



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U
NOVOM SADU



Fahrudin Kulić

Multikriterijska optimizacija instrumenata energetske politike korištenja biomase

DOKTORSKA DISERTACIJA

Novi Sad, juni 2016.



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:		
Идентификациони број, ИБР:		
Тип документације, ТД:	Монографска публикација	
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал	
Врста рада, ВР:	Докторска дисертација	
Аутор, АУ:	Фахрудин Кулић	
Ментор, МН:	Др Душан Гвозденац, редовни проф.	
Наслов рада, НР:	МУЛТИКРИТЕРИЈСКА ОПТИМИЗАЦИЈА ИНСТРУМЕНАТА ЕНЕРГЕТСКЕ ПОЛИТИКЕ КОРИШТЕЊА БИОМАСЕ	
Језик публикације, ЈП:	босански	
Језик извода, ЈИ:	босански	
Земља публикавања, ЗП:	Србија	
Уже географско подручје, УГП:	АП Војводина	
Година, ГО:	2016	
Издавач, ИЗ:	Ауторски репринт	
Место и адреса, МА:	ФТН, Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад	
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	7 / 135 / 0 / 60 / 33 / 0 / 0	
Научна област, НО:	Техничко - технолошке науке	
Научна дисциплина, НД:	Машинско инжењерство	
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	Енергетска политика, оптимизација, биомаса, когенерација	
УДК		
Чува се, ЧУ:	Библиотека ФТН, Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад	
Важна напомена, ВН:		
Извод, ИЗ:	У овом раду је презентирана методологија развоја модела оптимизације подстицаја производње електричне и топлотне енергије у когенеративним постројењима која користе дрвну биомасу као гориво. Модел оптимизације је развијен користећи математичку методу линеарног програмирања у коме је максимизирана укупна економска корист за расположиви износ средстава за подстицаје. Модел оптимизације је примијењен на когенеративна постројења у дрво-прерађивачкој индустрији у Босни и Херцеговини и показано да се примјеном модела оптимизације, кроз итеративни процес, могу одредити оптималне вриједности подстицаја за произведену електричну и топлотну енергију који резултују у максималној укупној економској користи за друштво у цјелини.	
Датум прихватања теме, ДП:	27.09.2012	
Датум одбране, ДО:		
Чланови комисије, КО:	Председник: Др Војин Грковић, редовни професор	Потпис ментора
	Члан: Др Младен Стојиљковић, редовни професор	
	Члан: Др Бранка Гвозденац-Урошевић, доцент	
	Члан: Др Јован Петровић, ванредни професор	
	Члан, ментор: Др Душан Гвозденац, редовни професор	



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monographic Publication
Type of record, TR :	Textual material, printed
Contents code, CC :	PhD thesis
Author, AU :	Fahrudin Kulić
Mentor, MN :	Professor Dušan Gvozdenac, PhD
Title, TI :	MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION OF BIOMASS ENERGY POLICY INSTRUMENTS
Language of text, LT :	Bosnian
Language of abstract, LA :	Bosnian
Country of publication, CP :	Serbia
Locality of publication, LP :	AP Vojvodina
Publication year, PY :	2016
Publisher, PB :	Author's reprint
Publication place, PP :	Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	7 / 135 / 0 / 60 / 33 / 0 / 0
Scientific field, SF :	Technical and technological sciences
Scientific discipline, SD :	Mechanical Engineering
Subject/Key words, S/KW :	Energy policy, optimization, biomass, cogeneration
UC	
Holding data, HD :	Library of Faculty of Technical Sciences, Trg D. Obradovića 6, N. Sad
Note, N :	
Abstract, AB :	This thesis presents a methodology for the development of a mathematical model for optimization of the level of subsidies for generating electricity and heat in co-generating plants that use woody biomass as fuel. The optimization model is developed using the mathematical method of linear programming to maximize the total economic benefits for a defined amount of available funds for subsidies. This model is applied to co-generating plants in the wood-processing industry in Bosnia and Herzegovina and shows that the application of this optimization model can, through an iterative process, determine the optimal levels of incentives for electricity and heat that result in the maximum economic benefits for the society as a whole.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	September 27, 2012.
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	President: Vojin Grković, PhD, Full Professor
Member:	Mladen Stojiljković, PhD, Full Professor
Member:	Branka Gvozdenac-Urošević, PhD, Assistant prof.
Member:	Jovan Petrović, PhD, Associate Professor
Member, Mentor:	Dušan Gvozdenac, PhD, Full Professor
	Mentor's sign

Zahvaljujem USAID-u (United States Agency for International Development) i EIA projektu (Energy Investment Activity), u okviru koga smo došli do rezultata koji su korišteni u ovom radu.

Želim zahvaliti sinovima Afanu i Arslanu i supruzi Selmi na razumijevanju što sam dio slobodnog vremena, umjesto njima, posvetio izradi ove disertacije.

Zahvaljujem majci Zehri i rahmetli ocu Eminu, koji su mi ličnim primjerom, kao doktori nauka, ukazali na zadovoljstvo koje cjeloživotno učenje pruža.

Duboku zahvalnost osjećam prema mentoru prof. dr. Dušanu Gvozdencu, koji me je motivisao, usmjeravao i pomagao mi puno više nego što mu mentorska dužnost nalaže, jedino sa željom da mi pomogne u mojoj karijeri jer je u svojoj karijeri davno sve postigao.

Ovaj rad posvećujem svom rahmetli bratu Orhanu, koji bi se, da je među nama, najviše radovao mom uspjehu.

Fahrudin Kulić

SADRŽAJ

1.	Uvodna razmatranja.....	7
1.1.	Direktiva 2009/28/EC o promovisanju upotrebe energije iz obnovljivih izvora	8
1.2.	Direktiva 2012/27/EU o energetskej efikasnosti.....	9
1.2.1.	Efikasna kogeneracija	11
1.3.	Energetska strategija i politika	12
1.4.	Predmet istraživanja.....	13
1.5.	Instrumenti energetske politike korištenja obnovljivih izvora energije.....	15
1.6.	Matematičke metode za optimizaciju	17
1.7.	Aktuelna istraživanja u oblasti optimizacije energetske politike	19
1.8.	Drvena biomasa.....	20
1.9.	Cilj istraživanja.....	24
2.	Opće stanje u energetici u Bosni i Hercegovini	25
2.1.	Energetski bilans.....	25
2.2.	Analiza energetske indikatore	28
2.3.	Elektroenergetski sektor	33
2.3.1.	Plan razvoja elektroenergetskog sektora u Federaciji Bosne i Hercegovine.....	35
2.3.2.	Plan razvoja elektroenergetskog sektora u Republici Srpskoj.....	37
2.3.3.	Planirana proizvodnja električne energije iz OIE do 2020. godine	40
2.3.4.	Sistem podsticaja za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije	46
3.	Kogenerativne tehnologije korištenja drvne biomase	53
3.1.	Direktno sagorijevanje sa parnim ciklusom	57
3.1.1.	Tržište parnih turbina	61
3.2.	Gasifikacija i gasni motori.....	61
3.2.1.	Tržište gasifikacionih postrojenja	67
3.3.	Direktno sagorijevanje sa organskim Rankinovima ciklusom (ORC)	67
3.3.1.	Tržište ORC-postrojenja.....	71
4.	Tehno-ekonomska analiza kogenerativnih tehnologija korištenja drvne biomase.....	74
4.1.	Tehno-ekonomska analiza direktnog sagorijevanja sa parnim ciklusom	74
4.2.	Tehno-ekonomska analiza gasifikacionog postrojenja.....	79
4.3.	Tehno-ekonomska analiza ORC-postrojenja	83
5.	Razvoj modela optimizacije	85
6.	Primjena modela optimizacije na Bosnu i Hercegovinu	94
6.1.	Formiranje reprezentativnog uzorka firmi	94
6.1.1.	Drvoprerađivačke firme.....	94

6.1.2.	Proizvođači peleta i briketa	98
6.1.3.	Procjena toplotnih potreba drvoprerađivačkih firmi	99
6.1.4.	Procjena toplotnih potreba proizvođača peleta i briketa	99
6.1.5.	Potencijalni investitori u kogenerativna postrojenja	100
6.1.6.	Određivanje kapaciteta kogenerativnih postrojenja.....	102
6.2.	Potencijal drvne biomase u Bosni i Hercegovini	105
6.3.	Vrednovanje ekonomskog doprinosa kogenerativnih postrojenja	109
6.4.	Ukupna sredstva raspoloživa za podsticaje.....	112
6.5.	Rezultati optimizacije za Federaciju Bosne i Hercegovine	112
6.6.	Rezultati optimizacije za Republiku Srpsku	119
6.7.	Analiza osjetljivosti	123
6.7.1.	Osjetljivost modela na cijenu sječke	124
6.7.2.	Osjetljivost modela na ukupan iznos podsticaja	125
7.	Zaključci	128
	Literatura	131

POPIS SLIKA

Slika 1.1. Višestruke koristi od povećanja energetske efikasnosti [64].....	11
Slika 1.2. Udio površine šume po državama u svijetu 2005. godine	14
Slika 1.3. Vrste premija za proizvedenu energiju	16
Slika 1.4. Vrste matematičkih metoda za optimizaciju [45]	17
Slika 2.1. Potrošnja finalne energije u BiH po sektorima za 2012. godinu	28
Slika 2.2. Potrošnja finalne energije u EU 28 po sektorima za 2013. godinu (Eurostat)	28
Slika 2.3. Ukupna potrošnja primarne energije (TPES) po stanovniku od 1990. do 2012. godine.....	29
Slika 2.4. Potrošnja električne energije po stanovniku od 1990. do 2012. godine	30
Slika 2.5. Emisija CO ₂ od 1990. do 2012. godine	31
Slika 2.6. GDP (ppp) po stanovniku od 1990. do 2012. godine	32
Slika 2.7. Energetski intenzitet od 1990. do 2012. godine	33
Slika 2.8. Procjena potrošnje električne energije u RS do 2030. godine za tri scenarija [69]	38
Slika 2.9. Struktura proizvodnje elektr. energije u RS za tri scenarija (opcija B) do 2030. godine [69]	39
Slika 2.10. Struktura proizvodnje električne energije u EU28 u 2013. godini (Eurostat)	45
Slika 3.1. Pregled energetske konverzije biomase [32]	53
Slika 3.2. Pregled tehnologija korištenja biomase i njihov razvojni status [73,9]	55
Slika 3.3. Razvoj broja instaliranih gasifikacionih postrojenja prema električnoj snazi [55].....	56
Slika 3.4. Shema postrojenja sa kondenzacionom turbinom sa jednim regulisanim oduzimanjem (a) i postrojenja sa protivpritisnom turbinom (b)	57
Slika 3.5. T-s dijagram kondenzacione parne turbine s oduzimanjem pare.....	58
Slika 3.6. Osnovna shema parnoturbinskog postrojenja.....	59
Slika 3.7. Radni dijagram kondenzacione turbine s oduzimanjem (2 MWe).....	61
Slika 3.8. Postrojenje za gasifikaciju drvene biomase	63
Slika 3.9. Suprotnosmjerni gasifikator.....	65
Slika 3.10. Istosmjerni gasifikator.....	65
Slika 3.11. Unakrsni gasifikator	66
Slika 3.12. Shema procesa	66
Slika 3.13. T-s dijagram za vodu (A) i tipične ORC-fluide (B)	69
Slika 3.14. Generalna shema ORC-postrojenja.....	70
Slika 3.15. Prikaz ORC-ciklusa u T-s dijagramu	70
Slika 6.1. Nivoi potencijala [74]	105
Slika 6.2. Prosti period povrata investicije za podsticaje iz iteracije A.1.....	115
Slika 6.3. Prosti period povrata investicije za podsticaje iz iteracije A.5.....	117
Slika 6.4. Prosti period povrata za iteracije A.1 i cijenu sječke od 7 EUR/MWh	124

POPIS TABELA

Tabela 1.1. Stope konverzije drvene biomase [77]	21
Tabela 1.2. Zavisnost mokrog udjela i vlažnosti	22
Tabela 1.3. Osnovni hemijski sastav drveta i nekih ugljeva	22
Tabela 1.4. Toplotne moći drvene biomase	23
Tabela 1.5. Poređenje drvene biomase sa nekim drugim gorivima	23
Tabela 2.1. Energetski bilans BiH za 2012. godinu [43]	27
Tabela 2.2. Emisioni faktori za CO ₂ [15]	31
Tabela 2.3. Osnovne energetske i ekonomske karaktersitike u BiH i EU 28	33
Tabela 2.4. Kapaciteti velikih HE i TE u BiH u 2014. godini [38]	34
Tabela 2.5. Struktura proizvodnje električne energije u BiH 2010–2014. [38]	35
Tabela 2.6. Pregled planiranih proizvodnih kapaciteta u FBiH [70]	36
Tabela 2.7. Plan razvoja proizvodnih kapaciteta u FBiH za period 2005–2030. [70]	37
Tabela 2.8. Količine podsticane električne energije iz OIE u FBiH za period 2012–2015. [1]	41
Tabela 2.9. Količine podsticane električne energije iz OIE u FBiH za period 2016–2020. [1]	42
Tabela 2.10. Količine podsticane električne energije iz OIE u RS za period 2009–2014. [2]	43
Tabela 2.11. Količine podsticane električne energije iz OIE u RS za period 2009–2014. [2]	44
Tabela 2.12. Garantovane otkupne cijene za električnu energiju iz OIE u FBiH [49]	47
Tabela 2.13. Garantovane otkupne cijene za električnu energiju iz OIE u RS [47]	50
Tabela 2.14. Garantovane otkupne cijene za elektrane na biomasu	52
Tabela 3.1. Kondenzaciona parna turbina sa kontrolisanim oduzimanjem pare	60
Tabela 3.2. Sastav gasa dobivenog gasifikacijom uglja i biomase	64
Tabela 3.3. Radne materije Rankinovog ciklusa	68
Tabela 3.4. Turboden ORC-postrojenja do 300 kWe	71
Tabela 3.5. Turboden ORC-postrojenja 600–1300 kWe	72
Tabela 3.6. Adoratec ORC-postrojenja 300–1000 kWe	72
Tabela 3.7. GMK-ova ORC-postrojenja 300–1000 kWe	73
Tabela 4.1. Polazni podaci tehno-ekonomskog proračuna	74
Tabela 4.2. Rezultati tehničkog proračuna parne turbine	75
Tabela 4.3. Pregled investicija, prihoda i rashoda	78
Tabela 4.4. Rezultati tehničkog proračuna gasifikacionog postrojenja	79
Tabela 4.5. Pregled investicija, prihoda i rashoda	81
Tabela 4.6. Rezultati tehničkog proračuna ORC-postrojenja	83
Tabela 4.7. Pregled investicija, prihoda i rashoda	84
Tabela 6.1. Pregled količina obrađenog drveta i ostatka u firmama regije centralna BiH [71]	96
Tabela 6.2. Potencijalni investitori u kogenerativna postrojenja u regiji centralne BiH	101
Tabela 6.3. Proizvođači peleta i briketa – potencijalni investitori u kogenerativna postrojenja	102
Tabela 6.4. Pregled karakteristika mogućih kogenerativnih postrojenja	104
Tabela 6.5. Procjena tehničkog potencijala primarne energije biomase u BiH u 2008. [11]	106
Tabela 6.6. Teoretski potencijal drvene biomase u BiH [44]	107
Tabela 6.7. Tržišni potencijal neiskorištene drvene biomase u BiH	108
Tabela 6.8. Pregled garantovanih otkupnih cijena u BiH i susjednim zemljama	110
Tabela 6.9. Rezultati primjene optimizacije za FBiH	113
Tabela 6.10. Odabrane tehnologije za iteracije optimizacije za FBiH	113
Tabela 6.11. Rangirane iteracije optimizacije za FBiH	114
Tabela 6.12. Vrijednosti investicija korištene u proračunu isplativosti za iteraciju A.1	115
Tabela 6.13. Pretpostavke korištene u proračunu isplativosti za iteraciju A.1	116
Tabela 6.14. Odabrane tehnologije za iteraciju A.5	118
Tabela 6.15. Izračunate optimalne vrijednosti podsticaja i ukupna nova tržišna vrijednost za FBiH	119
Tabela 6.16. Rezultati primjene optimizacije u RS	120

Tabela 6.17. Odabrane tehnologije za iteracije optimizacije za RS.....	121
Tabela 6.18. Rangirane iteracije optimizacije za RS	121
Tabela 6.19. Odabrane tehnologije za iteraciju B.5	122
Tabela 6.20. Izračunate optimalne vrijednosti podsticaja za RS	123
Tabela 6.21. Ukupna nova tržišna vrijednost za optimalne vrijednosti podsticaja u RS.....	123
Tabela 6.22. Rangirane iteracije optimizacije za FBiH i 8 miliona EUR podsticaja	125
Tabela 6.23. Rangirane iteracije optimizacije za FBiH i 12 miliona EUR podsticaja	125
Tabela 6.24. Uticaj ukupnog iznosa podsticaja u FBiH	126
Tabela 6.25. Uticaj ukupnog iznosa podsticaja u RS	127
Tabela 6.26. Ostvarena ekonomska korist za maksimalni podsticaj	127
Tabela 6.27. Ostvarena proizvodnja energije za maksimalni podsticaj	127

POPIS SKRAĆENICA

APOEF	Akcioni plan za korištenje OIE u FBiH
BDP	Bruto domaći proizvod
BiH	Bosna i Hercegovina
DERK	Državna regulatorna komisija za električnu energiju
EnZ	Energetska zajednica
EPBIH	Elektroprivreda BiH
EPHZHB	Elektroprivreda Hrvatske Zajednice Herceg Bosne
ERS	Elektroprivreda Republike Srpske
EU	Evropska unija
EUR	Euro
FBiH	Federacija BiH
FERK	Regulatorna komisija za energiju u FBiH
FIT	Engleski: feed-in-tariff, garantovana otkupna cijena
HE	Hidroelektrana
IEA	International Energy Agency
IRENA	International Renewable Energy Agency
IRR	Engleski: Internal Rate of Return, interna stopa rentabilnosti
KM	Konvertibilna marka (BiH); 1,95583 KM = 1 EUR
MHE	Mala hidroelektrana
MPC	Engleski: Marginal Propensity to Consume, granična sklonost potrošnji
MVEnZ	Ministarsko vijeće Energetske zajednice
MVTEO	Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa BiH
MWe	Megavat električne snage
MWt	Megavat toplotne snage
NOx	Azotni oksidi
NREAP	Engleski: National Renewable Energy Action Plan, Akcioni plan za korištenje obnovljive energije
OIE	Obnovljivi izvori energije
OIEIEK	Operater OIE i efikasne kogeneracije
ORC	Organski Rankinov ciklus
PPP	Engleski: Purchasing Power Parity, realna kupovna moć
RERS	Regulatorna komisija za energiju u RS-u
RS	Republika Srpska
SOx	Sumporovi oksidi
SPP	Strateški plan i program razvoja energetskeg sektora Federacije BiH iz 2008. godine
TE	Termoelektrana
TPES	Engleski: Total Primary Energy Supply, ukupna potrošnja primarne energije
UNDP	United Nations Development Programme
USAID	United States Agency for International Development
VE	Vjetroelektrana

1. Uvodna razmatranja

Bosna i Hercegovina (BiH) je potpisnica Ugovora o osnivanju Energetske zajednice [1], koja ima za cilj da integriše zemlje potpisnice (Ugovorne strane) u tržište energije Evropske unije (EU) na osnovu uspostavljanja obavezujućeg zakonskog okvira. Sporazum je potpisan u julu 2005. godine, a stupio je na snagu u julu 2006. godine. Sporazum su potpisale Evropska zajednica i Ugovorne strane: Albanija, Bugarska, Bosna i Hercegovina, Hrvatska, Makedonija, Crna Gora, Rumunija, Srbija i Kosovo/UNMIK¹. Od tada do vremena pisanja ovog rada u toku 2015. godine, Bugarska, Hrvatska i Rumunija su postale članice EU i time istupile iz Energetske zajednice (EnZ), dok su Moldavija i Ukrajina pristupile EnZ-u, a Jermenija je u procesu pristupanja EnZ-u.

Potpisivanjem Ugovora, Ugovorne strane su se obavezale da implementiraju relevantne odredbe *acquisa* EU (pravnog okvira EU), odnosno da implementiraju direktive i uredbe EU prema odlukama EnZ-a u oblastima koje obuhvata pravni okvir EnZ-a, a koji predstavlja samo dio pravnog okvira EU. Pravni okvir EnZ-a u više je navrata proširivan i sada obuhvata oblasti električne energije, gasa, obnovljivih izvora energije, energetske efikasnosti, nafte, zaštite okoliša, konkurencije i statistike. Implementacijom odredaba pravnog okvira EnZ-a stvorio bi se stabilan i ujednačen regulatorni okvir i tržišni prostor koji bi omogućio:

- privlačenje investicija u sektore električne energije, gasa i prenosnih mreža da bi se osiguralo stabilno i kontinuirano snabdijevanje energijom;
- uspostavljanje zajedničkog tržišta energijom, koje će omogućiti prekograničnu trgovinu energijom i integraciju sa tržištem EU;
- povećanje sigurnosti snabdijevanja energijom;
- poboljšanje stanja okoliša vezano za snabdijevanje energijom u regiji;
- unapređenje konkurencije na regionalnom nivou.

Jednoglasnom Odlukom Ministarskog vijeća Energetske zajednice (MVEnZ) od 24. oktobra 2013. godine, Ugovor koji je prvobitno zaključen na period od deset godina, produžen je za dodatnih deset godina.

Odlukama MVEnZ-a definiše se rok i način implementacije određene direktive, a odgovarajuće odredbe direktive se prilagode potrebama, mogućnostima i okolnostima Ugovornih strana. Ciljevi direktive se ne mijenjaju, nego se mijenjaju referentni datumi i/ili vrijednosti, početak i rok za implementaciju direktive i vrši se prilagođavanje određenih odredaba za Ugovorne strane.

Pravni okvir EU za energetiku najpotpuniji je i najdetaljniji u svijetu i njega preuzimaju zemlje koje ne mogu postati članovi EU, poput Tajlanda, iako postoje pravni okviri za energetiku i drugih razvijenih zemalja, prvenstveno SAD-a i Japana. Dakle, bez obzira na to što je strateški cilj BiH ostvarivanje članstva u EU i što je Vijeće Evrope donijelo odluku 21. aprila 2015, kojom se okončava proces zaključivanja Sporazuma o stabilizaciji i pridruživanju EU, i što je BiH Ugovorna strana EnZ-a, i time obavezna da implementira direktive iz oblasti energetike, u posebnom interesu građana BiH je da se implementiraju sljedeće dvije direktive: Direktiva 2009/28/EC o promovisanju upotrebe energije iz obnovljivih izvora [21] i Direktiva 2012/27/EU o energetskej efikasnosti [23], jer su ciljevi koji se tim direktivama žele postići prijeko potrebni bosanskohercegovačkom društvu.

¹ Prema Rezoluciji 1244 Vijeća sigurnosti UN-a

Za koordinaciju implementacije direktiva i drugih obaveza prema EnZ-u odgovorno je Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa BiH (MVTEO), dok je nadležnost nad energetikom na nivou entiteta, Federacije BiH (FBiH) i Republike Srpske (RS), odnosno entitetskih vlada i ministarstava.

