi, u budućnosti, da bude orijentisan ka formiranju većeg broja opcija za termoenergetske blokove, većeg broja indikatora i podindikatora, a posebnu pažnju potrebno je posvetiti daljem razvoju socijalnog indikatora.

## LITERATURA

- [1] Duic N., Marc A.; Sustainable development of energy systems, *Energy Conversion and Management* 87, (2014), 1057–1062
- [2] Lior N.; Sustainable energy development (May 2011) with some game-changers, *Energy*, 40, (2012), 3-18
- [3] *Energy Policy, Highlights 1974 – 2014*, International Energy Agency, 2014
- [4] Santoyo-Castelazo E.; Azapagic A.; Sustainability assessment of energy systems: integrating environmental, economic and social aspects, *Journal of Cleaner Production*, 2014, Article in press, 1-20
- [5] Skobalj P., Kijevcanin M., Afgan N., Jovanovic M., Turanjanin V., Vucicevic B.; Multi-Criteria sustainability analysis of thermal power plant Kolubara – A unit 2, *Energy*, 2017, Article in press
- [6] Martinez – Val J.; Energy for Sustainable Development: A systematic approach for a badly defined challenge, *Energy Conversion and Management* 72 (2013) 3–11
- [7] Zhou Z., Jiang H., Qin L.; Life cycle sustainability assessment of fuels, *Fuel* 86 (2007) 256–263
- [8] Azapagic A., Stamford L.; Sustainability indicators for the assessment of nuclear power, *Energy* 36 (2011) 6037-6057
- [9] Carrera D., Mack A.; Sustainability assessment of energy technologies via social indicators: Results of a survey among European energy experts, *Energy Policy* 38 (2010), 1030–1039
- [10] *World Energy Outlook*, International Energy Agency, 2013
- [11] *Key Energy Statistics*, International Energy Agency, 2013
- [12] *Statistical Review of World Energy*, British Petroleum, 2013
- [13] *World energy Outlook*, International Energy Agency, 2014
- [14] Wong S.L., Chia Wai-Mun, Chang Y.; Energy consumption and energy R&D in OECD, *Energy Policy*, 33, (2013) 1581 – 1596
- [15] *Zelena knjiga*, JP Elektroprivreda Srbije, 2009
- [16] *Bela knjiga*, JP Elektroprivreda Srbije, 2009
- [17] Jovanović M.; Održivi razvoj energetskeg sistema Beograda, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, doktorska disertacija, 2009.

- [18] Vera I., Langlois L.; Energy indicators for sustainable development , *Energy*, 32 , (2007), 875–882
- [19] Rinne J, Lyytimäki J; From sustainability to well-being: Lessons learned from the use of sustainable development indicators at national and EU level, *Ecological Indicators*, (2012), Article in press
- [20] Report of The United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, Brazil, Vol. 1, Chapter 7, June 1992.
- [21] Agenda 21, Chapter 35, Science for Sustainable Development, United Nations Conference on Environment and Development, 1992.
- [22] Afgan N., Carvalho M.G.; Quality, Sustainability and Indicators of Energy Systems, Instituto Superioro Tecnico, Lisbon, 2007, ISBN (13) 978-1-56700-221-8
- [23] Hartwick, J. Intergenerational Equity and Investing of Rents from Exhaustable, (1977).
- [24] Pravdić V.; Održivost, prirodni kapital i djelotvornost i njihovo značenje u obrazovanju za okoliš, *Socijalna ekologija*, 7, (1998), 133 – 139
- [25] WCED (World Commission on Environment and Development), *Our Common Future*, Oxford University Press (400 pp.)
- [26] Harris, J.; *Ekonomija životne sredine i prirodnih resursa*, Beograd, 2009. DATA STATUS
- [27] Barbier, E., Markandye, A.; The Conditions for Achieving Environmentally Sustainable Development, *European Economic Review*, 34, (2008), 659 – 669
- [28] Jovanovic M., Afgan N., Bakic V.; An analytical method for the measurement of energy system sustainability in urban areas, *Energy*, 35, (2010), 3909 – 3920
- [29] Vucicevic B., Jovanovic M., Afgan N., Turanjanin V.; Assessing the sustainability topic of the energy use of residential buildings in Belgrade through multi-criteria analysis, *Energy and Buildings* 69, (2014), 51-61
- [30] Skobalj P., Kijecanin M., Jovanovic M., Afgan N., Eric M.; Energy indicators impact in multicriteria sustainability analyse of thermal power plant, *Thermal Science*, Article in Press, 2016.
- [31] Krajnc D., Glavič P.; Indicators of sustainable production, *Clean Technology Environmental Policy* (2003), 279 – 288, DOI 10.1007/s10098-003-0221-z

- [32] Jovanovic M., Afgan N., Radovanovic P., Stevanovic V.; Sustainable development of Belgrade energy system, *Energy*, 34 (2009) 532-539.
- [33] Radovanović P. i drugi; Prethodna studija o potrebi i tehno-ekonomskoj opravdanosti kosagorevanja obnovljivih goriva sa ugljem u termoelektranama EPS-a, NIV-LTE 500, Institut za Nuklearne Nauke Vinča, 2012
- [34] EUROSTAT, <http://epp.eurostat.ec>
- [35] Strategija upravljanja otpadom za period 2010-2019., Vlada R. Srbije, april 2010.
- [36] prCEN 15359 - standard u pripremi kod Evropske komisije za standardizaciju –CEN global/; May 2011 [accessed 15.06.11].
- [37] Technical Committee CEN/TC 343, "Solid Recovered Fuels – Specifications and classes", European Committee for Standardization, 2005 <http://www.cen.eu/CEN/Sectors/TechnicalCommitteesWorkshops/CENTechnicalCommittees/Pages/Standards.aspx?param=407430&title=CEN/TC+343>
- [38] Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control), <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/75/oj>
- [39] X.F. Guo et al.: Release of hydrogen chloride from combustibles municipal solid waste. *Environ. Sci. Technol.* 2001, 2001-2005
- [40] Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23.04.2009, veza sa prethodnim direktivama 2001/77/EC и 2003/30/EC, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:en:PDF>
- [41] Grković V.; Jovanović A., Termoeenergetska postrojenja 1: procesi i oprema, Fakultet Tehničkih nauka, Novi Sad, 2012
- [42] EU Emission Trading System, [http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm)
- [43] Ilić M. i dr.: Energetski potencijal i karakteristike ostataka biomase i tehnologije za njenu pripremu i energetska iskorišćenje u Srbiji, Studija u okviru projekta NP EE611-113A, Vinča, 2003
- [44] The IEA biomass co-firing database (2009), <http://www.ieabcc.nl/>
- [45] Kyoto Protocol , [unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php), 1997
- [46] Grubor B. i drugi; Uzorkovanje i analiza otpadnih materija koje nastaju u procesu prerade uglja, ugljeva niske toplotne moći, biomase i sagorivog industrijskog otpada



- u PD RB "Kolubara" d.o.o., Lazarevac, NIV-LTE 495, Institut za Nuklearne Nauke Vinča, 2012
- [47] Redlinger Y.R., Andersen Per D.; Wind Energy in the 21st Century (Economics, Policy, Technology and the Changing Electricity Industry), United Nations Environment Programme, ISBN 0-333-79248-3
- [48] Fagerfjall P., Optimizing wind farm layout more bang for the buck using mixed integer linear programming, Master Thesis, University of Technology, Gothenburg, 2010
- [49] Wind energy scenarios for 2020, European Wind Energy Association, 2015
- [50] Wind energy scenarios for 2020, European Wind Energy Association, 2014
- [51] Studija: Atlas vetrova AP Vojvodine, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, Pokrajinski sekretarijat za energetiku I mineralne sirovine Izvršno Veće AP Vojvodine, Novi Sad, 2008
- [52] Solar Energy Perspectives – International Energy Agency, 2014
- [53] Labudović B.; Osnovne primjene solarnih toplinskih sustava, Zagreb 2010, ISBN 978-953-6759-53-8
- [54] Solar thermal markets, European Solar Thermal Industry federation, 2015.
- [55] Stamenić Lj.; Korišćenje solarne fotonaponske energije u Srbiji, Jefferson Institute, 2009
- [56] Poher S.D. and Ramachandran M., Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning, *Renew. Sust. Energ. Rev.* 8, (2004), 365–381
- [57] Samouilidis J., Mitropoulos C.; Energy economy models: a survey, *Eur. J. Oper. Res.* 25, (1982), 200-218
- [58] Meirer P., Mubayi V., Modeling energy-economic interactions in developing countries-a linear programming approach, *Eur. J. Oper. Res.* 13, (1983), 41–59
- [59] Kavrakoglu I.; Multiobjective strategies in power system planning, *Eur. J. Oper. Res.* 12, (1983), 15-24
- [60] Schulz V. and Stehfest H., Regional energy supply optimization with multiple objectives, *Eur. J. Oper. Res.* 17, (1984), 302–312
- [61] Climenco J., (ed.), *Multicriteria Analysis*, Springer-Verlag, New York, 1997.
- [62] Gal T. and Hanne T., eds., *Multicriteria Decision Making: Advances in MCDM Models, Algorithms, Theory, and Applications*, Kluwer Academic, New York, 1999.

- [63] Roy B.; Metodologie Multicritere d'Aide la Decision, Collection Gestion, Paris, Economica,1985.
- [64] Saaty T.L.; The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York, 1980.
- [65] Saaty T.L.; Decision Making for Leaders, RWS Publications, Pittsburgh, 1992.
- [66] Goicoecheva A., Hansen D., Duckstain L.; Introduction to Multiobjective Analysis with Engineering and Business Applications, Wiley, New York, 1982.
- [67] Keeny R.L., Raiffa H.; Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs, Wiley, New York, 1976.
- [68] Brans J.P., Vincke Ph., and Mareschal B., How to select and how to rank projects: the PROMETHEE method, Eur. J. Oper. Res. 24, (1986), 228–238
- [69] Moran MJ., Availability analysis, a guide to efficient energy use, The American Society of Mechanical Engineers, New York
- [70] N.Hovanov; ASPID – METHOD: Analysis and synthesis of parameters under information deficiency, EURO Summer Course on Sustainable Assessment of Clean Air Technology, Lisbon, April, 2000.
- [71] Hovanov K.N., Hovanov N.V.; DSSS "ASPIN – 3W". Decision Support System's Shell "Analysis and Synthesis of Parameters under Information Deficiency 3 – D modification for Windows". "ASPID – 3W" registered by Federal Agency for Computer Programs Copyright Protection (Russia Federation), September 1996.
- [72] Afgan N.H., He X.G., Carvalho M.G.; Prototype of Know Knowledge-based System for Boiler Fouling Assessment at Power Plant Sines, Proceedings of 4<sup>th</sup> International Conference on Clean Air Technologies, Lisabon, 2000.
- [73] Ramsa T., Vizayakumar K.; Fuzzy hierarchical decision making (FHDM): a methodology for technology choice, International Journal of Computer Application in Technology, Volume 9, 5/6, India 1996
- [74] Bass S.J.; Rating and ranking of multy – aspect alternatives using fuzzy sets, Automatic Vol. 13, (1977), 47 – 58
- [75] Buckley J.J., The multiple judge, multiple criteria ranking problem: a fuzzy set approach, Fuzzy Sets and Systems, 13, (1984), 25-37
- [76] Buckley J.J.; Ranking alternatives using fuzzy numbers, Fuzzy Sets and Systems, 15, (1985), 21 – 31

- [77] Buckley J.J.; Fuzzy hierarchical analysis, *Fuzzy Sets and Systems*, 15, (1985), 232 – 242
- [78] Hovanov N.V.; *Mathematical Models of Risk and Uncertainty*, (in Russian), St. Petersburg University Press, St. Petersburg, 1998.
- [79] Dahl C., Dovgal V., Hovanov N.; Applied DSS for multicriteria estimation under uncertainty: from “ASPID-3” to “GINGER,” *Proc. Int. Workshop Mathematical Methods and Tools in Computer Simulation*, St. Petersburg, 1994.
- [80] Hovanov N., Afgan N., Zakharov V.; Hierarchy of indices as a tool for estimation of complex ecological system under uncertainty, *Int. J. Sustainable Dev.*, 6, (2003), Issue 2
- [82] Hovanov N., Fedotov V., Zakharov V.; The making of index numbers under uncertainty, *EOLSS Publishers.*, Oxford, pp. 83–99, 1999.
- [83] Hovanov N.V.; *The Mathematical Foundations of Quality Measuring Scales Theory*, (In Russian), St. Petersburg University Press, St. Petersburg, 1982.
- [84] Hovanov N., Kornikov V., Seregin I.A.; Randomized synthesis of fuzzy sets as a technique for multicriteria decision making under uncertainty, *Proc. of Int. Conf. on Fuzzy Logic and Applications*, Zichron Yaakov, Israel, Ministry of Science, pp. 281–288, 1997.
- [85] Hovanov N., Hitrov G., Mitrofanov F.; A system of mathematical methods for numerical representation of nonnumerical data, *Proc. of Int. Conf. “MERA-90”*, Moscow, Vol. 2, pp.147–155, 1990.
- [86] Begić F., *Metod procjene stepena održivosti energetske postrojenja različitih izvora u Bosni i Hercegovini*, Mašinski Fakultet Univerziteta u Sarajevu, doktorska disertacija, 2003.
- [87] Dawes R., Carrigan B.; Linear models in decision making, *Psychol. Bull.* 81, 1974.
- [88] Certificate of official registration of the computer program “Analysis and Synthesis of Parameters under Information Deficiency” (ASPID-3W) The program is registered 22.03, 1996 by Russian Federal Agency for Computer Programs Protection, N 960087, Authors: Hovanov K., Hovanov N. Copyright - close jointstock company *Academia*, Moscow, 1996
- [89] Afgan N., Carvalho M.G.; *Sustainable Assessment of Energy Systems*, Kluwer

Academic , 2000.

- [90] Vučićević B. Analiza i ocena održivog razvoja energetskog sistema u zgradarstvu, Mašinski Fakultet Univerziteta u Nišu, doktorska disertacija , Niš, 2014
- [91] Godišnji izveštaj Elektroprivrede Srbije, 2010
- [92] Godišnji izveštaj Elektroprivrede Srbije, 2011
- [93] Godišnji izveštaj Elektroprivrede Srbije, 2012
- [94] Stefanović P., Marković Z., Bakić, V., Cvetinović, D., Turanjanin, V., Jovanović, M.; Emisija gasova staklene baste u toplanama javnih preduzeća daljinskog grejanja u gradovima Srbije, Termotehnika, 37, (2011), 183 - 195.
- [95] Uredba o merenjima emisija zagađujućih materija u vazduh iz stacionarnih izvora zagađivanja, Vlada Republike Srbije, januar, 2016.
- [96] Studija homogenizacije uglja na efikasnost tehnologije rada termoelektrana (TENT) i zaštitu životne sredine NIV LTE 458, Institut za Nuklearne Nauke Vinča, 2010
- [97] Izveštaj odsustva zaposlenih: Bolovanje do 30 dana po sektorima, TE "Kolubara", 2014.
- [98] Izveštaj odsustva zaposlenih: Bolovanje preko 30 dana po sektorima, TE "Kolubara", 2014
- [99] Redlinger R., Andersen D., Morthorst P., Wind energy in the 21<sup>st</sup> century, United Nations Environment Programme, New York, ISBN 0 – 333 – 79428 – 3, 2002
- [100] Annual Report 2012, United in tough times, European Wind Energy Association, 2012
- [101] Annual Report 2013, Building a stable future, European Wind Energy Association, 2013
- [102] Wind power, renewable energy technologies: cost analysis series, International Renewable Energy Agency, 2012
- [103] Lip-Wah Ho, Wind energy in Malaysia; Past, present and future, Renewable and Sustainable Energy Reviews 53(2016)279–295
- [104] Bilir L., Imir M., An investigation on wind energy potential and small scale wind turbine performance at Incek region – Ankara, Turkey, Energy Conversion and Management 103, (2015), 910–923

- [105] Ritter M., Shen Z.; Designing an index for assessing wind energy potential, *Renewable Energy* 83, (2015), 416-424
- [106] Bukala J., Damaziak K.; Modern small wind turbine design solutions comparison in terms of estimated cost to energy output ratio, *Renewable Energy*, 83, (2015), 1166-1173
- [107] Ribeiro A., Arouca M.; Electric energy generation from small-scale solar and wind power in Brazil: The influence of location, area and shape, *Renewable Energy*, 85, (2016), 554-563
- [108] Cherubini A., Papini A.; Airborne Wind Energy Systems: A review of the technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, (2015) 1461–1476
- [109] Transforming global markets for clean energy products, International Energy Agency, 2016.
- [110] Technology Roadmap, Solar photovoltaic energy, International Energy Agency, 2010.
- [111] Technology Roadmap, Solar photovoltaic energy, International Energy Agency, 2014.
- [112] Fthenakis V.M., Kim H.C. Photovoltaics: Life-cycle analyses, *Solar Energy*, 85, (2011), 1609 – 1628
- [113] Koberle C.A., Gernaat D., Assessing current and future technoeconomic potential of concentrated solar power and photovoltaic electricity generation, *Energy*, 89, (2015), 739 – 756
- [114] Bianchini A., Gambuti M., Pellegrini M.; Performance analysis and economic assessment on different photovoltaic technologies based on experimental measurements, *Renewable Energy*, 85, (2016), 1 -11
- [115] Solar energy perspectives, International Energy Agency, 2011.

# **PRILOG 1**

## **Proračun indikatora za analizu održivosti bloka A2 TE "Kolubara"**

1. Revitalizacija termoenergetskog postrojenja bloka A2 TE "Kolubara" na bazi sagorevanja uglja (kolubarskog lignita) u kondenzacionom režimu - Opcija 1

Instalisana snaga bloka 2 TE "Kolubara A" iznosi 32 MW. Projektovani radni vek revitalizovanog postrojenja iznosi 20 godina. Godišnje vreme eksploatacije bloka iznosi 6500 h [91,92,93] uzimajući u obzir manje vremenske zastoje u radu bloka u prvih deset godina eksploatacije, a veće u narednih deset. Ukupna proizvedena električna energija u projektovanom radnom veku bloka iznosi:

$$\begin{aligned} E_{bruto\ proizvedeno} &= P \cdot t_{god} \cdot t_{rv} = 32 \cdot 6500 \cdot 20 = 4.160.000 [MWh] \\ &= 4.160 [GWh] \end{aligned}$$

$E_{bruto\ proizvedeno}$  [GWh] – ukupna proizvedena električna energija u projektovanom radnom veku termoenergetskog postrojenja

$P$  [MW] – instalisana snaga bloka (snaga na stezaljkama generatora)

$t_{god}$  [h] – ukupan broj časova rada termoenergetskog postrojenja godišnje

$t_{rv}$  [god.] – projektovani radni vek termoenergetskog postrojenja

$$I_{neto\ proizvedeno} = \left(1 - \frac{K_{sp}}{100}\right) \cdot 4.160.000 = 3.681.600 [MWh]$$

$E_{neto\ proizvedeno}$  – električna energija koja izađe na mrežu (koja "ide prema potrošačima")

$K_{sp}$  – sopstvena potrošnja bloka (iznosi oko 11,5% ukupno proizvedene električne energije) [92]

a) Energija potrebna za proizvodnju 1 kg ugljeničnog čelika iznosi 200 [MJ]

Ukupna količina ugljeničnog čelika uložena u revitalizaciji iznosi 120 t [86].  
Ukupno utrošena energija za proizvodnju ukupne količine ugljeničnog čelika potrebne za revitalizaciju bloka iznosi:

$$E_{u\check{c}} = m_{u\check{c}} \cdot E_{u\check{c}spec} = 120.000 \cdot 200 = 24.000.000 [MJ]$$

$E_{u\check{c}} [MJ]$  - energija potrebna za proizvodnju ugljeničnog čelika

$m_{u\check{c}} [kg]$  - masa ugljeničnog čelika potrebnog za revitalizaciju bloka

$E_{u\check{c}spec} \left[ \frac{MJ}{kg} \right]$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg ugljeničnog čelika

b) Potrebna energija za proizvodnju 1 kg legiranog čelika iznosi 400 [MJ]

Ukupna količina legiranog čelika uložena u revitalizaciji iznosi 80 t [86].  
Ukupno utrošena energija za proizvodnju ukupne količine ugljeničnog čelika potrebne za revitalizaciju bloka iznosi:

$$E_{l\check{c}} = m_{l\check{c}} \cdot E_{l\check{c}spec} = 80.000 \cdot 400 = 32.000.000 [MJ]$$

$E_{l\check{c}} [MJ]$  - energija potrebna za proizvodnju legiranog čelika

$m_{l\check{c}} [kg]$  - masa legiranog čelika potrebnog za revitalizaciju bloka

$E_{l\check{c}spec} \left[ \frac{MJ}{kg} \right]$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg legiranog čelika

c) Potrebna energija za proizvodnju 1 kg bakra ili aluminijuma iznosi 500 MJ

Ukupna količina bakra i aluminijuma uložena u revitalizaciju iznosi 12 t [86].  
Ukupno utrošena energija za proizvodnju ukupne količine bakra i aluminijuma potrebne za revitalizaciju bloka iznosi:

$$E_{Cu+Al} = m_{Cu+Al} \cdot E_{Cu+Al} = 12.000 \cdot 500 = 6.000.000 [MJ]$$



$E_{Cu+Al} [MJ]$  - energija potrebna za proizvodnju bakra i aluminijuma

$m_{Cu+Al} [kg]$  - masa bakra i aluminijuma potrebnog za revitalizaciju bloka

$E_{Cu+Alspec} \left[ \frac{MJ}{kg} \right]$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg bakra i aluminijuma

d) Potrebna energija za proizvodnju 1 kg izolacije iznosi 300 [MJ]

Ukupna količina izolacije uložena u revitalizaciju iznosi 12 t [86]. Ukupno utrošena energija za proizvodnju ukupne količine izolacije potrebne za revitalizaciju bloka iznosi:

$$E_{iz} = m_{iz} \cdot E_{izspec} = 12.000 \cdot 300 = 3.600.000 [MJ]$$

$E_{iz} [MJ]$  - energija potrebna za proizvodnju izolacije

$m_{iz} [kg]$  - masa izolacije potrebne za revitalizaciju bloka

$E_{izspec} \left[ \frac{MJ}{kg} \right]$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg izolacije

e) Potrebna količina goriva (uglja - kolubarskog lignita) u projektom radnom veu

Projektovana proizvodnja električne energije tokom radnog veka iznosi 4.160.000 MWh. Na osnovu podataka dostupnih iz literature donja toplotna moć kolubarskog lignita iznosi oko 7.000 kJ/kg [96]. S obzirom na revitalizaciju postrojenja bruto specifični utrošak toplote ne bi trebalo da prelazi 12.500 kJ/kWh. Ukupna količina uglja (kolubarskog lignita) u projektovanom radnom veu iznosi:

$$\begin{aligned} m_{uglja pr.} &= \frac{E_{bruto proizvedeno} \cdot q_{spec}}{H_d} = \frac{4.160.000.000 \cdot 12.500}{7000} \\ &= 7.428.571 [t] \end{aligned}$$

$m_{uglja\ pr.} [t]$  - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) da bi se proizvela projektovana količina električne energije

$E_{bruto\ proizvedeno} [kWh]$ - ukupna proizvedena električna energija u projektovanom radnom veku termoenergetskog postrojenja

$q_{spec} \left[ \frac{kJ}{kWh} \right]$  - specifični utrošak toplote bloka

$H_d \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$  - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

f) Potrošnja uglja za proizvodnju ugljeničnog čelika

$$m_{uglja\ u.č.} = \frac{E_{u.č.}}{H_d} = \frac{24.000.000.000}{7000} = 3.428 [t]$$

$m_{uglja\ u.č.} [t]$  - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) za proizvodnju ugljeničnog čelika

$E_{u.č.} [kJ]$  - energija potrebna za proizvodnju ugljeničnog čelika

$H_d \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$ - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

g) Potrošnja uglja za proizvodnju legiranog čelika

$$m_{uglja\ l.č.} = \frac{E_{l.č.}}{H_d} = \frac{32.000.000.000}{7000} = 4.571 [t]$$

$m_{uglja\ l.č.} [t]$  - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) za proizvodnju legiranog čelika

$E_{l.č.} [kJ]$  - energija potrebna za proizvodnju legiranog čelika

$H_d \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$ - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

h) Potrošnja uglja za proizvodnju bakra i aluminijuma

$$m_{\text{uglja Cu+Al}} = \frac{E_{\text{Cu+Al}}}{H_d} = \frac{6.000.000.000}{7000} = 857 \text{ [t]}$$

$m_{\text{uglja Cu+Al}} \text{ [t]}$  - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) za proizvodnju bakra i aluminijuma

$E_{\text{Cu+Al}} \text{ [kJ]}$  - energija potrebna za proizvodnju bakra i aluminijuma

$H_d \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$  - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

i) Potrošnja uglja za proizvodnju izolacije

$$m_{\text{uglja iz.}} = \frac{E_{\text{iz}}}{H_d} = \frac{3.600.000.000}{7000} = 514 \text{ [t]}$$

$m_{\text{uglja iz}} \text{ [t]}$  - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) za proizvodnju izolacije

$E_{\text{iz}} \text{ [kJ]}$  - energija potrebna za proizvodnju izolacije

$H_d \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$  - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

j) Ukupna potrošnja uglja

$$\begin{aligned} m_{\text{ug}} &= m_{\text{uglja pr.}} + m_{\text{uglja u.č.}} + m_{\text{uglja l.č.}} + m_{\text{uglja Cu+Al}} + m_{\text{uglja iz.}} \\ &= 7.437.941 \text{ [t]} \end{aligned}$$

Indikator goriva  $I_{\text{ug}}$  iznosi:

$$I_{\text{ug}} = 7.437.941 \text{ [t}_{\text{uglja}}\text{]}$$

Ekološki indikatori

a) Emisija CO<sub>2</sub> na osnovu ukupne potrošnje uglja u radnom veku postrojenja (literatura proračuni za emisiju GHG) [93, 94]:

$$E_{CO_2} = \frac{m_{ug} \cdot KF \cdot EF_C \cdot PO_C}{1000} \cdot \frac{44}{12} = \frac{7.437.941 \cdot 0,007 \cdot 29,7536 \cdot 0,98}{1000} \cdot \frac{44}{12} \\ = 5.566,57[GgCO_2]$$

$m_{ug}[t]$  - ukupna potrošnja uglja

$KF \left[ \frac{TJ}{Unit} \right]$  - konverzioni faktor

$EF_C \left[ \frac{tC}{TJ} \right]$  - emisioni faktor ugljenika

$PO_C$  - procenat oksidovanog ugljenika

Indikator emisije CO<sub>2</sub>

$$I_{CO_2} = \frac{E_{CO_2}}{E_{neto\ proizvodeno}} = \frac{5566,57 \cdot 10^6}{3.681.600.000} = 1,51 \left[ \frac{kgCO_2}{kWh} \right]$$

b) Ekološki indikator  $I_{SO_2}$

Procenat sagorivog sumpora u kolubarskom lignitu iznosi 0,5 %.

$$I_{SO_2} = \frac{m_{ug} \cdot R_{SO_2}}{E_{neto\ proizvodeno}} = \frac{7.437.941 \cdot 2 \cdot 0,005}{3.681.600.000} = 0,0202 \left[ \frac{kgSO_2}{kWh} \right] = 20,2 \left[ \frac{gSO_2}{kWh} \right]$$

c) Ekološki indikator  $I_{NO_x}$

Za proračun koristimo graničnu vrednost azotnih oksida od  $600 \left[ \frac{mg}{Nm^3} \right]$  iz [95]. Za proračun koristimo elementarni sastav uglja koji je bio u periodičnom merenju koje je izvršeno na bloku A2 TE Kolubara u aprilu 2015. godine (merenje 1).

REZULTATI ISPITIVANJA

Oznaka uzorka: 80		Sa dostavnom vlagom	Sa vlagom u analitičkom uzorku	Bez vlage	Bez vlage i pepela
Vlaga	mas. %	52.45	1.12	/	/
Pepeo		10.81	22.48	22.73	/
Sumpor ukupni		0.59	1.23	1.24	/
Sumpor u pepelu		0.35	0.72	0.73	/
Sumpor sagorljivi		0.25	0.51	0.52	/
Koks		25.08	52.16	52.75	/
Fiksni ugljenik		14.27	29.68	30.02	38.85
Isparljivo		22.47	46.72	47.25	61.15
Sagorljivo		36.74	76.4	77.27	100.00
<b>TOPLOTA SAGOREVANJA GORIVA</b>					
Gornja	kcal/kg	2296	4775	4829	6250
Donja	kcal/kg	1882	4544	4602	6023
Gornja	kJ/kg	9614	19991	20217	26166
Donja	kJ/kg	7881	19025	19268	25217

ELEMENTARNA ANALIZA\*

Ugljenik ukupni	mas. %	23.79	49.46	50.02	64.74
Vodonik		2.09	4.34	4.39	5.68
Sumpor sagorljivi		0.25	0.51	0.52	0.67
Azot		0.29	0.61	0.62	0.80
Kiseonik		10.33	21.47	21.72	28.10

$$V_{dgvlt} = 4,113 \left[ \frac{N_{mgasa}^3}{kg_{uglja}} \right] - \text{količina vlažnog dimnog gasa pri } O_2 = 6 [\%]$$

$$V_{dgsuvo} = 3,229 \left[ \frac{N_{msuvog gasa}^3}{kg_{uglja}} \right] - \text{količina suvog dimnog gasa pri } O_2 = 6 [\%]$$

$$E_{NO_x} = E_{NO_x \text{ dozvoljeno}} \cdot V_{dgsuvo} \cdot m_{uglja} = 600 \cdot 10^{-3} \cdot 3,229 \cdot 7.437.941.000 \\ = 14.410.266.893 [gNO_x]$$

$$I_{NO_x} = \frac{E_{NO_x}}{E_{neto \text{ proizvedeno}}} = 3,91 \left[ \frac{gNO_x}{kWh} \right]$$

d) Ekološki indikator praškastih materija

$$m_{ug} = 7.437.941 [t_{uglja}]$$

Za postrojenja do 500MW<sub>t</sub> granična vrednost emisije je do 100 [ $\frac{mg}{Nm^3}$ ] [95].

S obzirom na efikasnost elektrofiltera emisija praškastih materija iznosi 85 [ $\frac{mg}{Nm^3}$ ]

$$m_{\text{praškastih materija}} = E_{\text{praškastih materija}} \cdot V_{dgsuvo} \cdot m_{ug}$$

$$m_{\text{praškastih materija}} = 85 \cdot 10^{-3} \cdot 3,229 \cdot 7.437.941.000 = 2,04145 \cdot 10^9 \text{ [g}_{\text{praškastih materija}}\text{]}$$

$$E_{\text{praškastih materija}} = 85 \text{ [\frac{mg}{Nm^3}]} - \text{emisija praškastih materija}$$

$$V_{dgsuvo} = 3,229 \left[ \frac{Nm^3 \text{ suvog gasa}}{kg \text{ uglja}} \right] - \text{količina suvog dimnog gasa pri } O_2 = 6[\%]$$

$m_{ug}$  [kg] – ukupna količina uglja utrošena u procesu proizvodnje električne energije u projektovanom radnom veku bloka

$$I_{\text{praškastih materija}} = \frac{m_{\text{praškastih materija}}}{E_{\text{neto proizvedeno}}} = \frac{2,04145 \cdot 10^9}{3.681.600.000} = 0,55 \left[ \frac{g_{\text{praškastih materija}}}{kWh} \right]$$

### Ekonomski indikatori

Ekonomski podindikator proizvodne cene električne energije formira se od troškova koji uključuju uglj, održavanje, remont i troškovi radne snage.

a) Podindikator koji predstavlja cenu električne energije koja uključuje troškove uglja:

$$C_{uglja} = C_{ugljasp} \cdot q \cdot E_{\text{proizvedeno}} = 1,5 \cdot 12.500 \cdot 4.160.000.000 = 78.000.000\text{€}$$

$$C_{ugljasp} \left[ \frac{\text{€}}{GJ} \right] - \text{cena uglja}$$

$$q \left[ \frac{kJ}{kWh} \right] - \text{specifični utrošak toplote}$$

$E_{pr}$  [GWh] - proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

b) Podindikator troškova održavanja

Troškovi održavanja za projektovani radni vek bloka se procenjuju na 5.000.000 € [86], pa podindikator održavanja iznosi:

$$I_{održavanja} = 5.000.000[\text{€}]$$

c) Podindikator troškova remonata

Troškovi remonata za projektovani radni vek bloka se procenjuju na 6.400.000 € [86], pa indikator remonata iznosi:

$$I_{remonata} = 6.400.000[\text{€}]$$

d) Ukupna proizvodna cena električne energije

$$\begin{aligned} I_{cena\ el.energije} &= \frac{I_{cena\ uglja} + I_{održavanja} + I_{remonata} + I_{plata}}{E_{neto\ proizvedeno}} \\ &= \frac{78.000.000 + 5.000.000 + 6.400.000 + 21.600.000}{3.681.600.000} \\ &= \frac{111.000.000}{3.681.600.000} = 0,03 \left[ \frac{\text{€}}{kWh} \right] \end{aligned}$$

Ekonomski podindikator investicija

Podindikator investicija se formira odnosom uložениh sredstava za revitalizaciju [86] i ukupne proizvodnje električne energije:

$$I_{investicija} = \frac{C_{inv}}{E_{neto\ proizvedeno}} = \frac{8.000.000}{3.681.600.000} = 0.0022 \left[ \frac{\text{€}}{kWh} \right]$$

$C_{inv}$  [€] - investirana sredstva u revitalizaciju termoenergetskog postrojenja

$E_{proizvedeno}$  [kWh] - ukupno proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

## Socijalni indikator

- a) Socijalni podindikator troškova zaposlenih

Ukupan broj zaposlenih iznosi 90. Prosečna bruto plata uzima se u vrednosti od 1.000 €.

$$I_{\text{troškova zaposlenih}} = \frac{n_{\text{zaposlenih}} \cdot C_{\text{plata}} \cdot n_{\text{meseci}}}{E_{\text{neto proizvedeno}}} = \frac{90 \cdot 1.000 \cdot 240}{3.681.600.000} = 0,0059 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

$n_{\text{zaposlenih}}$  - broj zaposlenih

$C_{\text{plata}}$  [€] - prosečna plata zaposlenih

$n_{\text{meseci}}$  – broj isplaćenih plata, shodno radnom veku termoenergetskog postrojenja

$E_{\text{proizvedeno}}$  [kWh] - ukupno proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

- b) Socijalni podindikator zaposlenih [97,98]

$$I_{\text{zaposlenih}} = n_{\text{zaposlenih}} = 90[-]$$

- c) Socijalni podindikator izdvajanja za lokalnu zajednicu

Ukupno izdvajanje za Opciju 1 iznosi 1.500.000 [€].

$$I_{\text{lok.zajednice}} = \frac{C_{\text{izdvajanja}}}{E_{\text{neto proizvedeno}}} = \frac{1.500.000}{3.681.600.000} = 0,0004 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

$C_{\text{izdvajanja}}$  [€] - izdvajanje za lokalnu zajednicu

$E_{\text{proizvedeno}}$  [kWh] - ukupno proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

- d) Socijalni podindikator povreda na radu (literatura podaci dobijeni iz TE Kolubara) [88]

$$I_{\text{povreda na radu}} = 4[-]$$



e) Socijalni podindikator bolovanja [97,98]

$$I_{bolovanja} = 9.260 \left[ \frac{h}{god} \right]$$

f) Socijalni podindikator pouzdanosti snabdevanja

$$I_{pouzdanost\ snabdevanja} = 0,9 [-]$$

2. Revitalizacija termoenergetskog postrojenja bloka A2 TE "Kolubara" na bazi kosagorevanja uglja (kolubarskog lignita) i SRF-a

$$\begin{aligned} E_{bruto\ proizvedeno} &= P \cdot t_{god} \cdot t_{rv} = 32 \cdot 6400 \cdot 20 = 4.096.000 [MWh] \\ &= 4.096 [GWh] \end{aligned}$$

$E_{bruto\ proizvedeno}$  [GWh] – ukupna proizvedena električna energija u projektovanom radnom veku termoenergetskog postrojenja

$P$  [MW] – instalisana snaga bloka (snaga na stezaljkama generatora)

$t_{god}$  [h] – ukupan broj časova rada termoenergetskog postrojenja godišnje

$t_{rv}$  [god.] – projektovani radni vek termoenergetskog postrojenja

$$E_{neto\ proizvedeno} = \left( 1 - \frac{K_{sp}}{100} \right) \cdot 4.096.000 = 3.624.960 [MWh]$$

$E_{neto\ proizvedeno}$  – električna energija koja izade na mrežu

$K_{sp}$  – sopstvena potrošnja bloka (iznosi oko 11,5% ukupno proizvedene električne energije)

a) Energija potrebna za proizvodnju 1 kg ugljeničnog čelika iznosi 200 [MJ]

Ukupna količina ugljeničnog čelika uložena u revitalizaciji iznosi 132 [t], [86].  
Ukupno utrošena energija za proizvodnju ukupne količine ugljeničnog čelika potrebne za revitalizaciju bloka iznosi:

$$E_{u\check{c}} = m_{u\check{c}} \cdot E_{u\check{c}spec} = 132.000 \cdot 200 = 26.400.000 [MJ]$$

$E_{u\check{c}} [MJ]$  - energija potrebna za proizvodnju ugljeničnog čelika

$m_{u\check{c}} [kg]$  - masa ugljeničnog čelika potrebnog za revitalizaciju bloka

$E_{u\check{c}spec} \left[ \frac{MJ}{kg} \right]$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg ugljeničnog čelika

b) Potrebna energija za proizvodnju 1 kg legiranog čelika iznosi 400 [MJ]

Ukupna količina legiranog čelika uložena u revitalizaciji iznosi 88 t [86] (literatura Doktorska disertacija F. Begić). Ukupno utrošena energija za proizvodnju ukupne količine ugljeničnog čelika potrebne za revitalizaciju bloka iznosi:

$$E_{l\check{c}} = m_{l\check{c}} \cdot E_{l\check{c}spec} = 88.000 \cdot 400 = 35.200.000 [MJ]$$

$E_{l\check{c}} [MJ]$  - energija potrebna za proizvodnju legiranog čelika

$m_{l\check{c}} [kg]$  - masa legiranog čelika potrebnog za revitalizaciju bloka

$E_{l\check{c}spec} \left[ \frac{MJ}{kg} \right]$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg legiranog čelika

c) Potrebna energija za proizvodnju 1 kg bakra ili aluminjuma iznosi 500 [MJ]

Ukupna količina bakra i aluminjuma uložena u revitalizaciju iznosi 14 t (literatura Doktorska disertacija F. Begić). Ukupno utrošena energija za proizvodnju ukupne količine bakra i aluminjuma potrebne za revitalizaciju bloka iznosi:

$$E_{Cu+Al} = m_{Cu+Al} \cdot E_{Cu+Al} = 14.000 \cdot 500 = 7.000.000 [MJ]$$

$E_{Cu+Al} [MJ]$  - energija potrebna za proizvodnju bakra i aluminijuma

$m_{Cu+Al} [kg]$  - masa bakra i aluminijuma potrebnog za revitalizaciju bloka

$E_{Cu+Alspec} \left[ \frac{MJ}{kg} \right]$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg bakra i aluminijuma

d) Potrebna energija za proizvodnju 1 kg izolacije iznosi 300 [MJ]

Ukupna količina izolacije uložena u revitalizaciju iznosi 14 t (literatura Doktorska disertacija F. Begić). Ukupno utrošena energija za proizvodnju ukupne količine izolacije potrebne za revitalizaciju bloka iznosi:

$$E_{iz} = m_{iz} \cdot E_{izspec} = 14.000 \cdot 300 = 4.200.000 [MJ]$$

$E_{iz} [MJ]$  - energija potrebna za proizvodnju izolacije

$m_{iz} [kg]$  - masa izolacije potrebne za revitalizaciju bloka

$E_{izspec} \left[ \frac{MJ}{kg} \right]$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg izolacije

e) Potrebna količina goriva (uglja - kolubarskog lignita i SRF) u projektном radnom veku

Projektovana proizvodnja električne energije tokom radnog veka iznosi 4.096.000 MWh. Na osnovu podataka dostupnih iz literature donja toplotna moć kolubarskog lignita iznosi oko 7.000 kJ/kg [96], a donja toplotna moć SRF iznosi 16.000 kJ/kg [34]. Odnos utrošenog goriva za proizvodnju električne energije treba da iznosi 95:5 % u korist uglja u energetsom smislu. S obzirom na revitalizaciju postrojenja bruto specifični utrošak toplote ne bi trebao da prelazi 12.500 kJ/kWh. Ukupna količina uglja (kolubarskog lignita):

$$m_{uglja\ pr.} \cdot H_{duglja} + m_{SRF} \cdot H_{dSRF} = E_{bruto\ proizvedeno} \cdot q_{spec}$$

$$m_{uglja\ pr.} \cdot H_{duglja} = 0,95 \cdot E_{bruto\ proizvedeno} \cdot q_{spec}$$

$$m_{\text{uglja pr.}} = 6.948.571 \text{ [t]}$$

$m_{\text{uglja pr.}} [t]$  - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) da bi se proizvelo 95%

količina električne energije

$E_{\text{bruto proizvedeno}} [kWh]$  - ukupna proizvedena električna energija u projektovanom radnom veku termoenergetskog postrojenja

$q_{\text{spec}} \left[ \frac{kJ}{kWh} \right]$  - specifični utrošak toplote bloka

$H_{\text{duglja}} \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$  - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

$$m_{\text{SRF}} \cdot H_{\text{dSRF}} = 0,05 \cdot E_{\text{bruto proizvedeno}} \cdot q_{\text{spec}}$$

$$m_{\text{SRF}} = 160.000 \text{ [t]}$$

$m_{\text{SRF}} [t]$  - potrebna količina SRF da bi se proizvelo 5%  
količina električne energije

$E_{\text{proizvedeno}} [kWh]$  - ukupna proizvedena električna energija u projektovanom radnom veku termoenergetskog postrojenja

$q_{\text{spec}} \left[ \frac{kJ}{kWh} \right]$  - specifični utrošak toplote bloka

$H_{\text{dSRF}} \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$  - donja toplotna moć SRF-a

f) Potrošnja uglja za proizvodnju ugljeničnog čelika

$$m_{\text{uglja u.č.}} = \frac{E_{\text{u.č.}}}{H_d} = \frac{26.400.000.000}{7000} = 3.771 \text{ [t]}$$

$m_{\text{uglja u.č.}} [t]$  - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) za proizvodnju ugljeničnog čelika

$E_{u.č.}$  [kJ] - energija potrebna za proizvodnju ugljeničnog čelika

$H_d$   $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$ - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

g) Potrošnja uglja za proizvodnju legiranog čelika

$$m_{uglja\ l.č.} = \frac{E_{l.č.}}{H_d} = \frac{35.200.000.000}{7000} = 5.028 [t]$$

$m_{uglja\ l.č.}$  [t] - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) za proizvodnju legiranog čelika

$E_{l.č.}$  [kJ] - energija potrebna za proizvodnju legiranog čelika

$H_d$   $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$ - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

h) Potrošnja uglja za proizvodnju bakra i aluminijuma

$$m_{uglja\ Cu+Al} = \frac{E_{Cu+Al}}{H_d} = \frac{7.000.000.000}{7000} = 1000 [t]$$

$m_{uglja\ Cu+Al}$  [t] - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) za proizvodnju bakra i aluminijuma

$E_{Cu+Al}$  [kJ] - energija potrebna za proizvodnju bakra i aluminijuma

$H_d$   $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$ - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

i) Potrošnja uglja za proizvodnju izolacije

$$m_{uglja\ iz.} = \frac{E_{iz.}}{H_d} = \frac{4.200.000.000}{7000} = 600 [t]$$

$m_{uglja\ iz.}$  [t] - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) za proizvodnju izolacije

$E_{iz}$  [kJ] - energija potrebna za proizvodnju izolacije

$H_d$   $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$  - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

j) Ukupna potrošnja uglja

$$m_{ug} = m_{uglja\ pr.} + m_{uglja\ u.č.} + m_{uglja\ l.č.} + m_{uglja\ Cu+Al} + m_{uglja\ iz.} = 6.958.970[t]$$

g) Indikator potrošnje uglja  $I_{ug}$  iznosi:

$$I_{ug} = 6.958.970[t]$$

Ekološki indikatori

a) Emisija CO<sub>2</sub> na osnovu ukupne potrošnje uglja u radnom veku postrojenja (literatura proračuni za emisiju GHG):

$$E_{CO_2} = \frac{m_{ug} \cdot KF \cdot EF_C \cdot PO_C}{1000} \cdot \frac{44}{12} = \frac{6.958.970 \cdot 0,007 \cdot 29,7536 \cdot 0,98}{1000} \cdot \frac{44}{12}$$
$$= 5.208,108 [GgCO_2]$$

$m_{ug}$  [t] - ukupna potrošnja uglja

$KF$   $\left[\frac{TJ}{Unit}\right]$  - konverzioni faktor

$EF_C$   $\left[\frac{tC}{TJ}\right]$  - emisioni faktor ugljenika

$PO_C$  - procenat oksidovanog ugljenika

Emisija CO<sub>2</sub> na osnovu potrošnje SRF-a. Na osnovu podataka iz literature ( NIV LTE 500 Prethodna Studija o potrebi i tehno-ekonomskoj opravdanosti kosagorevanja obnovljivih goriva sa ugljem termoelektranama EPS-a) emisija CO<sub>2</sub> sagorevanjem SRF-a iznosi 636,4  $\left[\frac{kg\ CO_2}{tSRF}\right]$

$$E_{CO_2(SRF)} = 160.000 \cdot 636,4 = 160.000 \cdot 636,4 = 101.824.000[kgCO_2]$$
$$= 101,824 [GgCO_2]$$

$$E_{CO_2} = E_{CO_2(\text{uglja})} + E_{CO_2(\text{SRF})} = 5309,932 \text{ [GgCO}_2\text{]} = 5.309.932.000 \text{ [kgCO}_2\text{]}$$

$$I_{CO_2} = \frac{E_{CO_2}}{E_{\text{neto proizvedeno}}} = 1,46 \left[ \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} \right]$$

b) Ekološki indikator  $I_{SO_2}$

Procenat sagorivog sumpora u kolubarskom lignitu iznosi 0,5 %.

$$E_{SO_2(\text{uglja})} = m_{\text{uglja}} \cdot R_{SO_2} = 6.958.970.000 \cdot 0,01 = 69.589.700 \text{ [kgSO}_2\text{]}$$

Procenat sagorivog sumpora u SRF iznosi 0,2 % [34]

$$E_{SO_2(\text{SRF})} = m_{\text{SRF}} \cdot R_{SO_2} = 160.000.000 \cdot 0,004 = 640.000 \text{ [kgSO}_2\text{]}$$

$$E_{SO_2} = E_{SO_2(\text{uglja})} + E_{SO_2(\text{SRF})} = 70.229.700 \text{ [kgSO}_2\text{]}$$

$$I_{SO_2} = \frac{E_{SO_2}}{E_{\text{neto proizvedeno}}} = 0,0194 \left[ \frac{\text{kgSO}_2}{\text{kWh}} \right] = 19,4 \left[ \frac{\text{gSO}_2}{\text{kWh}} \right]$$

c) Ekološki indikator  $I_{NO_x}$

Uzimamo da je dozvoljena emisija azotnih oksida  $600 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{Nm}^3} \right]$  (prema Uredbi Vlade Republike Srbije za emisiju gasova i praškastih materija). Za proračun koristimo elementarni sastav uglja koji je bio u periodičnom merenju koje je izvršeno na bloku A2 TE Kolubara u aprilu 2015. godine (merenje 1).

REZULTATI ISPITIVANJA

Oznaka uzorka: 80		Sa dostavnom vlagom	Sa vlagom u analitičkom uzorku	Bez vlage	Bez vlage i pepela
Vlaga	mas. %	52.45	1.12	/	/
Pepeo		10.81	22.48	22.73	/
Sumpor ukupni		0.59	1.23	1.24	/
Sumpor u pepelu		0.35	0.72	0.73	/
Sumpor sagorljivi		0.25	0.51	0.52	/
Koks		25.08	52.16	52.75	/
Fiksni ugljenik		14.27	29.68	30.02	38.85
Isparljivo		22.47	46.72	47.25	61.15
Sagorljivo		36.74	76.4	77.27	100.00
<b>TOPLOTA SAGOREVANJA GORIVA</b>					
Gornja	kcal/kg	2296	4775	4829	6250
Donja	kcal/kg	1882	4544	4602	6023
Gornja	kJ/kg	9614	19991	20217	26166
Donja	kJ/kg	7881	19025	19268	25217

ELEMENTARNA ANALIZA\*

Ugljenik ukupni	mas. %	23.79	49.46	50.02	64.74
Vodonik		2.09	4.34	4.39	5.68
Sumpor sagorljivi		0.25	0.51	0.52	0.67
Azot		0.29	0.61	0.62	0.80
Kiseonik		10.33	21.47	21.72	28.10

$$V_{dgvl} = 4,113 \left[ \frac{N_{mgasa}^3}{kg_{uglja}} \right]$$

$$V_{dgsuvo} = 3,229 \left[ \frac{N_{mgasa}^3}{kg_{uglja}} \right]$$

Za proračun uzet elementarni sastav SRF-a:

$$C = 43,4 [\%]$$

$$H = 5,6 [\%]$$

$$O = 33,36 [\%]$$

$$N = 2 [\%]$$

$$S = 0,2 [\%]$$

$$A = 4 [\%]$$

$$W = 11,5 [\%]$$



$$V_{dgvlt} = 6,651 \left[ \frac{Nm^3 gasa}{kg_{SRF}} \right]$$

$$V_{dgsuvo} = 5,881 \left[ \frac{Nm^3 gasa}{kg_{SRF}} \right]$$

$$\begin{aligned} E_{NO_x(ugalj)} &= E_{NO_x \text{ dozvoljeno}} \cdot V_{dgsuvo} \cdot m_{uglja} = 600 \cdot 10^{-3} \cdot 3,229 \cdot 6.958.970.000 \\ &= 13.482.308.478 [gNO_x] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{NO_x(SRF)} &= E_{NO_x \text{ dozvoljeno}} \cdot V_{dgsuvo} \cdot m_{SRF} = 600 \cdot 10^{-3} \cdot 5,881 \cdot 160.000.000 \\ &= 564.576.000 [gNO_x] \end{aligned}$$

$$I_{NO_x} = \frac{E_{NO_x}}{E_{neto \text{ proizvedeno}}} = 3,88 \left[ \frac{gNO_x}{kWh} \right]$$

d) Ekološki indikator praškastih materija

$$m_{ug} = 6.958.970 [t_{uglja}]$$

$$m_{praškastih \text{ materija}(ugalj)} = E_{praškastih \text{ materija}} \cdot V_{dgsuvo} \cdot m_{ug}$$

$$\begin{aligned} m_{praškastih \text{ materija}(ugalj)} &= 80 \cdot 10^{-3} \cdot 3,229 \cdot 6.958.970.000 = 1,797 \cdot \\ &10^9 [g_{praškastih \text{ materija}}] \end{aligned}$$

$$E_{praškastih \text{ materija}} = 80 \left[ \frac{mg}{Nm^3} \right] - \text{emisija praškastih materija}$$

$$\begin{aligned} V_{dgsuvo} &= 3,229 \left[ \frac{Nm^3 \text{ suvog gasa}}{kg_{uglja}} \right] - \text{količina suvog dimnog gasa (nastalog od uglja) pri O}_2 \\ &= 6[\%] \end{aligned}$$

$m_{ug} = 6.958.970 [t_{uglja}]$  – ukupna količina uglja utrošena u procesu proizvodnje električne energije u projektovanom radnom veku bloka

$$m_{praškastih \text{ materija}(SRF)} = E_{praškastih \text{ materija}} \cdot V_{dgsuvo} \cdot m_{SRF}$$

$E_{\text{praškastih materija}} = 80 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{Nm}^3} \right]$  – emisija praškastih materija

$V_{\text{dgsuvo}} = 5,881 \left[ \frac{\text{Nm}^3 \text{ suvog gasa}}{\text{kg}_{\text{SRF}}} \right]$  – količina suvog dimnog gasa (nastalog od SRF) pri O<sub>2</sub>  
= 6[%]

$m_{\text{SRF}} = 160.000 [t_{\text{SRF}}]$

$$\begin{aligned} m_{\text{praškastih materija (SRF)}} &= 80 \cdot 10^{-3} \cdot 5,881 \cdot 160.000.000 \\ &= 75,033 \cdot 10^6 \left[ g_{\text{praškastih materija}} \right] \end{aligned}$$

$m_{\text{praškastih materija (ukupno)}} = m_{\text{praškastih materija(ugalj)}} + m_{\text{praškastih materija(SRF)}}$

$$\begin{aligned} I_{\text{praškastih materija}} &= \frac{m_{\text{praškastih materija(ukupno)}}}{E_{\text{neto proizvedeno}}} = \frac{1,872 \cdot 10^9}{3.681.600.000} \\ &= 0,51 \left[ \frac{g_{\text{praškastih materija}}}{\text{kWh}} \right] \end{aligned}$$

Za postrojenja do 500MW<sub>t</sub> granična vrednost emisije je do 100  $\left[ \frac{\text{mg}}{\text{Nm}^3} \right]$  [95].