1.1. Direktiva 2009/28/EC o promovisanju upotrebe energije iz obnovljivih izvora

U nekoliko tačaka uvodnog dijela Direktive 2009/28/EC navode se razlozi za njeno donošenje i ciljevi Direktive:

- U tački (1) piše: „Ti faktori imaju i važnu ulogu u promovisanju sigurnosti snabdijevanja energijom, promovisanju tehnološkog razvoja i inovacija te osiguranju mogućnosti za zapošljavanje i regionalni razvoj, ponajprije u ruralnim i udaljenim područjima.”
- U tački (3) piše: „Proizvodnja energije iz obnovljivih izvora često ovisi o lokalnim ili regionalnim malim i srednjim preduzećima. Mogućnosti za rast i otvaranje novih radnih mjesta koje donose ulaganja u regionalnu i lokalnu proizvodnju energije iz obnovljivih izvora u državama članicama i njihovim regijama veoma su važne.”
- Tačka (6) glasi: „Pomak prema decentraliziranoj proizvodnji energije ima više prednosti, uključujući i iskorištavanje lokalnih izvora energije, veću lokalnu sigurnost snabdijevanja energijom, kraće prevozne putove i smanjeni gubitak energije pri prenosu. Takva decentralizacija potiče razvoj zajednice i koheziju osiguravanjem izvora prihoda i stvaranjem novih radnih mjesta na lokalnom nivou.”

Zatim, član (4) nalaže da se izradi nacionalni akcioni plan za obnovljive izvore, kojim će se povećati udio energije iz obnovljivih izvora u bruto potrošnji energije u 2020. godini, a posebno se potcrtava korištenje biomase (...nacionalne politike za razvoj postojećih izvora biomase i mobilizaciju novih izvora biomase za različite vrste upotrebe).

Ostvarivanje prethodno navedenih ciljeva u interesu je društva i građana BiH, jer je problem napuštanja i srazmjerne nerazvijenosti ruralnih područja izuzetno izražen u BiH u posljednjih 20 godina. Pored toga, kroz nacionalni akcioni plan za obnovljive izvore BiH treba da svoje neiskorištene potencijale, o kojima se govori decenijama, napokon počne i koristiti. I MVEnZ je prepoznao potrebu za implementacijom ove direktive i već 24. septembra 2010. donio Preporuku br. 2010/01/MC-EnC [62], u kojoj preporučuje Ugovornim stranama da naprave procjenu potencijala obnovljivih izvora energije do juna 2011. godine kako bi se bolje pripremile za predstojeću implementaciju Direktive 2009/28/EC. Nakon toga je MVEnZ 18. oktobra 2012. godine donio Odluku D/2012/04/MC-EnC [17], u kojoj je dat rok do 1. januara 2014. da se donesu zakoni i podzakonski akti potrebni za implementaciju ove direktive i da se do 30. juna 2013. izradi nacionalni akcioni plan za obnovljive izvore, prema članu 4 Direktive. Za BiH je određeno da treba povećati udio energije iz obnovljivih izvora sa 34% u bruto finalnoj potrošnji energije u 2009. godini na 40% u 2020. godini.

Drugi bitni zahtjevi koje nalaže ova direktiva su:

- uspostavljanje mehanizama saradnje za ostvarivanje udjela energije iz obnovljivih izvora;
- pojednostavljenje administrativnih procedura za projekte korištenja obnovljivih izvora;
- osiguranje prioriteta priključenja na prenosnu i distributivnu mrežu elektrana na obnovljive izvore (član 16);
- uspostavljanje sistema za garanciju porijekla električne energije te energija za grijanje i hlađenje proizvedene iz obnovljivih izvora energije (član 15);

- postizanje cilja da udio energije iz obnovljivih izvora u svim oblicima prometa 2020. bude barem 10% ukupne potrošnje energije u prometu (član 17).

Iako je već objašnjeno zbog čega je u interesu bosanskohercegovačkih građana da se implementira ova direktiva, a posebno izrada nacionalnog akcionog plana za obnovljive izvore i njegova implementacija, to nije učinjeno na vrijeme pa je EnZ pokrenuo postupak protiv BiH zbog neispunjavanja obaveza vezano za ovu direktivu. Postupak je započet tako što je Sekretarijat EnZ-a 11. februara 2014. poslao otvoreno pismo nadležnim institucijama BiH (i drugih zemalja) opominjući ih da nisu usvojile nacionalni akcioni plan za obnovljive izvore do zadanog roka (30. juni 2013). Nakon što je Sekretarijat EnZ-a primio odgovore od nadležnih institucija, ostao je pri stavu da BiH ne ispunjava svoje obaveze i nastavio postupak protiv BiH tako što je 12. maja 2015. podnio Ministarskom vijeću zahtjev da se BiH proglašuje krivom za kršenje Ugovora o uspostavljanju EnZ-a (BiH nije ispunila ni druge navedene zahtjeve Direktive, ali postupak po tim pitanjima nije pokrenut).

Oba entiteta BiH, Federacija BiH i Republika Srpska, 2013. godine usvojili su entitetske zakone o korištenju obnovljivih izvora energije i efikasnoj kogeneraciji [80,81] a u 2014. godini usvojili su akcijske planove za korištenje obnovljivih izvora [1,2]. Tek je 30. marta 2016. usvojen Akcioni plan za korištenje obnovljive energije u Bosni i Hercegovini (NREAP), kojim bi se osiguralo ispunjavanje ciljeva na državnom nivou, što Direktiva zahtijeva. Time je BiH ispunila ovu obavezu pa će Sekretarijat EnZ-a obustaviti pokrenuti disciplinski postupak protiv BiH po ovom pitanju (ECS-4/14) [61].

1.2. Direktiva 2012/27/EU o energetskej efikasnosti

Za ugovorne strane EnZ-a, trenutno su četiri direktive EU vezane za energetskej efikasnost obavezujuće za implementaciju. Prve tri direktive trebale su biti transponovane i implementirane u 2011. i 2012. godini, dok je rok za četvrtu direktivu 15. oktobar 2017. godine. To su sljedeće direktive:

1. Direktiva o o energetskej efikasnosti u krajnjoj potrošnji i energetskej uslugama (**2006/32/EC**), koja ima za cilj usvajanje indikativnog cilja uštede energije, kao i razvoj nacionalnih akcionih planova za energetskej efikasnost;
2. Direktiva o energetskej efikasnosti zgrada (**2010/31/EU**), kojom se uspostavlja pravni okvir za utvrđivanje minimalnih zahtjeva energetskej performansi za nove i postojeće zgrade;
3. Direktiva o označavanju potrošnje energije i ostalih resursa proizvoda povezanih s energijom uz pomoć oznaka i standardizovanih informacija o proizvodu (**2010/30/EU**), kojom se uspostavlja pravni okvir za označavanje proizvoda i informisanje potrošača o potrošnji energije označenog proizvoda;
4. Direktiva o energetskej efikasnosti (**2012/27/EU**), kojom se vrše izmjene direktiva 2009/125/EC i 2010/30/EU i stavljaju van snage direktive 2004/8/EC i 2006/32/EC. Direktiva 2012/27/EU je postala obavezujuća za Ugovorne strane EnZ-a Odlukom MVEnZ-a D/2015/08/MC-EnC od 16. oktobra 2015. [20].

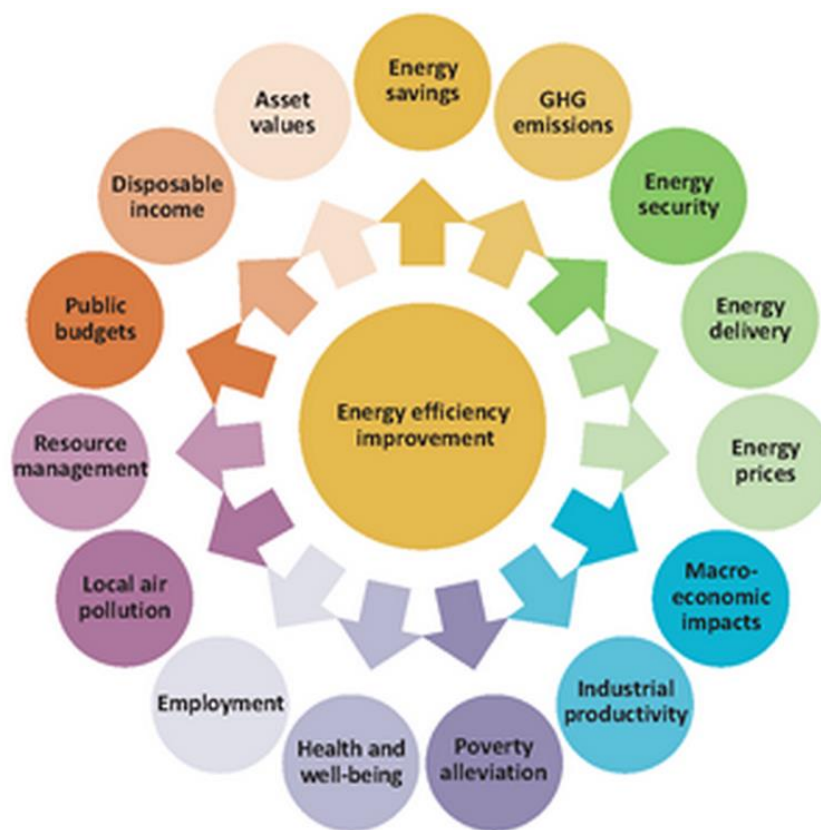
Direktiva 2012/27/EU uspostavlja skup obavezujućih mjera da se osigura da EU ostvari cilj povećanja energetskej efikasnosti od 20% do 2020. godine. Usvajanjem ove direktive se i u EnZ-u postavlja cilj povećanja energetskej efikasnosti od 20% do 2020. godine i uspostavlja skup obavezujućih mjera da se osigura ostvarenje tog cilja. Direktiva nalaže da se energija efikasnije koristi u svim fazama energetskeg lanca – od proizvodnje do finalne potrošnje.

Nove nacionalne mjere moraju osigurati velike uštede energije za industriju i ostale potrošače. Neke od mjera su:

- Distributeri energije moraju postići uštede energije od 1,5% godišnje kroz primjenu mjera energetske efikasnosti.
- Zemlje EU mogu odlučiti da postignu isti nivo štednje drugim sredstvima, kao što su poboljšanje efikasnosti sistema grijanja, instalacijom energetske stolarije ili izolacijom krovova.
- Javni sektor treba kupovati energetske objekte, proizvode i usluge.
- Svake godine, vlade EU će izvršiti energetske renoviranje na najmanje 3% od površine zgrada koje posjeduju ili koriste.
- Treba omogućiti potrošačima energije da bolje upravljaju potrošnjom energije. To uključuje i jednostavan i besplatan pristup podacima o potrošnji kroz individualna mjerila potrošnje.
- Treba uspostaviti sistem podsticaja za mala i srednja preduzeća da provedu energetske preglede.
- Treba pratiti stepen efikasnosti u novim energetske postrojenjima.

Naročito u BiH (a i u drugim zemljama u razvoju) je potrebno preduzeti mjere da se poveća energetska efikasnost jer su pozitivni efekti u BiH još veći nego u EU zbog puno većeg potencijala za uštedu energije. To jasno pokazuju svi parametri energetske potrošnje u BiH, koji su značajno lošiji nego u EU (vidi Poglavlje 2). Potpuno je pogrešan stav koji zastupaju i pojedinci na bitnim funkcijama u energetske sektoru u BiH, da zato što se u BiH troši puno manje energije po stanovniku nego u zemljama EU i zato što povećanje energetske efikasnosti zahtijeva investicije, da u BiH ne treba ulagati u povećanje energetske efikasnosti. Takav stav vodi još većem povećanju razlike u ekonomskom i društvenom razvoju BiH u odnosu na EU. Pored toga, takav je stav u suprotnosti sa obavezama BiH prema EnZ-u.

Pozitivni efekti povećanja energetske efikasnosti nisu samo smanjenje potrošnje energije, smanjenje troškova za energiju i smanjenje emisije zagađujućih materija. Pozitivni efekti povećanja energetske efikasnosti mnogobrojni su i za ekonomiju i za društvo, kao što se to vidi na sljedećoj slici.



Slika 1.1. Višestruke koristi od povećanja energetske efikasnosti [64]

1.2.1. Efikasna kogeneracija

Efikasna kogeneracija rezultuje puno većim stepenom iskorištenja primarne energije u odnosu na postrojenja koja proizvode samo električnu energiju. **Zato se u Direktivi 2012/27/EU postrojenjima koja proizvode električnu energiju kroz efikasnu kogeneraciju daje velika važnost i posvećuje posebna pažnja.**

U nekoliko tačaka u uvodnom dijelu Direktive 2012/27/EU navode se razlozi i ciljevi promovisanja visokoefikasne kogeneracije:

- U tački (35) piše: „Visokoefikasna kogeneracija i daljinsko grijanje i hlađenje ima značajan potencijal za uštedu primarne energije, koji je u velikoj mjeri neiskorišten u Uniji.”
- „Nova postrojenja za proizvodnju električne energije i postojeća postrojenja koja se renoviraju u značajnoj mjeri ili čije dozvole ili licence se produžuju, trebala bi biti opremljena, pod uslovom da je analiza troškova i koristi pozitivna, visokoefikasnim kogenerativnim jedinicama radi iskorištavanja otpadne toplote nastale pri proizvodnji električne energije.”
- Tačka (37) glasi: „Primjereno je da države članice potiču uvođenje mjera i postupaka za promovisanje kogenerativnih postrojenja s ukupnom nazivnom ulaznom toplotnom snagom manjom od 20 MW s ciljem promovisanja distribuirane proizvodnje energije.”
- U tački (38) piše: „Visokoefikasna kogeneracija trebala bi biti definisana na osnovu ušteda energije ostvarenih kombinovanom proizvodnjom umjesto odvojenom proizvodnjom toplotne i električne energije.”

- Tačka (40) glasi: „Trebalo bi uzeti u obzir specifičnu strukturu sektora kogeneracije i sektora daljinskog grijanja i hlađenja, koji obuhvataju brojne male i srednje proizvođače, posebno pri preispitivanju administrativnih postupaka za pribavljanje dozvole za izgradnju kogenerativnog postrojenja ili mreža povezanih sa kogenerativnim postrojenjem u skladu s načelom „prednost malima“.“
- U članu 15, stav 5, piše: „...operatori prenosnih sistema i operatori distributivnih sistema u okviru odgovornosti za dispečiranje proizvodnih postrojenja na svom području:
 - a) garantuju prenos i distribuciju električne energije iz visokoefikasne kogeneracije;
 - b) osiguravaju prioritetni ili garantovan pristup mreži za električnu energiju iz visokoefikasne kogeneracije;
 - c) pri dispečiranju postrojenja za proizvodnju električne energije osiguravaju prioritetno plasiranje električne energije iz visokoefikasne kogeneracije u mjeri u kojoj to dozvoljava siguran rad nacionalnog elektroenergetskog sistema...“

1.3. Energetska strategija i politika

Energetska strategija je dokument u kojem se definišu ključni ciljevi energetskog razvoja u srednjoročnom i/ili dugoročnom periodu od deset ili više godina. EU je 2010. godine objavila svoju Strategiju energetskog razvoja do 2020. godine sa čuvenom skraćenicom 20-20-20, a danas postoje strategije energetskog razvoja EU do 2030. i 2050. godine.

Državnim energetskim strategijama određuje se odgovornost države u osiguravanju preduslova za ostvarenje ciljeva energetskog razvoja. To uključuje aktivnu ulogu države u političkom i regulatornom podupiranju aktivnosti potrebnih za ostvarivanje navedenih strateških ciljeva.

Kroz **energetsku politiku** potpomaže se ostvarenje ciljeva definisanih u energetske strategiji. Energetska politika se provodi kroz **instrumente** energetske politike korištenja obnovljivih izvora, o kojima će biti više riječi u potpoglavlju 1.5.

Zbog ograničenih rezervi fosilnih goriva i klimatskih promjena, energetska politika mora biti usmjerena ka povećanju korištenja obnovljivih izvora energije i povećanju energetske efikasnosti. Mnoge države ili regije bogate su biomasom i kroz povećano i održivo korištenje biomase mogu povećati udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije. Veći broj zemalja u tranziciji (zemlje bivše Jugoslavije i bivšeg Sovjetskog saveza) i zemalja u razvoju bogatih biomasom nema razvijenu odgovarajuću energetske politiku za korištenje biomase. Takav je slučaj i u BiH. Ni u akcionim planovima ni u zakonima entiteta, vezano za obnovljive izvore energije, ne postoje konkretne mjere podsticaja korištenja obnovljivih izvora energije za grijanje ili hlađenje, pa ni biomase, samo su navedene neke moguće podsticajne mjere, ali one nisu usvojene. Jedino postoje podsticajne mjere za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora, uključujući i biomasu, u vidu garantovanih otkupnih cijena (engl. feed-in-tariff).

Energetska politika korištenja biomase, odnosno njeni instrumenti, trebaju biti takvi da maksimiziraju društvene i ekonomske koristi korištenja biomase. Da bi se instrumenti energetske politike ispravno definisali, potrebno je utvrditi tržišni potencijal biomase i utvrditi načine korištenja biomase koji rezultuju maksimalnom društvenom i ekonomskom koristi, uzimajući u obzir specifičnosti društvenog, ekonomskog i industrijskog nivoa razvoja zemlje.

1.4. Predmet istraživanja

Istraživanja u ovom radu usmjerena su na razvoj modela pomoću kojeg će se optimizirati instrumenti energetske politike održivog korištenja biomase. Da bi se takav model razvio, potrebno je odgovoriti na sljedeća pitanja:

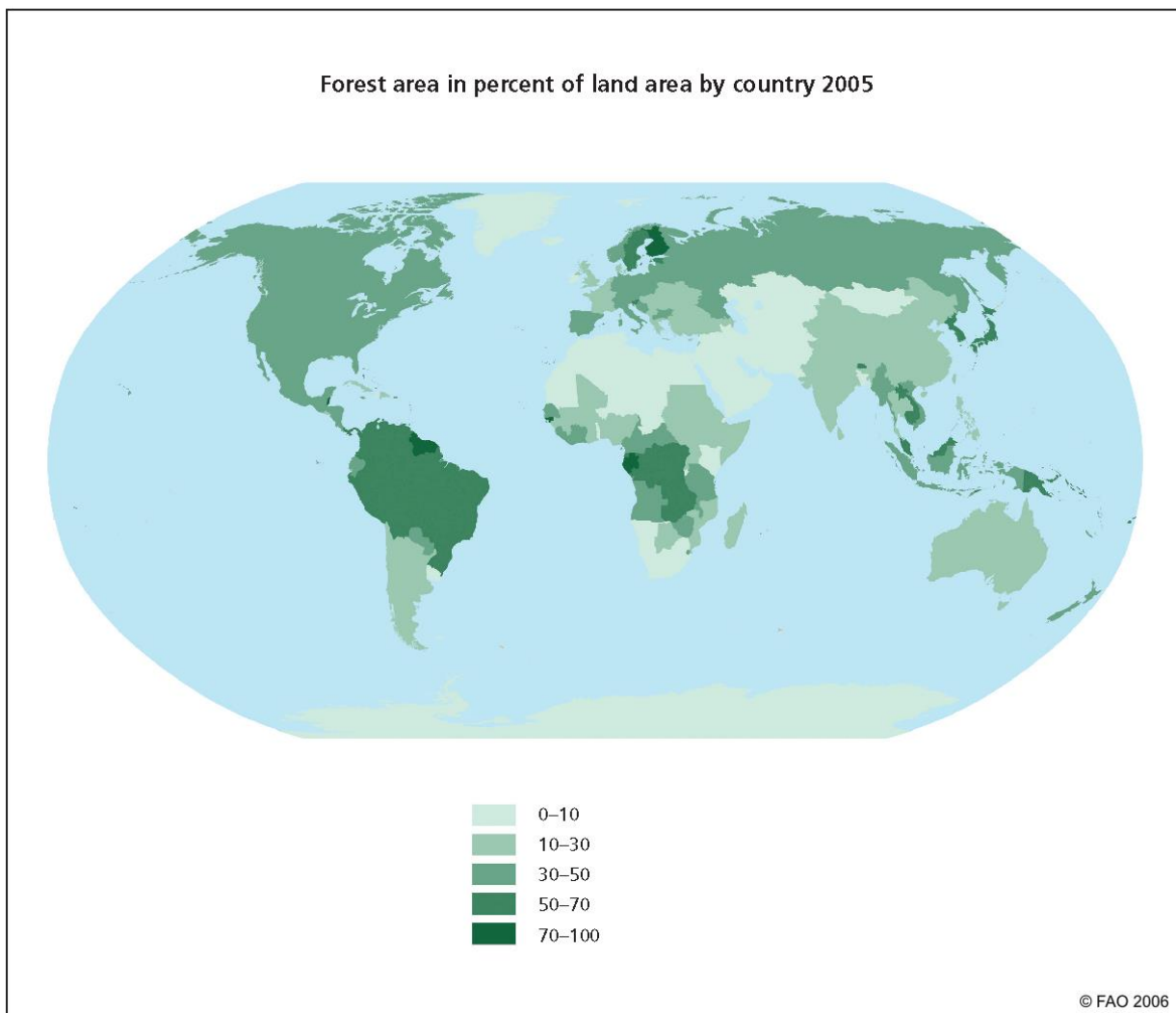
1. Koju će vrstu biomase model obuhvatiti?
2. Koja će se vrsta proizvodnje energije podsticati u modelu (električna, toplotna, kogeneracija)?
3. Koju matematičku metodu optimizacije treba primijeniti?
4. Koje instrumente energetske politike treba optimizirati?
5. Koje komercijalne tehnologije korištenja odabrane vrste biomase treba razmatrati?

Postoje razne vrste biomase, kao što se vidi iz definicije date u Direktivi 2009/28/EC EU:

„Biomasa je biorazgradiv dio proizvoda, otpada i ostataka biološkog porijekla iz poljoprivrede (uključujući tvari biljnog i životinjskog porijekla), šumarstva i s njima povezanih proizvodnih djelatnosti, uključujući ribarstvo i akvakulturu te biorazgradiv udio industrijskog i komunalnog otpada.”

Iz definicije se vidi da biomasa obuhvata širok spektar sirovina, a obuhvatiti sve vrste biomase prevazilazi realan obim rada za jednu doktorsku disertaciju. **Stoga će se odabrati samo jedna vrsta biomase – drvena biomasa**, i to iz sljedećih razloga:

1. Veliki broj država u razvoju u istočnoj Evropi, Aziji, Africi i Južnoj Americi raspolaže velikim količinama drvene biomase, što se vidi iz udjela površine države pod šumom, prikazane na sljedećoj slici (Slika 1.2).
2. Model će se testirati na teritoriji BiH, a podaci o proizvodnji šumskog drvnog sortimenta, procjene količine ostataka u šumama nakon sječe kao i o ostacima u drvnoprerađivačkoj industriji su dostupni [44].
3. Potencijal drvene biomase u BiH je izuzetno velik – neiskorišteni šumski ostatak od preko 1,3 miliona m³ godišnje, ne računajući 1,23 miliona m³ ogrjevnog drveta koje se godišnje potroši u BiH [44].
4. Geografska raspodjela sječe šume, a time i šumskog ostatka, je poznata jer je 80% šumskog područja u javnom vlasništvu i podijeljeno na geografske jedinice (šumska gazdinstva), a za svako gazdinstvo je poznat obim sječe. Šume u privatnom vlasništvu uglavnom su izdanačke šume te je obim sječe i šumskog ostatka značajno manji nego u javnom vlasništvu i neće se uzimati u obzir.
5. Upravljanje šumama u RS-u u nadležnosti je Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede RS-a, i to putem Javnog preduzeća šumarstva „Šume RS”, koje je podijeljeno na šumska gazdinstva. Upravljanje šumama u Federaciji BiH je u nadležnosti kantonalnih ministarstava. Kantonalna preduzeća šumarstva odgovorna su za gospodarenje šumama u javnom vlasništvu u predmetnom kantonu. Sva kantonalna preduzeća šumarstva i „Šume RS” vode tačnu evidenciju o sječi šume, tako da postoje pouzdani podaci o obimu sječe, na osnovu kojih se može procijeniti ostatak u šumi nakon sječe. Druge vrste biomase, kao npr. poljoprivredni ostaci, u vlasništvu su raspodijeljene između velikog broja malih gazdinstava i preduzeća i stoga se ne vodi tačna evidencija o raspoloživoj biomasi.



Slika 1.2. Udio površine šume po državama u svijetu 2005. godine

U potpoglavlju 1.2.1. navedene su sve prednosti kogeneracije u odnosu na proizvodnju samo električne energije. Daljinsko grijanje ili hlađenje također je opcija koja se promovira, ali ograničavajući faktor je da mora postojati toplovodna mreža koja bi toplotnu energiju dostavila potrošačima. Dodatni je nedostatak da samo dio godine postoji potreba za toplotom, osim u vrlo hladnim klimatskim područjima.

Najbolja opcija je kogeneracija toplotne i električne energije sa korištenjem toplotne energije tokom cijele godine. To se može ostvariti u drvoprerađivačkoj industriji, koja ima potrebu za toplotnom energijom cijele godine u parionicama i sušarama drveta. **Zbog toga će se u ovom radu razviti i primijeniti model za komercijalne kogenerativne tehnologije korištenja drvne biomase u drvoprerađivačkoj industriji.**

Ostala tri pitanja navedena na početku ovog poglavlja (matematičke metode za optimizaciju, instrumenti energetske politike i komercijalne tehnologije korištenja biomase u energetske svrhe) razmatrat će se u narednim poglavljima.

1.5. Instrumenti energetske politike korištenja obnovljivih izvora energije

Za obnovljive izvore energije (OIE) **instrumenti** energetske politike se dijele u pet osnovnih grupa:

1. Pravilnici i standardi
2. Instrumenti propisane količine proizvodnje
3. Cjenovni instrumenti
4. Politika javnih nabavki
5. Aukcije

Pravilnici i standardi

Pomoću pravilnika i standarda može se promovirati korištenje OIE direktno i indirektno tako što će se investicije u OIE učiniti isplativijim od drugih izvora energije (fosilnih).

Direktna podrška se ogleda u uklanjanju neekonomskih barijera i povećavanju potražnje za OIE. Primjer je uvođenje propisa da jedan dio energije u zgradama mora biti iz OIE.

Indirektna podrška je uvođenje ograničenja na korištenje fosilnih goriva.

Instrumenti propisane količine proizvodnje

Instrumentima propisane količine proizvodnje definiše se apsolutni ili relativni iznos proizvodnje finalne energije iz OIE.

Cjenovni instrumenti

Ovim instrumentima se smanjuje cijena korištenja OIE kroz uspostavljanje povoljnih/povlaštenih otkupnih cijena iz OIE u poređenju sa fosilnim izvorima energije ili fiskalnim podsticajima.

Garantovane otkupne cijene (engl. Feed-in Tariff – FIT)

Garantovane otkupne cijene je instrument kojim se za energiju iz OIE plaća cijena veća nego tržišna da bi investicija bila isplativa. Garantovane otkupne cijene i otkup garantuju institucije vlasti na duži period (15-ak godina) dok se investicija ne otplati.

Premija za proizvedenu energiju (engl. Feed-in premium – FIP)

Premija djelimično izlaže proizvođača električne energije rizicima fluktuacije cijene na tržištu. Proizvođač prodaje električnu energiju na tržištu i dodatno mu se isplaćuje premija. Na taj način je moguće smanjiti ukupne troškove podsticaja za društvo, ali su rizici za investitora veći.

Postoje tri glavna tipa premije, kao što je to prikazano slijeva nadesno na sljedećoj slici (Slika 1.3):

Fiksna premija

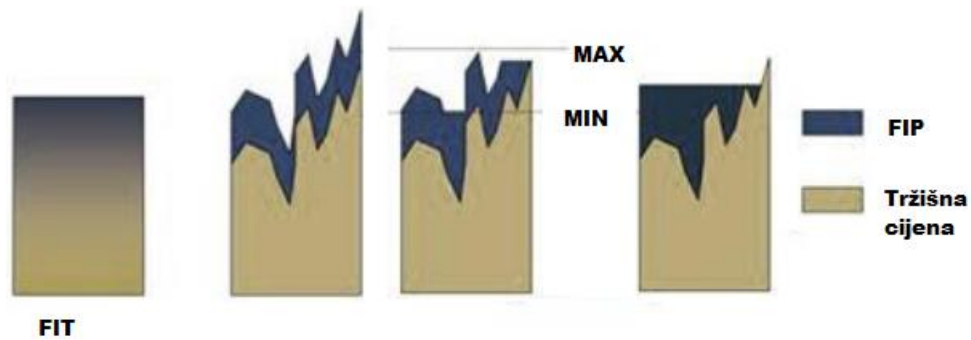
Premija je fiksna i isplaćuje se bez obzira na tržišnu cijenu. Proizvođač električne energije može ostvariti veću zaradu ako se poveća tržišna cijena, ali može i biti na gubitku ako tržišna cijena padne.

Fiksna premija sa maksimalnom i minimalnom cijenom električne energije (engl. floor and cap)

Premija se isplaćuje, ali se iznos premije mijenja u zavisnosti od tržišne cijene. Zbir tržišne cijene i premije nalazi se u određenom opsegu od minimalne do maksimalne cijene. Proizvođač električne energije je tako siguran da neće previše izgubiti, ali nema priliku ni da zaradi previše ako cijene na tržištu porastu.

Klizna premija

Premija se isplaćuje, ali se iznos premije mijenja u zavisnosti od tržišne cijene. Zbir tržišne cijene i premije je konstanta. Proizvođač električne energije je tako siguran da će za električnu energiju koju proda na tržištu ostvariti određenu fiksnu cijenu.



Izvor: Rathmann et al. (2011)

Slika 1.3. Vrste premija za proizvedenu energiju

Fiskalni podsticaji

Ovim instrumentima se stimulira investiranje u OIE tako što se smanjuju investicioni troškovi na neki od sljedećih načina:

- poreske olakšice
- povoljni krediti iz razvojnih banaka
- grantovi od institucija vlasti

Politika javnih nabavki

Institucije vlasti veliki su potrošači energije i politikom javnih nabavki u kojima se podstiče kupovina energije iz OIE mogu uticati na tržište. Na ovaj način institucije vlasti mogu pomoći da se razvije tržište OIE i potrebna tehnička i druga ekspertiza za primjenu tehnologija OIE.

Aukcije

Aukcijama kupac energije (distributer) na tržištu može dobiti najpovoljniju ponudu za snabdijevanje energijom proizvedenom iz OIE. U „obrnutoj aukciji” proizvođači energije nude svoju energiju distributerima, koji opet biraju najpovoljniju ponudu. Aukcije mogu poslužiti da se pravilno odrede garantovane otkupne cijene.

Kada su razvijene zemlje EU počele s politikom povećanja udjela OIE u proizvodnji električne energije, glavni instrument podsticaja bila je garantovana otkupna cijena. Sada, kada je udio OIE u proizvodnji

električne energije veoma visok, a investicije u elektrane dobrim dijelom otplaćene, uvode se i druge vrste podsticaja sa ciljem smanjenja ukupnih iznosa podsticaja, odnosno troškova za kupce.

U zemljama u kojima se tek uvode podsticaji za proizvodnju električne energije ii OIE, najviše se koriste sljedeća tri instrumenta:

- garantovane otkupne cijene
- fiksne premije
- instrumenti propisane količine proizvodnje

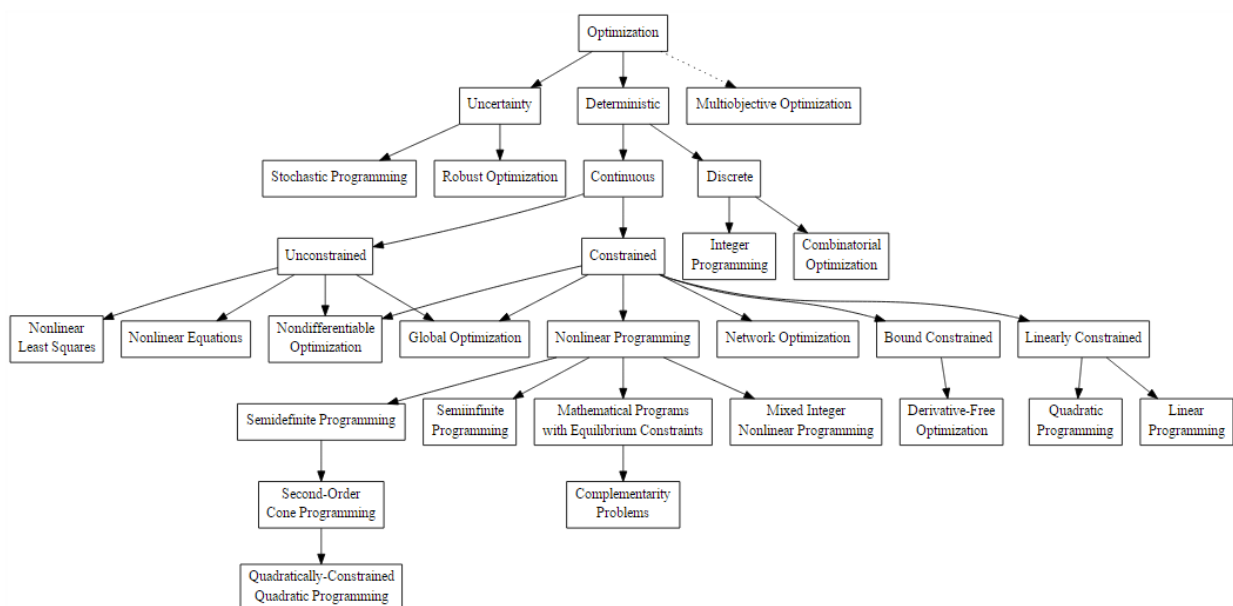
U ovom radu model će se razviti i primijeniti na drvoprerađivačku industriju koja isključivo koristi biomasu tako da instrument propisane količine proizvodnje nije odgovarajući za ovu industriju, već za elektroprivrede. **U modelu će se razviti metodologija optimizacije garantovane otkupne cijene za električnu energiju i fiksne premije za toplotnu energiju proizvedene u kogenerativnim postrojenjima.**

Podsticanje kogenerativnih postrojenja na biomasu rezultuje novim investicijama koje predstavljaju novu vrijednost i povećavaju bruto društveni proizvod (BDP). Za svaku regiju poznat je procent javnih prihoda u odnosu na BDP kao i multiplikator. Naprimjer, za Evropski fond za strateške investicije (European Fund for Strategic Investments), koji se implementira od 2015. do 2017, očekuje se da će multiplikatorski efekt Fonda biti 1:15, odnosno svaki javni EUR koji je uložen iz Fonda rezultovat će sa 15 EUR investicije, koje drugačije ne bi bilo [29]. Od tih novih 15 EUR investicije, jedan će dio završiti kao javni prihod (kroz poreze, takse, doprinose), u zavisnosti od regije.

U ovom radu u okviru optimizacije se neće razmatrati multiplikator jer se na njega ne može uticati energetskom politikom, ali će se on procijeniti da bi se moglo izračunati koliko brzo će se vratiti troškovi podsticaja kroz uvećane javne prihode. Faktor multiplikacije od 15 čini se previše optimističnim, ali u svakom je slučaju sigurno veći od 1.

1.6. Matematičke metode za optimizaciju

Postoje brojne matematičke metode za optimizaciju, kao što je to prikazano na sljedećoj slici:



Slika 1.4. Vrste matematičkih metoda za optimizaciju [45]

U ovom radu se želi razviti model koji će dati jednoznačno rješenje za vrijednosti odabranih instrumenata energetske politike kojima se za definisan iznos ukupnih raspoloživih sredstava za podsticaj tačno izračunava i maksimizira ekonomska korist također izražena u novcu. Stoga će se u ovom radu za razvoj modela koristiti metoda multikriterijalne optimizacije, a ne metoda multikriterijalne analize. Metode multikriterijalne analize kombinuju kvalitativne i kvantitativne parametre da bi se odabralo rješenje/opcija, ali zbog različitoga karaktera parametara takve analize ne mogu dati jednoznačno rješenje kakvo se želi odrediti u ovom radu.

Metodu treba odabrati prema karakteristikama procesa (problema) koji se želi optimizirati, odnosno prema tome kojim se matematičkim izrazima problem može opisati – modelirati. Linearno programiranje ili linearna optimizacija je matematička metodologija za modeliranje problema, gdje se traži maksimum ili minimum određene linearne funkcije – funkcije cilja (engl. objective function) sa ograničenjima (engl. constraints), iskazanim u obliku linearnih jednačina ili nejednačina. Funkcija cilja (npr. ukupna proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora) i ograničenja (npr. raspoloživa biomasa) linearno su proporcionalni vrijednostima nezavisnih varijabli (npr. nominalna snaga postrojenja). Kroz proces optimizacije treba odrediti vrijednosti nezavisnih varijabli koje se nazivaju varijable odlučivanja (engl. decision variables), koje će dati maksimalnu ili minimalnu vrijednost funkcije cilja i pri tome zadovoljiti sva ograničenja.

Brojni radovi na temu optimizacije energetske politike, objavljeni u eminentnim časopisima, koristili su metodu linearnog programiranja, čime su pokazali da je to odgovarajući matematički alat [58, 4, 5, 13, 50, 78]. Zato će se u ovom radu koristiti matematička metoda linearnog programiranja/optimizacije za određivanje optimalnih vrijednosti podsticaja za električnu i toplotnu energiju. Softver Microsoft Excel ima ugrađene funkcije (solver) koje omogućavaju određivanje nepoznatih varijabli odlučivanja metodom linearne optimizacije, pa će u ovom radu za proces optimizacije biti korišten Microsoft Excel.

Opći oblik matematičke metode linearnog programiranja je:

odrediti varijable odlučivanja x_1, x_2, \dots, x_n

tako da se maksimizira ili minimizira **funkcija cilja** definisana kao:

$$c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n, \quad 1.1.$$

uz ograničenja (uslove)

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &\leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &\leq b_2 \\ &\vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &\leq b_m, \end{aligned} \quad 1.2.$$

pri čemu je

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

$$c_1, c_2, \dots, c_n = \text{const.}$$

$$a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n}, a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2n}, a_{m1}, \dots, a_{mn} = \text{const.}$$

Moguće je metodom linearnog programiranja definisati i više od jedne funkcije cilja, pa ukupni cilj definisati kao ponderisanu kombinaciju definisanih funkcija cilja i na taj je način koristiti kao metodu višeciljne optimizacije (engl. multi-objective optimization). Jedan cilj može biti minimizacija emisija štetnih tvari, a drugi cilj minimizacija troškova proizvodnje električne energije, što su oprečni ciljevi, ali koji se mogu izbalansirati kroz odabir težinskih vrijednosti za jedan i drugi cilj i tako definisati koji je cilj važniji.

1.7. Aktuelna istraživanja u oblasti optimizacije energetske politike

Purwanto et al. [58] su 2015. objavili rezultate višeciljne (engl. multi-objective) optimizacije elektroenergetskog sistema Indonezije. Cilj optimizacije je bio odrediti najbolji dugoročni miks (2010. do 2050. godine) primarnih izvora energije korištenih za proizvodnju električne energije uzimajući u obzir raspoložive energetske resurse i uticaj na ekonomiju i okoliš. Uticaj na ekonomiju je definisan samo kroz cijenu proizvodnje električne energije, a uticaj na okoliš kroz emisiju CO₂. Cijena proizvodnje električne energije i emisija CO₂ definisani su kao linearne funkcije proizvedene električne energije iz pojedinačnih izvora energije. Razmatrana su dva, međusobno oprečna cilja, a to su: minimizacija troškova proizvodnje električne energije (funkcija f_1) i minimizacija emisija CO₂ (funkcija f_2). Da bi odredili optimalno rješenje koje bi najviše smanjilo emisiju CO₂, uz najmanje povećanje srednje proizvodne cijene električne energije, definisali su treću funkciju: $f_3 = w_1 f_1 + w_2 f_2$, gdje su w_1 i w_2 težinski faktori vrijednosti od 0 do 1 i gdje vrijedi da je $w_1 + w_2 = 1$. Ovaj pristup predstavlja metodu linearnog programiranja (linearne optimizacije) koja je modifikovana pomoću težinskih faktora da bi omogućila višeciljnu optimizaciju. Metoda optimizacije je preuzeta od istraživača **Arnette i Zobel [5], koji su 2012.** godine izvršili istraživanje u kome su za odabranu regiju optimizirali moguće učešće obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije.

Postoji neograničen broj kombinacija w_1 i w_2 koje bi se mogle izabrati, ali da bi se ograničio broj kombinacija, a pri tome i mogao procijeniti uticaj težinskih faktora, u oba su istraživanja izabrane tri kombinacije w_1 i w_2 (0,25 i 0,75), (0,5 i 0,5) i (0,75 i 0,25). Pri tome je Purwanto, pošto se radi o analizi miksa za veoma dugačak period, uzeo u obzir dodatne parametre koji utiču na dugoročni razvoj elektroenergetskog sistema, kao što je povećanje potrošnje električne energije, uticaj ukupne instalisane snage na ukupne investicije u datoj godini, kao i vrijeme potrebno za prihvatanje novih tehnologija za korištenje obnovljivih izvora (ovi parametri se neće detaljnije analizirati jer predmet ovog rada nije dugoročno planiranje energetskog miksa). Pored toga, Purwanto je uzeo u obzir i neke specifične karakteristike elektroenergetskog sistema u Indoneziji, a to je da se 47% električne energije proizvodi iz nafte i gasa. S obzirom na to da je Indonezija izvoznik nafte i gasa, Purwanto je pokazao da će biti potrebno obustaviti izvoz fosilnih goriva da bi 2050. godine, bez uvoza, mogli zadovoljiti svoje potrebe za električnom energijom, s tim da će se nafta i gas koristiti i za druge potrebe (industrija, transport). Kao optimalno rješenje u okviru opisanog scenarija pokazala se kombinacija w_1 i w_2 (0,75 i 0,25), koja, u odnosu na odabir miksa koji se dobije kada je cilj najniža cijena električne energije, smanjuje emisiju CO₂ za 27% a da pritom poveća cijenu za samo 2%.

Wouters et al. [78] su 2015. prezentovali rezultate optimizacije zadovoljenja energetske potreba malog, fiktivnog naselja u južnoj Australiji pomoću mikrosistema proizvodnje energije raspoređenih u samom naselju, gdje su kuće međusobno povezane u mikromreže pa mogu razmjenjivati energiju. Kuće su povezane i na električnu distributivnu mrežu pa višak električne energije mogu predati mreži, a, u slučaju potrebe, mogu i preuzeti električnu energiju iz mreže. Razmatrane energetske potrebe obuhvataju potrebe za grijanjem, hlađenjem i električnom energijom. Mogući energetske sistemi su fotonaponski paneli, vjetroturbine, kogenerativne jedinice za proizvodnju električne energije snage 1,7–2,3kW, baterije, toplovođi, apsorpcioni i kompresioni sistemi klimatizacije i gasni kondenzacioni

kotlovi. Cilj optimizacije je minimizacija godišnjih troškova za energiju a da se pri tome zadovolje energetske potrebe naselja. Razni scenariji su poređeni sa tipičnim energetskim sistemom jedne kuće, a to je da se snabdijevanje električnom energije vrši isključivo preko mreže, da se kuća grije na gas i da ima instalisan klima-uređaj.

Krivu dnevne potrošnje električne energije osigurala je lokalna elektrodistribucija, a krive potreba za grijanjem i hlađenjem su izračunate na osnovu stepen-dana i prikupljenih mjerenja. Svakoj je kući dodijeljena drugačija potrošnja energije, kao i udaljenost između kuća. Solarna iradijacija i brzina vjetra na visini od 15m preuzeta je iz literature. Tehničke karakteristike i troškovi investicije i održavanja mikrosistema za proizvodnju energije također su preuzeti iz literature.

Optimalan slučaj smanjuje godišnje troškove za energiju za oko 14% i pri tome svaka kuća ima gasni kondenzacioni kotao, fotonaponski sistem i kompresioni klimatizacioni uređaj. Jedna kuća ima kogenerativnu jedinicu i toplovodom snabdijeva jednu kuću. Optimizacija je pokazala da se ne isplati apsorbicno hlađenje, vjetroturbine niti baterije. Povećanjem broja kuća na 10 i 20, analiza je dala slične rezultate.

U ovom radu se na ograničenom prostoru (naselju) analizira instalisanje novih sistema proizvodnje energije, od kojih su neki bazirani na obnovljivim izvorima, sa mogućnošću razmjene energije, a da se pri tome ostvare najniži troškovi za energiju. Iz toga se vidi da metoda linearnog programiranja omogućava fleksibilnost za razne vrste analiza, uključujući jednu ovako komplikovanu analizu sa puno nepoznatih (23.553 nepoznatih za slučaj sa 5 kuća).

Pregledom literature nije nađen niti jedan rad u kome je optimizacija korištenja drvene biomase izvršena kroz maksimizaciju ekonomske koristi primjene različitih kogenerativnih tehnologija u određenoj industriji, što predstavlja originalnost ovoga rada.

1.8. Drvna biomasa

Kao i kod svakog drugog goriva, najvažnije osobine drvene biomase su:

- hemijski sastav,
- toplotna moć,
- temperatura samozapaljenja,
- temperatura sagorijevanja,
- fizička svojstva koja utiču na toplotnu moć (gustina, vlažnost, zdravost drveta itd.).

U sljedećoj tabeli date su orijentacione stope konverzije prostornih kubnih metara (prm), nasipnih kubnih metara (nas.m³) i punih kubnih metara (m³) za najčešće vrste drvene biomase.

Tabela 1.1. Stope konverzije drvene biomase [77]

Vrste	Trupci m ³	Cjepanice od 1 metra	Izrezane cjepanice		Drvena sječka	
		prostorni m ³	složeni	nasipni	fino (G30)	srednje (G50)
			prostorni m ³	nasipni m ³	nasipni m ³	
1 m ³ trupaca	1	1,4	1,2	2,0	2,5	3,0
1 prostorni m ³ cjepanica od 1 metra	0,7	1	0,8	1,4	(1,75)	(2,1)
1 prostorni m ³ izrezanih cjepanica	0,85	1,2	1	1,7		
1 nasipni m ³ izrezanih cjepanica	0,5	0,7	0,6	1		
1 nasipni m ³ fine drvene sječke	0,4	(0,55)			1	1,2
1 nasipni m ³ srednje drvene sječke (G50)	0,33	(0,5)			0,8	1

Napomena: 1 tona drvene sječke G30 s M35% odgovara približno 4 nasipna m³ drvene sječke smreke i 3 nasipna m³ drvene sječke bukve.



Vlažnost drvene biomase određuje se kao udio mase vode u cjelokupnoj masi vlažne drvene biomase:

$$W = \frac{m_v}{m} = \frac{m_v}{m_s + m_v}, \quad 1.3.$$

gdje je:

- W – vlažnost [-]
- m – masa vlažne biomase [kg]
- m_v – masa vode (vlage) u biomasi [kg]
- m_s – masa suhe biomase [kg]

Često se u pojedinim slučajevima vlažnost iskazuje kao odnos vlažne i suhe mase i naziva se *mokrim udjelom*. Veza između vlažnosti i mokrog udjela je:

$$U = \frac{m_v}{m_s} = \frac{W}{1 - W}, \quad 1.4.$$

pri čemu je U mokri udio.

Vrlo često se veličine W i U iskazuju i u procentima. U tabeli 1.2. data je zavisnost mokrih udjela i vlažnosti u procentima.