S obzirom na efikasnost elektrofiltera emisija praškastih materija iznosi 80  $\left[ \frac{\text{mg}}{\text{Nm}^3} \right]$

### **Ekonomski indikatori**

Ekonomski indikator cene električne energije formira se od podindikatora koji predstavljaju cenu električne energije koja uključuje troškove uglja, SRF-a, održavanja, remonata, investicija, zaposlenih (plate).

a) Podindikator koji predstavlja cenu električne energije koja uključuje troškove uglja i troškove SRF-a:

$$\begin{aligned} I_{\text{uglja}} &= C_{\text{ugljasp}} \cdot q \cdot 0,95 \cdot E_{\text{proizvedeno}} = 1,5 \cdot 12.500 \cdot 0,95 \cdot 4.096.000.000 = \\ &= 72.960.000\text{€} \end{aligned}$$

$C_{ugljaspec} \left[ \frac{\text{€}}{GJ} \right]$  - cena uglja (kolubarski lignit)

$q \left[ \frac{kJ}{kWh} \right]$  - specifični utrošak toplote

$E_{pr} [GWh]$  - proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

$$I_{SRF} = C_{SRF} \cdot m_{SRF} = 40 \cdot 160.000 = 6.400.000 \text{ €}$$

$C_{SRF} \left[ \frac{\text{€}}{t} \right]$  - cena SRF-a po toni [34]

$$I_{uglja} + I_{SRF} = 79.360.000 \text{ [€]}$$

b) Podindikator troškova održavanja [86]

Troškovi održavanja za projektovani radni vek bloka se procenjuju na 6.000.000 €, pa indikator održavanja iznosi:

$$I_{odrzavanja} = 6.000.000 \text{ [€]}$$

c) Podindikator troškova remonata [86]

Troškovi remonata za projektovani radni vek bloka se procenjuju na 7.040.000 €, pa indikator remonata iznosi:

$$I_{remonata} = 7.040.000 \text{ [€]}$$

d) Podindikator cene električne energije

$$\begin{aligned} I_{cena \text{ el.energije}} &= \frac{I_{cena \text{ uglja}} + I_{SRF} + I_{odrzavanja} + I_{remonata} + I_{plata}}{E_{neto \text{ proizvedeno}}} \\ &= \frac{115.428.000}{3.624.900.000} = 0.032 \left[ \frac{\text{€}}{kWh} \right] \end{aligned}$$

**Ekonomski podindikator investicija**

Podindikator investicija se formira odnosom uloženi sredstava [86] za revitalizaciju i ukupne proizvodnje električne energije:

$$I_{investicija} = \frac{C_{inv}}{E_{neto\ proizvodeno}} = \frac{8.600.000}{3.624.960.000} = 0.0024 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

$C_{inv}$  [€] - investirana sredstva u revitalizaciju termoenergetskog postrojenja

$E_{proizvedeno}$  [kWh] - ukupno proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

### Socijalni indikator

a) Socijalni podindikator plata

Ukupan broj zaposlenih iznosi 95. Prosečna bruto plata uzima se u vrednosti od 1.010 €.

$$I_{troškova\ zaposlenih} = \frac{n_{zaposlenih} \cdot C_{plata} \cdot n_{meseci}}{E_{neto\ proizvodeno}} = \frac{95 \cdot 1.010 \cdot 240}{3.624.960.000} = 0,0064 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

$n_{zaposlenih}$  - broj zaposlenih

$C_{plata}$  [€] - prosečna plata zaposlenih

$n_{meseci}$  – broj isplaćenih plata, shodno radnom veku termoenergetskog postrojenja

$E_{proizvedeno}$  [kWh] - ukupno proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

b) Socijalni podindikator zaposlenih [97,98]

$$I_{zaposlenih} = n_{zaposlenih} = 95 [-]$$

c) Socijalni podindikator izdvajanja za lokalnu zajednicu

Ukupno izdvajanje za Opciju 2 iznosi 2.000.000 €.

$$I_{lok.zajednice} = \frac{C_{izdvajanja}}{E_{neto\ proizvedeno}} = \frac{2.000.000}{3.624.960.000} = 0,00055 \left[ \frac{\text{€}}{kWh} \right]$$

$C_{izdvajanja}$  [€] - izdvajanje za lokalnu zajednicu

$E_{proizvedeno}$  [kWh] - ukupno proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

Socijalni podindikator povreda na radu [97,98]

d)  $I_{povreda\ na\ radu} = 5[-]$

e) Socijalni podindikator bolovanja (literatura podaci dobijeni iz TE Kolubara)

$$I_{bolovanja} = 10.750 \left[ \frac{h}{god} \right]$$

f) Socijalni podindikator pouzdanosti snabdevanja

$$I_{pouzdanost\ snabdevanja} = 0,8 [-]$$

3. Revitalizacija termoenergetskog postrojenja bloka A2 TE "Kolubara" na bazi kosagorevanja uglja (kolubarskog lignita) i biomase – Opcija 3

$$\begin{aligned} E_{bruto\ proizvedeno} &= P \cdot t_{god} \cdot t_{rv} = 32 \cdot 6400 \cdot 20 = 4.096.000 [MWh] \\ &= 4.096 [GWh] \end{aligned}$$

$E_{bruto\ proizvedeno}$  [GWh] – ukupna proizvedena električna energija u projektovanom radnom veku termoenergetskog postrojenja

$P$  [MW] – instalisana snaga bloka (snaga na stezaljkama generatora)

$t_{god}$  [h] – ukupan broj časova rada termoenergetskog postrojenja godišnje

$t_{rv}$  [god.] – projektovani radni vek termoenergetskog postrojenja

$$E_{neto\ proizvodeno} = \left(1 - \frac{K_{sp}}{100}\right) \cdot 4.096.000 = 3.624.960 [MWh]$$

$E_{neto\ proizvodeno}$  – električna energija koja izađe na mrežu (električna energija koja "ide prema potrošaču")

$K_{sp}$  – sopstvena potrošnja bloka (iznosi oko 11,5% ukupno proizvedene električne energije)

Indikatori resursa

- a) Energija potrebna za proizvodnju 1 kg ugljeničnog čelika iznosi 200 [MJ]

Ukupna količina ugljeničnog čelika uložena u revitalizaciji iznosi 144 t [86].

Ukupno utrošena energija za proizvodnju ukupne količine ugljeničnog čelika potrebne za revitalizaciju bloka iznosi:

$$E_{u\check{c}} = m_{u\check{c}} \cdot E_{u\check{c}spec} = 144.000 \cdot 200 = 28.800.000 [MJ]$$

$E_{u\check{c}} [MJ]$  - energija potrebna za proizvodnju ugljeničnog čelika

$m_{u\check{c}} [kg]$  - masa ugljeničnog čelika potrebnog za revitalizaciju bloka

$E_{u\check{c}spec} \left[\frac{MJ}{kg}\right]$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg ugljeničnog čelika

- b) Potrebna energija za proizvodnju 1 kg legiranog čelika iznosi 400 [MJ]

Ukupna količina legiranog čelika uložena u revitalizaciji iznosi 92 t [86].

Ukupno utrošena energija za proizvodnju ukupne količine ugljeničnog čelika potrebne za revitalizaciju bloka iznosi:

$$E_{l\check{c}} = m_{l\check{c}} \cdot E_{l\check{c}spec} = 92.000 \cdot 400 = 36.800.000 [MJ]$$

$E_{l\check{c}} [MJ]$  - energija potrebna za proizvodnju legiranog čelika

$m_{i\check{c}}[kg]$  - masa legiranog \u010delika potrebnog za revitalizaciju bloka

$E_{i\check{c}spec} \left[ \frac{MJ}{kg} \right]$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg legiranog \u010delika

c) Potrebna energija za proizvodnju 1 kg bakra ili aluminijuma iznosi 500 MJ

Ukupna koli\u010dina bakra i aluminijuma ulo\u017ena u revitalizaciju iznosi 16 t [86].

Ukupno utro\u0161ena energija za proizvodnju ukupne koli\u010dine bakra i aluminijuma potrebne za revitalizaciju bloka iznosi:

$$E_{Cu+Al} = m_{Cu+Al} \cdot E_{Cu+Al} = 16.000 \cdot 500 = 8.000.000[MJ]$$

$E_{Cu+Al}[MJ]$  - energija potrebna za proizvodnju bakra i aluminijuma

$m_{Cu+Al}[kg]$  - masa bakra i aluminijuma potrebnog za revitalizaciju bloka

$E_{Cu+Alspec} \left[ \frac{MJ}{kg} \right]$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg bakra i aluminijuma

d) Potrebna energija za proizvodnju 1 kg izolacije iznosi 300 [MJ]

Ukupna koli\u010dina izolacije ulo\u017ena u revitalizaciju iznosi 16 t [86]. Ukupno utro\u0161ena energija za proizvodnju ukupne koli\u010dine izolacije potrebne za revitalizaciju bloka iznosi:

$$E_{iz} = m_{iz} \cdot E_{izspec} = 16.000 \cdot 300 = 4.800.000[MJ]$$

$E_{iz}[MJ]$  - energija potrebna za proizvodnju izolacije

$m_{iz}[kg]$  - masa izolacije potrebne za revitalizaciju bloka

$E_{izspec} \left[ \frac{MJ}{kg} \right]$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg izolacije

e) Potrebna količina goriva (uglja - kolubarskog lignita i biomase) u projektном radnom veku

Projektovana proizvodnja električne energije tokom radnog veka iznosi 4.096.000 MWh. Na osnovu podataka dostupnih iz literature donja toplotna moć kolubarskog lignita iznosi oko 7.000 kJ/kg [96], a donja toplotna moć biomase iznosi 12.000 kJ/kg [34]. Odnos utrošenog goriva za proizvodnju električne energije treba da iznosi 95:5 % u korist uglja u energetsom smislu. S obzirom na revitalizaciju postrojenja bruto specifični utrošak toplote ne bi trebao da prelazi 12.500 kJ/kWh. Ukupna količina uglja (kolubarskog lignita):

$$m_{uglja\ pr.} \cdot H_{duglja} + m_{biomase} \cdot H_{dbiomase} = E_{bruto\ proizvedeno} \cdot q_{spec}$$

$$m_{uglja\ pr.} \cdot H_{duglja} = 0,95 \cdot E_{bruto\ proizvedeno} \cdot q_{spec}$$

$$m_{uglja\ pr.} = 6.948.571 [t]$$

$m_{uglja\ pr.} [t]$  - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) da bi se proizvelo 95% količina električne energije

$E_{bruto\ proizvedeno} [kWh]$  - ukupna proizvedena električna energija u projektovanom radnom veku termoenergetskog postrojenja

$q_{spec} \left[ \frac{kJ}{kWh} \right]$  - specifični utrošak toplote bloka

$H_{duglja} \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$  - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

$$m_{biomase} \cdot H_{dbiomase} = 0,05 \cdot E_{proizvedeno} \cdot q_{spec}$$

$$m_{biomase} = 213.333 [t]$$

$m_{biomase} [t]$  - potrebna količina biomase da bi se proizvelo 5% količina električne energije



$E_{bruto\ proizvedeno}$  [kWh] - ukupna proizvedena električna energija u projektovanom radnom veku termoenergetskog postrojenja

$q_{spec}$   $\left[\frac{kJ}{kWh}\right]$  - specifični utrošak toplote bloka

$H_{dbiomase}$   $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$  - donja toplotna moć biomase

f) Potrošnja uglja za proizvodnju ugljeničnog čelika

$$m_{uglja\ u.č.} = \frac{E_{u.č.}}{H_d} = \frac{28.800.000.000}{7000} = 4.114 [t]$$

$m_{uglja\ u.č.}$  [t] - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) za proizvodnju ugljeničnog čelika

$E_{u.č.}$  [kJ] - energija potrebna za proizvodnju ugljeničnog čelika

$H_d$   $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$  - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

g) Potrošnja uglja za proizvodnju legiranog čelika

$$m_{uglja\ l.č.} = \frac{E_{l.č.}}{H_d} = \frac{36.800.000.000}{7000} = 5.257 [t]$$

$m_{uglja\ l.č.}$  [t] - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) za proizvodnju legiranog čelika

$E_{l.č.}$  [kJ] - energija potrebna za proizvodnju legiranog čelika

$H_d$   $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$  - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

h) Potrošnja uglja za proizvodnju bakra i aluminijuma

$$m_{\text{uglja Cu+Al}} = \frac{E_{\text{Cu+Al}}}{H_d} = \frac{8.000.000.000}{7.000} = 1.143[t]$$

$m_{\text{uglja Cu+Al}}[t]$  - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) za proizvodnju bakra i aluminijuma

$E_{\text{Cu+Al}} [kJ]$  - energija potrebna za proizvodnju bakra i aluminijuma

$H_d \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$  - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

i) Potrošnja uglja za proizvodnju izolacije

$$m_{\text{uglja iz.}} = \frac{E_{\text{iz}}}{H_d} = \frac{4.800.000.000}{7.000} = 685[t]$$

$m_{\text{uglja iz}}[t]$  - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) za proizvodnju izolacije

$E_{\text{iz}} [kJ]$  - energija potrebna za proizvodnju izolacije

$H_d \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$  - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

j) Ukupna potrošnja uglja

$$m_{\text{ug}} = m_{\text{uglja pr.}} + m_{\text{uglja u.č.}} + m_{\text{uglja l.č.}} + m_{\text{uglja Cu+Al}} + m_{\text{uglja iz.}} = 6.959.970[t]$$

### Ekološki indikatori

a) Emisija CO<sub>2</sub> na osnovu ukupne potrošnje uglja u radnom veku postrojenja (literatura proračuni za emisiju GHG):

$$E_{CO_2} = \frac{m_{ug} \cdot KF \cdot EF_C \cdot PO_C}{1000} \cdot \frac{44}{12} = \frac{6.959.970 \cdot 0,007 \cdot 29,7536 \cdot 0,98}{1000} \cdot \frac{44}{12}$$

$$= 5.208,71 [GgCO_2]$$

$$I_{CO_2} = \frac{E_{CO_2}}{E_{neto\ proizvodeno}} = 1,44 \left[ \frac{kgCO_2}{kWh} \right]$$

$m_{ug} [t]$  - ukupna potrošnja uglja

$KF \left[ \frac{TJ}{Unit} \right]$  - konverzioni faktor

$EF_C \left[ \frac{tC}{TJ} \right]$  - emisioni faktor ugljenika

$PO_C$  - procenat oksidovanog ugljenika

Indikator emisije CO<sub>2</sub> iz biomase

Biljke u procesu fotosinteze koriste ugljen-dioksid za stvaranje kiseonika (O<sub>2</sub>) i povećanje sopstvene mase, pri čemu dolazi do smanjenja koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi. Odavde se može zaključiti da se pri sagorevanju biomase bilans CO<sub>2</sub> u atmosferi menja, tj. ugljen-dioksid proizveden pri sagorevanju biljke ponovo apsorbuju u procesu fotosinteze.

b) Ekološki indikator  $I_{SO_2}$

Procenat sagorivog sumpora u kolubarskom lignitu iznosi 0,5 %.

$$E_{SO_2(ugalj)} = m_{ug} \cdot R_{SO_2} = 6.959.970.000 \cdot 0,01 = 69.599.700 [kgSO_2]$$

U svom sastavu, biomasa sadrži male količine sumpora (S), na osnovu podataka iz literature [34] iznosi 0,1 %.

$$E_{SO_2(biomasa)} = m_{biomase} \cdot R_{SO_2} = 213.333.000 \cdot 0,002 = 426.666 [kgSO_2]$$

$$I_{SO_2} = \frac{E_{SO_2(ugalj)} + E_{SO_2(biomasa)}}{E_{neto\ proizvodeno}} = \frac{69.599.700 + 426.666}{3.624.960.000} = 0,0193 \left[ \frac{kgSO_2}{kWh} \right]$$

$$= 19,3 \left[ \frac{gSO_2}{kWh} \right]$$

c) Ekološki indikator  $I_{NO_x}$

Dozvoljena emisija azotnih oksida iznosi  $600 \left[ \frac{mg}{Nm^3} \right]$  prema [95]. Za proračun uzet elementarni sastav uglja koji je bio u periodičnom merenju u aprilu (merenje 1).

#### REZULTATI ISPITIVANJA

Oznaka uzorka: 80		Sa dostavnom vlagom	Sa vlagom u analitičkom uzorku	Bez vlage	Bez vlage i pepela
Vlaga	mas. %	52.45	1.12	/	/
Pepeo		10.81	22.48	22.73	/
Sumpor ukupni		0.59	1.23	1.24	/
Sumpor u pepelu		0.35	0.72	0.73	/
Sumpor sagorljivi		0.25	0.51	0.52	/
Koks		25.08	52.16	52.75	/
Fiksni ugljenik		14.27	29.68	30.02	38.85
Isparljivo		22.47	46.72	47.25	61.15
Sagorljivo		36.74	76.4	77.27	100.00
<b>TOPLOTA SAGOREVANJA GORIVA</b>					
Gornja	kcal/kg	2296	4775	4829	6250
Donja	kcal/kg	1882	4544	4602	6023
Gornja	kJ/kg	9614	19991	20217	26166
Donja	kJ/kg	7881	19025	19268	25217

#### ELEMENTARNA ANALIZA\*

Ugljenik ukupni	mas. %	23.79	49.46	50.02	64.74
Vodonik		2.09	4.34	4.39	5.68
Sumpor sagorljivi		0.25	0.51	0.52	0.67
Azot		0.29	0.61	0.62	0.80
Kiseonik		10.33	21.47	21.72	28.10

$$V_{dgvlt} = 4,113 \left[ \frac{Nm^3}{kg\ uglja} \right]$$

$$V_{dgsuvo} = 3,229 \left[ \frac{Nm^3}{kg\ uglja} \right]$$

$$E_{NO_x(ugalj)} = E_{NO_x\ dozvoljeno} \cdot V_{dgsuvo} \cdot m_{uglja} = 600 \cdot 10^{-3} \cdot 3,229 \cdot 6.959.970.000$$

$$= 13.484.245.878 \left[ gNO_x \right]$$

Za proračun uzet elementarni sastav biomase:

$$C = 38 [\%]$$

$$H = 4 [\%]$$

$$O = 37,3 [\%]$$

$$N = 0,6 [\%]$$

$$S = 0,1 [\%]$$

$$A = 9 [\%]$$

$$W = 11 [\%]$$

$$V_{dgvlt} = 5,113 \left[ \frac{Nm^3_{gas}}{kg_{SRF}} \right]$$

$$V_{dgsuvo} = 4,529 \left[ \frac{Nm^3_{gas}}{kg_{SRF}} \right]$$

$$\begin{aligned} E_{NO_x(biomasa)} &= E_{NO_x \text{ dozvoljeno}} \cdot V_{dgsuvo} \cdot m_{biomasa} \\ &= 600 \cdot 10^{-3} \cdot 4,529 \cdot 213.000.000 = 578.806.200 [gNO_x] \end{aligned}$$

$$I_{NO_x} = \frac{E_{NO_x}}{E_{neto \text{ proizvedeno}}} = 3,88 \left[ \frac{gNO_x}{kWh} \right]$$

d) Ekološki indikator praškastih materija

$$m_{ug} = 6.959.970 [t_{uglja}]$$

$$m_{praškastih \ materija(ugalj)} = E_{praškastih \ materija} \cdot V_{dgsuvo} \cdot m_{ug}$$

$$\begin{aligned} m_{praškastih \ materija \ (ugalj)} &= 75 \cdot 10^{-3} \cdot 3,229 \cdot 6.959.970.000 = 1,685 \cdot \\ &10^9 [g_{praškastih \ materija}] \end{aligned}$$

$$E_{praškastih \ materija} = 75 \left[ \frac{mg}{Nm^3} \right] - \text{emisija praškastih materija}$$

$$V_{dgsuvo} = 3,229 \left[ \frac{Nm^3 \text{ suvog gasa}}{kg \text{ uglja}} \right] - \text{količina suvog dimnog gasa (nastalog od uglja) pri } O_2 = 6[\%]$$

$m_{ug} = 6.959.970 [t_{uglja}]$  – ukupna količina uglja utrošena u procesu proizvodnje električne energije u projektovanom radnom veku bloka

$$m_{praškastih \ materija(biomasa)} = E_{praškastih \ materija} \cdot V_{dgsuvo} \cdot m_{biomasa}$$

$$E_{praškastih \ materija} = 75 \left[ \frac{mg}{Nm^3} \right] - \text{emisija praškastih materija}$$

$$V_{dgsuvo} = 4,529 \left[ \frac{Nm^3 \text{ suvog gasa}}{kg \text{ biomase}} \right] - \text{količina suvog dimnog gasa (nastalog od biomase) pri } O_2 = 6[\%]$$

$$\begin{aligned} m_{praškastih \ materija \ (biomasa)} &= 75 \cdot 10^{-3} \cdot 4,529 \cdot 213.000.000 \\ &= 72,35 \cdot 10^6 [g_{praškastih \ materija}] \end{aligned}$$

$$m_{biomase} = 213.000 [t_{biomase}]$$

$m_{praškastih \ materija \ (ukupno)}$

$$= m_{praškastih \ materija(ugalj)} + m_{praškastih \ materija(biomasa)}$$

$$\begin{aligned} I_{praškastih \ materija} &= \frac{m_{praškastih \ materija(ukupno)}}{E_{neto \ proizvedeno}} = \frac{1,757 \cdot 10^9}{3.624.960.000} \\ &= 0,48 \left[ \frac{g_{praškastih \ materija}}{kWh} \right] \end{aligned}$$

Za postrojenja do 500MW<sub>t</sub> granična vrednost emisije je do 100  $\left[ \frac{mg}{Nm^3} \right]$  (literatura Uredba o graničnim vrednostima emisija zagađujućih materija u vazduh 2010)

S obzirom na efikasnost elektrofiltera emisija praškastih materija iznosi 75  $\left[ \frac{mg}{Nm^3} \right]$

## Ekonomski indikatori

Ekonomski podindikator cene električne energije formira se od podindikatora koji predstavljaju cenu električne energije koja uključuje troškove uglja, biomase, održavanja, remonata i troškove radne snage.

a) Podindikator koji predstavlja cenu električne energije koja uključuje troškove uglja:

$$I_{uglja} = C_{ugljajspec} \cdot q \cdot 0,95 \cdot E_{bruto\ proizvodeno} = \\ 1,5 \cdot 12.500 \cdot 0,95 \cdot 4.096.000.000 = 72.960.000\text{€}$$

$$I_{biomase} = C_{biomase} \cdot m_{biomase} = 45 \cdot 213.333 = 9.599.985 \text{ €}$$

$C_{ugljajspec} \left[ \frac{\text{€}}{GJ} \right]$  - cena uglja (kolubarski lignit)

$q \left[ \frac{kJ}{kWh} \right]$  - specifični utrošak toplote

$E_{pr} [GWh]$  - proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

$C_{biomase} \left[ \frac{\text{€}}{t} \right]$  – cena biomase [34]

b) Podindikator troškova održavanja [86]

Troškovi održavanja za projektovani radni vek bloka se procenjuju na 6.000.000 €, pa indikator održavanja iznosi:

$$I_{odrzavanja} = 6.000.000[\text{€}]$$

c) Podindikator troškova remonata [86]

Troškovi remonata za projektovani radni vek bloka se procenjuju na 8.000.000 €, pa indikator remonata iznosi:

$$I_{remonata} = C_{remonata} = 8.000.000[\text{€}]$$

d) Podindikator cene električne energije

$$I_{\text{cena el.energije}} = \frac{I_{\text{cena uglja}} + I_{\text{biomasa}} + I_{\text{održavanja}} + I_{\text{remonata}} + I_{\text{plata}}}{E_{\text{neto proizvedeno}}}$$
$$= \frac{120.319.985}{3.624.960.000} = 0.0332 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

Ekonomski podindikator investicija

Podindikator investicija se formira odnosom uložених sredstava [86] za revitalizaciju i ukupne proizvodnje električne energije:

$$I_{\text{investicija}} = \frac{C_{\text{inv}}}{E_{\text{neto proizvedeno}}} = \frac{9.400.000}{3.624.960.000} = 0.0026 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

$C_{\text{inv}}$  [€] - investirana sredstva u revitalizaciju termoenergetskog postrojenja

$E_{\text{proizvedeno}}$  [kWh] - ukupno proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

### Socijalni indikator

a) Socijalni podindikator plata

Ukupan broj zaposlenih iznosi 100. Prosečna bruto plata uzima se u vrednosti od 990 €.

$$I_{\text{troškova zaposlenih}} = \frac{n_{\text{zaposlenih}} \cdot C_{\text{plata}} \cdot n_{\text{meseci}}}{E_{\text{neto proizvedeno}}} = \frac{100 \cdot 990 \cdot 240}{3.624.960.000} = 0,0065 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

$n_{\text{zaposlenih}}$  - broj zaposlenih

$C_{\text{plata}}$  [€] - prosečna plata zaposlenih

$n_{\text{meseci}}$  – broj isplaćenih plata, shodno radnom veku termoenergetskog postrojenja

$E_{\text{proizvedeno}}$  [kWh] - ukupno proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja



b) Socijalni podindikator zaposlenih [97,98]

$$I_{zaposlenih} = n_{zaposlenih} = 100[-]$$

c) Socijalni podindikator izdvajanja za lokalnu zajednicu

Ukupno izdvajanje za Opciju 3 iznosi 1.800.000 €.

$$I_{lok.zajednice} = \frac{C_{izdvajanja}}{E_{neto\ proizvedeno}} = \frac{1.800.000}{3.624.960.000} = 0,0005 \left[ \frac{\text{€}}{kWh} \right]$$

$C_{izdvajanja}$  [€] - izdvajanje za lokalnu zajednicu

$E_{proizvedeno}$  [kWh] - ukupno proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

d) Socijalni podindikator povreda na radu (literatura podaci dobijeni iz TE Kolubara)

$$I_{povreda\ na\ radu} = 6 [-]$$

e) Socijalni podindikator bolovanja (literatura podaci dobijeni iz TE Kolubara)

$$I_{bolovanja} = 11.830 \left[ \frac{h}{god} \right]$$

f) Socijalni podindikator pouzdanosti snabdevanja

$$I_{pouzdanost\ snabdevanja} = 0,8 [-]$$

4. Revitalizacija termoenergetskog postrojenja bloka A2 TE "Kolubara" na bazi kosagorevanja uglja (kolubarskog lignita) i otpadnih materija – Opcija 4

$$\begin{aligned} E_{bruto\ proizvedeno} &= P \cdot t_{god} \cdot t_{rv} = 32 \cdot 6500 \cdot 20 = 4.160.000 [MWh] \\ &= 4.160 [GWh] \end{aligned}$$

$E_{bruto\ proizvedeno}$  [GWh] – ukupna proizvedena električna energija u projektovanom radnom veku termoenergetskog postrojenja

$P$  [MW] – instalisana snaga bloka (snaga na stezaljkama generatora)

$t_{god}$  [h] – ukupan broj časova rada termoenergetskog postrojenja godišnje

$t_{rv}$  [god.] – projektovani radni vek termoenergetskog postrojenja

$$E_{neto\ proizvedeno} = \left(1 - \frac{K_{sp}}{100}\right) \cdot 4.160.000 = 3.681.600 \text{ [MWh]}$$

$E_{neto\ proizvedeno}$  – električna energija koja izade na mrežu

$K_{sp}$  – sopstvena potrošnja bloka (iznosi oko 11,5% ukupno proizvedene električne energije)

#### Indikatori resursa

- a) Energija potrebna za proizvodnju 1 kg ugljeničnog čelika iznosi 200 MJ

Ukupna količina ugljeničnog čelika uložena u revitalizaciji iznosi 120 t [86].

Ukupno utrošena energija za proizvodnju ukupne količine ugljeničnog čelika potrebne za revitalizaciju bloka iznosi:

$$E_{uč} = m_{uč} \cdot E_{učspec} = 120.000 \cdot 200 = 24.000.000 \text{ [MJ]}$$

$E_{uč}$  [MJ] - energija potrebna za proizvodnju ugljeničnog čelika

$m_{uč}$  [kg] - masa ugljeničnog čelika potrebnog za revitalizaciju bloka

$E_{učspec}$   $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}\right]$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg ugljeničnog čelika

- b) Potrebna energija za proizvodnju 1 kg legiranog čelika iznosi 400 MJ

Ukupna količina legiranog čelika uložena u revitalizaciji iznosi 80 t [86].  
Ukupno utrošena energija za proizvodnju ukupne količine ugljeničnog čelika potrebne za revitalizaciju bloka iznosi:

$$E_{i\check{c}} = m_{i\check{c}} \cdot E_{i\check{c}spec} = 80.000 \cdot 400 = 32.000.000 [MJ]$$

$E_{i\check{c}}[MJ]$  - energija potrebna za proizvodnju legiranog čelika

$m_{i\check{c}}[kg]$  - masa legiranog čelika potrebnog za revitalizaciju bloka

$E_{i\check{c}spec} \left[ \frac{MJ}{kg} \right]$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg legiranog čelika

c) Potrebna energija za proizvodnju 1 kg bakra ili aluminijuma iznosi 500 MJ

Ukupna količina bakra i aluminijuma uložena u revitalizaciju iznosi 12 t [86].  
Ukupno utrošena energija za proizvodnju ukupne količine bakra i aluminijuma potrebne za revitalizaciju bloka iznosi:

$$E_{Cu+Al} = m_{Cu+Al} \cdot E_{Cu+Al} = 12.000 \cdot 500 = 6.000.000 [MJ]$$

$E_{Cu+Al}[MJ]$  - energija potrebna za proizvodnju bakra i aluminijuma

$m_{Cu+Al}[kg]$  - masa bakra i aluminijuma potrebnog za revitalizaciju bloka

$E_{Cu+Alspec} \left[ \frac{MJ}{kg} \right]$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg bakra i aluminijuma

d) Potrebna energija za proizvodnju 1 kg izolacije iznosi 300 MJ

Ukupna količina izolacije uložena u revitalizaciju iznosi 12 t [86]. Ukupno utrošena energija za proizvodnju ukupne količine izolacije potrebne za revitalizaciju bloka iznosi:

$$E_{iz} = m_{iz} \cdot E_{izspec} = 12.000 \cdot 300 = 3.600.000 [MJ]$$

$E_{iz}[MJ]$  - energija potrebna za proizvodnju izolacije

$m_{iz} [kg]$  - masa izolacije potrebne za revitalizaciju bloka

$E_{izspec} \left[ \frac{MJ}{kg} \right]$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg izolacije

e) Potrebna količina goriva (uglja - kolubarskog lignita i otpadnih materija) u projektном radnom veku

Projektovana proizvodnja električne energije tokom radnog veka iznosi 4.160.000 MWh. Na osnovu podataka dostupnih iz literature donja toplotna moć kolubarskog lignita iznosi oko 7.000 kJ/kg [96], a donja toplotna moć otpadnih materija iznosi 3.000 kJ/kg [47]. Odnos utrošenog goriva za proizvodnju električne energije treba da iznosi 90:10 % u korist uglja u energetsom smislu. S obzirom na revitalizaciju postrojenja bruto specifični utrošak toplote ne bi trebao da prelazi 12.500 kJ/kWh. Ukupna količina uglja (kolubarskog lignita):

$$m_{uglja\ pr.} \cdot H_{duglja} + m_{otpadnih\ materija} \cdot H_{otpadnih\ materija} = E_{proizvedeno} \cdot q_{spec}$$

$$m_{uglja\ pr.} \cdot H_{duglja} = 0,9 \cdot E_{bruto\ proizvedeno} \cdot q_{spec}$$

$$m_{uglja\ pr.} = 6.685.714 [t]$$

$m_{uglja\ pr.} [t]$  - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) da bi se proizvelo 90%

količine električne energije

$E_{bruto\ proizvedeno} [kWh]$  - ukupna proizvedena električna energija u projektovanom radnom veku

termoenergetskog postrojenja

$q_{spec} \left[ \frac{kJ}{kWh} \right]$  - specifični utrošak toplote bloka

$H_{\text{uglja}} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$  - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

$$m_{\text{otpadnih materija}} \cdot H_{\text{otpadnih materija}} = 0,1 \cdot E_{\text{proizvedeno}} \cdot q_{\text{spec}}$$

$$m_{\text{otpadnih materija}} = 1.733.333 \text{ [t]}$$

$m_{\text{otpadnih materija}} \text{ [t]}$  - potrebna količina otpadnih materija da bi se proizvelo 10%

količine električne energije

$E_{\text{bruto proizvedeno}} \text{ [kWh]}$  - ukupna proizvedena električna energija u projektovanom radnom veku termoenergetskog postrojenja

$q_{\text{spec}} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}} \right]$  - specifični utrošak toplote bloka

$H_{\text{otpadnih materija}} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$  - donja toplotna moć otpadnih materija

f) Potrošnja uglja za proizvodnju ugljeničnog čelika

$$m_{\text{uglja u.č.}} = \frac{E_{\text{u.č.}}}{H_d} = \frac{24.000.000.000}{7000} = 3.428 \text{ [t]}$$

$m_{\text{uglja u.č.}} \text{ [t]}$  - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) za proizvodnju ugljeničnog čelika

$E_{\text{u.č.}} \text{ [kJ]}$  - energija potrebna za proizvodnju ugljeničnog čelika

$H_d \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$  - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

g) Potrošnja uglja za proizvodnju legiranog čelika

$$m_{\text{uglja l.č.}} = \frac{E_{\text{l.č.}}}{H_d} = \frac{32.000.000.000}{7000} = 4.571 \text{ [t]}$$

$m_{uglja\ l.č.} [t]$  - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) za proizvodnju legiranog čelika

$E_{l.č.} [kJ]$  - energija potrebna za proizvodnju legiranog čelika

$H_d \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$  - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

h) Potrošnja uglja za proizvodnju bakra i aluminijuma

$$m_{uglja\ Cu+Al} = \frac{E_{Cu+Al}}{H_d} = \frac{6.000.000.000}{7000} = 857 [t]$$

$m_{uglja\ Cu+Al} [t]$  - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) za proizvodnju bakra i aluminijuma

$E_{Cu+Al} [kJ]$  - energija potrebna za proizvodnju bakra i aluminijuma

$H_d \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$  - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

i) Potrošnja uglja za proizvodnju izolacije

$$m_{uglja\ iz.} = \frac{E_{iz}}{H_d} = \frac{3.600.000.000}{7000} = 515 [t]$$

$m_{uglja\ iz} [t]$  - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) za proizvodnju izolacije

$E_{iz} [kJ]$  - energija potrebna za proizvodnju izolacije

$H_d \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$  - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

j) Ukupna potrošnja uglja

$$m_{ug} = m_{uglja\ pr.} + m_{uglja\ u.č.} + m_{uglja\ l.č.} + m_{uglja\ Cu+Al} + m_{uglja\ iz.} = 6.695.084 [t]$$

Indikator potrošnje uglja:

$$I_{uglja} = 6.695.084[t]$$

Ekološki indikatori

a) Emisija CO<sub>2</sub> na osnovu ukupne potrošnje uglja u radnom veku postrojenja (literatura proračuni za emisiju GHG):

$$E_{CO_2(ugalj)} = \frac{m_{ug} \cdot KF \cdot EF_C \cdot PO_C}{1000} \cdot \frac{44}{12} = \frac{6.695.084 \cdot 0,007 \cdot 29,7536 \cdot 0,98}{1000} \cdot \frac{44}{12} \\ = 5.010,62 [GgCO_2]$$

$m_{ug}[t]$  - ukupna potrošnja uglja

$KF \left[ \frac{TJ}{Unit} \right]$  - konverzioni faktor

$EF_C \left[ \frac{tC}{TJ} \right]$  - emisioni faktor ugljenika

$PO_C$  - procenat oksidovanog ugljenika

$$E_{CO_2(otpadne\ materije)} = \frac{m_{ug} \cdot KF \cdot EF_C \cdot PO_C}{1000} \cdot \frac{44}{12} = \frac{1.733.333 \cdot 0,003 \cdot 37,93 \cdot 0,98}{1000} \cdot \frac{44}{12} \\ = 708,73[GgCO_2]$$

Indikator emisije CO<sub>2</sub>

$$I_{CO_2} = \frac{E_{CO_2(ugalj)} + E_{CO_2(otpadne\ materije)}}{E_{pr}} = \frac{5719,35 \cdot 10^6}{3.681.600.000} = 1,55 \left[ \frac{kgCO_2}{kWh} \right]$$

b) Ekološki indikator  $I_{SO_2}$

Procenat sagorivog sumpora u kolubarskom lignitu iznosi 0,5 %.

$$E_{SO_2(\text{ugalj})} = m_{\text{ug}} \cdot R_{SO_2} = 6.695.084.000 \cdot 0,01 = 66.950.084 \text{ [kgSO}_2\text{]}$$

U svom sastavu, biomasa sadrži male količine sumpora (S), na osnovu podataka iz literature [34] iznosi 0,1 %.

$$\begin{aligned} E_{SO_2(\text{otpadnih materija})} &= m_{\text{otpadnih materija}} \cdot R_{SO_2} = 1.733.333.000 \cdot 0,01 \\ &= 17.333.330 \text{ [kgSO}_2\text{]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{SO_2} &= \frac{E_{SO_2(\text{ugalj})} + E_{SO_2(\text{biomasa})}}{E_{\text{neto proizvedeno}}} = \frac{66.950.084 + 17.333.330}{3.681.600.000} = 0,0229 \left[ \frac{\text{kgSO}_2}{\text{kWh}} \right] \\ &= 22,9 \left[ \frac{\text{gSO}_2}{\text{kWh}} \right] \end{aligned}$$

c) Ekološki indikator  $I_{NO_x}$

$$V_{dgvlt} = 4,113 \left[ \frac{\text{Nm}^3 \text{ gasa}}{\text{kg uglja}} \right]$$

$$V_{dgsuvo} = 3,229 \left[ \frac{\text{Nm}^3 \text{ gasa}}{\text{kg uglja}} \right]$$

$$\begin{aligned} E_{NO_x(\text{ugalj})} &= E_{NO_x \text{ dozvoljeno}} \cdot V_{dgsuvo} \cdot m_{\text{uglja}} = 600 \cdot 10^{-3} \cdot 3,229 \cdot 6.695.084.000 \\ &= 12.971.055.741 \text{ [gNO}_x\text{]} \end{aligned}$$

Za proračun uzet elementarni sastav otpadnih materija:

$$C = 10,52 \text{ [%]}$$

$$H = 1,61 \text{ [%]}$$

$$O = 8,63 \text{ [%]}$$

$$N = 1,1 \text{ [%]}$$

$$S = 0,5 \text{ [%]}$$



$$A = 28,82 \text{ [\%]}$$

$$W = 48,82 \text{ [\%]}$$

$$V_{dgvlt} = 2,296 \left[ \frac{N_{mgasa}^3}{kg_{otpadnih\ materija}} \right]$$

$$V_{dgsuvo} = 1,51 \left[ \frac{N_{mgasa}^3}{kg_{otpadnih\ materija}} \right]$$

$$\begin{aligned} E_{NO_x(otpadne\ materije)} &= E_{NO_x\ dozvoljeno} \cdot V_{dgsuvo} \cdot m_{otpadne\ materije} \\ &= 600 \cdot 10^{-3} \cdot 1,51 \cdot 1.733.333.000 = 1.570.399.698 \text{ [gNO}_x\text{]} \end{aligned}$$

$$I_{NO_x} = \frac{E_{NO_x}}{E_{neto\ proizvedeno}} = 3,95 \left[ \frac{gNO_x}{kWh} \right]$$

d) Ekološki indikator praškastih materija

$$m_{praškastih\ materija(ugalj)} = E_{praškastih\ materija} \cdot V_{dgsuvo} \cdot m_{ug}$$

$$\begin{aligned} m_{praškastih\ materija\ (ugalj)} &= 95 \cdot 10^{-3} \cdot 3,229 \cdot 6.695.084.000 = 2,054 \cdot \\ &10^9 \text{ [gpraškastih\ materija]} \end{aligned}$$

$$E_{praškastih\ materija} = 95 \left[ \frac{mg}{Nm^3} \right] - \text{emisija praškastih materija}$$

$$\begin{aligned} V_{dgsuvo} &= 3,229 \left[ \frac{Nm^3\ suvog\ gasa}{kg_{uglja}} \right] - \text{količina suvog dimnog gasa (nastalog od uglja) pri O}_2 \\ &= 6[\%] \end{aligned}$$

$m_{ug} = 6.695.084[t_{uglja}]$  – ukupna količina uglja utrošena u procesu proizvodnje električne energije u projektovanom radnom veku bloka

$$\begin{aligned} m_{praškastih\ materija(otpadne\ materije)} \\ &= E_{praškastih\ materija} \cdot V_{dgsuvo} \cdot m_{otpadne\ materije} \end{aligned}$$

$$E_{praškastih\ materija} = 95 \left[ \frac{mg}{Nm^3} \right] - \text{emisija praškastih materija}$$

$V_{dgsuvo} = 1,51 \left[ \frac{Nm^3 \text{ suvog gasa}}{kg \text{ biomase}} \right]$  – količina suvog dimnog gasa (nastalog od otpadnih materija) pri  $O_2 = 6[\%]$

$$\begin{aligned} m_{\text{praškastih materija (biomasa)}} &= 95 \cdot 10^{-3} \cdot 1,51 \cdot 1.733.333.000 \\ &= 248,646 \cdot 10^6 \text{ [g praškastih materija]} \end{aligned}$$

$$m_{\text{biomase}} = 1733.333 \text{ [t otpadnih materija]}$$

$m_{\text{praškastih materija (ukupno)}}$

$$= m_{\text{praškastih materija (ugalj)}} + m_{\text{praškastih materija (biomasa)}}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{praškastih materija}} &= \frac{m_{\text{praškastih materija (ukupno)}}}{E_{\text{neto proizvedeno}}} = \frac{2,303 \cdot 10^9}{3.681.600.000} \\ &= 0,63 \left[ \frac{g \text{ praškastih materija}}{kWh} \right] \end{aligned}$$

Za postrojenja do  $500MW_t$  granična vrednost emisije je do  $100 \left[ \frac{mg}{Nm^3} \right]$  [95] S obzirom na efikasnost elektrofiltera emisija praškastih materija iznosi  $95 \left[ \frac{mg}{Nm^3} \right]$

Ekonomski indikatori

Ekonomski indikator cene električne energije formira se od podindikatora koji predstavljaju cenu električne energije koja uključuje troškove uglja, održavanja, remonata i cenu radne snage.

a) Podindikator koji predstavlja cenu električne energije koja uključuje troškove uglja:

$$I_{\text{uglja}} = C_{\text{ugljasp}} \cdot q \cdot 0,9 \cdot E_{\text{bruto proizvedeno}} = 1,5 \cdot 12.500 \cdot 0,9 \cdot 4.160.000.000 = 70.200.000\text{€}$$

$C_{\text{ugljasp}} \left[ \frac{\text{€}}{Gj} \right]$  - cena uglja (kolubarski lignit)

$q \left[ \frac{kJ}{kWh} \right]$  - specifični utrošak toplote

$E_{bruto\ proizvedeno} [GWh]$  - proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

Podindikator koji predstavlja cenu električne energije koja uključuje troškove otpadnih materija:

$$\begin{aligned} I_{otpadnih\ materija} &= C_{otpadnih\ materija\ spec.} \cdot q \cdot 0,1 \cdot E_{bruto\ proizvedeno} \\ &= 0,3 \cdot 12.500 \cdot 0,1 \cdot 4.160.000.000 = 1.560.000 \text{ [€]} \end{aligned}$$

$C_{otpadnih\ materija\ spec.} \left[ \frac{€}{GJ} \right]$  - cena otpadnih materija

$q \left[ \frac{kJ}{kWh} \right]$  - specifični utrošak toplote

$E_{bruto\ proizvedeno} [GWh]$  - proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

b) Podindikator troškova održavanja [86] Troškovi održavanja za projektovani radni vek bloka se procenjuju na 5.000.000 €, pa indikator održavanja iznosi:

$$I_{održavanja} = C_{održavanja} = 5.000.000 \text{ [€]}$$

c) Podindikator troškova remonata [86] Troškovi remonata za projektovani radni vek bloka se procenjuju na 8.000.000 €, pa indikator remonata iznosi:

$$I_{remonata} = C_{remonata} = 8.000.000 \text{ [€]}$$

d) Podindikator cene električne energije

$$\begin{aligned} I_{cena\ el.energije} &= \frac{I_{cena\ uglja} + I_{otpadnih\ materija} + I_{održavanja} + I_{remonata} + I_{plata}}{E_{neto\ proizvedeno}} \\ &= \frac{108.520.000}{3.681.600.000} = 0.0295 \left[ \frac{€}{kWh} \right] \end{aligned}$$

Ekonomski podindikator investicija [86]

$$I_{investicija} = \frac{C_{inv}}{E_{neto\ proizvedeno}} = \frac{8.500.000}{3.681.600.000} = 0.0023 \left[ \frac{\text{€}}{kWh} \right]$$

$C_{inv}$  [€] - investirana sredstva u revitalizaciju termoenergetskog postrojenja

$E_{proizvedeno}$  [kWh] - ukupno proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

Socijalni podindikator

a) Podindikator troškova zaposlenih

Ukupan broj zaposlenih iznosi 100. Prosečna bruto plata uzima se u vrednosti od 990 €.

$$I_{troškova\ zaposlenih} = \frac{n_{zaposlenih} \cdot C_{plata} \cdot n_{meseci}}{E_{neto\ proizvedeno}} = \frac{100 \cdot 990 \cdot 240}{3.681.600.000} = 0,0065 \left[ \frac{\text{€}}{kWh} \right]$$

$n_{zaposlenih}$  - broj zaposlenih

$C_{plata}$  [€] - prosečna plata zaposlenih

$n_{meseci}$  – broj isplaćenih plata, shodno radnom veku termoenergetskog postrojenja

$E_{proizvedeno}$  [kWh] - ukupno proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

b) Socijalni podindikator zaposlenih [97,98]

$$I_{zaposlenih} = n_{zaposlenih} = 100[-]$$

c) Socijalni podindikator izdvajanja za lokalnu zajednicu

Ukupno izdvajanje za Opciju 4 iznosi 2.500.000 €.

$$I_{lok.zajednice} = \frac{C_{izdvajanja}}{E_{neto\ proizvedeno}} = \frac{2.500.000}{3.681.600.000} = 0,00068 \left[ \frac{\text{€}}{kWh} \right]$$

$C_{izdvajanja}$  [€] - izdvajanje za lokalnu zajednicu

$E_{proizvedeno}$  [kWh] - ukupno proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

Socijalni podindikator povreda na radu [97,98]

d)  $I_{povreda\ na\ radu} = 5 [-]$

Socijalni podindikator bolovanja [97,98]

e)  $I_{bolovanja} = 10.290 \left[ \frac{h}{god} \right]$

f) Socijalni podindikator pouzdanosti snabdevanja

$$I_{pouzdanost\ snabdevanja} = 0,9 [-]$$

5. Revitalizacija termoenergetskog postrojenja bloka A2 TE "Kolubara" na bazi sagorevanja prirodnog gasa u kombinovanom gasno-parnom postrojenju – Opcija5

Projektovani radni vek revitalizovanog postrojenja iznosi 20 godina. Godišnje vreme eksploatacije bloka iznosi 7.000 h uzimajući u obzir manje vremenske zastoje u radu bloka u prvih deset godina eksploatacije, a veće u narednih deset. Ukupna proizvedena električna energija u projektovanom radnom veku bloka iznosi:

$$E_{bruto\ proizvedeno} = P \cdot t_{god} \cdot t_{rv} = 32 \cdot 7000 \cdot 20 = 4.480.000 [MWh] = 4.480 [GWh]$$

$E_{pr}$  [GWh] – ukupna proizvedena električna energija u projektovanom radnom veku termoenergetskog postrojenja

$P$  [MW] – instalisana snaga bloka (snaga na stezaljkama generatora)

$t_{god}$  [h] – ukupan broj časova rada termoenergetskog postrojenja godišnje

$t_{rv}$  [god.] – projektovani radni vek termoenergetskog postrojenja

$$E_{neto\ proizvodeno} = (1 - K_{sp}) \cdot 4.480.000 = 4.166.400 [MWh]$$

$E_{neto\ proizvodeno}$  – električna energija koja izade na mrežu

$K_{sp}$  – sopstvena potrošnja bloka (iznosi oko 7% ukupno proizvedene električne energije)

Indikatori resursa

b) Energija potrebna za proizvodnju 1 kg ugljeničnog čelika iznosi 200 MJ

Ukupna količina ugljeničnog čelika uložena u revitalizaciji iznosi 120 t [86].

Ukupno utrošena energija za proizvodnju ukupne količine ugljeničnog čelika potrebne za revitalizaciju bloka iznosi:

$$E_{u\check{c}} = m_{u\check{c}} \cdot E_{u\check{c}spec} = 120.000 \cdot 200 = 24.000.000 MJ$$

$E_{u\check{c}}$  - energija potrebna za proizvodnju ugljeničnog čelika

$m_{u\check{c}}$  - masa ugljeničnog čelika potrebnog za revitalizaciju bloka

$E_{u\check{c}spec}$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg ugljeničnog čelika

b) Potrebna energija za proizvodnju 1 kg legiranog čelika iznosi 400 MJ

Ukupna količina legiranog čelika uložena u revitalizaciji iznosi 80 t [86].

Ukupno utrošena energija za proizvodnju ukupne količine legiranog čelika potrebne za revitalizaciju bloka iznosi:

$$E_{l\check{c}} = m_{l\check{c}} \cdot E_{l\check{c}spec} = 80.000 \cdot 400 = 32.000.000 MJ$$

$E_{l\check{c}}$  - energija potrebna za proizvodnju legiranog čelika

$m_{lč}$  - masa legiranog čelika potrebnog za revitalizaciju bloka

$E_{lčspec}$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg legiranog čelika

c) Potrebna energija za proizvodnju 1 kg bakra ili aluminijuma iznosi 500 MJ

Ukupna količina bakra i aluminijuma uložena u revitalizaciju iznosi 12 t [86].