Tabela 1.2. Zavisnost mokrog udjela i vlažnosti

Vlažnost, W	%	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Mokri udio, U	%	5,3	11,1	17,6	25,0	33,3	42,9	53,8	66,7	81,8	100	122	150

S obzirom na vlažnost, drvena se biomasa može podijeliti na sljedeće grupe:

Sirovo drvo:	$W \geq 40\%$
Djelimično prosušeno drvo:	$W = 20-40\%$
Prosušeno drvo:	$W = 8-22\%$
Potpuno suho drvo:	$W = 0\%$

Kao što se može vidjeti iz prethodnih podataka, vlažnost drvene biomase može biti veoma različita, a ako se tome doda da i toplotna moć ove biomase veoma zavisi od vlažnosti, onda je to veoma važan faktor, koji se mora pažljivo analizirati pri izboru goriva, ali i pri provjerama tehničkih karakteristika ložišta ili pri ekonomskoj analizi primjene raspoloživoga goriva. U nedostatku tačne vrijednosti toplotne moći za određene vlažnosti drvene biomase, mogu se koristiti sljedeće empirijske formule:

$$H_d = 18.282 \cdot (1 - W) - 2.5 \cdot W \quad \left[\frac{MJ}{kg} \right] \quad 1.5.$$

$$H_g = H_d + 1,35 + 2,5 \cdot W \quad \left[\frac{MJ}{kg} \right],$$

gdje je H_d donja a H_g gornja toplotna moć.

Elementarni sastav suhe drvene mase gotovo da i ne zavisi od vrste drveta. Prosječni elementarni sastav drvene mase (maseni udjeli) je: 49,6% ugljenik (C), 6,3% vodik (H_2), 44,1% kiseonik (O_2), sa zanemarljivim udjelom azota, alkalnih metala i fosfora.

U tabeli 1.3. predložen je osnovni hemijski sastav različitih tipova drvene biomase i nekih ugljeva. U tabeli 1.4. date su toplotne vrijednosti različite drvene biomase za dva osnovna slučaja: potpuno suho drvo i drvo sa 15% vlažnosti. U istoj tabeli prikazane su i približne gustine drvene biomase, kao i toplotne moći po kubnom metru i prostornom kubnom metru.

Tabela 1.3. Osnovni hemijski sastav drveta i nekih ugljeva

Vrsta goriva	Maseni udjeli [%]		
	C (ugljenik)	H_2 (vodik)	O_2 (kiseonik)
Drvo	50	6	44
Treset	60	6	34
Lignit	63	5	32
Mrki ugalj	66	5	29
Masni i kameni ugalj	80	5	15
Posni kameni ugalj	85	5	10
Antracit	90	2	5

Tabela 1.4. Toplotne moći drvne biomase

Vrsta drvne biomase	Gustina [kg/m ³]	Toplotna moć pri W = 0% [MJ/kg]	Toplotna moć pri W = 15%		
			[MJ/kg]	[GJ/m ³]	[GJ/prm]*
Grab	830	17,01	13,31	11,05	7,73
Bukva	720	18,82	14,84	10,68	7,48
Hrast	690	18,38	14,44	9,96	6,97
Jasen	690	17,81	13,98	9,65	6,75
Brijest	680	-	14,70	10,00	7,00
Javor	630	17,51	13,73	8,65	6,05
Bagrem	770	18,95	14,97	11,53	8,07
Breza	650	19,49	15,43	10,03	7,02
Kesten	570	-	13,29	7,58	5,30
Bijela vrba	560	17,85	13,65	7,64	5,35
Siva vrba	560	17,54	13,73	7,69	5,38
Crna joha	550	18,07	14,21	7,82	5,47
Bijela joha	550	17,26	13,52	7,44	5,21
Crna topola	450	17,26	13,15	5,92	4,14
Smreka	470	19,66	15,60	7,33	5,13
Jela	450	19,49	15,45	6,95	4,87
Obični bor	520	21,21	16,96	8,82	6,17
Ariš	590	16,98	13,86	8,18	5,72
Diglazija	530	19,18	15,20	8,06	5,64
Smreka	400	20,41	16,24	6,50	4,55

* Pri preračunavanju zapreminskih u prostorne metre uzet je faktor 0,7.

Da bi se u potpunosti stekla slika o drvnj biomasi kao gorivu, treba je uporediti i sa drugim gorivima. Takvo poređenje dato je u tabeli 1.5. Toplotna moć drvne biomase je bliska slami, tresetu i mrkom uglju, dok je znatno manja od toplotne moći lož-ulja i prirodnog gasa.

Tabela 1.5. Poređenje drvne biomase sa nekim drugim gorivima

Gorivo [kg]	Vlažnost	Donja toplotna moć		Odnos
	%	MJ/kg	kWh/kg	Drvo = 1
Lož-ulje	-	42	11,67	2,78
Kameni ugalj	5	29	8,06	1,92
Koks	5	29	8,06	1,92
Mrki ugalj	25	13,6	3,78	0,90
Prirodni gas	-	50,2	13,94	3,32
Treset	32	13,3	3,69	0,88
Slama	15	14	3,89	0,93
Drvo	15	15,1	4,19	1

Iskustveni podaci govore da se 1.000 litara lož-ulja može zamijeniti sa oko 5–6 prostornih metara (prm) tvrdog drveta ili 7–8 prm mekog drveta. Ako je u pitanju sječka, onda se može reći da je potrebno čak 10 do 15 m³ nasipne zapremine da bi se zamijenilo 1.000 l lož-ulja.

1.9. Cilj istraživanja

Cilj ovog rada je razviti model optimizacije odabranih instrumenata energetske politike korištenja drvne biomase u svrhu razvoja ekonomije i društva. Optimizacijom se želi ostvariti maksimalan odnos ekonomske koristi u odnosu na uloženo. Modelom će se izračunati vrijednosti odabranih instrumenata energetske politike kojima se za definisan iznos ukupnih raspoloživih sredstva za podsticaj maksimizira ekonomska korist.

Univerzalnost modela se ogleda u sljedećem:

- Model obuhvata parametre kojima se uzimaju u obzir specifičnosti društvenog, ekonomskog i industrijskog nivoa razvoja regije.
- Model se može primijeniti na bilo koju regiju za koju su ulazni parametri poznati ili se mogu procijeniti.
- Metodologija razvoja modela može se primijeniti za druge sirovine, tehnologije i industrije koje tu sirovinu koriste.

Hipoteza:

Za određenu regiju sa nadležnošću nad energetsom politikom može se odrediti optimalna kombinacija odabranih instrumenata energetske politike (garantovane otkupne cijene za električnu energiju i fiksne premije za toplotnu energiju), koja će, za iznos troškova instrumenata energetske politike prihvatljiv potrošačima i iznos investicija u energetska postrojenja prihvatljiv drvoprerađivačkoj industriji, maksimizirati ekonomsku korist korištenja drvne biomase. Ekonomska korist je ukupna nova tržišna vrijednost stvorena kroz povećano korištenje drvne biomase, proizvodnju električne i toplotne energije i otvaranje novih radnih mjesta.

2. Opće stanje u energetici u Bosni i Hercegovini

U ovom poglavlju će se prezentovati i analizirati potrošnja primarne i finalne energije i energetske indikatori u BiH. BiH se u proizvodnji električne energije u potpunosti oslanja na domaće resurse (ugalj i hidroenergija). I toplotna energija se najvećim dijelom proizvodi pomoću domaćih resursa, osim pojedinačnih slučajeva gdje se koristi mazut ili lož-ulje i grada Sarajeva, u kome se značajan broj javnih, stambenih i komercijalnih objekata zagrijava pomoću uvoznog prirodnog gasa. U sektoru transporta, BiH je potpuno zavisna od uvoza sirove nafte, ali, zahvaljujući rafineriji nafte u Brodu, značajan dio naftnih derivata se proizvodi u BiH.

Posebna će se pažnja posvetiti analizi elektroenergetskog sektora iz sljedećih razloga:

- BiH je neto izvoznik električne energije, ali je taj status ugrožen zbog:
 - starosti proizvodnih kapaciteta, posebno termoelektrana (prosječna starost 38 godina),
 - nepovoljnog, nesigurnog i netransparentnog okruženja za strane investitore,
 - nemogućnosti elektroprivreda da osiguraju investiciona sredstva,
 - očekivanog srednjoročnog povećanja potrošnje električne energije.
- Efikasno i profitabilno korištenje biomase tokom cijele godine uključuje i proizvodnju električne energije u kogenerativnim i trigenerativnim postrojenjima.
- Razvijena elektroenergetska mreža omogućava priključenje manjih, distribuiranih sistema proizvodnje električne energije pogodnih za korištenje obnovljivih izvora energije, uključujući i biomasu.
- Distribuirana proizvodnja električne energije povećava stepen efikasnosti korištenja primarne energije zbog blizine potrošačima, povećava sigurnost snabdijevanja, stimuliše korištenje obnovljivih izvora energije i štiti okoliš.
- U entitetskim akcionim planovima za period 2014–2020. data su količinska ograničenja (kvote) za električnu energiju iz obnovljivih izvora (po vrsti i snazi, uključujući i biomasu) koja će se podsticati, odnosno otkupljivati po podsticajnoj cijeni (engl. feed-in-tariff). Međutim, do sada u BiH ne postoji nijedna elektrana na biomasu koja plasira električnu energiju u mrežu i koja je u sistemu podsticaja.
- U EU se povećava potrošnja električne energije, dok potrošnja primarne energije stagnira.

2.1. Energetski bilans

U BiH se podaci o energetske proizvodnji i potrošnji prikupljaju na nivou entiteta i zbirno, na nivou države. Oba entiteta pripremaju energetske bilanse po približno istoj metodologiji, usaglašenoj sa metodologijama koje koristi Međunarodna agencija za energiju (International Energy Agency – IEA) i Evropski ured za statistiku – Eurostat. Tabela 2.1. prikazuje energetski bilans za Bosnu i Hercegovinu za 2012. godinu preuzet od IEA [43].

Energetski bilans BiH prikazuje godišnji tok svih vidova energije u tri osnovna sistema:

Sistem primarne energije, u okviru kojeg se prikazuje struktura ukupne energije u BiH koja se koristi za energetske transformacije i direktnu potrošnju. Primarna energija se prikazuje kao suma domaće proizvodnje primarne energije, na bazi korištenja vlastitih resursa (ugalj i obnovljivi izvori energije), neto zaliha i neto uvoza/izvoza energije. Nuklearna energija se ne koristi u BiH, a od obnovljivih izvora energije korištenje solarne i geotermalne energije veoma je malo tako da oni nisu ni prikazani.

Sistem transformacije primarne energije, u kojem se prikazuju energenti potrebni za transformacije u energetske postrojenjima poput elektrana, termoelektranatoplana, toplana i rafinerija nafte, kao i energija dobijena u procesima transformacija, uključujući vlastitu potrošnju, gubitke u transformaciji, prenosu i distribuciji energije do krajnjih potrošača.

Sistem finalne energije, u kojem je prikazana potrošnja energije u neenergetske svrhe (korištenje energenata kao polazne sirovine u tehnološkim procesima industrija) i u energetske svrhe. Potrošnja finalne energije u energetske svrhe (fosilna goriva, električna i toplotna energija, obnovljivi izvori energije) iskazuje se na dva načina, a s obzirom na to da ne postoje pouzdani podaci o strukturi potrošnje svih vidova finalne energije, navedeni podaci predstavljaju procjenu. Prvi način obuhvata strukturu potrošnje energije po sektorima potrošnje: industrija, saobraćaj i ostalo – domaćinstva, javne i komercijalne djelatnosti, poljoprivreda i šumarstvo i drugo, a drugi način obuhvata strukturu potrošnje energije prema vrstama energenata i energije: čvrsta goriva, tečna goriva, gasovita goriva, električna energija, toplotna energija i obnovljivi izvori energije.

U okviru energetske bilansa iznosi svih energenata/energije iskazuju se u različitim fizičkim jedinicama zavisno od vrste energenta: čvrsta i tečna goriva u milionima tona (Mt), gasovita goriva u milionima standardnih kubnih metara (MSm³), električna energija u gigavatsatima (GWh), toplotna energija u teradžulima (TJ), a također se koristi i jedinica i tona ekvivalentne nafte (toe), pri čemu jedna tona ekvivalentne nafte iznosi 41,868 GJ, odnosno 11,63 MWh. Za sve energente korištene su donje toplotne vrijednosti energenata. U niže datom tabelarnom prikazu sve su vrijednosti pretvorene u hiljade tona ekvivalentne nafte (ktoe).

Podaci o potrošnji finalne energije po sektorima prikazani su na slici 2.1. Od tri glavna sektora – transporta, domaćinstva i industrije, najveći udio potrošnje u ukupnoj potrošnji finalne energije u BiH ima transport, zatim domaćinstva i na kraju industrija. I u EU 28 redoslijed najveće potrošnje po sektorima je isti kao u BiH, a udio potrošnje u domaćinstvima i transportu ne razlikuje se bitno od situacije u BiH. Međutim, udio industrije u ukupnoj potrošnji u EU 28 je značajno veći, što ukazuje na to da je u BiH industrija nedovoljno razvijena.

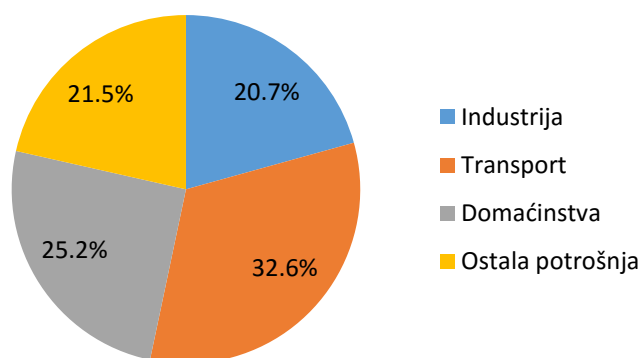
Tabela 2.1. Energetski bilans BiH za 2012. godinu [43]

	Ugalj	Sirova nafta	Naftni derivati	Prirodni gas	Hidro-energija	Biogoriva i otpad	Elektr. energija	Toplotna energija	Ukupno
Proizvodnja	3973	0	0	0	362	180	0	0	4515
Uvoz	780	1027	733	209	0	0	385	0	3134
Izvoz	-330	0	-206	0	0	0	-389	0	-925
Međunarodna pomorska skladišta*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Međunarodna skladišta aviotransporta**	0	0	-5	0	0	0	0	0	-5
Promjene u skladištima***	-50	0	0	0	0	0	0	0	-50
Ukupna potrošnja primarne energije	4373	1027	522	209	362	180	-4	0	6669
Transfer	0	115	-111	0	0	0	0	0	4
Statistička greška	-17	0	0	0	0	0	0	0	-17
Elektrane	-3365	0	-	-15	-362	0	1193	0	-2549
Kogeneraciona postrojenja	-80	0	0	0	0	0	18	36	-26
Toplane	-103	0	-31	-43	0	-4	0	109	-72
Proizvodnja gasa	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rafinerije nafte	0	-1142	1088	0	0	0	0	0	-54
Prerada uglja	-303	0	0	0	0	0	0	0	-303
Postrojenja za utečnjavanje	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Druge transformacije	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vlastita industrijska potrošnja	-128	0	-32	0	0	0	-124	-1	-285
Gubici	-4	0	0	-1	0	0	-129	-14	-148
Ukupna finalna potrošnja	373	0	1436	150	0	176	954	130	3219
Industrija	201	0	0	87	0	0	377	1	666
Transport	0	0	1041	0	0	0	9	0	1050
Ostalo	172	0	214	63	0	176	568	130	1323
<i>Domaćinstva</i>	100	0	0	39	0	176	398	99	812
<i>Komercijalni i javni sektor</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Poljoprivreda i šumarstvo</i>	0	0	0	0	0	0	8	0	8
<i>Ribarstvo</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nespecificirano</i>	72	0	214	24	0	0	165	31	506
Neenergetska potrošnja	0	0	175	0	0	0	0	0	175
<i>Od toga za petrohem. ili hem. industriju</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0

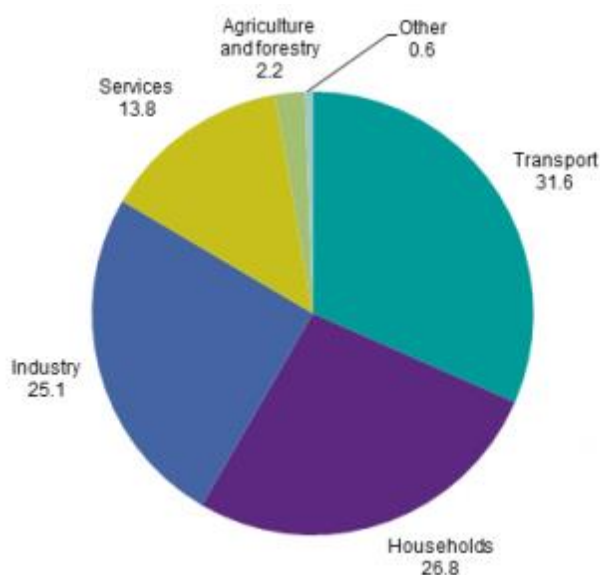
* Međunarodna pomorska skladišta su količine mazuta isporučene brodovima svih zastava koji se bave međunarodnom plovidbom.

** Međunarodna skladišta aviotransporta su količine avio goriva isporučene avionima u međunarodnom saobraćaju. Gorivo koje koriste aviokompanije za svoja drumska vozila ne ulazi u ove količine.

*** Promjene u skladištima su razlike u količinama zaliha u prvom i posljednjem danu u godini. Višak u skladištu prikazan je kao pozitivan broj, a manjak kao negativan.



Slika 2.1. Potrošnja finalne energije u BiH po sektorima za 2012. godinu



Slika 2.2. Potrošnja finalne energije u EU 28 po sektorima za 2013. godinu (Eurostat)

2.2. Analiza energetske indikatore

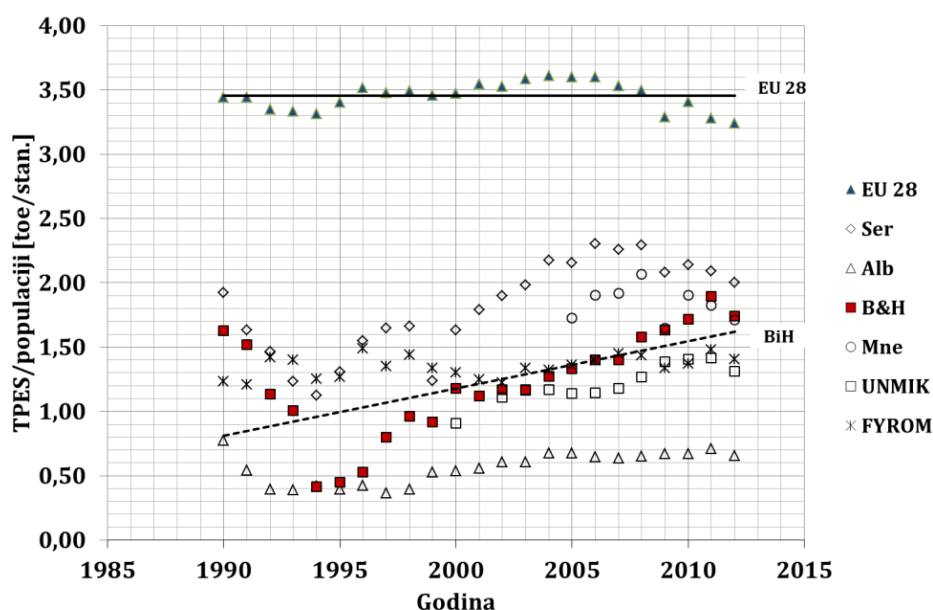
Ovom su analizom obuhvaćeni neki od najvažnijih indikatora pomoću kojih se može procijeniti stanje u oblasti energetike, a djelimično i u oblastima zaštite okoliša i ekonomije. Kako je strateški cilj BiH ostvarivanje članstva u EU, onda je najlogičnije i najinformativnije vrijednosti energetskih indikatora u BiH porediti sa vrijednostima energetskih indikatora u EU. Pored toga, korisno je poređenje obaviti i sa zemljama u regionu zbog sličnosti u najčešće korištenim energetskim tehnologijama i zbog sličnog nivoa industrijskog i ekonomskog razvoja.

U ovoj će analizi biti korišteni sljedeći indikatori:

1. Ukupna potrošnja primarne energije (engl. Total primary energy supply – TPES) po stanovniku [ktoe/stan.],
2. Potrošnja električne energije po stanovniku [MWh/stan.],
3. Emisija CO₂ po stanovniku [tCO₂/stan.],
4. Bruto domaći proizvod po stanovniku [hiljade 2005 USD/stan.],

5. Energetski intenzitet ili odnos ukupne potrošnje primarne energije i bruto domaćeg proizvoda [toe/hiljade 2005 USD].

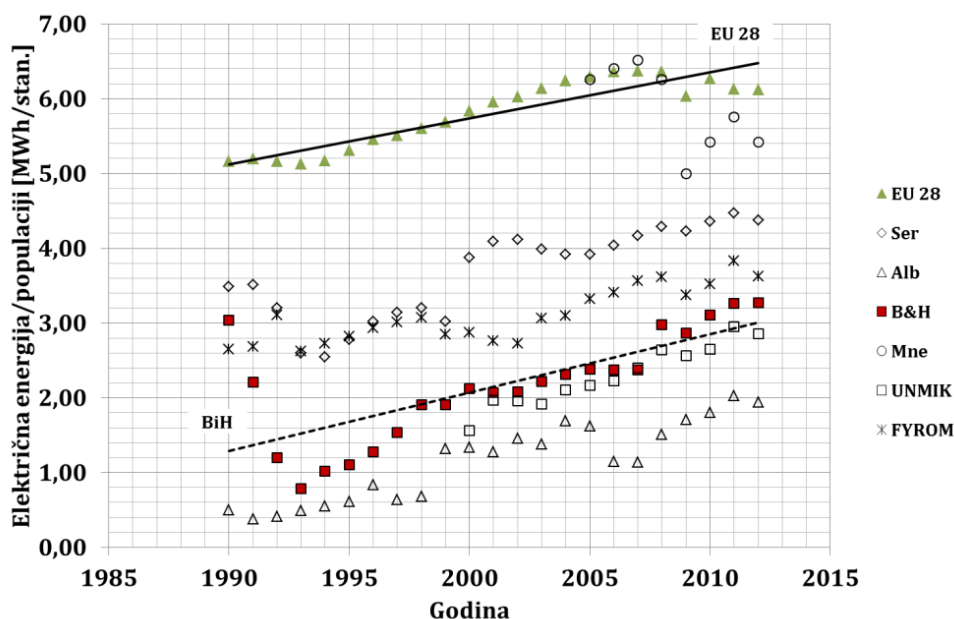
Slika 2.3. prikazuje ukupnu potrošnju primarne energije od 1990. do 2012. godine u BiH, EU 28, Srbiji (Ser), Albaniji (Alb), Crnoj Gori (Mne), Kosovu/UNMIK i Makedoniji (FYROM). Za potrošnju u EU 28 i BiH prikazane su i linije trenda/tendencije potrošnje. Vidimo da linija trenda potrošnje u EU 28 pokazuje gotovo konstantnu potrošnju primarne energije, dok u BiH postoji trend kontinuiranog povećanja potrošnje primarne energije. U zemljama EU od 2005. do 2012. čak postoji trend smanjenja potrošnje primarne energije. Zbog ekonomske krize koja se desila u EU, 2009. dolazi do značajnog smanjenja potrošnje, ali, i nakon oporavka od krize, potrošnja u EU 28 2012. je manja nego 2009. godine usljed primjene mjera energetske efikasnosti. I BiH je 2009. i 2010. snažno pogodila ekonomska kriza, ali potrošnja energije nastavlja rasti, što ukazuje na to da u BiH ne postoji jaka zavisnost između potrošnje i bruto domaćeg proizvoda.



Slika 2.3. Ukupna potrošnja primarne energije (TPES) po stanovniku od 1990. do 2012. godine

Slika 2.4. prikazuje ukupnu potrošnju električne energije po stanovniku u istom periodu. Može se zaključiti da potrošnja električne energije u BiH kontinuirano raste i da je stopa rasta vrlo slična onoj u EU 28. Međutim, vrijednost ovog indikatora 2012. godine u BiH je 3,27 MWh/stan., dok je u EU 28 vrijednost tog indikatora 6,1 MWh/stan., što znači da stanovnici EU 28 troše skoro dvostruko više električne energije nego stanovnici BiH.

I u drugim zemljama regiona postoji sličan trend rasta i značajno manja potrošnja električne energije po stanovniku u odnosu na EU 28. Treba zapaziti vrlo visoku potrošnju električne energije po stanovniku u Crnoj Gori. To se može objasniti velikom potrošnjom električne energije u fabrici aluminija u zemlji sa vrlo malim brojem stanovnika.



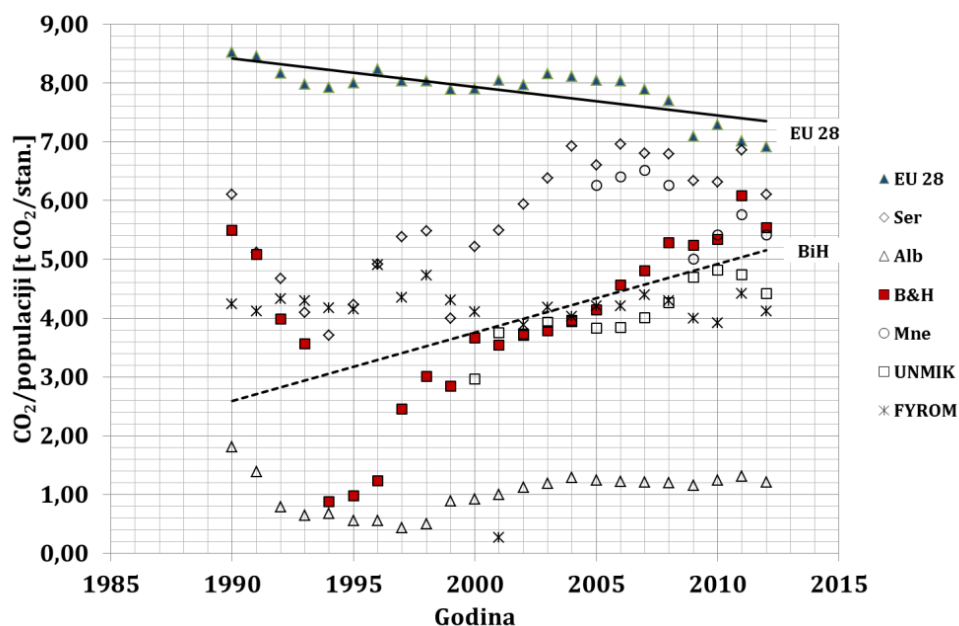
Slika 2.4. Potrošnja električne energije po stanovniku od 1990. do 2012. godine

Slika 2.5. prikazuje ukupnu emisiju CO₂ po stanovniku. Zapaža se sljedeće:

- Izražen je rast emisije CO₂ u BiH i pad ove emisije u EU 28.
- Iako je emisija CO₂ po stanovniku u BiH manja nego u EU 28, rast ove emisije u BiH nije posljedica ekonomskog rasta, nego nedovoljne energetske efikasnosti i nedovoljnog korištenja obnovljivih izvora energije.

Dok je potrošnja primarne energije bazirana na mjerenjima, emisija CO₂ je računski vrijednost. Vrijednosti emisija CO₂ dobivene su tako što se potrošnje primarne energije, po vrsti energenta, množe s odgovarajućim emisijem koeficijentima (Tabela 2.2.), pa se nakon toga sabiraju. Emisioni faktor električne energije zavisi od miksa energenata korištenih u proizvodnji električne energije i stepena efikasnosti elektrana na fosilna goriva. U BiH ne postoji općeprihvaćeni zvanični podatak za emisioni faktor električne energije pa se u raznim zvaničnim izvještajima i studijama mogu naći različite vrijednosti. U ovom je radu emisioni faktor električne energije izračunat na osnovu podataka o proizvodnji električne energije u BiH (Tabela 2.5.), prosječnog stepena efikasnosti termoelektrana u BiH od 30% i poznatog emisijem faktora za uglj. Vrijednosti emisijem faktora električne energije u BiH i emisijem faktora za druge energente dati su u sljedećoj tabeli (Tabela 2.2.).

Za BiH je u 2012. godini ukupna emisija CO₂ iznosila 21,22 MtCO₂ [43]. Može se reći da je trend rasta emisija CO₂ u BiH rezultat trenda rasta potrošnje primarne energije. Međutim, u EU 28 potrošnja primarne energije stagnira, a emisija CO₂ opada. Razlog za to je da se u BiH ništa značajno nije promijenilo u udjelima i načinu na koji se koristi primarna energija u cijelom posmatranom periodu, dok je u EU 28 primjetno povećanje korištenja obnovljivih izvora energije, povećanje energetske efikasnosti, smanjivanje upotrebe uglja u energetske svrhe i povećanje upotrebe prirodnog gasa.



Slika 2.5. Emisija CO₂ od 1990. do 2012. godine

Tabela 2.2. Emisioni faktori za CO₂ [15]

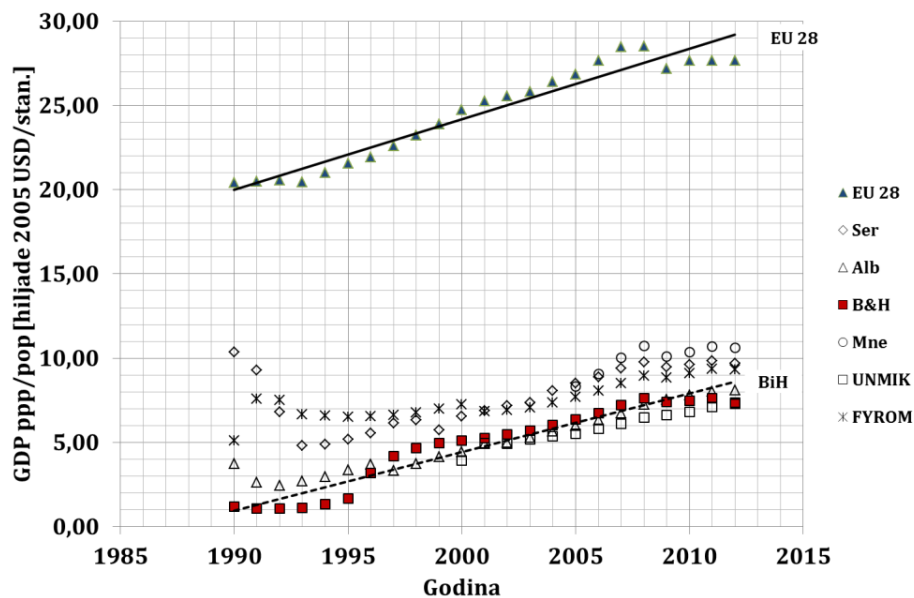
Vrsta energije ili energenta	kg CO ₂ /kWh
Električna energija u BiH	0,71
Električna energija iz TE na ugalj u BiH	0,99
Prirodni gas	0,19
Ugalj	0,3
Koks	0,373
Bitumen	0,34
Dizel	0,25
Mazut	0,26
Benzin	0,24
Tečni naftni gas	0,214
Kerozin	0,24
Etan	0,2
Nafta	0,26
Rafinerijski gas	0,2

Ključni ekonomski indikator, bruto domaći proizvod (BDP), na engleskom Gross Domestic Product (GDP), označava ukupnu vrijednost finalnih roba i usluga proizvedenih u zemlji tokom jedne godine, izraženo u novčanim jedinicama. U ovoj je analizi umjesto nominalnog BDP-a korištena realna kupovna moć lokalnih valuta u posmatranoj zemlji (Purchasing Power Parity – PPP) preračunata na vrijednost USD iz 2005. godine (hiljade 2005 USD/stan.). Na taj je način izračunata realna vrijednost BDP-a po stanovniku u cijelom analiziranom periodu.

Slika 2.6. prikazuje promjenu bruto domaćeg proizvoda u analiziranom vremenskom intervalu. Sa slike se može zaključiti sljedeće:

- Ekonomske aktivnosti po stanovniku u BiH vrlo su niske u poređenju sa zemljama EU 28.
- Trend rasta BDP-a po stanovniku manji je nego u EU 28 uprkos rastu potrošnje primarne energije.

Iz toga se vidi da je povećanje potrošnje primarne energije i električne energije i po stanovniku rezultat povećanja neproizvodnih aktivnosti, a ne industrijskog sektora u BiH.



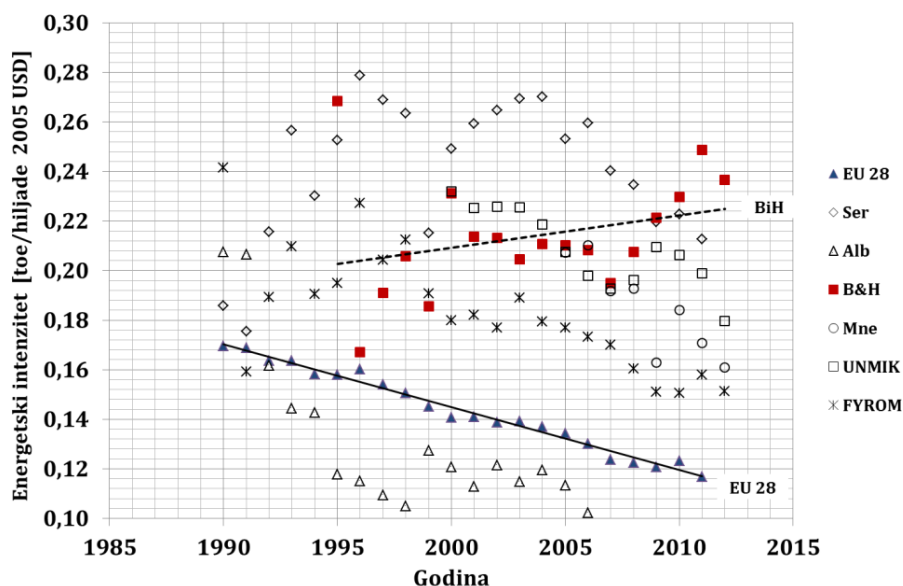
Slika 2.6. GDP (ppp) po stanovniku od 1990. do 2012. godine

Energetski intenzitet najčešće je korišten indikator koji povezuje energetske potrošnje i ekonomsku aktivnost. Energetski intenzitet je indikator koji pokazuje koja je količina energije potrebna da se proizvede jedinica ekonomske aktivnosti u zemlji, odnosno jedinica BDP-a. Ova vrijednost varira od zemlje do zemlje, u zavisnosti od njihovog nivoa industrijalizacije, odnosa vrijednosti usluga i proizvodnje u njihovim ekonomijama i stepena primjene mjera za povećanje energetske efikasnosti. Visoka vrijednost ovog indikatora ukazuje na nizak stepen efikasnosti konverzije energije u BDP, tako da je u zemljama u razvoju energetski intenzitet puno veći nego u razvijenim zemljama. Iako je najčešće korišten indikator koji povezuje energetske potrošnje i ekonomsku aktivnost, energetski intenzitet ima značajnih mana. Jedna od njih je činjenica da potrošnja energije u domaćinstvima, koja je vrlo velika, ulazi u ukupnu potrošnju energije u proračunu ovog indikatora iako ta potrošnja ne povećava BDP. Pored toga, BDP obuhvata cijelu ekonomiju i sve sektore (industrija, zgradarstvo, transport i druge) u kojima je način i rezultat potrošnje energije potpuno drugačiji. Stoga je bolje posmatrati promjenu ovog indikatora u vremenu u istoj zemlji i posebno u istom sektoru da bi se mogli izvući korisni zaključci za kreiranje ekonomskih i energetskih politika koje treba da imaju za cilj smanjenje energetskog intenziteta.

Slika 2.7. prikazuje energetski intenzitet u BiH, EU 28 i zemljama iz okruženja. Pad vrijednosti energetskog intenziteta u zemljama EU 28 vrlo je evidentan. To ukazuje na činjenicu da se sve manje energije troši za stvaranje nove novčane vrijednosti, što nije postignuto samo povećanjem energetske efikasnosti, nego i promjenom strukture ekonomije. U zemljama zapadnog Balkana vrijednosti energetskog intenziteta vrlo su visoke, a rasipanje vrijednosti oko trend-linije vrlo je izraženo. To je

znak da ne postoji zavisnost između energetske potrošnje i bruto domaćeg proizvoda. U slučaju BiH postoji trend rasta ove vrijednosti, odnosno porast potrošnje primarne energije po jediničnoj novčanoj vrijednosti bruto nacionalnog dohotka.

Zbog izrazitog rasipanja vrijednosti energetske intenziteta oko trend-linije u zemljama regiona, može se zaključiti da u tim zemljama nije dovoljno analizirati samo ovaj indikator, bez poznavanja opće energetske i ekonomske situacije.



Slika 2.7. Energetski intenzitet od 1990. do 2012. godine

Tabela 2.3. daje sumarni pregled karakteristika ekonomskih i energetskih sistema u BiH i EU 28.

Tabela 2.3. Osnovne energetske i ekonomske karakteristike u BiH i EU 28

Bosna i Hercegovina	EU 28
Stagnacija broja stanovnika	Blagi porast broja stanovnika
Vrlo usporen ekonomski rast	Stabilan ekonomski razvoj
Značajan porast potrošnje primarne energije	Stagnacija potrošnje primarne energije
Porast potrošnje električne energije po stanovniku	Porast potrošnje električne energije po stanovniku
Značajan rast emisije CO ₂ po stanovniku	Značajan pad emisije CO ₂ po stanovniku
Usporena primjena i razvoj tehnologija obnovljivih izvora energije i povećanja energetske efikasnosti	Stalni razvoj tehnologija energetske efikasnosti i obnovljivih izvora energije
GDP (ppp)/stan. = 7.363 USD (2005) u 2012.	GDP (ppp)/stan. = 27.900 USD (2005) u 2012.

2.3. Elektroenergetski sektor

Tabela 2.4. daje pregled instaliranih kapaciteta elektrana u BiH u 2014. godini. Ukupan kapacitet iznosi 3.988,58 MW, od čega u velikim hidroelektranama² 2.040,60 MW, srednjim hidroelektranama 8 MW

² Male HE do 1 MW, srednje HE od 1 do 10 MW i velike preko 10 MW (DERK).

(Trebinje II), a u termoelektranama 1.765 MW. Ukupan instalirani kapacitet malih hidro-, vjetro- i solarnih elektrana u BiH iznosi 83,75 MW, dok je 91,23 MW instalirano u industrijskim elektranama.

Tabela 2.4. Kapaciteti velikih HE i TE u BiH u 2014. godini [38]

Hidroelektrane	Snaga agregata (MW)	Ukupna instalirana snaga (MW)	Termoelektrane	Instalirana snaga (MW)	Raspoloživa snaga (MW)
Trebinje I	2×54+1×63	171	TUZLA	715	635
Trebinje II	8	8	G3	100	85
Dubrovnik (BiH+Hr)	2×108	216	G4	200	182
Čapljina	2×210	420	G5	200	180
Rama	2×80	160	G6	215	188
Jablanica	6×30	180			
Grabovica	2×57	114	KAKANJ	450	398
Salakovac	3×70	210	G5	110	100
Mostar	3×24	72	G6	110	90
Mostarsko blato	2×30	60	G7	230	208
Peć-Mlini	2×15	30			
Jajce I	2×30	60	GACKO	300	276
Jajce II	3×10	30			
Bočac	2×55	110	UGLJEVIK	300	279
Višegrad	3×105	315			

U sljedećoj tabeli vidi se da se najveći dio električne energije BiH proizvodi u termoelektranama na ugalj, zatim slijede hidroelektrane i vrlo male količine iz industrijskih elektrana i elektrana na obnovljive izvore energije. Udio električne energije proizvedene u hidroelektranama varira iz godine u godinu, najviše u zavisnosti od hidroloških prilika, tako da je u 2010. godini iznosila 50%, a u 2011. godini je iznosila 31%. U periodu od 2010. do 2014. godine prosječan udio proizvodnje iz termoelektrana iznosio je 59,6%, iz hidroelektrana 38,9% i 1,4% iz industrijskih i elektrana na obnovljive izvore energije. Iz toga se vidi da je proizvodnja električne u energije u BiH veoma centralizovana, naročito kad se uzme u obzir da u Republici Srpskoj postoje samo dvije termoelektrane (Gacko i Ugljevik), svaka samo sa po jednim blokom sa instalisanom snagom od 300 MWe (Tabela 2.4.). U elektroenergetskom sektoru, prosječni vijek bloka je 38 godina, a prosječan broj radnih sati do 31. decembra 2014. godine je iznosio oko 199.381 h. Iz toga razloga je sigurnost snabdijevanja u BiH, a naročito u RS-u, veoma loša, jer neplanirani ispad jednog bloka na duži period imao bi vrlo loše posljedice po ekonomiju BiH, a s obzirom na starost blokova mogućnost takvog događaja je velika.

Tabela 2.5. Struktura proizvodnje električne energije u BiH 2010–2014. [38]

Godina	Vrsta proizvodnog postrojenja	Proizvodnja električne energije (GWh)	Udio u proizvodnji	Ukupna proizvodnja električne energije (GWh)
2010.	Hidroelektrane	7.946,20	49,5%	16.068,41
	Termoelektrane	7.868,80	49,0%	
	Industrijske i OIE	253,41	1,6%	
2011.	Hidroelektrane	4.326,12	30,8%	14.049,93
	Termoelektrane	9.587,77	68,2%	
	Industrijske i OIE	136,04	1,0%	
2012.	Hidroelektrane	4.148,70	32,1%	12.934,53
	Termoelektrane	8.619,50	66,6%	
	Industrijske i OIE	166,33	1,3%	
2013.	Hidroelektrane	7.123,62	43,7%	16.302,55
	Termoelektrane	8.939,65	54,8%	
	Industrijske i OIE	239,28	1,5%	
2014.	Hidroelektrane	5.820,52	38,7%	15.029,84
	Termoelektrane	8.920,65	59,4%	
	Industrijske i OIE	288,67	1,9%	

Decentralizacija proizvodnje kroz veću upotrebu obnovljivih izvora energije i razvoj industrije sa industrijskim elektranama od izuzetne je važnosti za elektroenergetski sektor. Taj proces traje veoma dugo, ali, u dugoročnim planovima razvoja i sektora i zemlje, morao bi postojati plan smanjenja stepena centralizovanosti proizvodnje električne energije. Planovi razvoja sektora energetike postoje na nivou entiteta – *Strateški plan i program razvoja energetskog sektora Federacije BiH iz 2008. (SPP) [70]* i *Strategija razvoja energetike Republike Srpske do 2030. godine iz 2012. [69]* – ali u tim planovima dominiraju planovi izgradnje velikih termo- i hidroelektrana. Jasno je da su takvi objekti potrebni, u prvom redu da zamijene postojeće zastarjele kapacitete, ali je krajnji rezultat da će i 2030. godine, ako se i ispune ti planovi, proizvodnja u BiH biti centralizovana, jer će najveći udio u proizvodnji imati velika postrojenja. Ipak, ostvarenje tih planova predstavljalo bi značajan napredak, jer bi se izgradile nove, efikasnije termoelektrane i značajan broj vjetro- i hidroelektrana, koje bi smanjile stepen centralizovanosti proizvodnje električne energije.

2.3.1. Plan razvoja elektroenergetskog sektora u Federaciji Bosne i Hercegovine

U SPP-u [70] su navedeni planirani novi proizvodni kapaciteti u FBiH u periodu 2005–2027. god. (Tabela 2.6.). U tabeli su zeleno označene planirane vjetro- i hidroelektrane (VE i HE), a narandžasto planirane termoelektrane (TE). Sve planirane vjetro- i hidroelektrane, osim VE Ivan Sedlo – r. br. 16, trebale su se izgraditi do kraja 2015. SPP je pisan 2008. godine, sa vrlo optimističnim viđenjem razvoja sektora. **Nažalost, niti jedna od navedenih elektrana do danas (april 2016. godine) nije izgrađena.**

U tabeli se uopće ne navode male hidroelektrane (MHE) iako se u SPP-u navodi kako je njihov potencijal značajan i kako bi njihov razvoj trebao predstavljati prioritet prilikom definisanja sektorske politike i strategije za oblast OIE. Vjerovatno se MHE ne navode u tabeli jer je njihov planirani udio u ukupnoj proizvodnji električne energije zanemarljiv. Vrlo optimistična predviđanja i za izgradnju TE data su u

SPP-u. Do 2013. godine planirana je izgradnja 1.470 MW novih kapaciteta u TE. **Kao i u slučaju VE i HE, ništa od toga nije ostvareno.**

Tabela 2.6. Pregled planiranih proizvodnih kapaciteta u FBiH [70]

R. broj	Naziv objekta	Br. agregata snaga (MW)	Instalisana snaga (MW)	Godišnja proizvodnja (MWh)	Godina
1.	HE Mostarsko Blato	2x30	60	116000	2010
2.	VE Kamena	21x2	42	90300	2010
3.	VE Merdžan Glava	30x2	60	133500	2010
4.	VE Merdžan Glava	6x2	12	27670	2010
5.	VE Sv. Gora, Mali Grad, Poljica	24x2	48	114670	2010
6.	VE Velika Vljajna	16x2	32	89356	2009
7.	VE Mesihovina	22x2	44	128527	2009
8.	VE Livno (Borova Glava)	26x2	52	149617	2009
9.	VE Debelo Brdo	34x2	68	178704	2011
10.	VE Mokronoge	35x2	70	197400	2011
11.	VE Srdani	15x2	30	76512	2012
12.	VE Poklecani	20x2	40	115632	2012
13.	VE Planinica	14x2	28	64940	2012
14.	VE Crkvine	12x2	24	64210	2015
15.	VE Velja Međa	9x2	18	35630	2015
16.	VE Ivan Sedlo	10x2	20	38540	2016
17.	RHE Vrilo	1x52	52	92591	2011
18.	RHE Kabric	1x52	52	73442	2013
19.	HE Glavatičevo	3x9,5	28,5	108250	2011
20.	HE Bjelimici	2x50	100	219400	2012
21.	PHE Bjelimici	2x300	600	1029000	2013
22.	HE Ustikolina	3x22	66	255000	2012
23.	HE Vranduk	1x21	21	104000	2012
24.	HE Unac	2x36	72	250000	2012
25.	HE Han Skela	2x5,5	11	54000	2012
26.	HE Ugar Ušće	1x15	15	60000	2015
27.	HE Vrletna Kosa	2x12,5	25	65000	2015
28.	HE Vrhpolje (sa HE Čapljie)	1x80+1x12	92	189484	2015
29.	TE Tuzla, blok 7	1x370	370	2047000	2013
30.	TE Kakanj, blok 8	1x250	250	1260000	2013
31.	TE Bugojno 1	1x300	300	1630000	2013
32.	TE Kongora	2x275	550	3000000	2013
33.	TE Tuzla B-1; Banovići 1	1X500	500	2640000	2017
34.	TE Kakanj A kombi c.	1x100	100	518000	2017
35.	TE Bugojno 2	1x300	300	1630000	2017
36.	TE Kamengrad 1	1x215	215	1190000	2017
37.	TE Tuzla B-2; Banovići 2	1X500	500	2640000	2023
38.	TE Kamengrad 2	1x215	215	1190000	2023
39.	TE Kakanj B	1x450	450	2495000	2025
40.	TE Tuzla C kombi c.	1x100	100	525000	2027

Ako bi se ostvarili planovi navedeni u SPP-u, dinamika razvoja kapaciteta postrojenja za proizvodnju električne energije izgledala bi kao što je prikazano u sljedećoj tabeli. Iz tabele se vidi da i u 2025. godini planirana proizvodnja iz velikih TE iznosi 14.895 GWh, a iz HE ukupno 7.927 GWh, što znači da će velike TE i HE i tada biti dominantni izvori električne energije. Navedene su i pumpne HE i njihova je proizvodnja dodana u ukupnu proizvodnju iz obnovljivih izvora iako su pumpne HE neto potrošači električne energije, koju snabdijevaju TE.