Ukupno utrošena energija za proizvodnju ukupne količine bakra i aluminijuma potrebne za revitalizaciju bloka iznosi:

$$E_{Cu+Al} = m_{Cu+Al} \cdot E_{Cu+Al} = 12.000 \cdot 500 = 6.000.000MJ$$

$E_{Cu+Al}$  - energija potrebna za proizvodnju bakra i aluminijuma

$m_{Cu+Al}$  - masa bakra i aluminijuma potrebnog za revitalizaciju bloka

$E_{Cu+Alspec}$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg bakra i aluminijuma

d) Potrebna energija za proizvodnju 1 kg izolacije iznosi 300 MJ

Ukupna količina izolacije uložena u revitalizaciju iznosi 12 t [86]. Ukupno utrošena energija za proizvodnju ukupne količine izolacije potrebne za revitalizaciju bloka iznosi:

$$E_{iz} = m_{iz} \cdot E_{izspec} = 12.000 \cdot 300 = 3.600.000MJ$$

$E_{iz}$  - energija potrebna za proizvodnju izolacije

$m_{iz}$  - masa izolacije potrebne za revitalizaciju bloka

$E_{izspec}$  - energija potrebna za proizvodnju 1 kg izolacije

e) Potrebna količina goriva (prirodnog gasa) u projektnom radnom veku

Projektovana proizvodnja električne energije tokom radnog veka iznosi 4.480.000 MWh. Na osnovu podataka dostupnih iz literature donja toplotna moć prirodnog gasa iznosi oko 48.000 kJ/kg [91]. S obzirom na revitalizaciju

postrojenja i kombinovano gasno – parno postrojenje bruto specifični utrošak toplote ne bi trebao da prelazi 7.000 kJ/kWh [42]. Ukupna količina prirodnog gasa u projektovanom radnom veku iznosi:

$$m_{\text{prirodnog gasa}} = \frac{E_{\text{proizvedeno}} \cdot q_{\text{spec}}}{H_d} = \frac{4.480.000.000 \cdot 7.000}{48000} = 653.333 [t]$$

$m_{\text{prirodnog gasa}} [t]$  - potrebna količina prirodnog gasa da bi se proizvela projektovana količina električne energije

$E_{\text{bruto proizvedeno}} [kWh]$ - ukupna proizvedena električna energija u projektovanom radnom

veku termoenergetskog postrojenja

$q_{\text{spec}} \left[ \frac{kJ}{kWh} \right]$  - specifični utrošak toplote bloka

$H_d \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$  - donja toplotna moć prirodnog gasa

Elementarni sastav prirodnog gasa (%) [92]	
Metan (CH <sub>4</sub> )	96,184
Etan (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	1,624
Propan (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	0,508
Butan (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	0,089
N – butan	0,089
I – pentan	0,018
N – pentan	0,012
CO <sub>2</sub>	0,471
N <sub>2</sub>	0,99
C <sub>6</sub>	0,019
H <sub>d</sub> (kJ/m <sup>3</sup> )	34.432
Gustina (kg/m <sup>3</sup> )	0,7112



$$m_{\text{prirodnog gasa}} \cdot H_{d(\text{prirodnog gasa})} = m_{\text{uglja}} \cdot H_{d(\text{uglja})}$$

Količina uglja koja bi se koristila za sagorevanja umesto prirodnog gasa:

$$m_{\text{uglja}} = \frac{653.333.000 \cdot 48.000}{7000} = 4.479.997 \text{ [t]}$$

f) Potrošnja uglja za proizvodnju ugljeničnog čelika

$$m_{\text{uglja u.č.}} = \frac{E_{\text{u.č.}}}{H_d} = \frac{24.000.000.000}{7000} = 3.428 \text{ [t]}$$

$m_{\text{uglja u.č.}} \text{ [t]}$  - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) za proizvodnju ugljeničnog čelika

$E_{\text{u.č.}} \text{ [kJ]}$  - energija potrebna za proizvodnju ugljeničnog čelika

$H_d \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$  - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

g) Potrošnja uglja za proizvodnju legiranog čelika

$$m_{\text{uglja l.č.}} = \frac{E_{\text{l.č.}}}{H_d} = \frac{32.000.000.000}{7000} = 4.571 \text{ [t]}$$

$m_{\text{uglja l.č.}} \text{ [t]}$  - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) za proizvodnju legiranog čelika

$E_{\text{l.č.}} \text{ [kJ]}$  - energija potrebna za proizvodnju legiranog čelika

$H_d \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$  - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

h) Potrošnja uglja za proizvodnju bakra i aluminijuma

$$m_{\text{uglja Cu+Al}} = \frac{E_{\text{Cu+Al}}}{H_d} = \frac{6.000.000.000}{7000} = 857 \text{ [t]}$$

$m_{\text{uglja Cu+Al}} \text{ [t]}$  - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) za proizvodnju bakra i aluminijuma

$E_{\text{Cu+Al}} \text{ [kJ]}$  - energija potrebna za proizvodnju bakra i aluminijuma

$H_d \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$  - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

i) Potrošnja uglja za proizvodnju izolacije

$$m_{\text{uglja iz.}} = \frac{E_{\text{iz}}}{H_d} = \frac{3.600.000.000}{7000} = 514 \text{ [t]}$$

$m_{\text{uglja iz}} \text{ [t]}$  - potrebna količina uglja (kolubarskog lignita) za proizvodnju izolacije

$E_{\text{iz}} \text{ [kJ]}$  - energija potrebna za proizvodnju izolacije

$H_d \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$  - donja toplotna moć uglja (kolubarskog lignita)

j) Ukupna potrošnja uglja

$$\begin{aligned} m_{\text{ug}} &= m_{\text{uglja pr.}} + m_{\text{uglja u.č.}} + m_{\text{uglja l.č.}} + m_{\text{uglja Cu+Al}} + m_{\text{uglja iz.}} \\ &= 4.489.367 \text{ [t]} \end{aligned}$$

Indikator goriva  $I_{\text{ug}}$  iznosi:

$$I_{\text{ug}} = 4.489.367 \text{ [t]}$$

Ekološki indikatori

a) Emisija  $\text{CO}_2$  na osnovu ukupne potrošnje uglja u radnom veku postrojenja (literatura proračuni za emisiju GHG):

$$E_{CO_2} = \frac{m_{gasa} \cdot KF \cdot EF_C \cdot PO_C}{1000} \cdot \frac{44}{12} = \frac{653.333 \cdot 0,048 \cdot 15,3 \cdot 0,995}{1000} \cdot \frac{44}{12}$$

$$= 1.750,498 [GgCO_2]$$

$m_{gasa} [t]$  - ukupna potrošnja prirodnog gasa

$KF \left[ \frac{TJ}{Unit} \right]$  - konverzioni faktor

$EF_C \left[ \frac{tC}{TJ} \right]$  - emisioni faktor ugljenika

$PO_C$  - procenat oksidovanog ugljenika

Indikator emisije CO<sub>2</sub>

$$I_{CO_2} = \frac{E_{CO_2}}{E_{neto\ proizvodeno}} = \frac{1.750,498 \cdot 10^6}{4.166.400.000} = 0,42 \left[ \frac{kgCO_2}{kWh} \right]$$

b) Ekološki indikator  $I_{SO_2}$

Prema uredbi Vlade Republike Srbije o emisiji dimnih gasova i praškastih materija dozvoljena emisija SO<sub>2</sub> iznosi  $35 \left[ \frac{mg}{Nm^3} \right]$  pri učešću  $O_2 = 3[\%]$

$$E_{SO_2(gas)} = E_{dozvoljeno\ SO_2} \cdot V_{dgsuvo} \cdot V_{gasa} = 35 \cdot 10^{-3} \cdot 9,35 \cdot 918.634.701$$

$$= 299.015.595 [gSO_2]$$

$V_{dgsuvo} = (261 \cdot \lambda - 53,8) \cdot \frac{H_d - 0,63}{1000} + 0,88 = 9,35 \left[ \frac{m^3}{m^3} \right]$  – količina suvih dimnih gasova nastalih pri sagorevanju gasa pri  $O_2 = 3[\%]$

$E_{dozvoljeno\ SO_2}$  – dozvoljena emisija SO<sub>2</sub> za postrojenja do 500 MW<sub>t</sub> koja za sagorevanje koriste gas

$V_{gasa}$  – količina gasa koja je utrošena za sagorevanje u projektovanom radnom veku postrojenja

$$I_{SO_2} = \frac{E_{SO_2(gas)}}{E_{neto\ proizvodeno}} = 0,072 \left[ \frac{gSO_2}{kWh} \right]$$

c) Ekološki indikator  $I_{NO_x}$

Prema uredbi Vlade Republike Srbije o emisiji dimnih gasova i praškastih materija dozvoljena emisija  $NO_x$  za postrojenja koja za sagorevanje koriste gas iznosi  $300 \left[ \frac{mg}{Nm^3} \right]$  [95] pri učešću  $O_2 = 3[\%]$

$$V_{dgsuvo} = (261 \cdot \lambda - 53,8) \cdot \frac{H_d - 0,63}{1000} + 0,88 = 9,35 \left[ \frac{m^3}{m^3} \right]$$

$$m_{gasa} = 653.333[t_{gasa}] = 653.333.000[kg]$$

$$V = 918.634.701 [m^3]$$

$$\begin{aligned} E_{NO_x(gas)} &= E_{NO_x \text{ dozvoljeno}} \cdot V_{dgsuvo} \cdot V_{gasa} = 300 \cdot 10^{-3} \cdot 9,35 \cdot 918.634.701 \\ &= 3.646.061.128 [gNO_x] \end{aligned}$$

$$I_{NO_x} = \frac{E_{NO_x(gas)}}{E_{neto \text{ proizvedeno}}} = 0,62 \left[ \frac{gNO_x}{kWh} \right]$$

d) Ekološki indikator praškastih materija

Za postrojenja na gas do  $500MW_t$  granična vrednost emisije je do  $5 \left[ \frac{mg}{Nm^3} \right]$  [95] S obzirom na efikasnost elektrofiltera emisija praškastih materija iznosi  $5 \left[ \frac{mg}{Nm^3} \right]$ .

$$m_{gasa} = 653.333[t_{gasa}] = 653.333.000[kg]$$

$$V = 918.634.701 [m^3]$$

$$V_{dgsuvo} = (261 \cdot \lambda - 53,8) \cdot \frac{H_d - 0,63}{1000} + 0,88 = 9,35 \left[ \frac{m^3}{m^3} \right]$$

$$H_d = 34,432 \left[ \frac{MJ}{m^3} \right]$$

$$m_{\text{praškastih materija(gas)}} = E_{\text{praškastih materija}} \cdot V_{dgsuvo} \cdot m_{\text{gas}}$$

$$m_{\text{praškastih materija (ugalj)}} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 9,35 \cdot 918.634.701 = 42,946 \cdot 10^6 \left[ g_{\text{praškastih materija}} \right]$$

$$E_{\text{praškastih materija}} = 5 \left[ \frac{mg}{Nm^3} \right] - \text{emisija praškastih materija}$$

$$V_{dgsuvo} = 9,35 \left[ \frac{Nm^3 \text{ suvog gasa}}{kg \text{ uglja}} \right] - \text{količina suvog dimnog gasa pri } O_2 = 6[\%]$$

$$m_{\text{gas}} = 653.333 [t_{\text{gas}}] = 653.333.000 [kg]$$

$V = 918.634.701 [m^3]$  ukupna količina gasa utrošena u procesu proizvodnje električne energije u projektovanom radnom veku bloka

$$I_{\text{praškastih materija}} = \frac{m_{\text{praškastih materija}}}{E_{\text{neto proizvedeno}}} = \frac{42,946 \cdot 10^6}{4.166.400.000} = 0,01 \left[ \frac{g_{\text{praškastih materija}}}{kWh} \right]$$

Ekonomski indikatori

Ekonomski podindikator proizvodne cene električne energije formira se od troškova koji uključuju cenu prirodnog gasa, održavanje i remonata.

a) Podindikator koji predstavlja cenu električne energije koja uključuje troškove uglja:

$$C_{\text{gas}} = C_{\text{gas spec.}} \cdot V_{\text{gas}} = C_{\text{gas spec.}} \cdot \frac{m_{\text{gas}}}{\rho} = 0,385 \cdot \frac{653.333.000}{0,7112} = 353.674.360 [€]$$

$$C_{\text{gas spec}} \left[ \frac{€}{m^3} \right] - \text{cena prirodnog gasa [93]}$$

$V_{gasa} [m^3]$  – zapremina gasa koja se koristi za proizvodnju električne energije u projektovanom radnom veku postrojenja

b) Podindikator troškova održavanja [86] Troškovi održavanja za projektovani radni vek bloka se procenjuju na 2.500.000 €, pa podindikator održavanja iznosi:

$$I_{odrzavanja} = 2.500.000[€]$$

c) Podindikator troškova remonata [86]

Troškovi remonata za projektovani radni vek bloka se procenjuju na 2.500.000 €, pa indikator remonata iznosi:

$$I_{remonata} = 2.500.000[€]$$

d) Ukupna proizvodna cena električne energije

$$\begin{aligned} I_{cena\ el.energije} &= \frac{I_{cena\ uglja} + I_{odrzavanja} + I_{remonata} + I_{remonata}}{E_{proizvedeno}} \\ &= \frac{353.674.360 + 2.500.000 + 2.500.000 + 6.720.000}{4.166.400.000} \\ &= \frac{365.394.360}{4.166.400.000} = 0,088 \left[ \frac{€}{kWh} \right] \end{aligned}$$

Ekonomski podindikator investicija

Podindikator investicija se formira odnosom uloženih sredstava [86] za revitalizaciju i ukupne proizvodnje električne energije:

$$I_{investicija} = \frac{C_{inv}}{E_{proizvedeno}} = \frac{19.200.000}{4.166.400.000} = 0,0046 \left[ \frac{€}{kWh} \right]$$

$C_{inv} [€]$  - investirana sredstva u revitalizaciju termoenergetskog postrojenja

$E_{\text{proizvedeno}} [kWh]$  - ukupno proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

Socijalni indikator

a) Socijalni podindikator plata

Ukupan broj zaposlenih iznosi 25. Prosečna bruto plata uzima se u vrednosti od 1.120 €.

$$I_{\text{troškova zaposlenih}} = \frac{n_{\text{zaposlenih}} \cdot C_{\text{plata}} \cdot n_{\text{meseci}}}{E_{\text{proizvedeno}}} = \frac{25 \cdot 1.120 \cdot 240}{4.166.400.000} = 0,0016 \left[ \frac{\text{€}}{kWh} \right]$$

$n_{\text{zaposlenih}}$  - broj zaposlenih

$C_{\text{plata}} [\text{€}]$  - prosečna plata zaposlenih

$n_{\text{meseci}}$  – broj isplaćenih plata, shodno radnom veku termoenergetskog postrojenja

$E_{\text{proizvedeno}} [kWh]$  - ukupno proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

b) Socijalni podindikator zaposlenih (literatura podaci dobijeni iz TE Kolubara)

$$I_{\text{zaposlenih}} = n_{\text{zaposlenih}} = 25[-]$$

c) Socijalni podindikator izdvajanja za lokalnu zajednicu

Ukupno izdvajanje za Opciju 5 iznosi 1.000.000 €.

$$I_{\text{lok.zajednice}} = \frac{C_{\text{izdvajanja}}}{E_{\text{proizvedeno}}} = \frac{1.000.000}{4.166.400.000} = 0,00024 \left[ \frac{\text{€}}{kWh} \right]$$

$C_{\text{izdvajanja}} [\text{€}]$  - izdvajanje za lokalnu zajednicu

$E_{\text{proizvedeno}} [kWh]$  - ukupno proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

d) Socijalni podindikator povreda na radu (literatura podaci dobijeni iz TE Kolubara)

$$I_{povreda\ na\ radu} = 2 [-]$$

e) Socijalni podindikator bolovanja [97,98]

$$I_{bolovanja} = 1.286 \left[ \frac{h}{god} \right]$$

f) Socijalni podindikator pouzdanosti snabdevanja

$$I_{pouzdanost\ snabdevanja} = 0,3 [-]$$

## 6. Proizvodnja električne energije snage 32 MW iz vetrogeneratora – Opcija 6

$$P = 0,5 \cdot \rho_v \cdot A \cdot v^3$$

$P [W]$  – snaga

$\rho_v \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$  – gustina vazduha (1,225 na nivou mora)

$A [m^2]$  – površina koju obuhvata rotor

$v \left[ \frac{m}{s} \right]$  – brzina vetra (srednja godišnja na teritoriji Vršca 5 m/s)

$t_{rv} [god.]$  – projektovani radni vek termoenergetskog postrojenja

$$P_m = 0,5 \cdot C_p \cdot \rho_v \cdot A \cdot v^3$$

$C_p$  – koeficijent koji predstavlja stepen konverzije energije vetra (maksimalno iznosi 0,59 – tzv. Beetz limit, uzimamo 0,45)

Postavlja se 16 vetrogeneratora svaki snage 2MW na teritoriji opštine Vršac gde je srednja prosečna godišnja brzina strujanja vetra 5 m/s [52. Postavljaju se vetrogeneratori model Gamesa G87 gde je dužina lopatice rotora iznosi 50 m [99 - 108].

Radni vek vetrogeneratorskog postrojenja iznosi 20 godina.



$P_m = 0,5 \cdot 0,45 \cdot 1,225 \cdot 50^2 \cdot \pi \cdot 5^3 = 270.457 [W] = 270,457[kW]$  – električna energija koju jedan vetrogenerator snage 2MW proizvede za 1h

$$P_{postrojenja} = 16 \cdot P_m \cdot 24 \cdot 365 \cdot 20 = 16 \cdot 270,457 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 20 \\ = 758.145.062 [kWh]$$

Indikatori resursa

Potrebna količina uglja donje toplotne moći od 7000 kJ/kg za utrošenu energiju za izgradnju vetrogeneratora iznosi 1280 t [96].

Indikator goriva  $I_{ug}$  iznosi:

$$I_{ug} = m_{ug} = 1.280[t]$$

Ekološki indikatori

a) Emisija CO<sub>2</sub> na osnovu ukupne potrošnje uglja u radnom veku postrojenja (literatura proračuni za emisiju GHG):

$$E_{CO_2} = \frac{m_{ug} \cdot KF \cdot EF_C \cdot PO_C}{1000} \cdot \frac{44}{12} = \frac{1280 \cdot 0,007 \cdot 29,7536 \cdot 0,98}{1000} \cdot \frac{44}{12} = 0,96[GgCO_2]$$

$m_{ug}[t]$  - ukupna potrošnja uglja

$KF \left[ \frac{TJ}{Unit} \right]$  - konverzioni faktor

$EF_C \left[ \frac{tC}{TJ} \right]$  - emisioni faktor ugljenika

$PO_C$  - procenat oksidovanog ugljenika

Indikator emisije CO<sub>2</sub>

$$I_{CO_2} = \frac{E_{CO_2}}{E_{pr}} = \frac{0,96 \cdot 10^6}{758.145.062} = 0,0013 \left[ \frac{kgCO_2}{kWh} \right]$$

b) Ekološki indikator  $I_{SO_2}$

Procenat sagorivog sumpora u kolubarskom lignitu iznosi 0,5 %.

$$I_{SO_2} = \frac{m_{ug} \cdot R_{SO_2}}{E_{pr}} = \frac{1280 \cdot 0,01}{758.145.062} = 0,017 \left[ \frac{gSO_2}{kWh} \right]$$

c) Ekološki indikator  $I_{NO_x}$

Uzimamo da je dozvoljena emisija azotnih oksida  $200 \left[ \frac{mg}{Nm^3} \right]$ . Za proračun sam uzeo elementarni sastav uglja koji je bio u periodičnom merenju u aprilu (merenje 1).

#### REZULTATI ISPITIVANJA

Oznaka uzorka: 80		Sa dostavnom vlagom	Sa vlagom u analitičkom uzorku	Bez vlage	Bez vlage i pepela
Vlaga	mas. %	52.45	1.12	/	/
Pepeo		10.81	22.48	22.73	/
Sumpor ukupni		0.59	1.23	1.24	/
Sumpor u pepelu		0.35	0.72	0.73	/
Sumpor sagorljivi		0.25	0.51	0.52	/
Koks		25.08	52.16	52.75	/
Fiksni ugljenik		14.27	29.68	30.02	38.85
Isparljivo		22.47	46.72	47.25	61.15
Sagorljivo		36.74	76.4	77.27	100.00
<b>TOPLOTA SAGOREVANJA GORIVA</b>					
Gornja	kcal/kg	2296	4775	4829	6250
Donja	kcal/kg	1882	4544	4602	6023
Gornja	kJ/kg	9614	19991	20217	26166
Donja	kJ/kg	7881	19025	19268	25217

#### ELEMENTARNA ANALIZA\*

Ugljenik ukupni	mas. %	23.79	49.46	50.02	64.74
Vodonik		2.09	4.34	4.39	5.68
Sumpor sagorljivi		0.25	0.51	0.52	0.67
Azot		0.29	0.61	0.62	0.80
Kiseonik		10.33	21.47	21.72	28.10

$$V_{dgvlt} = 4,113 \left[ \frac{Nm^3_{gasa}}{kg_{uglja}} \right]$$

$$V_{dgsuvo} = 3,229 \left[ \frac{Nm^3_{gasa}}{kg_{uglja}} \right]$$

$$E_{NO_x} = E_{NO_x \text{ dozvoljeno}} \cdot V_{dgsuvo} \cdot m_{uglja} = 200 \cdot 10^{-3} \cdot 3,229 \cdot 1.280.000 \\ = 826.624 [gNO_x]$$

$$I_{NO_x} = \frac{E_{NO_x}}{E_{proizvedeno}} = 0,0011 \left[ \frac{gNO_x}{kWh} \right]$$

d) Ekološki indikator praškastih materija

$$I_{\text{praškastih materija}} \approx 0 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{Nm}^3} \right]$$

Ekonomski indikatori

a) Podindikator troškova održavanja i remonata

Troškovi održavanja i remonata prema podacima iz literature (Renewable energy Markets and prospects by technology) - za projektovani radni vek bloka od 20 godina iznosi 2,5 %, pa indikator održavanja i remonata iznosi:

$$I_{\text{odrzavanja}} = \frac{C_{\text{odrzavanja}}}{E_{\text{neto proizvedeno}}} = \frac{800.000}{758.145.062} = 0,001 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

$$I_{\text{cene el.energije}} = \frac{I_{\text{odrzavanja}} + I_{\text{plata}}}{E_{\text{neto proizvedeno}}} = \frac{5.120.000}{758.145.062} = 0,0067 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

b) Podindikator troškova investicija (Renewable energy Markets and prospects by technology)

$$I_{\text{investicija}} = \frac{C_{\text{inv}}}{E_{\text{neto proizvedeno}}} = \frac{32.000.000}{758.145.062} = 0,042 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

$C_{\text{inv}}$  [€] - investirana sredstva u revitalizaciju termoenergetskog postrojenja

$E_{\text{proizvedeno}}$  [kWh] - ukupno proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

Socijalni indikatori

a) Podindikator troškova zaposlenih

Ukupan broj zaposlenih iznosi 15. Bruto plata po zaposlenom iznosi 1200 €.

$$I_{\text{troškova zaposlenih}} = \frac{n_{\text{zaposlenih}} \cdot C_{\text{plata}} \cdot n_{\text{meseći}}}{E_{\text{neto proizvedeno}}} = \frac{15 \cdot 1200 \cdot 240}{758.145.062} = 0,0057 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

$n_{\text{zaposlenih}}$  - broj zaposlenih

$C_{\text{plata}}$  [€] - prosečna plata zaposlenih

$n_{\text{meseći}}$  – broj isplaćenih plata, shodno radnom veku termoenergetskog postrojenja

$E_{\text{proizvedeno}}$  [kWh] - ukupno proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

b) Broj zaposlenih (Renewable energy Markets and prospects by technology)

$$I_{\text{zaposlenih}} = n = 15$$

c) Socijalni podindikator izdvajanja za lokalnu zajednicu

Ukupno izdvajanje za Opciju 6 iznosi 800.000 €.

$$I_{\text{lok.zajednice}} = \frac{C_{\text{izdvajanja}}}{E_{\text{neto proizvedeno}}} = \frac{800.000}{758.145.062} = 0,001 \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$

$C_{\text{izdvajanja}}$  [€] - izdvajanje za lokalnu zajednicu

$E_{\text{proizvedeno}}$  [kWh] - ukupno proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

d) Socijalni podindikator povreda na radu

$$I_{\text{povreda na radu}} = 1 [-]$$

e) Socijalni podindikator bolovanja

$$I_{\text{bolovanja}} = 772 \left[ \frac{\text{h}}{\text{god}} \right]$$

f) Socijalni podindikator pouzdanosti snabdevanja

$$I_{\text{pouzdanost snabdevanja}} = 0,3 [-]$$

7. Proizvodnja električne energije iz sunčeve energije (foltovoltaik)–Opcija 7 [109 - 115]

$$E_{\text{proizvedeno}} = A \cdot r \cdot H \cdot PR = 400 \cdot 0,2 \cdot 1400 \cdot 0,75 = 84.000 \left[ \frac{kWh}{god} \right]$$

$E_{pr}$  [GWh] – proizvedena električna energija iz jednog fotonaponskog panela snage 80 [kW]

$A$  [m<sup>2</sup>] – površina fotonaponskog panela

$H$  [kWh/m<sup>2</sup>god] – prosečna vrednost zračenja za teritoriju Republike Srbije

$PR$  – stepen korisnosti postrojenja

U pitanju je jedan fotonaponski panel snage 80 [kW]. Predviđeno je postavljanje 400 panela.

$$E_{\text{ukupno}} = n_{\text{panela}} \cdot E_{\text{proizvedeno}} \cdot n_{\text{godina}} = 400 \cdot 84.000 \cdot 20 = 672.000.000 [kWh]$$

$n_{\text{panela}}$  – broj panela

$n_{\text{godina}}$  – broj godina rada postrojenja

Indikatori resursa

Potrebna količina uglja donje toplotne moći od 7000 kJ/kg za utrošenu energiju za izgradnju foltovoltaik postrojenja.

Indikator goriva  $I_{ug}$  iznosi:

$$I_{ug} = 1500 [t]$$

Ekološki indikatori

a) Emisija CO<sub>2</sub> na osnovu ukupne potrošnje uglja u radnom veku postrojenja (literatura proračuni za emisiju GHG):

$$E_{CO_2} = \frac{m_{ug} \cdot KF \cdot EF_C \cdot PO_C}{1000} \cdot \frac{44}{12} = \frac{1500 \cdot 0,007 \cdot 29,7536 \cdot 0,98}{1000} \cdot \frac{44}{12} = 1,12 [GgCO_2]$$

$m_{ug}[t]$  - ukupna potrošnja uglja

$KF \left[ \frac{TJ}{Unit} \right]$  - konverzioni faktor

$EF_C \left[ \frac{tC}{TJ} \right]$  - emisijski faktor ugljenika

$PO_C$  - procenat oksidovanog ugljenika

Indikator emisije CO<sub>2</sub>

$$I_{CO_2} = \frac{E_{CO_2}}{E_{pr}} = \frac{1,12 \cdot 10^9}{672.000.000} = 0,0017 \left[ \frac{kgCO_2}{kWh} \right]$$

b) Ekološki indikator  $I_{SO_2}$

Procenat sagorivog sumpora u kolubarskom lignitu iznosi 0,5 %.

$$I_{SO_2} = \frac{m_{ug} \cdot R_{SO_2}}{E_{pr}} = \frac{1500 \cdot 0,01}{672.000.000} = 0,022 \left[ \frac{gSO_2}{kWh} \right]$$

c) Uzimamo da je dozvoljena emisija azotnih oksida  $200 \left[ \frac{mg}{Nm^3} \right]$ . Za proračun sam uzео elementarni sastav uglja koji je bio u periodičnom merenju u aprilu (merenje 1).

REZULTATI ISPITIVANJA

Oznaka uzorka: 80		Sa dostavnom vlagom	Sa vlagom u analitičkom uzorku	Bez vlage	Bez vlage i pepela
Vlaga	mas. %	52.45	1.12	/	/
Pepeo		10.81	22.48	22.73	/
Sumpor ukupni		0.59	1.23	1.24	/
Sumpor u pepelu		0.35	0.72	0.73	/
Sumpor sagorljivi		0.25	0.51	0.52	/
Koks		25.08	52.16	52.75	/
Fiksni ugljenik		14.27	29.68	30.02	38.85
Isparljivo		22.47	46.72	47.25	61.15
Sagorljivo		36.74	76.4	77.27	100.00
<b>TOPLOTA SAGOREVANJA GORIVA</b>					
Gornja	kcal/kg	2296	4775	4829	6250
Donja	kcal/kg	1882	4544	4602	6023
Gornja	kJ/kg	9614	19991	20217	26166
Donja	kJ/kg	7881	19025	19268	25217

ELEMENTARNA ANALIZA\*

Ugljenik ukupni	mas. %	23.79	49.46	50.02	64.74
Vodonik		2.09	4.34	4.39	5.68
Sumpor sagorljivi		0.25	0.51	0.52	0.67
Azot		0.29	0.61	0.62	0.80
Kiseonik		10.33	21.47	21.72	28.10

$$V_{dgvlt} = 4,113 \left[ \frac{Nm^3 gasa}{kg uglja} \right]$$

$$V_{dgsuvo} = 3,229 \left[ \frac{Nm^3 gasa}{kg uglja} \right]$$

$$E_{NO_x} = E_{NO_x \text{ dozvoljeno}} \cdot V_{dgsuvo} \cdot m_{uglja} = 200 \cdot 10^{-3} \cdot 3,229 \cdot 1.500.000$$

$$= 968.700 \left[ \frac{gNO_x}{kg uglja} \right]$$

$$I_{NO_x} = \frac{E_{NO_x}}{E_{proizvedeno}} = 0,0014 \left[ \frac{gNO_x}{kWh} \right]$$

d) Ekološki indikator praškastih materija

$$I_{praškastih \ materija} \approx 0 \left[ \frac{mg}{Nm^3} \right]$$

Ekonomski indikatori

a) Podindikator troškova održavanja i remonata

Troškovi održavanja za projektovani radni vek fotovoltaič postrojenja se procenjuju na osnovu podataka iz literature (Renewable energy Markets and prospects by technology) na 1% od ukupnih investicionih troškova. se procenjuju na 672.000 €, pa indikator održavanja iznosi:

$$I_{\text{održavanja i remonata}} = \frac{C_{\text{održavanja i remonata}}}{E_{pr}} = \frac{672.000}{672.000.000} = 0,001 \left[ \frac{\text{€}}{kWh} \right]$$

$$I_{\text{cene el.energije}} = I_{\text{održavanja i remonata}} + I_{\text{troškova zaposlenih}} = 0,0094 \left[ \frac{\text{€}}{kWh} \right]$$

b) Podindikator troškova investicija

$$I_{\text{investicija}} = \frac{C_{inv}}{E_{\text{proizvedeno}}} = \frac{67.200.000}{672.000.000} = 0.1 \left[ \frac{\text{€}}{kWh} \right]$$

$C_{inv}$  [€] - investirana sredstva u revitalizaciju termoenergetskog postrojenja

$E_{\text{proizvedeno}}$  [kWh] - ukupno proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

Socijalni indikatori

a) Podindikator troškova zaposlenih

Ukupan broj zaposlenih iznosi 20. Bruto plata po zaposlenom iznosi 1170 €.

$$I_{\text{troškova zaposlenih}} = \frac{n_{\text{zaposlenih}} \cdot C_{\text{plata}} \cdot n_{\text{meseci}}}{E_{\text{proizvedeno}}} = \frac{20 \cdot 1170 \cdot 240}{672.000.000} = 0,0084 \left[ \frac{\text{€}}{kWh} \right]$$

$n_{\text{zaposlenih}}$  - broj zaposlenih

$C_{\text{plata}}$  [€] - prosečna plata zaposlenih



$n_{meseci}$  – broj isplaćenih plata, shodno radnom veku termoenergetskog postrojenja

$E_{proizvedeno}[kWh]$  - ukupno proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

g) Broj zaposlenih

$$I_{zaposlenih} = n = 20$$

h) Socijalni podindikator izdvajanja za lokalnu zajednicu

Ukupno izdvajanje za Opciju 7 iznosi 500.000 €.

$$I_{lok.zajednice} = \frac{C_{izdvajanja}}{E_{proizvedeno}} = \frac{500.000}{672.000.000} = 0,00074 \left[ \frac{\text{€}}{kWh} \right]$$

$C_{izdvajanja}$  [€] - izdvajanje za lokalnu zajednicu

$E_{proizvedeno}[kWh]$  - ukupno proizvedena električna energija u radnom veku termoenergetskog postrojenja

i) Socijalni podindikator povreda na radu

$$I_{povreda\ na\ radu} = 1 [-]$$

j) Socijalni podindikator bolovanja

$$I_{bolovanja} = 1029 \left[ \frac{h}{god} \right]$$

k) Socijalni podindikator pouzdanosti snabdevanja

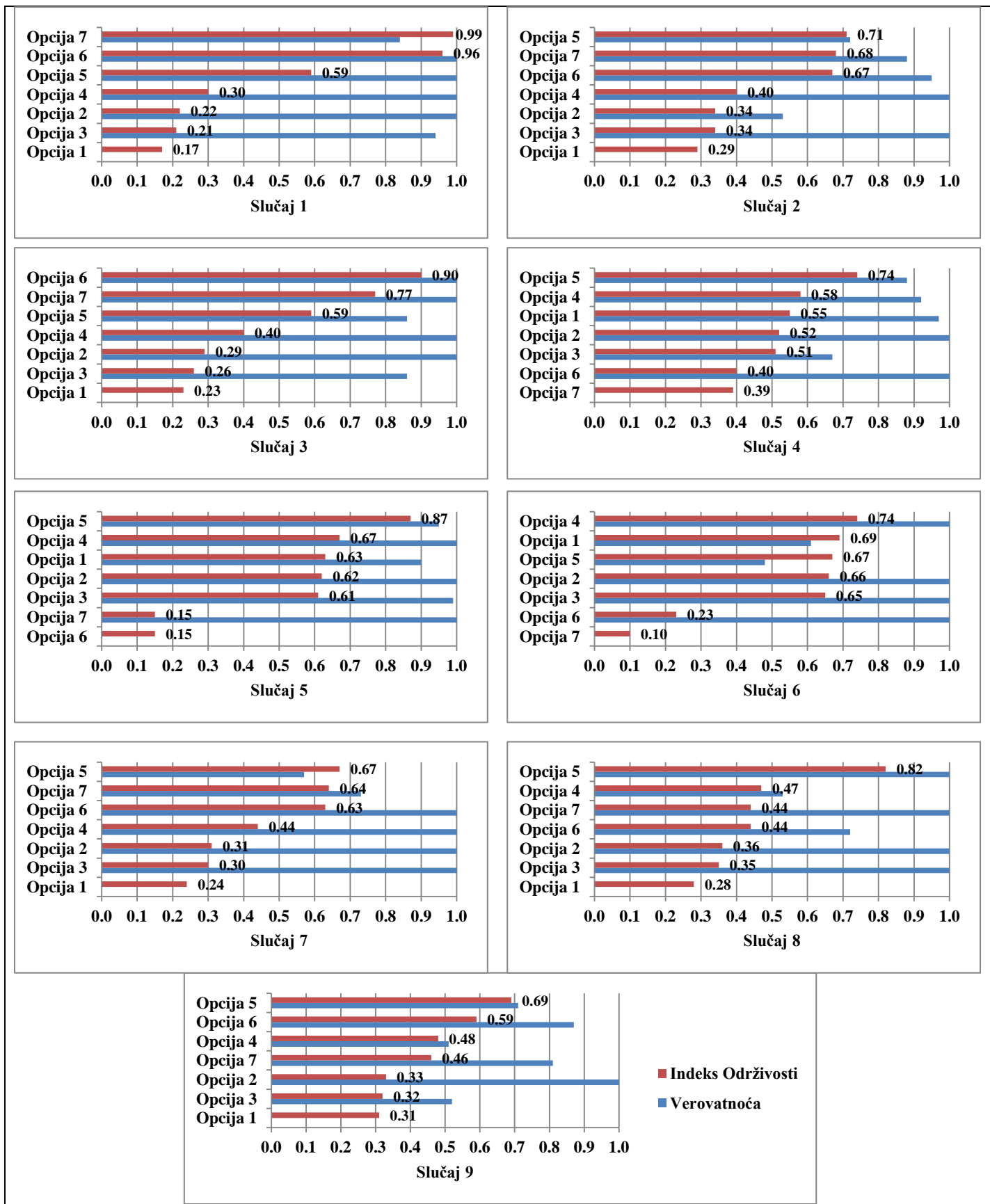
$$I_{pouzdanost\ snabdevanja} = 0,3 [-]$$

U tabeli 23 date su vrednosti indikator dobijene proračunom (Prilog). Prikazane su vrednosti: indikatora resursa, ekoloških indikatora, ekonomskih i socijalnih indikatora.

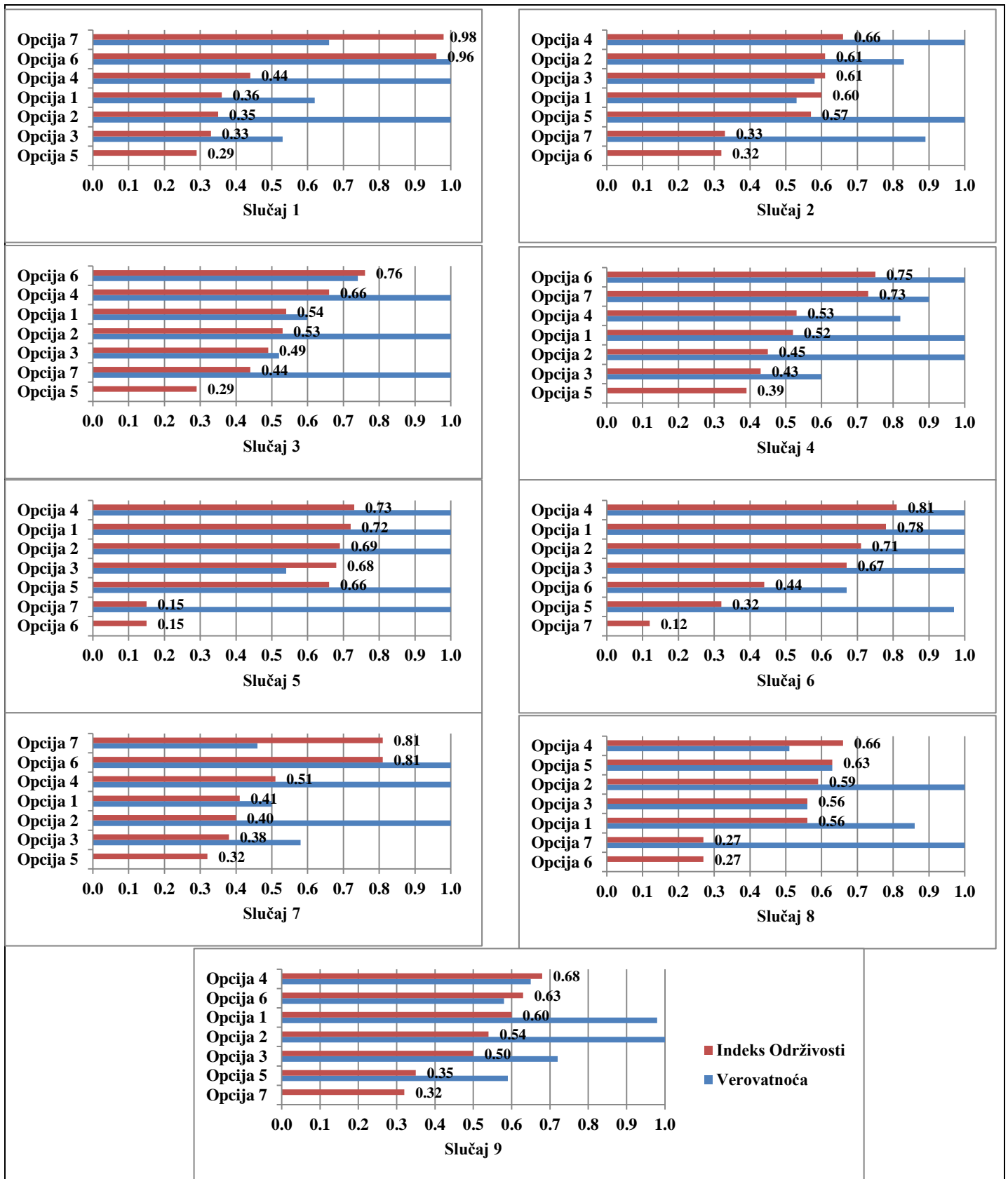
Opcije	Indikator resursa				Ekonomski indikator					
	I <sub>uglja</sub> [t]	I <sub>proizvedene el. energije</sub> [kWh]			I <sub>cene el.energije</sub> [€/kWh]	I <sub>investicija</sub> [€/kWh]				
Opcija 1	7.437.941	3.681.600.000			0,03	0,0022				
Opcija 2	6.958.970	3.624.960.000			0,032	0,0024				
Opcija 3	6.959.970	3.624.960.000			0,033	0,0026				
Opcija 4	6.695.084	3.681.600.000			0,0295	0,0023				
Opcija 5	4.489.367	4.166.400.000			0,088	0,0046				
Opcija 6	1280	758.145.062			0,0067	0,042				
Opcija 7	1500	672.000.000			0,0094	0,1				
Opcije	Ekološki indikator				Socijalni indikator					
	I <sub>CO2</sub> [kgCO <sub>2</sub> /kWh]	I <sub>SO2</sub> [gSO <sub>2</sub> /kWh]	I <sub>NOX</sub> [gNO <sub>x</sub> /kWh]	I <sub>praskastih materija</sub> [mg/Nm <sup>3</sup> ]	I <sub>plata</sub> [€/kWh]	I <sub>broja zaposlenih</sub> [-]	I <sub>projekata u l.z.</sub> [€/kWh]	I <sub>povreda na radu</sub> [1/god]	I <sub>bolovanja</sub> [h/god]	I <sub>snabdevanja</sub> [-]
Opcija 1	1,51	20,2	3,91	0,55	0,0059	90	0,0004	4	9.260	0,9
Opcija 2	1,46	19,4	3,88	0,51	0,0064	95	0,00055	5	10.750	0,8
Opcija 3	1,44	19,3	3,88	0,48	0,0065	100	0,0005	6	11.830	0,8
Opcija 4	1,55	22,9	3,95	0,63	0,0065	100	0,00068	5	10.290	0,9
Opcija 5	0,42	0,072	0,62	0,01	0,0016	25	0,00024	2	1.286	0,3
Opcija 6	0,0013	0,017	0,0011	0	0,0057	15	0,001	1	772	0,3
Opcija 7	0,0017	0,022	0,0014	0	0,0084	20	0,00074	1	1.029	0,3



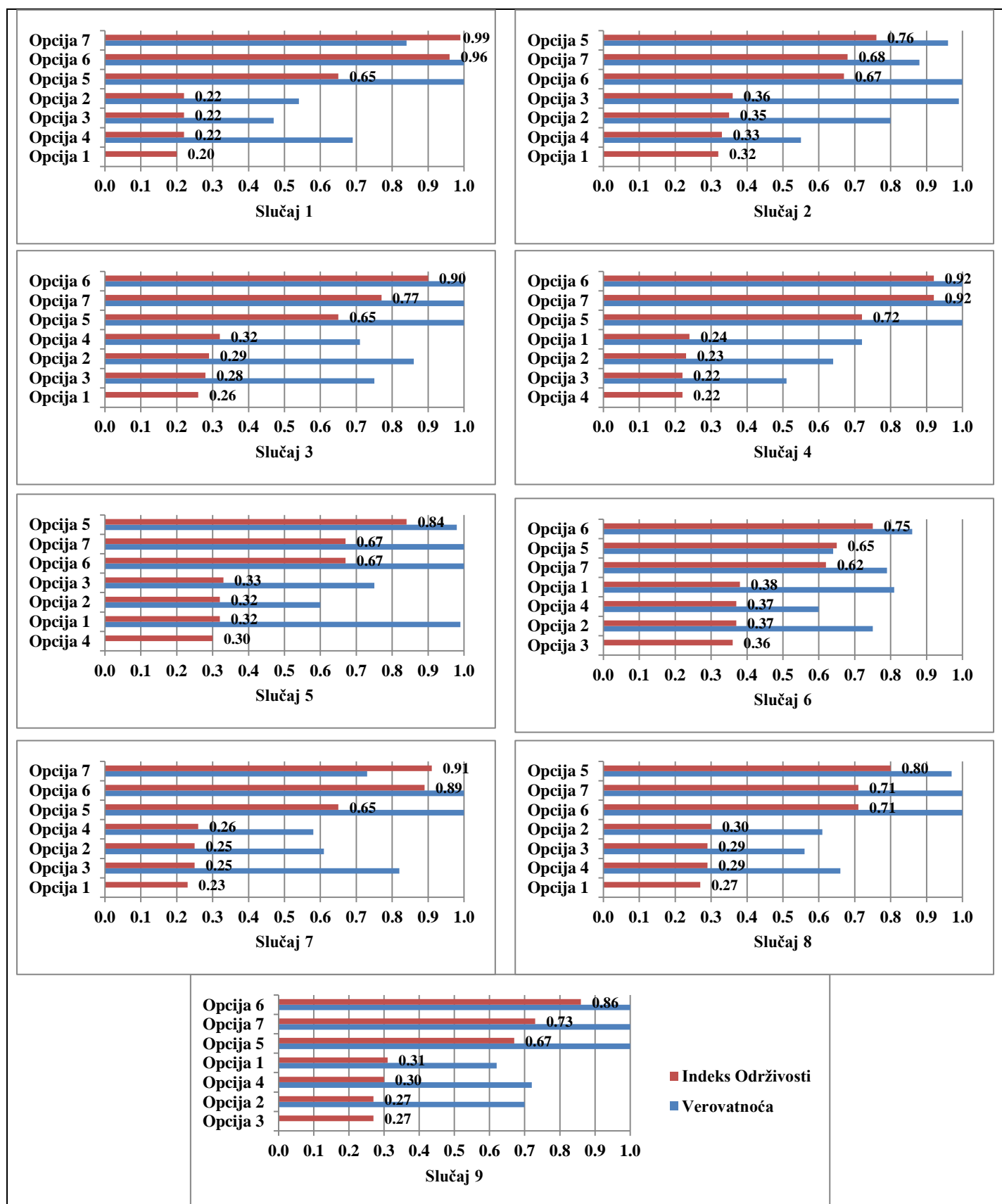
**PRILOG 2:** Rezultati indeksa održivosti  
analiziranih opcija za slučajeve  
grupa IX – XVI



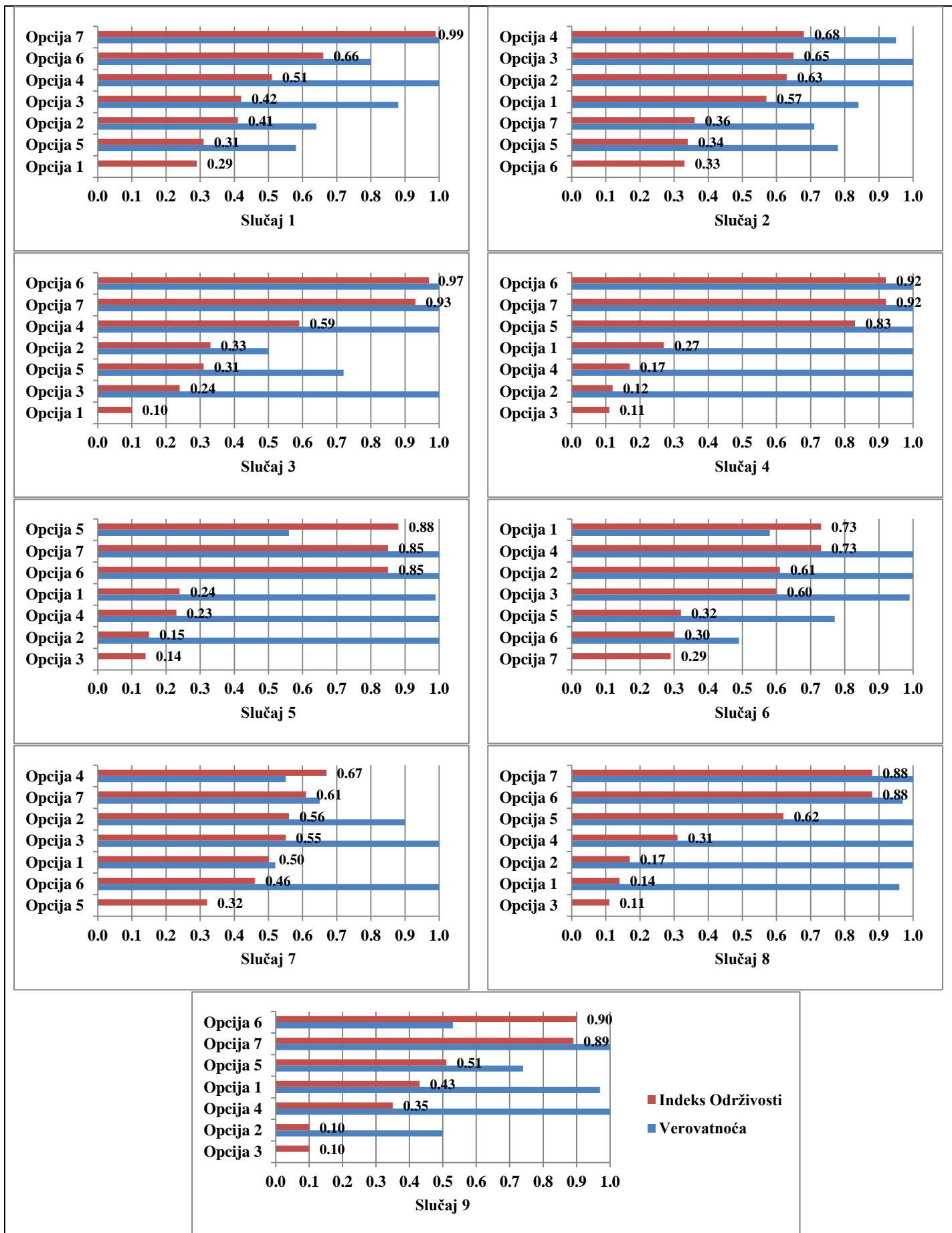
Slika 44 Rezultati IO opcija analiziranih slučajeva grupe IX