Tabela 2.7. Plan razvoja proizvodnih kapaciteta u FBiH za period 2005–2030. [70]

redni broj	Naziv objekta	instalirana snaga	Godina				
			godišnja proizvodnja	2005	2010	2015	2020
1	VJETROELEKTRANE	MW	0	290	568	588	588
		GWh	0	733,64	1466,67	1505,208	1505,208
2	HIDROELEKTRANE	MW	849	939	1369,5	1827,5	2289,5
		GWh	3264	3380	4685,46	6183,46	7927,46
3	CRPNE HIDROELEKTRANE	MW	440	440	1144	1144	1144
		GWh	400	400	1595,03	1595,03	1595,03
4	TERMOELEKTRANE	MW	1165	1165	2535	3255	3850
		GWh	6053	6053	9023	12624	14985
5	OBNOVLJIVI IZVORI	MW	1289	1669	3081,5	3559,5	4021,5
		GWh	3664	4513,64	7747,16	9283,7	11027,7
6	FOSILNA GORIVA	MW	1165	1165	2535	3255	3850
		GWh	6053	6053	9023	12624	14985
7	UKUPNO	MW	2454	2834	5624,5	6822,5	7879,5
		GWh	9717	10566,64	16770,16	21907,7	26012,7

2.3.2. Plan razvoja elektroenergetskog sektora u Republici Srpskoj

U *Strategiji razvoja energetike Republike Srpske do 2030. godine* razmatrana su tri scenarija razvoja elektroenergetskog sektora u RS-u i dvije opcije:

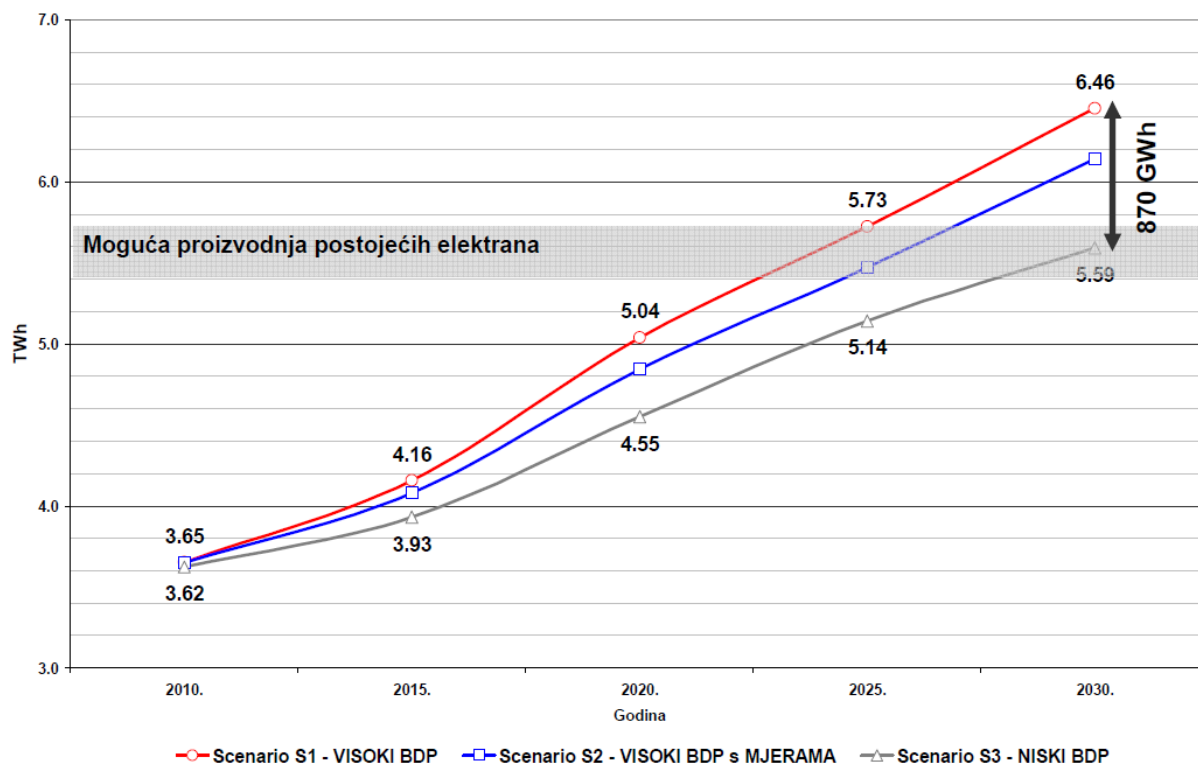
Scenariji:

- S1 – Visok rast BDP-a – Osnovna karakteristika ovog scenarija je brz rast bruto domaćeg proizvoda (poželjan scenarij razvoja privrede), primjena klasičnih tehnologija bez aktivnih mjera vlasti.
- S2 – Visok rast BDP-a sa mjerama – Osnovna karakteristika ovog scenarija je brz rast bruto domaćeg proizvoda uz primjenu mjera energetske efikasnosti i podsticanja korištenja obnovljivih izvora energije.
- S3 – Nizak rast BDP-a – Osnovna karakteristika ovog scenarija je spor rast bruto domaćeg proizvoda i primjena klasičnih tehnologija bez aktivnih mjera vlasti.

Opcije:

- Opcija A: prestanak rada TE Gacko 1 i TE Ugljevik 1 2020./2025. i izgradnja novih/zamjenskih jedinica
- Opcija B: produženje životnog vijeka TE Gacko 1 i TE Ugljevik 1 do 2035./2036.

Procjena povećanja potrošnje električne energije za tri navedena scenarija prikazana je na sljedećoj slici. Sa slike se vidi da postojeći kapaciteti neće moći zadovoljiti potrebe za električnom energijom u 2030. godini, osim za scenarij niskog rasta BDP-a. Cilj strategije je ostvariti visok rast BDP-a pa se može zaključiti da je neophodno graditi nove proizvodne kapacitete.



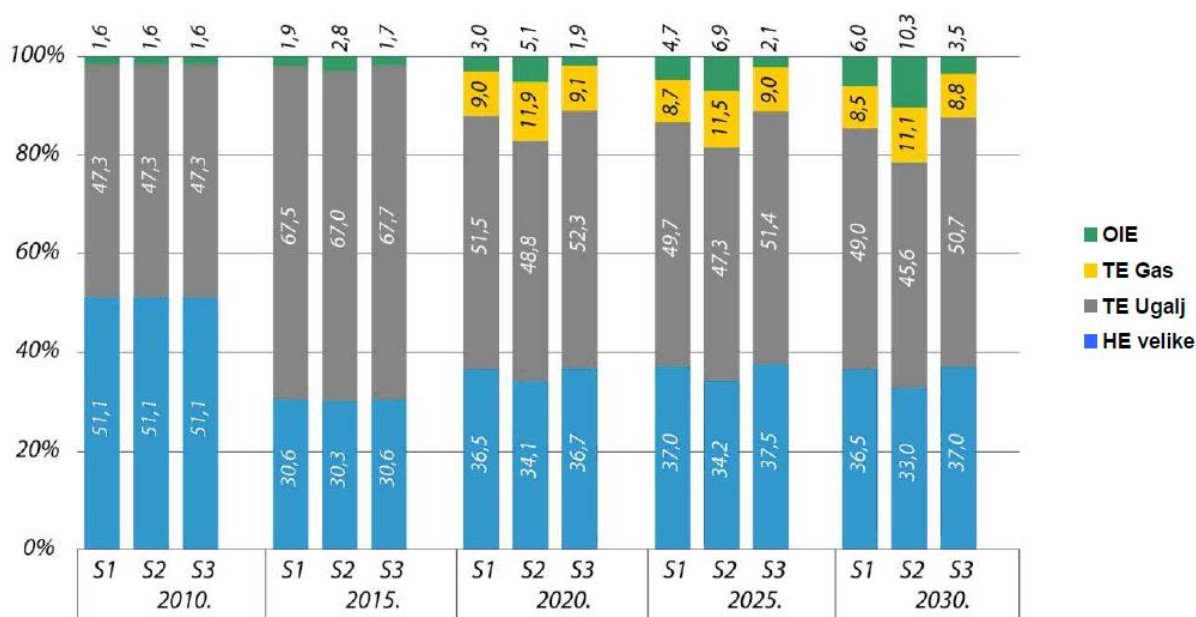
Slika 2.8. Procjena potrošnje električne energije u RS do 2030. godine za tri scenarija [69]

Za TE Gacko 1 i TE Ugljevik 1, opcija B je izvjesna iz razloga što je gotovo nemoguće izgraditi novi blok do 2020. godine, a malo je vjerovatno da se to može postići do 2025. godine s obzirom na nekoliko činjenica: nije pripremljena potrebna dokumentacija niti su osigurane investicije, a postoji i nerazriješen spor između Elektroprivrede RS-a (ERS) i Slovenije vezano za TE Ugljevik. Pored toga, da bi TE Gacko i TE Ugljevik (a i sve ostale TE u BiH) mogle nastaviti sa radom nakon 1. januara 2018. godine, potrebno je da smanje emisije zagađujućih materija (SO_x, NO_x i čvrstih čestica). Na to ih obavezuje Ugovor o osnivanju EnZ-a i Odluka D/2013/05/MC-EnC [19] MVEnZ-a od 24. 10. 2013. godine, kojom je implementacija Direktive 2001/80/EC EU o velikim ložištima postala obavezujuća za Ugovorne strane. TE Ugljevik je već osigurala sredstva u visini od oko 180 miliona KM za izgradnju postrojenja za odsumporavanje putem dugoročnoga kredita od Vlade Japana. Da bi se isplatila investicija u izgradnju postrojenja za odsumporavanje, potrebno je da TE Ugljevik 1 nastavi sa radom najmanje još 20 godina, odnosno do 2035. godine.

U Strategiji je planirana i izgradnja postrojenja visokoeфикаsne gasne kogeneracije u većim gradovima kao što su Banja Luka, Prijedor i Doboj. Tim bi se projektima osiguralo grijanje tokom zimskog perioda i proizvodila električna energija iz prirodnog gasa. Očekivana proizvodnja električne energije iz svih izvora energije, uključujući i prirodni gas, prikazana je na sljedećoj slici. Mišljenje autora ovog doktorskog rada je da nije moguće da će se do 2020. godine ostvariti udio proizvodnje električne energije iz prirodnog gasa od 9,1% za scenarij niskog rasta BDP-a (S3), a malo je vjerovatno da je to moguće i do 2030. godine. Isti je zaključak i za ostale scenarije, s tim da je najmanje vjerovatno da će se planirana proizvodnja električne energije iz prirodnoga gasa ostvariti za scenarij niskog rasta BDP-a (S3). Postoji više razloga za to:

- Gasovod u RS-u do većih gradova nije izgrađen. Snabdijevanje prirodnim gasom u RS-u postoji samo u Zvorniku.

- Cijena uvoznog prirodnog gasa je previsoka da bi mogla konkurisati domaćem uglju za proizvodnju električne energije.
- Cijena prirodnog gasa je previsoka da bi se koristila za grijanje. Objekti u RS-u, i općenito u BiH, toplotno su neizolovani i zato veoma energetski neefikasni sa potrošnjom toplotne energije od 150 do 200 kWh/m² godišnje. Ekonomska cijena grijanja na prirodni gas previsoka je za građane RS-a i BiH. Dokaz za to su Toplane Sarajevo, koje naplaćuju 1.188 KM/m² mjesečno cijele godine, što iznosi 14,26 KM/m² godišnje (sve cijene su bez PDV-a). Ako prosječan objekt u Sarajevu troši 150 kWh/m² godišnje za grijanje, to znači da Toplane naplaćuju **0,095 KM/kWh** isporučene toplotne energije. Cijena prirodnog gasa koju Toplane Sarajevo plaćaju Sarajevogasu je u julu 2015. godine iznosila 0,824 KM/Sm³. Referentna donja toplotna moć prirodnoga gasa koju isporučuje Sarajevogas iznosi 34,075 MJ/Sm³, odnosno 9,465 kWh/Sm³, što znači da cijena primarne energije za Toplane Sarajevo iznosi 0,0871 KM/kWh. Ako pretpostavimo da je za sistem daljinskoga grijanja na gas, odnos primarne energije i isporučene toplotne energije 1,3 [30], onda **isporučena toplotna energija košta Toplane Sarajevo 0,113 KM/kWh, ne uzimajući u obzir ostale troškove.** Toplane Sarajevo prodaju toplotnu energiju značajno jeftinije od stvarne (ekonomske) cijene, a i pored toga dug građana prema Toplanama iznosi oko 80 miliona KM. Zbog nenaplaćenih potraživanja dug Toplana Sarajevo prema Sarajevogasu iznosi oko 50 miliona KM.
- Postojeće razvoje grijanja u zgradama potrebno je modifikovati da omoguće ugradnju individualnih mjerila potrošnje energije i ugradnju zapornih ventila, kojima će se moći isključiti grijanje svakom stanu pojedinačno.
- Kogeneracijom će se omogućiti da se tokom zimskog perioda može ponuditi niža cijena grijanja, ali mora se osigurati i potrošnja toplotne energije i u ljetnom periodu, što jedino može biti industrijska potrošnja, jer u većini grijanih objekata ne postoji centralizovani sistem klimatizacije. Značajnu industrijsku potrošnju toplotne energije u ljetnom periodu nije moguće ostvariti do 2020. godine.



Slika 2.9. Struktura proizvodnje elektr. energije u RS za tri scenarija (opcija B) do 2030. godine [69]

2.3.3. Planirana proizvodnja električne energije iz OIE do 2020. godine

U cilju povećanja korištenja obnovljivih izvora energije u finalnoj potrošnji energije do 2020. godine, u skladu sa obavezama BiH prema EnZ-u (potpoglavlje 1.2), napravljeni su entitetski akcioni planovi za korištenje OIE za period 2014–2020 [1,2]. Akcioni planove sadrže ciljeve za povećanje udjela OIE u sektoru grijanja i hlađenja, proizvodnje električne energije i transporta. Za sektor električne energije data su količinska ograničenja (kvote) za električnu energiju iz obnovljivih izvora (po vrsti i snazi, uključujući i biomasu), koja će se podsticati, odnosno otkupljivati po podsticajnoj cijeni (engl. feed-in-tariff). Te su kvote prikazane u sljedećim tabelama.

Tabela 2.8. Količine podsticane električne energije iz OIE u FBiH za period 2012–2015. [1]

	rada godišnje	2012		2013		2014		2015	
		MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
HIDROENERGIJA:	4100	20,729	86,120	20,729	86,120	23,918	98,062	28,747	117,862
< 1 MW	4100	7,830	35,330	7,830	35,330	8,371	34,322	8,624	35,359
srednje od 1 do 10 MW	4100	12,899	50,790	12,899	50,790	15,546	63,740	20,123	82,503
velike > 10 MW		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
GEOTERMALNA ENERGIJA:		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SOLARNA ENERGIJA:	1500	1,265	1,856	1,265	1,856	3,900	5,850	5,230	7,850
Fotonaponska		1,265	1,856	1,265	1,856	3,897	5,845	5,230	7,845
mikro od 0,002 do 0,023 MW		0,081	0,011	0,081	0,011	1,169	1,754	1,569	2,354
mini od 0,023 do 0,150 MW		1,185	1,845	1,185	1,845	1,559	2,338	2,092	3,138
male od 0,150 do 1 MW		0,000	0,000	0,000	0,000	1,169	1,754	1,569	0,000
Koncentrisana		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ENERGIJA PLIME, OSEKE I VALOVA :		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ENERGIJA VJETRA:	2500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
na kopnu		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
na moru		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ENERGIJA IZ BIOMASE:	6500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,923	6,000	1,846	12,000
čvrsta		0,000	0,000	0,000	0,000	0,923	6,000	1,846	12,000
biogas		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
biotekućine		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
UKUPNO:		21,994	87,976	21,994	87,976	28,741	109,912	35,823	137,712

Tabela 2.9. Količine podsticane električne energije iz OIE u FBiH za period 2016–2020. [1]

	rada godišnje	2016		2017.		2018.		2019.		2020.	
		MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
HIDROENERGIJA:	4100	30,052	123,212	36,585	150,000	39,024	160,000	40,244	165,000	50,000	205,000
< 1 MW	4100	9,016	36,964	10,976	45,000	11,707	48,000	12,073	49,500	15,000	61,500
srednje od 1 do 10 MW	4100	19,534	86,248	25,610	105,000	27,317	112,000	28,171	115,500	35,000	143,500
velike > 10 MW		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
GEOTERMALNA ENERGIJA:		0,000	0,000	0,000	0,000						
SOLARNA ENERGIJA:	1500	5,900	8,850	8,000	12,000	9,330	14,000	9,670	15,000	12,000	18,000
Fotonaponska		5,900	8,850	8,000	12,000	9,333	14,000	9,667	14,500	12,000	18,000
mikro od 0,002 do 0,023 MW		1,770	2,655	2,400	3,600	2,800	4,200	2,900	4,350	3,600	5,400
mini od 0,023 do 0,150 MW		2,360	3,540	3,200	4,800	3,733	5,600	3,867	5,800	4,800	7,200
male od 0,150 do 1 MW		1,770	2,655	2,400	3,600	2,800	4,200	2,900	4,350	3,600	5,400
Koncentrisana		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ENERGIJA PLIME, OSEKE I VALOVA :		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ENERGIJA VJETRA:	2500	0,000	0,000	24,000	60,000	30,000	75,000	38,000	95,000	42,800	107,000
na kopnu		0,000	0,000	24,000	60,000	30,000	75,000	38,000	95,000	42,800	107,000
na moru		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ENERGIJA IZ BIOMASE:	6500	2,154	14,000	2,769	18,000	3,385	22,000	3,846	25,000	4,615	30,000
čvrsta		2,154	14,000	2,769	18,000	3,385	22,000	3,846	25,000	4,615	30,000
biogas		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
biotekućine		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
UKUPNO:		38,106	146,062	71,355	240,000	81,739	271,000	91,760	300,000	109,415	360,000

Tabela 2.10. Količine podsticane električne energije iz OIE u RS za period 2009–2014. [2]

	2009.		2010.		2011.		2012.		2013.		2014.	
	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
Хидро	1.10	4.50	1.10	4.50	6.55	29.0	22.9	102.60	28.35	127.13	32,06	149,55
<1MW	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	2.03	1.80	8.10	2.25	10.13	3.00	13.50
1MW-5MW	1.10	4.50	1.10	4.50	5.10	22.50	17.10	76.50	21.10	94.50	23.36	110.40
5MW-10MW	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	4.50	4.00	18.00	5.00	22.50	5.70	25.65
Геотермалне	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Соларне:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.25	0.84	1.00	1.05	1.25	3,00	3,60
• Фотонапон.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.25	0.84	1.00	1.05	1.25	3,00	3,60
• концентрисане соларне	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Вјетар	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	10.00	20.00	40.00	25.00	50.00	30.00	60.00
Биомаса	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83	2.23	3.30	8.91	4.13	11.14	4.95	13.37
• чврста	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	5.91	2.50	7.39	3.00	8.87
• биогаз	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	3.00	1.63	3.75	1.95	4.50
• биотечности	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Укупно	1.10	4.50	1.10	4.50	12.59	41.50	47.04	152.51	58.53	189.52	70.01	226.52

Tabela 2.11. Količine podsticane električne energije iz OIE u RS za period 2009–2014. [2]

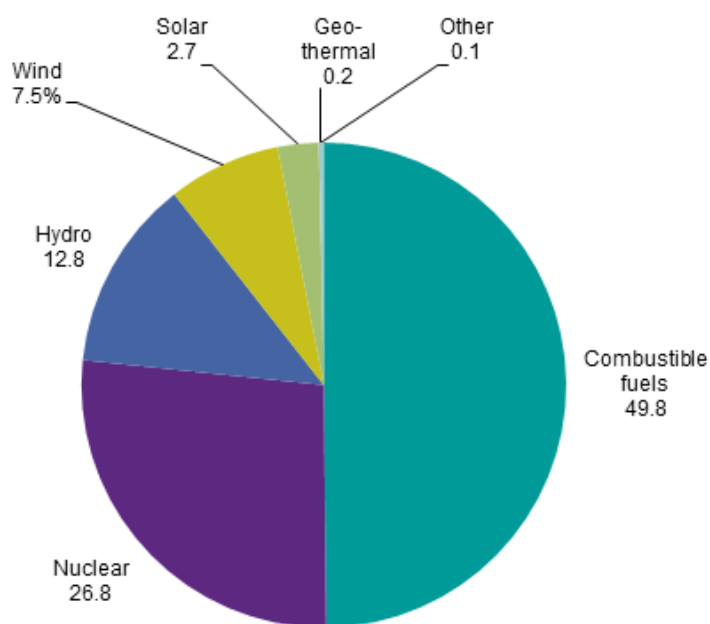
	2015		2016		2017		2018		2019		2020	
	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
Хидро	37,97	175,23	49,09	224,83	60,71	276,99	71,87	326,24	94,81	428,76	112,36	507,12
<1MW	4,70	21,30	6,86	30,90	9,60	43,20	11,95	53,78	14,90	67,20	17,88	80,50
1MW-5MW	27,32	128,35	35,54	164,60	43,76	200,87	51,98	237,23	68,62	309,99	81,10	364,50
5MW-10MW	5,95	25,58	6,69	29,33	7,35	32,92	7,94	35,23	11,29	51,57	13,38	62,12
Геотермалне	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Соларне:	3,25	3,90	3,45	4,14	3,65	4,38	3,85	4,62	4,05	4,86	4,20	5,00
• Фотонапон.	3,25	3,90	3,45	4,14	3,65	4,38	3,85	4,62	4,05	4,86	4,20	5,00
• концентрисане соларне	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Вјетар	35,00	70,00	45,00	90,00	55,00	110,00	65,00	130,00	85,00	170,00	100,00	200,00
Биомаса	5,78	15,60	7,43	20,05	9,08	24,51	10,73	28,97	14,03	37,88	16,50	44,56
• чврста	3,50	10,35	4,50	13,30	5,50	16,26	6,50	19,22	8,50	25,13	10,00	29,56
• биогаз	2,28	5,25	2,93	6,75	3,58	8,25	4,23	9,75	5,53	12,75	6,50	15,00
• биотечности	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Укупно	82,00	264,72	104,97	339,02	128,44	415,87	151,45	489,82	197,89	641,39	233,06	756,68

Mnoga udruženja za zaštitu okoliša smatraju da velike hidroelektrane nisu postrojenja na obnovljive izvore energije zbog negativnog uticaj na okoliš (potapanje predjela, uticaj na količine vode nizvodno od brane, uticaj na riječnu floru i faunu). Za hidroelektrane manjeg kapaciteta, protočnog tipa (bez brana) ne postoji ta polemika i univerzalno se smatraju postrojenjima na obnovljive izvore energije. Iako ne postoji međunarodni konsenzus o definiciji malih hidroelektrana (MHE), maksimalni kapacitet od 10 MW generalno postaje prihvaćen u Europi, a podržan je od strane Evropske komisije i Evropske asocijacije malih hidroelektrana (European Small Hydropower Association). Prema entitetkim akcionim planovima, HE snage veće od 10MW se neće podsticati, odnosno neće se otkupljivati po podsticajnoj cijeni (feed-in-tariff), pa se može zaključiti da i u BiH se prihvatio standard da snaga MHE ne prelazi 10 MW.