Slika 45 Rezultati IO opcija analiziranih slučajeva grupe X

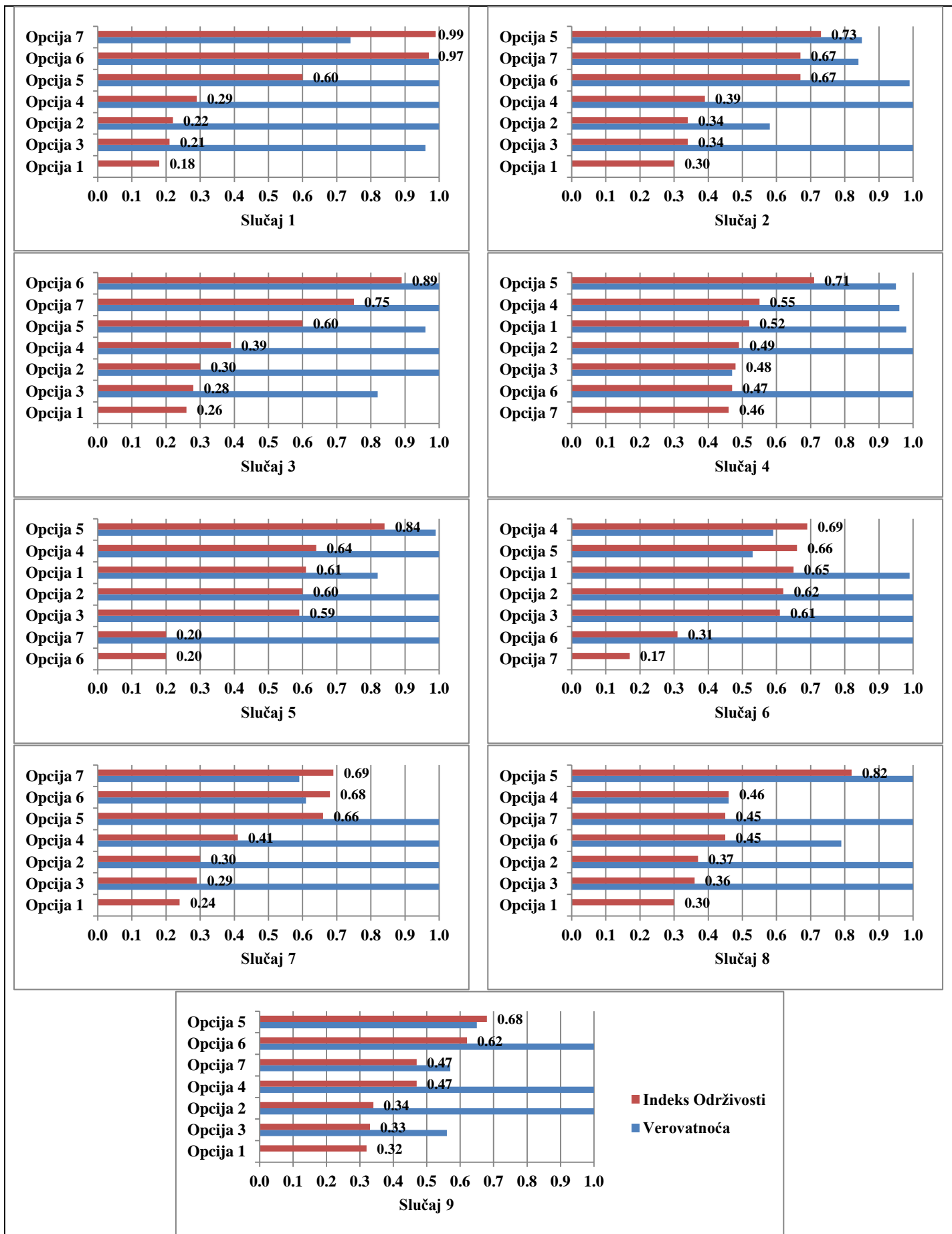


Slika 46 Rezultati IO opcija analiziranih slučajeva grupe XI

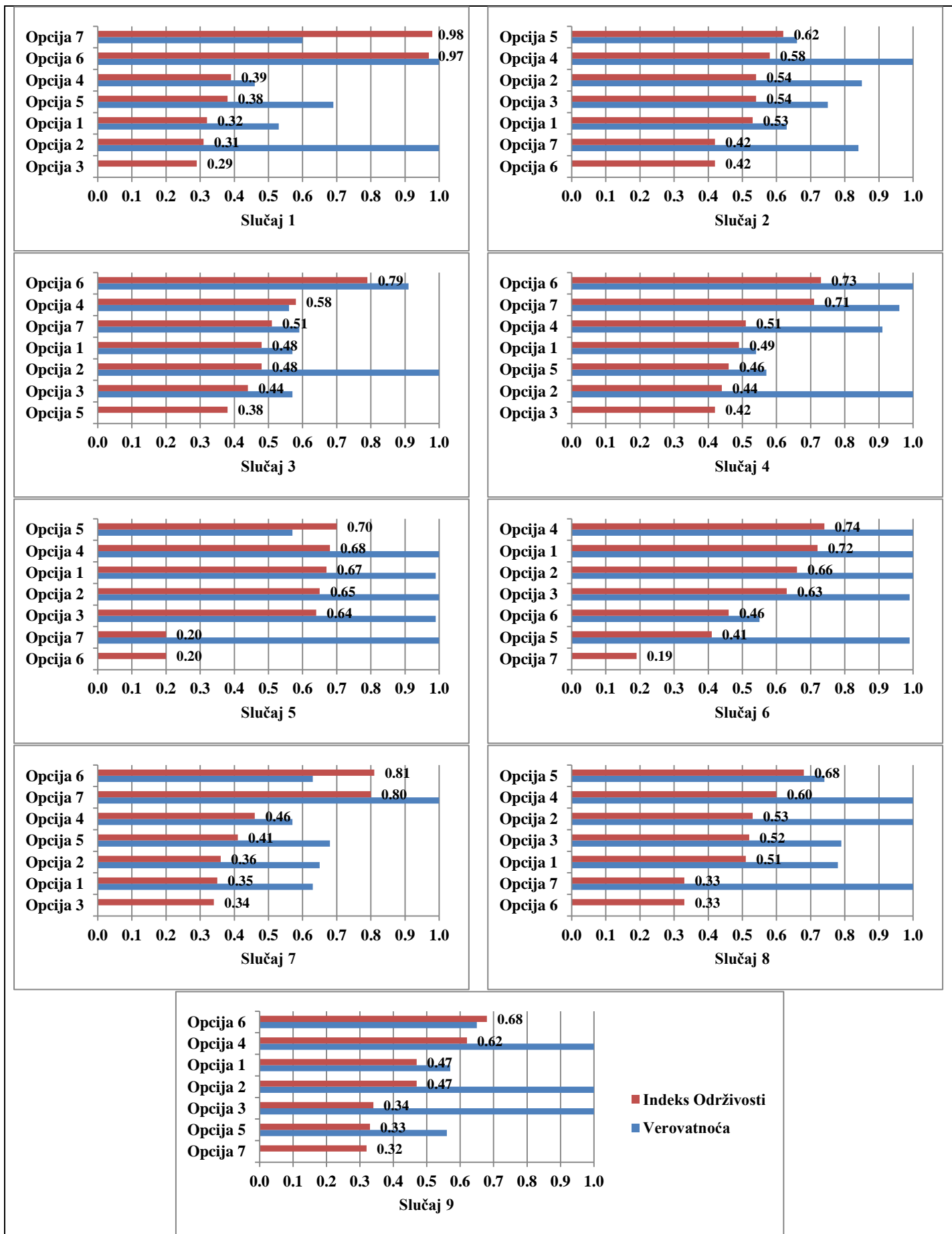


Slika 47 Rezultati IO opcija analiziranih slučajeva grupe XII

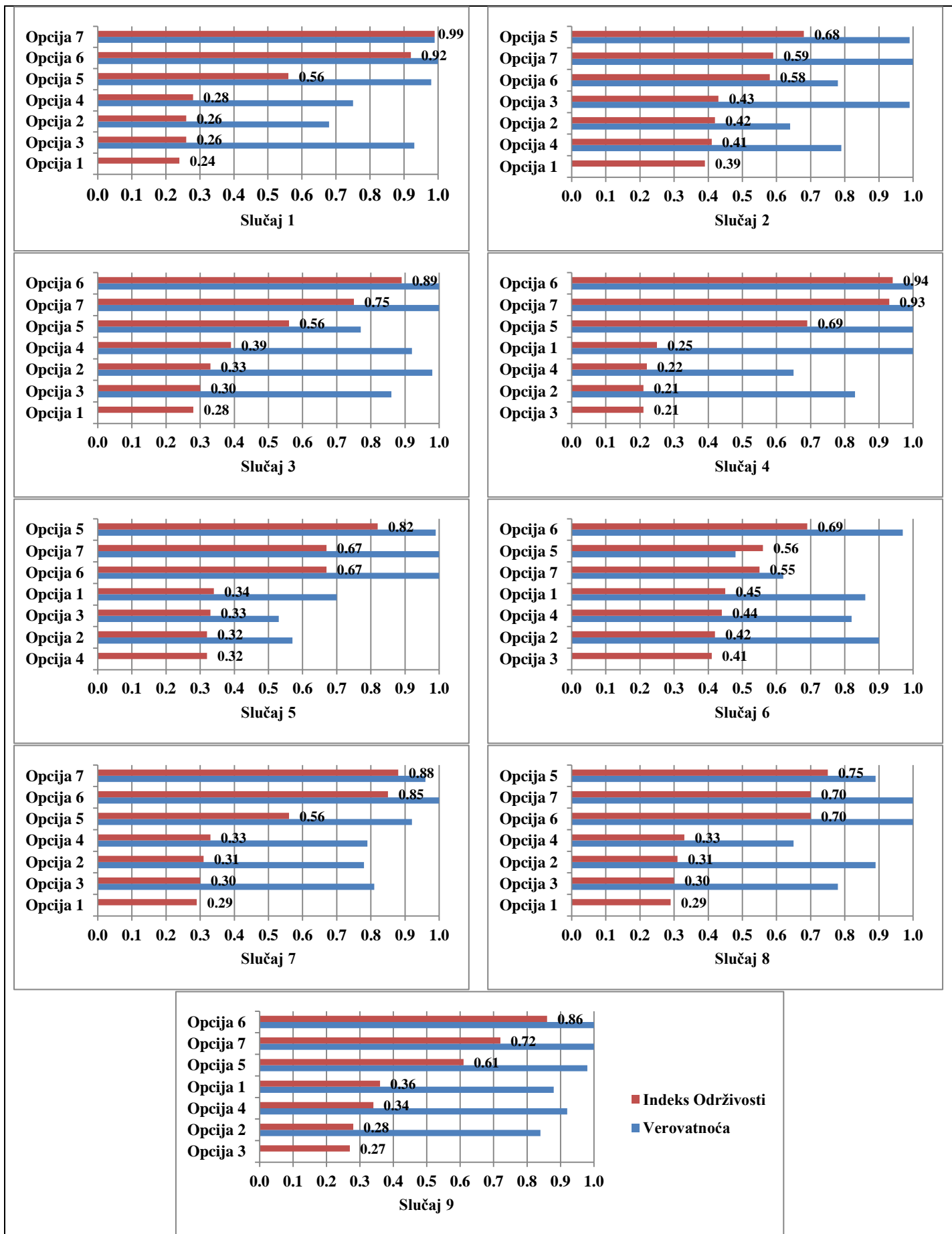




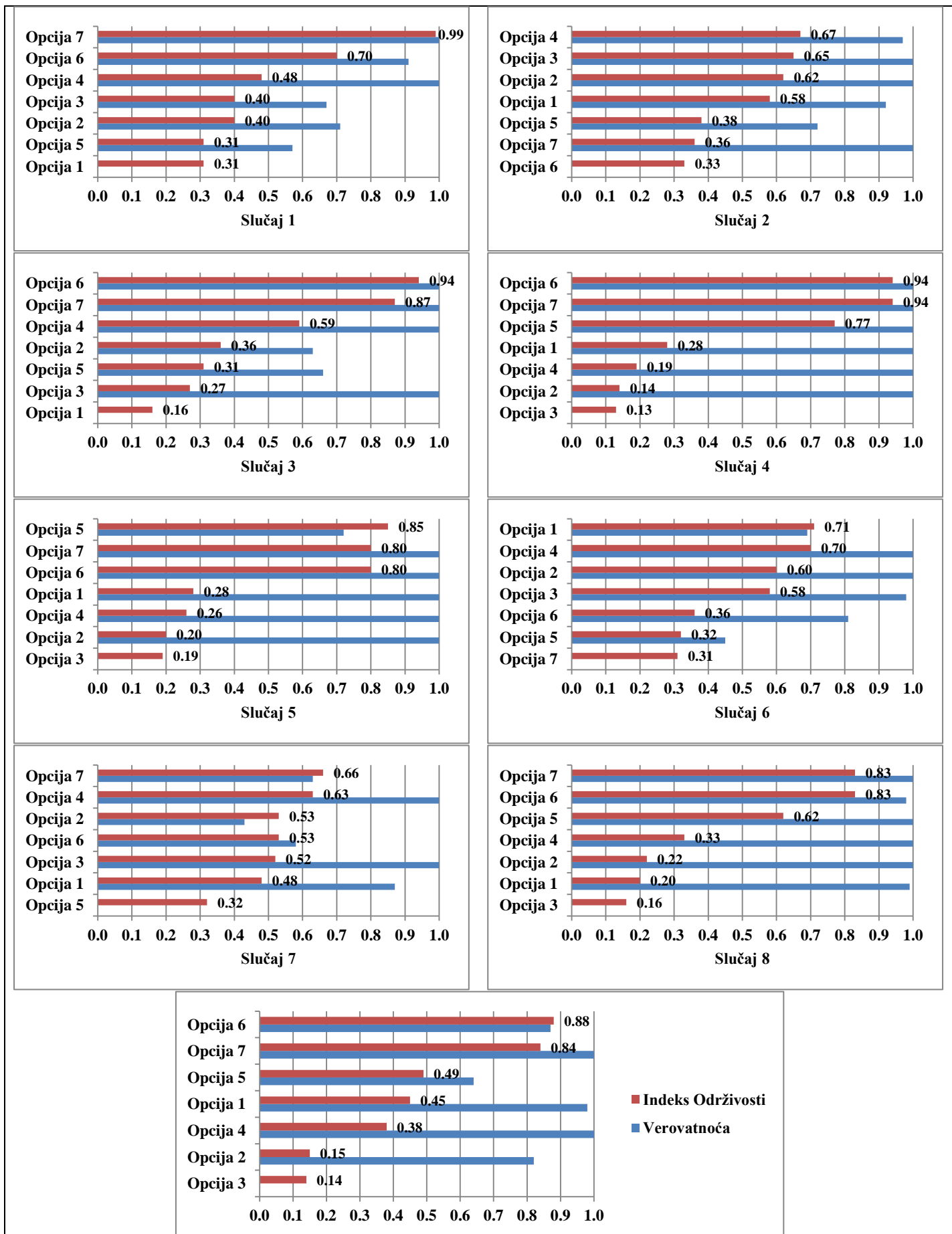
Slika 48 Rezultati IO opcija analiziranih slučajeva grupe XIII



Slika 49 Rezultati IO opcija analiziranih slučajeva grupe XIV



Slika 50 Rezultati IO opcija analiziranih slučajeva grupe XV



Slika 51 Rezultati IO opcija analiziranih slučajeva grupe XVI

## **PRILOG 3**

# **VREDNOSTI TEŽINSKIH KOEFIČIJENATA I STANDARDNE DEVIJACIJE ANALIZIRANIH SLUČAJEVA**

Tabela 24 Vrednosti težinskih koeficijenata indikatora i podindikatora Grupe I

Slučaj	Težinski koeficijent indikatora				Težinski koeficijent podindikatora													
	IR	EkonI	EkoI	SocI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0,64	0,12	0,12	0,12	0,76	0,24	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166
2	0,64	0,12	0,12	0,12	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166
3	0,64	0,12	0,12	0,12	0,24	0,76	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166

Tabela 25 Vrednosti standardne devijacije IO analiziranih slučajeva Grupe I

Standardna devijacija vrednosti IO analiziranih opcija					
Slučaj 1		Slučaj 2		Slučaj 3	
Opcija 1	$4,44 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$4,66 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$8,2 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	0,12	Opcija 2	0,15	Opcija 2	$2,54 \cdot 10^{-2}$
Opcija 3	$6,87 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$7,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	0,15
Opcija 4	$9,77 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$5,39 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$4,36 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$4,59 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	0,1	Opcija 5	$2,87 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	0,12	Opcija 6	$5,62 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	0,18
Opcija 7	$8,43 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$1,78 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	0,15

Tabela 26 Vrednosti težinskih koeficijenata indikatora i podindikatora Grupe II

Slučaj	Težinski koeficijent indikatora				Težinski koeficijent podindikatora													
	IR	EkonI	EkoI	SocI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0,12	0,64	0,12	0,12	0,5	0,5	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166
2	0,12	0,64	0,12	0,12	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166
3	0,12	0,64	0,12	0,12	0,5	0,5	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166

Tabela 27 Vrednosti standardne devijacije IO analiziranih slučajeva Grupe II

Standardna devijacija vrednosti IO analiziranih opcija					
Slučaj 1		Slučaj 2		Slučaj 3	
Opcija 1	$3,15 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	0,12	Opcija 1	0,13
Opcija 2	0,15	Opcija 2	0,11	Opcija 2	0,16
Opcija 3	$5,36 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	0,15	Opcija 3	0,1
Opcija 4	$6,84 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	0,14	Opcija 4	0,14
Opcija 5	$3,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	0,17	Opcija 5	$4,61 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	$4,34 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	0,14	Opcija 6	0,18
Opcija 7	$6,71 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$3,42 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	0,17

Tabela 28 Vrednosti težinskih koeficijentata indikatora i podindikatora Grupe III

Slučaj	Težinski koeficijent indikatora				Težinski koeficijent podindikatora													
	IR	EkonI	Ekoi	SocI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0,12	0,12	0,64	0,12	0,5	0,5	0,5	0,5	0,53	0,27	0,145	0,055	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
2	0,12	0,12	0,64	0,12	0,5	0,5	0,5	0,5	0,27	0,145	0,055	0,53	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
3	0,12	0,12	0,64	0,12	0,5	0,5	0,5	0,5	0,37	0,19	0,07	0,37	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
4	0,12	0,12	0,64	0,12	0,5	0,5	0,5	0,5	0,145	0,27	0,53	0,055	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
5	0,12	0,12	0,64	0,12	0,5	0,5	0,5	0,5	0,27	0,53	0,145	0,055	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
6	0,12	0,12	0,64	0,12	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Tabela 29 Vrednosti standardne devijacije IO analiziranih slučajeva Grupe III

Standardna devijacija vrednosti IO analiziranih opcija					
Slučaj 1		Slučaj 2		Slučaj 3	
Opcija 1	$8,28 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$8,28 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$8,28 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	0,15	Opcija 2	0,14	Opcija 2	0,15
Opcija 3	0,11	Opcija 3	0,11	Opcija 3	0,11
Opcija 4	0,16	Opcija 4	0,16	Opcija 4	0,16
Opcija 5	$4,98 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$4,35 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	0,1	Opcija 6	0,11	Opcija 6	0,11
Opcija 7	$8,95 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$8,83 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$8,88 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 4		Slučaj 5		Slučaj 6	
Opcija 1	0,15	Opcija 1	$8,28 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$8,28 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	$8,28 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	0,15	Opcija 2	0,15
Opcija 3	0,11	Opcija 3	0,11	Opcija 3	0,11
Opcija 4	0,16	Opcija 4	0,16	Opcija 4	0,16
Opcija 5	$5,43 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$5,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$4,78 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	$9,52 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	0,1	Opcija 6	0,1
Opcija 7	$8,72 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$8,97 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$8,82 \cdot 10^{-2}$



Tabela 30 Vrednosti težinskih koeficijenata indikatora i podindikatora Grupe IV

Slučaj	Težinski koeficijent indikatora				Težinski koeficijent podindikatora														
	IR	Ekoni	EkoI	SocI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	0,12	0,12	0,12	0,64	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,47	0,22	0,09	0,09	0,09	0,04
2	0,12	0,12	0,12	0,64	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,29	0,29	0,123	0,123	0,123	0,05
3	0,12	0,12	0,12	0,64	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,22	0,47	0,09	0,09	0,09	0,04
4	0,12	0,12	0,12	0,64	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,12	0,04	0,04	0,04	0,51
5	0,12	0,12	0,12	0,64	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,04	0,12	0,25	0,05	0,04	0,51
6	0,12	0,12	0,12	0,64	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,19	0,44	0,1	0,04	0,04	0,19
7	0,12	0,12	0,12	0,64	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,19	0,1	0,44	0,04	0,04	0,19
8	0,12	0,12	0,12	0,64	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,15	0,26	0,03	0,46	0,02	0,08
9	0,12	0,12	0,12	0,64	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,16	0,06	0,02	0,41	0,1

Tabela 31 Vrednosti standardne devijacije IO analiziranih slučajeva Grupe IV

Standardna devijacija vrednosti IO analiziranih opcija					
Slučaj 1		Slučaj 2		Slučaj 3	
Opcija 1	$7,43 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	0,15	Opcija 1	0,13
Opcija 2	$5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$2,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	0,11
Opcija 3	$9,48 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	0,1
Opcija 4	$7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$7,34 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$9,4 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	0,11	Opcija 5	0,1	Opcija 5	$3,2 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	0,15	Opcija 6	0,12	Opcija 6	0,14
Opcija 7	$3,78 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$5,35 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	0,15
Slučaj 4		Slučaj 5		Slučaj 6	
Opcija 1	0,11	Opcija 1	0,11	Opcija 1	0,13
Opcija 2	0,11	Opcija 2	$5,76 \cdot 10^{-3}$	Opcija 2	0,12
Opcija 3	0,13	Opcija 3	0,13	Opcija 3	0,11
Opcija 4	0,13	Opcija 4	0,13	Opcija 4	0,11
Opcija 5	$7,18 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$8,57 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$7,64 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	0,15	Opcija 6	0,15	Opcija 6	0,15
Opcija 7	0,15	Opcija 7	0,12	Opcija 7	0,15
Slučaj 7		Slučaj 8		Slučaj 9	
Opcija 1	0,15	Opcija 1	$7,86 \cdot 10^{-3}$	Opcija 1	$1,5 \cdot 10^{-3}$
Opcija 2	0,13	Opcija 2	$4,65 \cdot 10^{-3}$	Opcija 2	$4,72 \cdot 10^{-3}$
Opcija 3	$1,9 \cdot 10^{-4}$	Opcija 3	0,11	Opcija 3	0,11
Opcija 4	$3,84 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$4,1 \cdot 10^{-3}$	Opcija 4	$7,73 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$6,28 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	0,15	Opcija 5	0,13
Opcija 6	$3,56 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$8,6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$6,95 \cdot 10^{-3}$
Opcija 7	$8,53 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$4,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$4,26 \cdot 10^{-2}$

Tabela 32 Vrednosti težinskih koeficijenata indikatora i podindikatora Grupe V

Slučaj	Težinski koeficijent indikatora				Težinski koeficijent podindikatora													
	IR	EkonI	Ekol	SocI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0,64	0,12	0,12	0,12	0,76	0,24	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
2	0,64	0,12	0,12	0,12	0,76	0,24	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,08	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
3	0,64	0,12	0,12	0,12	0,76	0,24	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,08	0,08	0,6	0,08	0,08	0,08
4	0,64	0,12	0,12	0,12	0,24	0,76	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,08	0,08	0,08	0,6	0,08	0,08
5	0,64	0,12	0,12	0,12	0,24	0,76	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,08	0,08	0,08	0,08	0,6	0,08
6	0,64	0,12	0,12	0,12	0,24	0,76	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,6
7	0,64	0,12	0,12	0,12	0,5	0,5	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,16	0,09	0,033	0,24
8	0,64	0,12	0,12	0,12	0,5	0,5	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,09	0,24	0,24	0,16	0,03
9	0,64	0,12	0,12	0,12	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,16	0,09	0,03	0,24	0,24	0,24

Tabela 33 Vrednosti standardne devijacije IO analiziranih slučajeva Grupe V

Standardna devijacija vrednosti IO analiziranih opcija					
Slučaj 1	Slučaj 2	Slučaj 3			
Opcija 1	$2,44 \cdot 10^{-3}$	Opcija 1	0,14	Opcija 1	$6,87 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	0,12	Opcija 2	$8,98 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	0,12
Opcija 3	$2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	0,15	Opcija 3	$2,93 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$6,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	0,1	Opcija 4	$9,44 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$6,41 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	0,12	Opcija 5	$6,25 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	$6,55 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	0,12	Opcija 6	$7,26 \cdot 10^{-2}$
Opcija 7	$7,44 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	0,13	Opcija 7	$7,68 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 4	Slučaj 5	Slučaj 6			
Opcija 1	0,11	Opcija 1	$7,6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$2,64 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	0,11	Opcija 2	$8 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$1,7 \cdot 10^{-2}$
Opcija 3	$8,67 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$5,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	0,15
Opcija 4	0,1	Opcija 4	$7,5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$2,17 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$8 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$2,8 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	0,22	Opcija 6	0,15	Opcija 6	0,12
Opcija 7	0,22	Opcija 7	0,15	Opcija 7	$8,41 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 7	Slučaj 8	Slučaj 9			
Opcija 1	$7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$4,12 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$4,66 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	0,15	Opcija 2	$8,36 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	0,13
Opcija 3	$5,28 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$4,12 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$8,22 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$3,58 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$1,18 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$1,92 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$8,34 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$6,16 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$9,73 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	$5,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$4,38 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$1,88 \cdot 10^{-2}$
Opcija 7	$5,44 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$3,22 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$1,6 \cdot 10^{-2}$

Tabela 34 Vrednosti težinskih koeficijenata indikatora i podindikatora Grupe VI

Slučaj	Težinski koeficijent indikatora				Težinski koeficijent podindikatora												
	IR	EkonI	EkoI	SocI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,12	0,64	0,12	0,12	0,76	0,24	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
2	0,12	0,64	0,12	0,12	0,76	0,24	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
3	0,12	0,64	0,12	0,12	0,76	0,24	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
4	0,12	0,64	0,12	0,12	0,24	0,76	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
5	0,12	0,64	0,12	0,12	0,24	0,76	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
6	0,12	0,64	0,12	0,12	0,24	0,76	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
7	0,12	0,64	0,12	0,12	0,5	0,5	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,16	0,09	0,033
8	0,12	0,64	0,12	0,12	0,5	0,5	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,09	0,24	0,24	0,16
9	0,12	0,64	0,12	0,12	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,16	0,09	0,03	0,24	0,24

Tabela 35 Vrednosti standardne devijacije IO analiziranih slučajeva Grupe VI

Standardna devijacija vrednosti IO analiziranih opcija					
Slučaj 1		Slučaj 2		Slučaj 3	
Opcija 1	$5,7 \cdot 10^{-3}$	Opcija 1	0,1	Opcija 1	0,13
Opcija 2	0,14	Opcija 2	0,11	Opcija 2	0,13
Opcija 3	$4,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	0,11	Opcija 3	0,14
Opcija 4	$3,6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	0,13	Opcija 4	0,13
Opcija 5	$7,3 \cdot 10^{-3}$	Opcija 5	$3,46 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	0,21
Opcija 6	$4,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	0,15	Opcija 6	0,19
Opcija 7	$8,79 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	0,15	Opcija 7	$8,77 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 4		Slučaj 5		Slučaj 6	
Opcija 1	$3,69 \cdot 10^{-3}$	Opcija 1	0,13	Opcija 1	$6,15 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	0,21	Opcija 2	0,13	Opcija 2	$4,95 \cdot 10^{-2}$
Opcija 3	$7,41 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	0,11	Opcija 3	$7,58 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$6,19 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	0,13	Opcija 4	$7,39 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$6,68 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	0,13	Opcija 5	$6 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	$4,88 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	0,15	Opcija 6	0,14
Opcija 7	$4,57 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	0,15	Opcija 7	$6,25 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 7		Slučaj 8		Slučaj 9	
Opcija 1	$2,32 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	0,16	Opcija 1	0,14
Opcija 2	0,15	Opcija 2	0,16	Opcija 2	0,14
Opcija 3	0,1	Opcija 3	$7,67 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	0,17
Opcija 4	$1,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	0,18	Opcija 4	0,15
Opcija 5	$7,39 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	0,15	Opcija 5	0,17
Opcija 6	$2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	0,18	Opcija 6	0,15
Opcija 7	$5,78 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	0,18	Opcija 7	$4,54 \cdot 10^{-2}$

Tabela 36 Vrednosti težinskih koeficijentata indikatora i podindikatora Grupe VII

Slučaj	Težinski koeficijent indikatora				Težinski koeficijent podindikatora												
	IR	EkonI	EkoI	SocI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,12	0,12	0,64	0,12	0,76	0,24	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
2	0,12	0,12	0,64	0,12	0,76	0,24	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
3	0,12	0,12	0,64	0,12	0,76	0,24	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
4	0,12	0,12	0,64	0,12	0,24	0,76	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
5	0,12	0,12	0,64	0,12	0,24	0,76	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
6	0,12	0,12	0,64	0,12	0,24	0,76	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
7	0,12	0,12	0,64	0,12	0,5	0,5	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,16	0,09	0,033
8	0,12	0,12	0,64	0,12	0,5	0,5	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,09	0,24	0,24	0,16
9	0,12	0,12	0,64	0,12	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,16	0,09	0,03	0,24	0,24