Iz tabela za FBiH se može vidjeti da nije predviđena proizvodnja električne energije iz geotermalnih elektrana, solarnih termalnih (koncentrisanih) elektrana, elektrana koje koriste energiju plime, oseke i valova, vjetroelektrana na moru, elektrana na biogas i elektrana na biotečnosti. Neuključivanje elektrana na biogas je neopravdano, jer potencijal za proizvodnju biogasa u stočarstvu je značajan a postoji i interes vlasnika većih farmi stoke. Svake godine se količine podsticane električne energije ažuriraju, pa se očekuje da će uvesti podsticaj za elektrane na biogas.

Iz tabela za RS se može vidjeti da je predviđena proizvodnja električne energije iz istih obnovljivih izvora kao i u FBiH sa dodatkom elektrana na biogas.

Ako se ostvare ciljevi iz ovih akcionih planova u BiH će se 2020. godine proizvoditi 1116,68 GWh iz obnovljivih izvora energije (ne računajući velike HE), a 2/3 te „zelene električne energije“ će se proizvoditi u RS. Količina od 1116,68 GWh predstavlja 7,4% od 15.029,84 GWh proizvedenih u 2014. godini. U EU-28 se u 2013. godini proizvodilo oko 10,5% električne energije iz OIE, ne uključujući hidroenergiju, a kada uzmemo u obzir i hidroenergiju, odnosno velike hidroelektrane udio u BiH je već puno veći nego u EU-28. Međutim, pošto BiH raspolaže velikim neiskorištenim potencijalom obnovljivih izvora energije, posebno hidroenergijom, onda EU i EnZ zahtijevaju i od BiH da poveća učešće OIE u proizvodnji električne energije.



Slika 2.10. Struktura proizvodnje električne energije u EU28 u 2013. godini (Eurostat)

2.3.4. Sistem podsticaja za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije

Entiteti imaju nadležnost nad energetikom i imaju odvojene regulatorne agencije i sisteme podsticaja za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije (OIE).

Garantovane otkupne cijene u Federaciji Bosne i Hercegovine

U FBiH jedini podsticaj za proizvodnju električne energije iz OIE je garantovana otkupna cijena (engl. feed-in-tarifa). **Garantovana otkupna cijena je cijena koja se plaća privilegovanom proizvođaču električne energije iz OIE na osnovu ugovora o otkupu električne energije na period od 12 godina.** Operater OIE i efikasne kogeneracije (OIEIEK) ima nadležnost nad izdavanjem statusa privilegovanog proizvođača i zaključuje ugovor o otkupu električne energije. Uslov da proizvođač električne energije aplicira za status privilegovanog proizvođača je da je od Regulatorne komisije za energiju u FBiH (FERK) dobio status kvalifikovanog proizvođača. Status kvalifikovanog proizvođača potvrđuje da proizvođač proizvodi električnu energiju koristeći otpad ili obnovljive izvore energije ili se bavi kombinovanom proizvodnjom toplotne i električne energije, na ekonomski primjeren način, u skladu sa mjerama zaštite okoliša. **Otkup električne energije po referentnoj cijeni vrši se od kvalifikovanog proizvođača ukoliko je njegova proizvodnja uvrštena u obavezujuće kvote propisane Akcionim planom za korištenje OIE u FBiH (APOEF) [1].**

FERK propisuje referentnu cijenu i garantovane otkupne cijene za električnu energiju iz OIE. Referentna cijena električne energije utvrđuje se kao proizvod ponderisane ostvarene cijene trgovine električnom energijom u FBiH u periodu od 12 mjeseci i koeficijenta podsticaja električne energije iz obnovljivih izvora, koji trenutno iznosi 1,2. Referentna cijena u FBiH iznosi 0,099458 KM/kWh (0,050852 EUR/kWh) i niža je od garantovanih otkupnih cijena datih u tabeli 2.12. [48,49]. Razlika između garantovane otkupne cijene i referentne cijene finansira se putem naknade koju plaćaju kupci električne energije. Naknada za podsticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora i u efikasnoj kogeneraciji iznosi 0,001 KM/kWh (0,00051 EUR/kWh).

Iz tabele 2.12. vidimo da garantovane otkupne cijene variraju u zavisnosti od instalisane električne snage postrojenja na biomasu i da su postrojenja podijeljena u četiri grupe:

- 1) do 23 kW
- 2) od 23 do 150 kW
- 3) od 10 kW do 1.000 kW i
- 4) od 1.000 kW do 10.000 kW

Za postrojenja električne snage preko 10.000 kW koja koriste biomasu električna energija se ne otkupljuje po garantovanoj otkupnoj cijeni, dok za postrojenja na biogas najveća dozvoljena snaga iznosi 1.000 kW. Bitno je naglasiti da je potrebno ispuniti uslove koje propisuje FERK i Operator obnovljivih izvora energije u FBiH da bi se ostvarilo pravo otkupa po garantovanoj otkupnoj cijeni, a jedan od njih je da **ključna oprema postrojenja mora biti nova.**

Tabela 2.12. Garantovane otkupne cijene za električnu energiju iz OIE u FBiH [49]

Pnlog 1.

Tip postrojenja prema vrsti primarnog izvora energije	Snaga	Sati rada	Jedinična vrijednost investicije (T_{inv})	Troškovi rada, i održavanja (T_{rad})	Troškovi goriva (T_{goriva})	Faktor nadoknade uloženog kapitla (F_{ka})	Troškovi proizvodnje po jedinici električne energije (TP_e)	Referentna cijena (R_c)	Tarifni koeficijent (C)	Garantovana cijena (G_c)
	1	2	3	4	5	6	$7=5+4/2+(3*6)/2$	8	9=7/8	10=8*9
Hidroelektrana										
a) mikro	23	4.100	3.500	705	0	13,90	0,29036	0,099458	2,9194	0,29036
b) mini	150	4.100	3.500	260	0	13,90	0,18192	0,099458	1,8291	0,18192
c) mala	1.000	4.100	3.100	134	0	13,90	0,13751	0,099458	1,3826	0,13751
d) srednja	10.000	4.100	2.900	105	0	13,90	0,12373	0,099458	1,2440	0,12373
e) velika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vjetroelektrana										
a) mikro	23	2.500	3100	498	0	13,90	0,37124	0,099458	3,7326	0,37124
b) mini	150	2.500	3.100	124	0	13,90	0,22140	0,099458	2,2261	0,22140
c) mala	1.000	2.500	2.900	71	0	13,90	0,18917	0,099458	1,9020	0,18917
d) srednja	10.000	2.500	2.550	47	0	13,90	0,16033	0,099458	1,6121	0,16033
e) velika	15.000	2.500	2.350	43	0	13,90	0,14766	0,099458	1,4847	0,14766
Solarna elektrana										
a) mikro	23	1.500	3.150	376	0	13,90	0,54190	0,099458	5,4486	0,54190
b) mini	150	1.500	2.850	142	0	13,90	0,35806	0,099458	3,6001	0,35806
c) mala	1.000	1.500	2.750	82	0	13,90	0,30866	0,099458	3,1034	0,30866
d) srednja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
e) velika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Geotermalna elektrana										
a) mikro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
b) mini	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
c) mala	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
d) srednja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
e) velika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elektrana na biomazu										
a) mikro	23	6.500	7.000	708	0,055	13,90	0,31292	0,099458	3,1462	0,31292
b) mini	150	6.500	6.800	326	0,055	13,90	0,24987	0,099458	2,5123	0,24987
c) mala	1.000	6.500	6.600	294	0,055	13,90	0,24067	0,099458	2,4198	0,24067

d)	srednja	10.000	6.500	6.600	206	0,055	13,90	0,22706	0,099458	2,2829	0,22706
e)	velika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elektrana na bioplin											
a)	mikro	23	8.000	5.800	263	0,039	13,90	0,71160	0,099458	7,1547	0,71160
b)	mini	150	8.000	5.800	195	0,039	13,90	0,66637	0,099458	6,7000	0,66637
c)	mala	1.000	7.000	7.800	376	0,039	13,90	0,27891	0,099458	2,8043	0,27891
d)	srednja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
e)	velika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elektrana koja koristi energiju mora											
a)	mikro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
b)	mini	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
c)	mala	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
d)	srednja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
e)	velika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elektrana koja koristi komunalni otpad											
a)	mikro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
b)	mini	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
c)	mala	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
d)	srednja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
e)	velika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Postrojenje efikasne kogeneracije*											
a)	mikro	-	-	-	-	-	-	0,15419	0,099458	1,5503	0,15419
b)	mini	-	-	-	-	-	-	0,15419	0,099458	1,5503	0,15419
c)	mala	-	-	-	-	-	-	0,15419	0,099458	1,5503	0,15419
d)	srednja	5.000	5.750	2.600	90	0,068	13,90	0,15419	0,099458	1,5503	0,15419
e)	velika	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Prilikom izračuna tarifnog koeficijenta za postrojenja efikasne kogeneracije korištena je formula [11] predmetnog Pravilnika pri čemu je za P_{spolna} uzet iznos od 68KM/MWh_{th}.

Garantovane otkupne cijene u Republici Srpskoj

U RS-u podsticaj za proizvodnju električne energije iz OIE je garantovana otkupna cijena (engl. feed-in-tarifa) i premija za električnu energiju proizvedenu iz OIE koja se koristi za vlastite potrebe ili prodaje na tržištu RS-a. Da bi ostvario pravo na obavezan otkup električne energije po garantovanoj otkupnoj cijeni ili na premiju, proizvođač električne energije prvo mora pribaviti certifikat za proizvodno postrojenje (certifikat). Certifikat je dokument koji izdaje Regulatorna komisija za energiju u RS-u (RERS) kao dokaz da proizvodno postrojenje proizvodi električnu energiju iz otpadnog materijala ili obnovljivih izvora, na ekonomski primjeren način, i uz zaštitu životne sredine [52]. Nakon što dobije certifikat, proizvođač električne energije može podnijeti zahtjev za sljedeće podsticaje: obavezan otkup električne energije po garantovanoj otkupnoj cijeni ili pravo na premiju i obavezan otkup električne energije po principu neto mjerenja.

Ukoliko RERS odobri zahtjev, proizvođač električne energije i Operator sistema podsticaja zaključuju **Ugovor o obaveznom otkupu električne energije na period od 15 godina**. Operator nikad nije uspostavljen i djelatnosti Operatora trenutno vrši Elektroprivreda RS-a.

Proizvođači koji nisu u sistemu obaveznog otkupa imaju pravo na premiju za električnu energiju proizvedenu iz OIE koja se koristi za vlastite potrebe ili prodaje na tržištu RS-a **u periodu od 15 godina**.

RERS propisuje referentne cijene, garantovane otkupne cijene i premije za električnu energiju iz OIE. U sistemu obaveznog otkupa, referentna cijena je prosječna cijena na pragu elektrane za snabdijevanje tarifnih kupaca i iznosi 0,0541 KM/kWh (0,0277 EUR/kWh).

Referentna cijena za utvrđivanje iznosa premije kod prodaje na tržištu i potrošnje za vlastite potrebe utvrđuje se na bazi tržišne cijene na konkurentskom tržištu koje je dostupno proizvođačima električne energije u RS-u. Ta cijena iznosi 0,0776 KM/kWh (0,0397 EUR/kWh).

Razlika između garantovane otkupne cijene i referentne cijene, kao i premija za proizvođače koji nisu u sistemu obaveznog otkupa, finansira se putem naknade koju plaćaju kupci električne energije. Naknada za podsticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora i u efikasnoj kogeneraciji iznosi 0,0025 KM/kWh (0,00128 EUR/kWh).

Garantovane otkupne cijene i premije su date u tabeli 2.13. [47]. Iz tabele 2.13. vidimo da cijena varira u zavisnosti od instalisane električne snage postrojenja na biomasu i da su postrojenja podijeljena u samo dvije grupe:

- 1) do 1.000 kW i
- 2) od 1.000 kW do 10.000 kW

Za postrojenja električne snage preko 10.000 kW koja koriste biomasu električna energija se ne otkupljuje po garantovanoj otkupnoj cijeni, dok za postrojenja na biogas najveća dozvoljena snaga iznosi 1.000 kW.

Bitno je naglasiti da je potrebno ispuniti uslove koje propisuje RERS i operator sistema podsticaja da bi se ostvarilo pravo otkupa po garantovanoj otkupnoj cijeni, a jedan od njih je da **ključna oprema postrojenja mora biti nova**.

Tabela 2.13. Garantovane otkupne cijene za električnu energiju iz OIE u RS [47]

Тип електране према врсти извора енергије и инсталисаној снази	Продаја у обавезном откупу по гарантованим откупним цијенама			Продаја на тржишту и потрошња за властите потребе	
	Гарант. откупна цијена	Референтна цијена	Премија (у гарантованој цијени)	Референтна цијена	Премија
	КМ/кWh	КМ/кWh	КМ/кWh	КМ/кWh	КМ/кWh
Хидроелектране:					
• до укључиво 1 MW	0,1541	0,0541	0,1000	0,0776	0,0765
• преко 1 MW до укључиво 5 MW	0,1327	0,0541	0,0786	0,0776	0,0551
• преко 5 MW до укључиво 10 MW	0,1245	0,0541	0,0704	0,0776	0,0469
Вјетроелектране (гарантована откупна цијена за постројења до укључиво 10 MW, а премија без ограничења)	0,1652	0,0541	0,1111	0,0776	0,0876
Електране на чврсту биомасу					
• до укључиво 1 MW	0,2413	0,0541	0,1872	0,0776	0,1637
• преко 1 MW до укључиво 10 MW	0,2261	0,0541	0,1720	0,0776	0,1485
Електране на пољопривредни биогаз до укључиво 1 MW	0,2402	0,0541	0,1861	0,0776	0,1626
Конвенционални извори енергије у ефикасном когенеративном постројењу (гарантована откупна цијена за постројења инсталисане снаге до укључиво 10 MW, а премија за продају на тржишту и потрошњу за властите потребе за постројења инсталисане снаге до укључиво 30 MW)					
• Нова когенеративна постројења на гас до укључиво 1 MW	0,1731	0,0541	0,1190	0,0776	0,0955
• Нова когенеративна постројења на гас од 1 MW до укључиво 10 MW	0,1478	0,0541	0,0937	0,0776	0,0702
• Нова когенеративна постројења на лигнит до укључиво 1 MW	0,1197	0,0541	0,0656	0,0776	0,0421
• Нова когенеративна постројења на лигнит од 1 MW до укључиво 10 MW	0,0882	0,0541	0,0341	0,0776	0,0106

Соларне електране са фотонапонским ћелијама према мјесту изградње	Продаја у обавезном откупу по гарантованим откупним цијенама			Продаја на тржишту и потрошња за властите потребе	
	Гарант. откупна цијена КМ/кWh	Референтна цијена КМ/кWh	Премија (у гарантованој цијени) КМ/кWh	Референтна цијена КМ/кWh	Премија КМ/кWh
Гарантоване откупне цијене и премије до 30. јуна 2016. године					
▪ на објектима до укључиво 50 kW	0,3198	0,0541	0,2657	0,0776	0,2422
▪ на објектима преко 50 kW до укључиво 250 kW	0,2766	0,0541	0,2225	0,0776	0,1990
▪ на објектима преко 250 kW до укључиво 1 MW	0,2207	0,0541	0,1666	0,0776	0,1431
▪ на земљи до укључиво 250 kW	0,2566	0,0541	0,2025	0,0776	0,1790
Гарантоване откупне цијене и премије од 1. јула 2016. године					
▪ на објектима до укључиво 50 kW	0,2941	0,0541	0,2400	0,0776	0,2165
▪ на објектима преко 50 kW до укључиво 250 kW	0,2530	0,0541	0,1989	0,0776	0,1754
▪ на објектима преко 250 kW до укључиво 1 MW	0,2012	0,0541	0,1471	0,0776	0,1236
▪ на земљи до укључиво 250 kW	0,2345	0,0541	0,1804	0,0776	0,1569

Garantovane otkupne cijene za elektrane na biomasu u Bosni i Hercegovini

Prethodne tabele obuhvataju sve vrste OIE i date su radi potpunijeg uvida u entitetske akcijske planove. Ovaj se rad bavi korištenjem biomase u kogenerativne svrhe pa je bitno uporediti entitetske garantovane otkupne cijene za električnu energiju proizvedenu iz biomase.

Tabela 2.14. Garantovane otkupne cijene za elektrane na biomasu

	Instalisana električna snaga (kW)	FBiH (KM/MWh)	RS (KM/MWh)	FBiH (EUR/MWh)	RS (EUR/MWh)
Biomasa	do 23	312,92	241,30	159,99	123,37
	23–150	249,87		127,76	
	150–1.000	240,67		123,05	
	1.000–10.000	227,06	226,10	116,09	115,60

Iz prethodne tabele vidi se da su u RS-u garantovane otkupne cijene za električnu energiju iz postrojenja električne snage do 1 MW iste, a poznato je da specifična investiciona cijena (EUR/kW) opada sa povećanjem snage, tako da su postrojenja sve isplativija kako snaga raste, pa su u rasponu do 1 MW najisplativija postrojenja sa snagom od 1 MW.

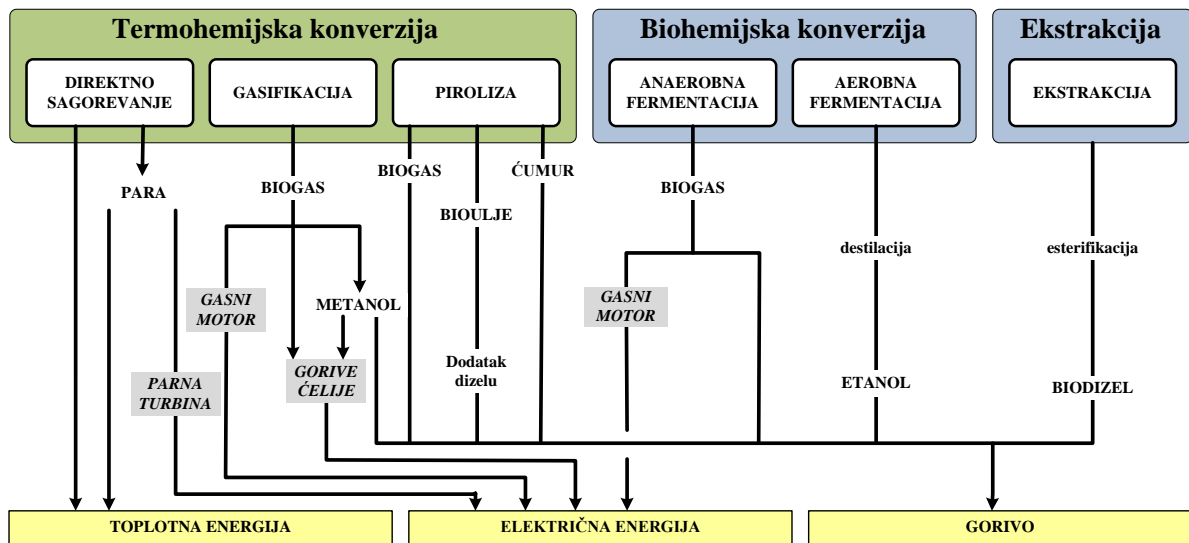
U FBiH su određene nešto više garantovane otkupne cijene za električnu energiju za postrojenja manje snage sa ciljem postizanja slične isplativosti za sva postrojenja, ali je razlika u cijeni mala u odnosu na cijene za snage od 150 do 1.000 kW. Specifična investiciona cijena unutar toga raspona pada sa rastom snage, tako da se i u okviru te grupe najviše isplati graditi postrojenja od 1 MW, ako se može osigurati dovoljna količina biomase i investiciona sredstva.

I u FBiH i u RS-u bolje bi rješenje bilo linearno smanjivanje garantovane otkupne cijene sa porastom snage, kao što je urađeno u Srbiji, jer se ne bi u tolikoj mjeri favorizovala postrojenja sa snagom na kraju raspona u kome je garantovana otkupna cijena konstantna.

Kako je referentna cijena u RS-u skoro duplo manja nego u BiH, a razlika između garantovane otkupne cijene i referentne cijene se finansira kroz naknadu za podsticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora i u efikasnoj kogeneraciji, **ta naknada u RS-u je 2,5 puta veća nego u FBiH.** Međutim, i dalje se radi o vrlo malim iznosima po jedinici električne energije (KM/kWh) tako da to ne utiče bitno na maloprodajnu cijenu električne energije (uvećanje za oko 2%). Važeća srednja cijena električne energije za domaćinstva koja snabdijeva ERS iznosi 0,1229 KM/kWh i manja je za 9% od cijene EPBiH, koja iznosi 0,1346 KM/kWh, zbog većeg udjela proizvodnje iz velikih hidroelektrana u ERS-u. Kako je cijena ERS-a manja, i dalje ima prostora za povećanje naknade za podsticanje proizvodnje iz OIE.

3. Kogenerativne tehnologije korištenja drvene biomase

Tehnologije korištenja biomase u energetske svrhe mogu se podijeliti u tri osnovne grupe: termohemijska konverzija, biohemijska konverzija i ekstrakcija, kao što je prikazano na sljedećoj slici.



Slika 3.1. Pregled energetskih konverzija biomase [32]

Vidimo da se biomasa može koristiti za proizvodnju biogoriva i za proizvodnju toplotne i električne energije. U potpoglavlju 1.4. objašnjeno je zbog čega će se u ovom radu razmatrati samo drvena biomasa od svih vrsta biomase. I drvena biomasa se može koristiti za proizvodnju biogoriva i za proizvodnju toplotne i električne energije. Tehnologije proizvodnje biogoriva iz drvene biomase još su uvijek u fazi razvoja i potrebno ih je unaprijediti da bi se mogle koristiti u industriji.

Pri proizvodnji električne energije uvijek se dobiva i toplotna energija, ali ako se toplotna energija iskoristi, odnosno usmjeri u korisne svrhe, onda se radi o kogeneraciji. Ako se pored toplotne i električne energije istovremeno proizvodi i rashladna energija, onda se radi o trigeneraciji. Rashladna energija se u trigenerativnom sistemu proizvodi u apsorpcionom rashladnom uređaju koji koristi toplotnu energiju iz kogenerativnog sistema. Dakle, trigenerativni sistemi su kogenerativni sistemi koji dodatno imaju i apsorpcioni rashladni uređaj. Dodatno ulaganje u apsorpcioni rashladni uređaj je opravdano ako jedan dio godine postoji potreba samo za toplotnom energijom a ne za rashladnom, a drugi dio godine je situacija obrnuta. Na taj način se osigurava korištenje toplotne energije iz kogenerativnog sistema tokom cijele godine. Stoga se trigenerativni sistemi najčešće koriste u velikim objektima (trgovački centri, hoteli), koji ljeti imaju potrebu za klimatizacijom prostora a drugi dio godine za grijanjem prostora.

Cilj ovog rada je optimizirati instrumente energetske politike korištenja biomase u svrhu razvoja drvoprerađivačkih preduzeća (i prateće industrije), a kako ta preduzeća za svoje sušare i parionice imaju konstantnu potrebu za toplotnom energijom tokom cijele godine, onda trigenerativni sistemi nisu potrebni.