Tabela 37 Vrednosti standardne devijacije IO analiziranih slučajeva Grupe VII

Standardna devijacija vrednosti IO analiziranih opcija					
Slučaj 1		Slučaj 2		Slučaj 3	
Opcija 1	$2,44 \cdot 10^{-3}$	Opcija 1	0,14	Opcija 1	$6,87 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	0,15	Opcija 2	0,12	Opcija 2	0,15
Opcija 3	0,1	Opcija 3	0,15	Opcija 3	$2,93 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$4,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	0,15	Opcija 4	0,14
Opcija 5	$5,63 \cdot 10^{-3}$	Opcija 5	0,12	Opcija 5	$5,47 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	$6,27 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	0,11	Opcija 6	$5,7 \cdot 10^{-2}$
Opcija 7	$5,87 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	0,12	Opcija 7	$7,4 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 4		Slučaj 5		Slučaj 6	
Opcija 1	0,1	Opcija 1	$6,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	0,19
Opcija 2	$7,41 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$9,52 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	0,18
Opcija 3	$7,72 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$9,52 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	0,14
Opcija 4	$7,66 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$2,6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	0,21
Opcija 5	$5,55 \cdot 10^{-3}$	Opcija 5	$5,86 \cdot 10^{-3}$	Opcija 5	0,18
Opcija 6	$9,8 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$7,5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	0,15
Opcija 7	$6,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$7,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	0,14
Slučaj 7		Slučaj 8		Slučaj 9	
Opcija 1	$8,37 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	0,11	Opcija 1	0,12
Opcija 2	0,1	Opcija 2	$7,41 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	0,11
Opcija 3	0,14	Opcija 3	0,11	Opcija 3	$7,15 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	0,14	Opcija 4	0,11	Opcija 4	0,12
Opcija 5	$8,16 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$6,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$4,56 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	$8,92 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$5,35 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	0,1
Opcija 7	$8,87 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$6,6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$5,35 \cdot 10^{-2}$

Tabela 38 Vrednosti težinskih koeficijenata indikatora i podindikatora Grupe VIII

Slučaj	Težinski koeficijent indikatora				Težinski koeficijent podindikatora												
	IR	EkonI	EkoI	SocI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,12	0,12	0,12	0,64	0,76	0,24	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
2	0,12	0,12	0,12	0,64	0,76	0,24	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
3	0,12	0,12	0,12	0,64	0,76	0,24	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
4	0,12	0,12	0,12	0,64	0,24	0,76	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
5	0,12	0,12	0,12	0,64	0,24	0,76	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
6	0,12	0,12	0,12	0,64	0,24	0,76	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
7	0,12	0,12	0,12	0,64	0,5	0,5	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,16	0,09	0,033
8	0,12	0,12	0,12	0,64	0,5	0,5	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,09	0,24	0,24	0,16
9	0,12	0,12	0,12	0,64	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,16	0,09	0,03	0,24	0,24

Tabela 39 Vrednosti standardne devijacije IO analiziranih slučajeva Grupe VIII

Standardna devijacija vrednosti IO analiziranih opcija					
Slučaj 1		Slučaj 2		Slučaj 3	
Opcija 1	0,13	Opcija 1	0,14	Opcija 1	$6,87 \cdot 10^3$
Opcija 2	0,14	Opcija 2	0,13	Opcija 2	0,1
Opcija 3	0,11	Opcija 3	0,12	Opcija 3	0,14
Opcija 4	$8,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	0,11	Opcija 4	$1,4 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$2,44 \cdot 10^{-3}$	Opcija 5	0,17	Opcija 5	$2,92 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	$8,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	0,14	Opcija 6	$6,5 \cdot 10^{-2}$
Opcija 7	$4,53 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	0,15	Opcija 7	$1,73 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 4		Slučaj 5		Slučaj 6	
Opcija 1	$7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$8,53 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$6,28 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	$7,41 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	0,15	Opcija 2	$6,05 \cdot 10^{-2}$
Opcija 3	$7,66 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	0,15	Opcija 3	$9,9 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$4,59 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$1,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	0,1
Opcija 5	$8,8 \cdot 10^{-3}$	Opcija 5	$7,62 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	0,15
Opcija 6	$3,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	0,12	Opcija 6	0,12
Opcija 7	$8,5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	0,12	Opcija 7	$6,56 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 7		Slučaj 8		Slučaj 9	
Opcija 1	0,14	Opcija 1	0,11	Opcija 1	$7,87 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	0,12	Opcija 2	$8,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$5,6 \cdot 10^{-2}$
Opcija 3	0,12	Opcija 3	0,11	Opcija 3	0,11
Opcija 4	0,11	Opcija 4	$1,96 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$7,5 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$8,77 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$8,66 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Opcija 6	0,15	Opcija 6	$6,22 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$5,11 \cdot 10^{-2}$
Opcija 7	0,15	Opcija 7	$5,47 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$8,17 \cdot 10^{-2}$

Tabela 40 Vrednosti težinskih koeficijenata indikatora i podindikatora Grupe IX

Slučaj	Težinski koeficijent indikatora				Težinski koeficijent podindikatora												
	IR	EkonI	EkoI	SocI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,59	0,25	0,076	0,076	0,76	0,24	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
2	0,59	0,25	0,076	0,076	0,76	0,24	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
3	0,59	0,25	0,076	0,076	0,76	0,24	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
4	0,59	0,25	0,076	0,076	0,24	0,76	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
5	0,59	0,25	0,076	0,076	0,24	0,76	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
6	0,59	0,25	0,076	0,076	0,24	0,76	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
7	0,59	0,25	0,076	0,076	0,5	0,5	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,16	0,09	0,033
8	0,59	0,25	0,076	0,076	0,5	0,5	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,09	0,24	0,24	0,16
9	0,59	0,25	0,076	0,076	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,16	0,09	0,03	0,24	0,24

Tabela 41 Vrednosti standardne devijacije IO analiziranih slučajeva Grupe IX

Standardna devijacija vrednosti IO analiziranih opcija					
Slučaj 1		Slučaj 2		Slučaj 3	
Opcija 1	$3,36 \cdot 10^{-3}$	Opcija 1	0,12	Opcija 1	$9,45 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	0,1	Opcija 2	$6,28 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	0,1
Opcija 3	$3,32 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	0,12	Opcija 3	$4 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$4,74 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$8,45 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$8,25 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$4,63 \cdot 10^{-3}$	Opcija 5	0,1	Opcija 5	$6,75 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	$4,87 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$9,29 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$9,19 \cdot 10^{-2}$
Opcija 7	$6,19 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$9,25 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$7,5 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 4		Slučaj 5		Slučaj 6	
Opcija 1	$7,5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$7,34 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$2,86 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	$7,84 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$7,63 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$3,22 \cdot 10^{-2}$
Opcija 3	0,1	Opcija 3	$5,58 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	0,12
Opcija 4	$7,34 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$7,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$2,93 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$5,82 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$6,7 \cdot 10^{-3}$	Opcija 5	$2,67 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	0,16	Opcija 6	0,12	Opcija 6	$8,52 \cdot 10^{-2}$
Opcija 7	0,15	Opcija 7	0,12	Opcija 7	$6,28 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 7		Slučaj 8		Slučaj 9	
Opcija 1	$5,64 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$7,87 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$7,38 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	0,12	Opcija 2	$7,82 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	0,11
Opcija 3	$5,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	0,11	Opcija 3	$5,92 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$2,63 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$6,77 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$5,68 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$6,17 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$8,42 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$8,92 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	$3,6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$6,5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$6,2 \cdot 10^{-2}$
Opcija 7	$3,83 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$5,87 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$5,92 \cdot 10^{-2}$

Tabela 42 Vrednosti težinskih koeficijentata indikatora i podindikatora Grupe X

Slučaj	Težinski koeficijent indikatora				Težinski koeficijent podindikatora												
	IR	EkonI	Ekoi	SocI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,25	0,59	0,076	0,076	0,76	0,24	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
2	0,25	0,59	0,076	0,076	0,76	0,24	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
3	0,25	0,59	0,076	0,076	0,76	0,24	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
4	0,25	0,59	0,076	0,076	0,24	0,76	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
5	0,25	0,59	0,076	0,076	0,24	0,76	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
6	0,25	0,59	0,076	0,076	0,24	0,76	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
7	0,25	0,59	0,076	0,076	0,5	0,5	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,16	0,09	0,033
8	0,25	0,59	0,076	0,076	0,5	0,5	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,09	0,24	0,24	0,16
9	0,25	0,59	0,076	0,076	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,16	0,09	0,03	0,24	0,24

Tabela 43 Vrednosti standardne devijacije IO analiziranih slučajeva Grupe X

Standardna devijacija vrednosti IO analiziranih opcija					
Slučaj 1		Slučaj 2		Slučaj 3	
Opcija 1	$4,59 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$8,75 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$9,3 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	0,11	Opcija 2	$9,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$9,6 \cdot 10^{-2}$
Opcija 3	$3,32 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$8,62 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	0,11
Opcija 4	$3,56 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	0,1	Opcija 4	$9,7 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$5,13 \cdot 10^{-3}$	Opcija 5	$4,3 \cdot 10^{-3}$	Opcija 5	0,14
Opcija 6	$4,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	0,12	Opcija 6	0,14
Opcija 7	$6,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	0,12	Opcija 7	$6,1 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 4		Slučaj 5		Slučaj 6	
Opcija 1	$6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$9,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$4,3 \cdot 10^{-3}$
Opcija 2	0,15	Opcija 2	$9,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$3,55 \cdot 10^{-3}$
Opcija 3	0,1	Opcija 3	$9,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$5,25 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$4,9 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$9,44 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$5,1 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$9,87 \cdot 10^{-3}$	Opcija 5	$7,8 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$6,3 \cdot 10^{-3}$
Opcija 6	$4,6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	0,12	Opcija 6	0,12
Opcija 7	$5,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	0,12	Opcija 7	$5,4 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 7		Slučaj 8		Slučaj 9	
Opcija 1	$2,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$6,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$9,65 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	0,12	Opcija 2	0,11	Opcija 2	0,1
Opcija 3	$7,24 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	0,1	Opcija 3	0,13
Opcija 4	$2,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	0,13	Opcija 4	0,1
Opcija 5	$5,8 \cdot 10^{-3}$	Opcija 5	0,11	Opcija 5	$4,5 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	$2,6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	0,13	Opcija 6	0,1
Opcija 7	$5,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	0,13	Opcija 7	0,12

Tabela 44 Vrednosti težinskih koeficijenata indikatora i podindikatora Grupe XI

Slučaj	Težinski koeficijent indikatora				Težinski koeficijent podindikatora												
	IR	EkonI	EkoI	SocI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,076	0,25	0,59	0,076	0,76	0,24	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
2	0,076	0,25	0,59	0,076	0,76	0,24	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
3	0,076	0,25	0,59	0,076	0,76	0,24	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
4	0,076	0,25	0,59	0,076	0,24	0,76	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
5	0,076	0,25	0,59	0,076	0,24	0,76	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
6	0,076	0,25	0,59	0,076	0,24	0,76	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
7	0,076	0,25	0,59	0,076	0,5	0,5	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,16	0,09	0,033
8	0,076	0,25	0,59	0,076	0,5	0,5	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,09	0,24	0,24	0,16
9	0,076	0,25	0,59	0,076	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,16	0,09	0,03	0,24	0,24

Tabela 45 Vrednosti standardne devijacije IO analiziranih slučajeva Grupe XI

Standardna devijacija vrednosti IO analiziranih opcija					
Slučaj 1		Slučaj 2		Slučaj 3	
Opcija 1	$3,4 \cdot 10^{-3}$	Opcija 1	0,11	Opcija 1	$9,45 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	$7,6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$8,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	0,12
Opcija 3	0,12	Opcija 3	0,11	Opcija 3	$4 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$3,3 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	0,12	Opcija 4	0,11
Opcija 5	$4,1 \cdot 10^{-3}$	Opcija 5	$9,6 \cdot 10^{-3}$	Opcija 5	$6,4 \cdot 10^{-3}$
Opcija 6	$4,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$8,8 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$8,7 \cdot 10^{-2}$
Opcija 7	$5,3 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$9,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$7,35 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 4		Slučaj 5		Slučaj 6	
Opcija 1	$7,3 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	0,12	Opcija 1	0,14
Opcija 2	$9,9 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$5,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	0,12
Opcija 3	$5,3 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	0,1	Opcija 3	0,15
Opcija 4	$5,88 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	0,12	Opcija 4	0,11
Opcija 5	$4,1 \cdot 10^{-3}$	Opcija 5	$9,6 \cdot 10^{-3}$	Opcija 5	0,1
Opcija 6	$7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$7,9 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	0,13
Opcija 7	$4,8 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$8,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$9,6 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 7		Slučaj 8		Slučaj 9	
Opcija 1	$6,45 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	0,1	Opcija 1	0,1
Opcija 2	0,11	Opcija 2	$9,8 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$5,2 \cdot 10^{-2}$
Opcija 3	$7,99 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$5,9 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$9,9 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$9,6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	0,1	Opcija 4	0,1
Opcija 5	$5,6 \cdot 10^{-3}$	Opcija 5	$8,6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$6,4 \cdot 10^{-3}$
Opcija 6	$6,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$7,5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$9,2 \cdot 10^{-2}$
Opcija 7	$6,5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$7,9 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$7,1 \cdot 10^{-2}$



Tabela 46 Vrednosti težinskih koeficijentata indikatora i podindikatora Grupe XII

Slučaj	Težinski koeficijent indikatora				Težinski koeficijent podindikatora												
	IR	Ekoni	EkoI	SocI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,076	0,076	0,25	0,59	0,76	0,24	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
2	0,076	0,076	0,25	0,59	0,76	0,24	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
3	0,076	0,076	0,25	0,59	0,76	0,24	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
4	0,076	0,076	0,25	0,59	0,24	0,76	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
5	0,076	0,076	0,25	0,59	0,24	0,76	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
6	0,076	0,076	0,25	0,59	0,24	0,76	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
7	0,076	0,076	0,25	0,59	0,5	0,5	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,16	0,09	0,033
8	0,076	0,076	0,25	0,59	0,5	0,5	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,09	0,24	0,24	0,16
9	0,076	0,076	0,25	0,59	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,16	0,09	0,03	0,24	0,24

Tabela 47 Vrednosti standardne devijacije IO analiziranih slučajeva Grupe XII

Standardna devijacija vrednosti IO analiziranih opcija					
Slučaj 1		Slučaj 2		Slučaj 3	
Opcija 1	$1,94 \cdot 10^{-3}$	Opcija 1	0,11	Opcija 1	$5,44 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	0,11	Opcija 2	0,1	Opcija 2	$9,1 \cdot 10^{-2}$
Opcija 3	$8,6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$9,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$2,3 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$6,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$8,98 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$2,4 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$8,8 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	0,12	Opcija 5	0,11
Opcija 6	$6,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	0,11	Opcija 6	$5 \cdot 10^{-2}$
Opcija 7	$3,89 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	0,13	Opcija 7	$3,2 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 4		Slučaj 5		Slučaj 6	
Opcija 1	$6,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$7,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	0,1
Opcija 2	$5,9 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	0,12	Opcija 2	$6,8 \cdot 10^{-2}$
Opcija 3	$1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	0,12	Opcija 3	$0,1 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$4,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$7,2 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$6,5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	0,11
Opcija 6	$4,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$8,9 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	0,1
Opcija 7	$6,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$8,8 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$9,56 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 7		Slučaj 8		Slučaj 9	
Opcija 1	0,11	Opcija 1	$8,9 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$4 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	$9 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$6,3 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$4,77 \cdot 10^{-2}$
Opcija 3	0,12	Opcija 3	$8,9 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$8,99 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$8,6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$4,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$6,95 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$6,88 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$6,3 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$5,7 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	0,1	Opcija 6	$5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$5,4 \cdot 10^{-2}$
Opcija 7	$9,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$4,6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$6 \cdot 10^{-2}$

Tabela 48 Vrednosti težinskih koeficijentata indikatora i podindikatora Grupe XIII

Slučaj	Težinski koeficijent indikatora				Težinski koeficijent podindikatora												
	IR	EkonI	EkoI	SocI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,53	0,27	0,14	0,055	0,76	0,24	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
2	0,53	0,27	0,14	0,055	0,76	0,24	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
3	0,53	0,27	0,14	0,055	0,76	0,24	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
4	0,53	0,27	0,14	0,055	0,24	0,76	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
5	0,53	0,27	0,14	0,055	0,24	0,76	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
6	0,53	0,27	0,14	0,055	0,24	0,76	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
7	0,53	0,27	0,14	0,055	0,5	0,5	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,16	0,09	0,033
8	0,53	0,27	0,14	0,055	0,5	0,5	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,09	0,24	0,24	0,16
9	0,53	0,27	0,14	0,055	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,16	0,09	0,03	0,24	0,24

Tabela 49 Vrednosti standardne devijacije IO analiziranih slučajeva Grupe XIII

Standardna devijacija vrednosti IO analiziranih opcija					
Slučaj 1		Slučaj 2		Slučaj 3	
Opcija 1	$2,26 \cdot 10^{-3}$	Opcija 1	$8,87 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$7,36 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	$7,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$4,9 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$7,7 \cdot 10^{-2}$
Opcija 3	$2,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$9 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$3,1 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$3,76 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$6,5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$6,3 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$3,54 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$8 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$5,2 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	$3,72 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$7,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$7,2 \cdot 10^{-2}$
Opcija 7	$4,75 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$5,8 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 4		Slučaj 5		Slučaj 6	
Opcija 1	$6,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$5,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$3,4 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	$6,5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$6,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$4,3 \cdot 10^{-2}$
Opcija 3	$7,96 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$4,3 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$9,1 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$5,95 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$5,81 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$3,75 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$5,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$3,5 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	0,13	Opcija 6	$9,5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$8,66 \cdot 10^{-2}$
Opcija 7	0,13	Opcija 7	$9,5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$6,8 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 7		Slučaj 8		Slučaj 9	
Opcija 1	$5,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$5,73 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	$9,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$8,44 \cdot 10^{-2}$
Opcija 3	$5,6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$4,92 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$3,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$5,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$4,6 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$2,95 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$6,54 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$6,83 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	$3,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$4,55 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$4,83 \cdot 10^{-2}$
Opcija 7	$4,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$5,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$4,39 \cdot 10^{-2}$

Tabela 50 Vrednosti težinskih koeficijentata indikatora i podindikatora Grupe XIV

Slučaj	Težinski koeficijent indikatora				Težinski koeficijent podindikatora												
	IR	EkonI	EkoI	SocI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,27	0,53	0,14	0,055	0,76	0,24	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
2	0,27	0,53	0,14	0,055	0,76	0,24	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
3	0,27	0,53	0,14	0,055	0,76	0,24	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
4	0,27	0,53	0,14	0,055	0,24	0,76	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
5	0,27	0,53	0,14	0,055	0,24	0,76	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
6	0,27	0,53	0,14	0,055	0,24	0,76	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
7	0,27	0,53	0,14	0,055	0,5	0,5	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,16	0,09	0,033
8	0,27	0,53	0,14	0,055	0,5	0,5	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,09	0,24	0,24	0,16
9	0,27	0,53	0,14	0,055	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,16	0,09	0,03	0,24	0,24

Tabela 51 Vrednosti standardne devijacije IO analiziranih slučajeva Grupe XIV

Standardna devijacija vrednosti IO analiziranih opcija					
Slučaj 1	Slučaj 2	Slučaj 3			
Opcija 1	0,1	Opcija 1	$5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$9,1 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	$2,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$8,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	0,1
Opcija 3	$4,2 \cdot 10^{-3}$	Opcija 3	$8,66 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$5,1 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$3,5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$8,5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$8,3 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$4,96 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$9,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	0,12
Opcija 6	$4,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	0,11	Opcija 6	0,11
Opcija 7	$5,94 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	0,11	Opcija 7	$7,8 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 4	Slučaj 5	Slučaj 6			
Opcija 1	$4,9 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$7,63 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$4,8 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	$7,94 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$8,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$4,2 \cdot 10^{-2}$
Opcija 3	$7,66 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$6,5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$6,2 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$3,81 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$7,88 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$6 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	0,12	Opcija 5	$7,93 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$5,16 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	$3,9 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$9,5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	0,1
Opcija 7	$4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$9,52 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$6 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 7	Slučaj 8	Slučaj 9			
Opcija 1	$5,55 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$5,8 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$7,84 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	0,11	Opcija 2	$9,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$8,8 \cdot 10^{-2}$
Opcija 3	$4,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$8,74 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	0,11
Opcija 4	$2,9 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$9,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$8,64 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$3,9 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	0,1	Opcija 5	$3,63 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	$5,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	0,1	Opcija 6	$9,64 \cdot 10^{-2}$
Opcija 7	$3,3 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	0,1	Opcija 7	$9,6 \cdot 10^{-2}$

Tabela 52 Vrednosti težinskih koeficijentata indikatora i podindikatora Grupe XV

Slučaj	Težinski koeficijent indikatora				Težinski koeficijent podindikatora												
	IR	EkonI	EkoI	SocI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,055	0,27	0,53	0,14	0,76	0,24	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
2	0,055	0,27	0,53	0,14	0,76	0,24	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
3	0,055	0,27	0,53	0,14	0,76	0,24	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
4	0,055	0,27	0,53	0,14	0,24	0,76	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
5	0,055	0,27	0,53	0,14	0,24	0,76	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
6	0,055	0,27	0,53	0,14	0,24	0,76	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
7	0,055	0,27	0,53	0,14	0,5	0,5	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,16	0,09	0,033
8	0,055	0,27	0,53	0,14	0,5	0,5	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,09	0,24	0,24	0,16
9	0,055	0,27	0,53	0,14	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,16	0,09	0,03	0,24	0,24

Tabela 53 Vrednosti standardne devijacije IO analiziranih slučajeva Grupe XV

Standardna devijacija vrednosti IO analiziranih opcija					
Slučaj 1		Slučaj 2		Slučaj 3	
Opcija 1	$2,6 \cdot 10^{-3}$	Opcija 1	0,11	Opcija 1	$7,4 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	0,11	Opcija 2	$8,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	0,11
Opcija 3	$3,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	0,1	Opcija 3	$3,1 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$7,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	0,11	Opcija 4	$9,7 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$4,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$8,9 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$5,2 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	$4,6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$8,45 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$6,7 \cdot 10^{-2}$
Opcija 7	$4,8 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$8,55 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$6,2 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 4		Slučaj 5		Slučaj 6	
Opcija 1	$5,6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$7,9 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	0,11
Opcija 2	$4,8 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$8,99 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	0,1
Opcija 3	$4,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$4,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	0,12
Opcija 4	$7,8 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$8,99 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	0,11
Opcija 5	$3,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$7,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$8,66 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	$5,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	0,11
Opcija 7	$3,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$6,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$8 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 7		Slučaj 8		Slučaj 9	
Opcija 1	$5,3 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$8,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$8,3 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	0,1	Opcija 2	$5,6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$4 \cdot 10^{-2}$
Opcija 3	$6,89 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$8,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$7,6 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$8,86 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$7,8 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$9,3 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$5,6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$6,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$4,9 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	$6,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$5,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$8 \cdot 10^{-2}$
Opcija 7	$6,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$6,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$5,5 \cdot 10^{-2}$

Tabela 54 Vrednosti težinskih koeficijenata indikatora i podindikatora Grupe XVI

Slučaj	Težinski koeficijent indikatora				Težinski koeficijent podindikatora												
	IR	EkonI	EkoI	SocI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,055	0,14	0,27	0,53	0,76	0,24	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
2	0,055	0,14	0,27	0,53	0,76	0,24	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
3	0,055	0,14	0,27	0,53	0,76	0,24	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
4	0,055	0,14	0,27	0,53	0,24	0,76	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
5	0,055	0,14	0,27	0,53	0,24	0,76	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
6	0,055	0,14	0,27	0,53	0,24	0,76	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,6	0,08	0,08	0,08	0,08
7	0,055	0,14	0,27	0,53	0,5	0,5	0,76	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,16	0,09	0,033
8	0,055	0,14	0,27	0,53	0,5	0,5	0,24	0,76	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,09	0,24	0,24	0,16
9	0,055	0,14	0,27	0,53	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,16	0,09	0,03	0,24	0,24

Tabela 55 Vrednosti standardne devijacije IO analiziranih slučajeva Grupe XVI

Standardna devijacija vrednosti IO analiziranih opcija					
Slučaj 1		Slučaj 2		Slučaj 3	
Opcija 1	$2,1 \cdot 10^{-3}$	Opcija 1	$8,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$6,1 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	$8,5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$7,66 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$6,94 \cdot 10^{-2}$
Opcija 3	$6,6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$7,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$2,6 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$4,8 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$6,88 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$2,99 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$7,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$9,9 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$8,5 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	$4,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$8,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$5,3 \cdot 10^{-2}$
Opcija 7	$3 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$8,9 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$3 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 4		Slučaj 5		Slučaj 6	
Opcija 1	$4,9 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$6,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$7,8 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	$4,8 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$9,5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$5,3 \cdot 10^{-2}$
Opcija 3	$4,8 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$9,5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$7,9 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$5,3 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$2,6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$5,6 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$5,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$5,86 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$9,3 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	$3,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$7,51 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$8,8 \cdot 10^{-2}$
Opcija 7	$5 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$7,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$7,5 \cdot 10^{-2}$
Slučaj 7		Slučaj 8		Slučaj 9	
Opcija 1	$9,7 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$7,8 \cdot 10^{-2}$	Opcija 1	$4,1 \cdot 10^{-2}$
Opcija 2	$7,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$4,8 \cdot 10^{-2}$	Opcija 2	$3,7 \cdot 10^{-2}$
Opcija 3	$8,8 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$7,8 \cdot 10^{-2}$	Opcija 3	$7,4 \cdot 10^{-2}$
Opcija 4	$6,3 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$4,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 4	$5,5 \cdot 10^{-2}$
Opcija 5	$7,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$6,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 5	$5,5 \cdot 10^{-2}$
Opcija 6	$9,4 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$5,1 \cdot 10^{-2}$	Opcija 6	$4,4 \cdot 10^{-2}$
Opcija 7	$6,6 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$5,2 \cdot 10^{-2}$	Opcija 7	$5,8 \cdot 10^{-2}$