U okviru ovog rada će se razmatrati samo kogenerativne tehnologije korištenja sječke iz sljedećih razloga:

- Kogeneracija omogućava veći stepen iskorištenja primarne energije u odnosu na odvojenu proizvodnju električne i toplotne energije, što zahtijeva i Direktiva 2012/27/EU o energetskej efikasnosti.
- Drvoprerađivačka preduzeća za svoje sušare imaju konstantnu potrebu za toplotnom energijom tokom cijele godine.
- Uz istu potrošnju toplotne energije u drvoprerađivačkim preduzećima, uvođenjem kogenerativnih sistema će se povećati potreba za sirovinom – sječkom.
- Izgradnjom kogenerativnih sistema na sječku će se povećati udio proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora u skladu za zahtjevima Direktive 2009/28/EC.
- Kogenerativni sistemi u drvoprerađivačkim preduzećima predstavljaju distribuirane sisteme proizvodnje električne energije, čije su brojne prednosti, u odnosu na centralizovane sisteme, navedene u prethodnim poglavljima.

Potrebno je istaći da će se razmatrati samo **komercijalne kogenerativne tehnologije** koje se već duži period koriste u razvijenim zemljama i koje su primijenjene u velikom broju komercijalnih postrojenja. Jedino su takve tehnologije pogodne za korištenje u zemljama u razvoju; to su tehnologije koje su već dugo dokazane u praksi, čiji su problemi u radu većinom otklonjeni, tehnologija usavršena i unaprijeđena, način proizvodnje dijela opreme već standardizovan a postoji mogućnost da se taj dio opreme i rezervnih dijelova može proizvoditi u zemljama u razvoju. Time se ostvaruje dodatna korist za razvoj industrije, ekonomije i društva i smanjuje zavisnost od uvoza.

Osnova za odabir komercijalnih tehnologija primjenljivih u zemljama u razvoju su projekti u regiji (implementirani ili u implementaciji), prvenstveno u Hrvatskoj i Srbiji, i izvještaji međunarodnih agencija za energiju kao što su EU Directorate-General for Energy, IRENA – International Renewable Energy Agency, IEA – International Energy Agency i REN 21 – Renewable Energy Policy Network for the 21st Century.

Na sljedećoj slici dat je status tehnologija za korištenje biomase u energetske svrhe. Isti grafički prikaz korišten je u izvještaju IRENA-e u januaru 2015. godine [9], ali je prvobitno objavljen 2012. godine u izvještaju IEA [73]. Za tri godine situacija na tržištu se nešto promijenila, ali ova nam slika može poslužiti kao osnova za daljnje razmatranje.

	Basic and applied R&D	Demonstration	Early commercial	Commercial
Biomass pretreatment	Hydrothermal treatment	Torrefaction	Pyrolysis	Pelletisation/ briquetting
Anaerobic digestion	Microbial fuel cells		2-stage digestion Biogas upgrading	1-stage digestion Landfill gas Sewage gas
Biomass for heating			Small scale gasification	Combustion in boilers and stoves
Biomass for power generation				
Combustion	Stirling engine		Combustion with ORC	Combustion and steam cycle
Co-firing	Indirect co-firing		Parallel co-firing	Direct co-firing
Gasification	Gasification with FC		BICGT BIGCC Gasification with engine	Gasification with steam cycle

Slika 3.2. Pregled tehnologija korištenja biomase i njihov razvojni status [73,9]

Sa slike 3.2. se vidi da postoji vrlo mali broj komercijalnih tehnologija za proizvodnju električne energije iz čvrste biomase (zaokružene crvenom bojom): direktno sagorijevanje sa parnim ciklusom (engl. Combustion and steam cycle), kosagorijevanje (engl. Direct co-firing) i gasifikacija sa parnim ciklusom (engl. Gasification with steam cycle). Sve ove tehnologije mogu istovremeno proizvoditi i korisnu toplotu, odnosno mogu se primijeniti kao kogenerativne tehnologije.

Kosagorijevanje predstavlja korištenje mješavine biomase i uglja kao goriva, a pri tome je udio biomase u toj mješavini mali, pa ta tehnologija ne predstavlja korištenje samo obnovljivih izvora i stoga je izvan okvira ovog rada. Ta je tehnologija interesantna za korištenje u termoelektranama na uglj.

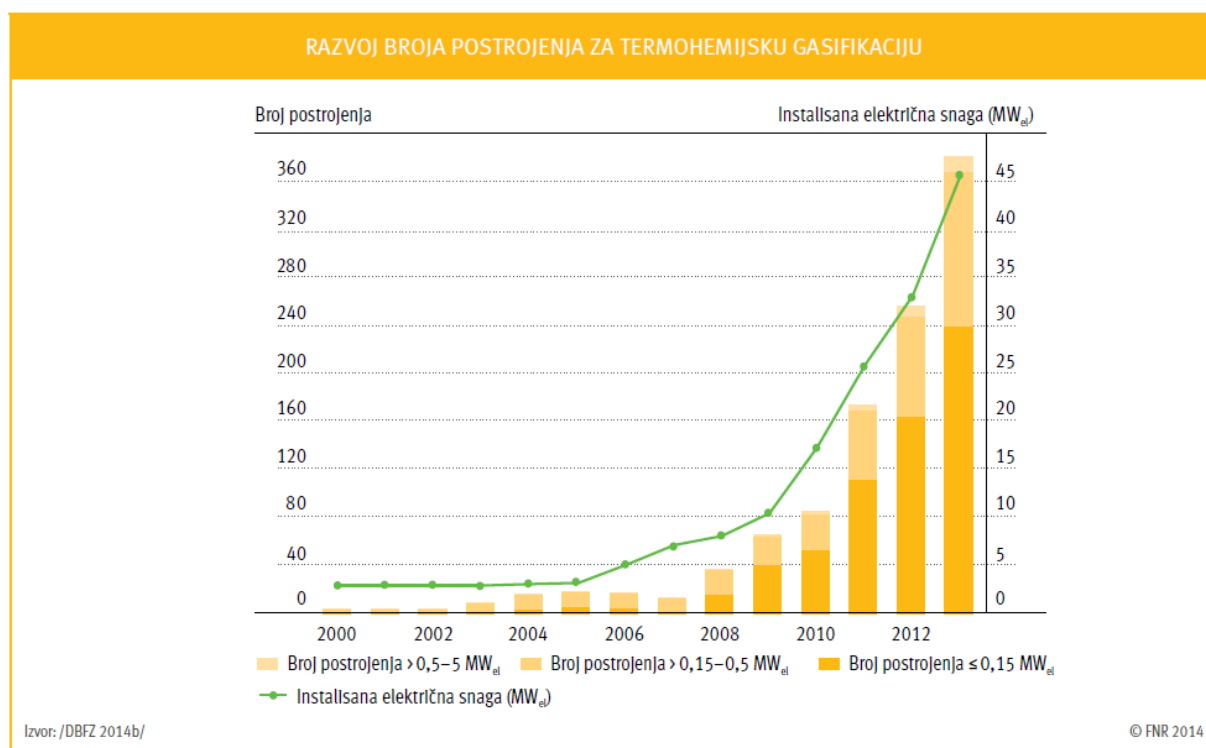
Gasifikacija u kombinaciji sa parnim ciklusom manje je interesantna od direktnog sagorijevanja u kombinaciji sa parnim ciklusom, jer i jedna i druga koriste parni ciklus, a direktno sagorijevanje je tehnologija koja je već veoma dugo dokazana u praksi.

Dakle, od tri tehnologije prikazane kao komercijalne, u ovom radu ćemo razmatrati samo jednu: direktno sagorijevanje u kombinaciji sa parnim ciklusom. Međutim, u ovom ćemo radu razmotriti i dvije tehnologije koje su na slici 3.2. prikazane da su u stadiju rane komercijalizacije (zaokružene narandžastom bojom): direktno sagorijevanje sa organskim Rankinovim ciklusom (ORC) i gasifikacija sa gasnim motorom.

Razlog što ORC razmatramo kao komercijalnu tehnologiju za zemlje u tranziciji i u razvoju je taj da je samo jedan od vodećih proizvođača ORC-sistema, firma Turboden iz Italije, do danas instalirala 270 ORC-postrojenja na biomasu u svijetu (<http://www.turboden.eu/>), a od toga 163 postrojenja imaju instaliranu električnu snagu manju ili jednaku 1 MWe.

Gasifikaciona postrojenja sa gasnim motorom doživjela su veliku ekspanziju u komercijalnoj upotrebi posljednjih nekoliko godina. Na tržištu se za primjenu u drvoprerađivačkoj industriji za sagorijevanje drvnoga gasa nude sistemi gasifikacije raznih snaga: od 150 kWe do 850 kWe. **Međutim, komercijalnu zrelost posjeduju samo mala gasifikaciona postrojenja do 150 kW električne snage.** U Njemačkoj je u 2013. godini izgrađeno dodatnih 125 postrojenja za gasifikaciju drveta sa kumulativnom električnom snagom od oko 13 MWe (u prosjeku 104 kWe). Većina tih postrojenja ima električnu snagu manju od

150 kW, a jedna trećina postrojenja koja su 2013. bila u pogonu kreće se u rasponu snage od 150 kW_{el} do 500 kW_{el}. Samo mali broj postrojenja ima snagu od preko 500 kW_{el}, kao što se vidi na sljedećem dijagramu [55].



Slika 1.5: Razvoj instalirane električne snage i broja postrojenja prema kategorijama veličine postrojenja za termohemijsku gasifikaciju (2000 do 2013)

Slika 3.3. Razvoj broja instaliranih gasifikacionih postrojenja prema električnoj snazi [55]

Gasifikaciona su postrojenja posebno interesantna za primjenu jer imaju relativno visok stepen efikasnosti proizvodnje električne energije za manje instalirane snage, odnosno od svih razmatranih tehnologija po jedinici primarne energije proizvode najviše električne energije. Period povrata investicije relativno je kratak ako se ključni prihod ostvaruje prodajom električne energije.

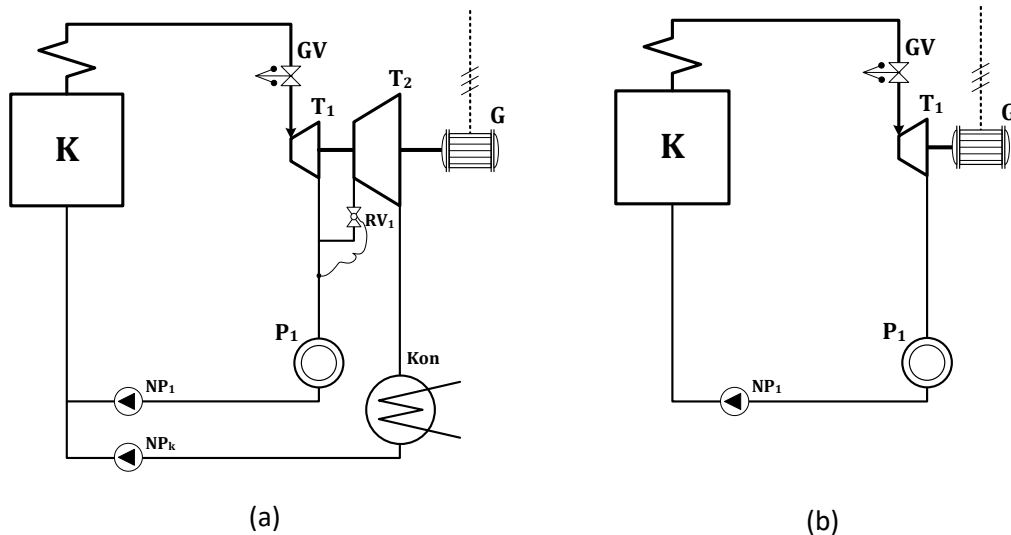
Dakle, kogenerativne tehnologije korištenja drvene biomase koje će se analizirati u ovom radu su:

1. Direktno sagorijevanje sa parnim ciklusom
2. Gasifikacija i gasni motori
3. Direktno sagorijevanje sa organskim Rankinovim ciklusom (ORC)

Svaka od tehnologija će biti opisana ukratko, uključujući proces(e) koje te tehnologije obuhvataju, da bi se mogla sagledati njihova suština i procijeniti njihove mogućnosti praktične primjene u zemljama u razvoju i/ili tranziciji. **Za potrebe tehno-ekonomske analize navedenih tehnologija izrađen je MS Excel softver sa VBA (Visual Basic for Applications) programom**, koji na jednostavan način omogućava procjenu svih relevantnih tehničkih, ekonomskih i finansijskih parametara. VBA potprogram u Excelu je napravljen kako bi se na osnovu zadanog pritiska i temperature odredila entalpija pare. Za svaku od tehnologija prikazat će se jedan primjer u kome će se analizirati svi relevantni parametri i njihov uticaj na profitabilnost postrojenja.

3.1. Direktno sagorijevanje sa parnim ciklusom

Na slici 3.4. prikazane su dvije osnovne sheme kogeneracionih postrojenja sa parnim ciklusom i direktnim sagorijevanjem drvene biomase u parnom kotlu. U manja industrijska postrojenja, kakva su od interesa u ovoj analizi, ubrajamo industrijske kondenzacione turbine sa oduzimanjem pare za potrebe zagrijavanja *izvan* bloka energane (Slika 3.4a) i postrojenja sa protivpritisnom turbinom (Slika 3.4b).



(K – kotao, GV – glavni ventil; T1 – visokopritisni dio turbine; T2 – niskopritisni dio turbine; G – generator; RV- regulacioni ventil; P – potrošač; Kon – kondenzator; NP – napojna pumpa)

Slika 3.4. Shema postrojenja sa kondenzacionom turbinom sa jednim regulisanim oduzimanjem (a) i postrojenja sa protivpritisnom turbinom (b)

Para proizvedena u parnom kotlu dovodi se u visokopritisni dio turbine. Dio protoka pare oduzima se kroz jedan ili više priključaka za oduzimanje. Oduzeta para se odvodi većim dijelom radi zagrijavanja prostorija ili za potrebe nekog tehnološkog procesa. Manji dio oduzete pare se po pravilu odvodi u uređaje za regenerativno zagrijavanje kondenzata. Regenerativno zagrijavanje kondenzata povećava stepen korisnosti parnog ciklusa, ali nije dio korisne toplote kogenerativnog postrojenja. Ne obračunava se *direktno* u stepen korisnosti ili efikasnost kogenerativnog ciklusa, već samo indirektno kroz povećanje stepena korisnosti parnog ciklusa. Preostali dio pare, nakon svih oduzimanja, odvodi se kroz posljednji stepen turbine u kondenzator.

Ukupan protok proizvedene pare u kotlu propušta se kroz turbinu a dobivena mehanička snaga se koristi za proizvodnju električne energije. Nakon prolaska kroz turbinu, cjelokupan protok odlazi za potrebe procesa. Pritisak pare se unaprijed određuje i zavisi od toplotnih potreba procesa. Temperatura pare na kraju ekspanzije zavisi od stepena korisnosti turbine. Jasno je da i prethodna shema (kondenzaciona turbina sa jednim oduzimanjem) može raditi i kao protivpritisna ako se u oduzimanju odvede ukupni protok pare. Zbog toga je shema na slici 3.4.a) daleko fleksibilnija i pogodnija za industrijske potrebe, gdje su promjene režima rada, obično brojnih i nezavisnih procesa, česte. **Dalje ćemo razmatrati samo kondenzacione turbine sa oduzimanjem, jer je to opći slučaj, koji obuhvata i protivpritisnu turbinu.**

Kada para nakon djelimične ekspanzije u turbini dostigne pritisak (i temperaturu) koja je potrebna u nekom procesu, takva para, potrebnog masenog protoka, oduzima se iz turbine. Preostali protok pare u turbini nastavlja daljnju ekspanziju u narednim stepenima turbine sve do kondenzacionog pritiska.

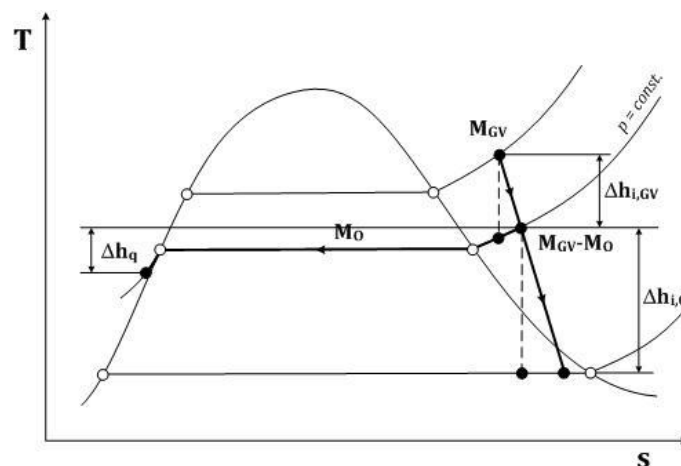
Ovdje je opisan rad turbine sa jednim oduzimanjem, ali postoje konstrukcije turbine i sa više oduzimanja. Takva turbina je mnogo elastičnija u pogonu od protivpritisne turbine jer dopušta znatno veće promjene potrošnje pare kod potrošača. Ako je potrošnja pare potrošača jednaka nuli, tada turbina radi kao kondenzaciona. Sva para se koristi za proizvodnju samo električne energije i tada to ne predstavlja kogeneraciju. U drugom ekstremnom slučaju, ako je potrošnja toplote velika, turbina će raditi kao protivpritisna te niskopritisni dio turbine ostaje bez pare. U tom će se slučaju proizvoditi električna energije pa to predstavlja kogeneraciju.

Na slici 3.4.a) prikazana je parna turbina sa jednim oduzimanjem, kakva se analizira u ovom primjeru. T_1 je visokopritisni dio turbine, a T_2 je niskopritisni. Oba dijela mogu biti u zajedničkom kućištu, ali i odvojeni. Visokopritisni dio turbine (T_1) dobiva svježu paru iz kotla, a regulator glavnog ventila (GV) podešava protok pare održavajući konstantan broj obrtaja. Nakon prolaska kroz visokopritisni dio turbine i pretvaranja toplotne energije pare u mehaničku energiju predatu osovini turbine, dio pare zadatog pritiska i temperature odvodi se ka potrošaču P_1 . Ostatak pare odlazi do niskopritisnog dijela turbine (T_2). Ovaj protok pare prolazi kroz regulacioni ventil (RV_1) kojim se upravlja zadatim pritiskom oduzete pare potrošača P_1 . To znači da protok pare u niskopritisnom dijelu turbine direktno zavisi od pritiska na mjestu oduzimanja P_1 .

Vratilo turbine je (preko reduktora) spojeno sa generatorom, u kome se generiše električna energija.

Kondenzator je klasični izmjenjivač toplote pomoću kojeg se para pretvara natrag u tečno stanje, nakon što expandira u turbini. Kondenzat se pumpama vraća u kotao. Pritisak u klasičnom kondenzatoru je vrlo mali (potpritisak 0,04 – 0,08 bar). Pošto je kondenzator izmjenjivač toplote, potrebno je osigurati i fluid kojem će se ta toplota predati, kako bi se para kondenzovala. Temperature kondenzacije pare koje odgovaraju pritiscima u kondenzatoru su od 30 do 45 °C, pa su pogodni fluidi praktično oni koji se nalaze u okolini (voda i zrak).

Na slici 3.5. prikazan je proces ekspanzije u kondenzacionoj turbini sa jednim oduzimanjem pare u T-s (temperatura-entropija) dijagramu [76].



Slika 3.5. T-s dijagram kondenzacione parne turbine s oduzimanjem pare

Snaga generatora sa slike 3.4.a) može se odrediti iz sljedeće jednačine:

$$E = M_{GV} \cdot \Delta h_{i,T1} \cdot \eta_m \cdot \eta_g + (M_{GV} - M_o) \cdot \Delta h_{i,T2} \cdot \eta_m \cdot \eta_g, \quad 3.1.$$

gdje su:

$\Delta h_{i,T1}$ – unutrašnji izentropski toplotni pad visokopritisnog dijela turbine (kJ/kg)

$\Delta h_{i,T2}$ – unutrašnji izentropski toplotni pad niskopritisnog dijela turbine (kJ/kg)

M_{GV} – maseni protok svježeg pare kroz glavni ventil (kg/s)

M_o – maseni protok oduzete pare (kg/s)

η_m – stepen korisnosti turbine

η_g – stepen korisnosti generatora

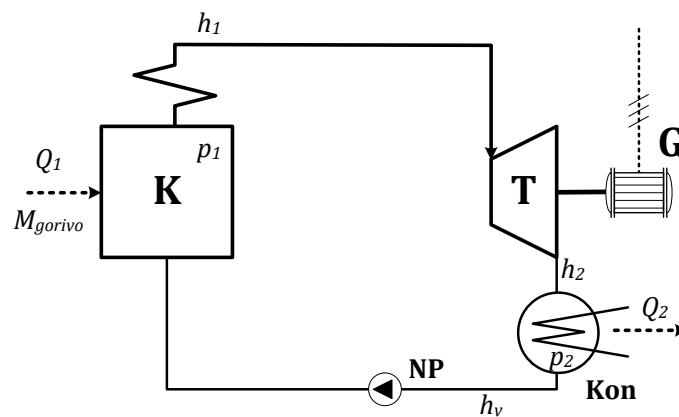
Korisna toplotna energija definiše se na sljedeći način:

$$Q = M_o \cdot \Delta h_Q, \quad 3.2.$$

gdje je Δh_Q razlika entalpija pare na ulazu i kondenzata na izlazu krajnjeg korisnika (kJ/kg).

Iz jednačina (5.1) i (5.2) vidi se da sa povećanjem protoka oduzimanja opada snaga elektrogeneratora a povećava se korisna toplota koja se koristi u procesu. U postrojenjima sa protivpritisnom turbinom relacija između snage turbine i korisne toplote je jednoznačna, odnosno povećanjem protoka pare u glavnom ventilu povećava se i snaga turbine i snaga korisne toplote. Postrojenja sa kondenzacionom turbinom sa oduzimanjem omogućavaju daleko fleksibilniji rad jer je moguće da se, u relativno širokom dijapazonu, mijenja snaga korisne toplote a da pritom snaga turbine ostane nepromijenjena. To je veoma važno u mnogim industrijskim postrojenjima i zato ovaj tip postrojenja ima značajnu prednost u odnosu na protivpritisno postrojenje. Odnos toplotne prema električnoj snazi u ovakvim postrojenjima ide od nule do preko deset.

Brojni su gubici koji se javljaju kod ciklusa u kojima se koristi parna turbina. U jednačini (5.1) eksplicitno su data samo dva gubitka, jer se spomenuta jednačina odnosi samo na turbinski dio kogenerativnog postrojenja, a da postrojenje uključuje i kotao, kao što je prikazano na slici 3.6, s tim da je to najjednostavnija shema parnoturbinskog postrojenja sa osnovnim oznakama.



Slika 3.6. Osnovna shema parnoturbinskog postrojenja

Ukupni stepen korisnosti ciklusa proizvodnje električne energije cijelog ciklusa parne turbine jeste umnožak pojedinačnih stepena korisnosti. Tako se može napisati da je:

$$\eta_{\text{Ciklus}} = \eta_k \cdot \eta_t \cdot \eta_e$$

→ Efektivni stepen korisnosti $\eta_e = \frac{N_{\text{Gen}}}{h_1 - h_2}$

→ Termički stepen korisnosti $\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_v}$

→ Stepen korisnosti kotla $\eta_k = \frac{h_1 - h_v}{H_u \cdot F}$

3.3.

gdje je:

- N_{Gen} – snaga generatora
- h_1 – entalpija pare na izlazu iz kotla (na ulazu u turbinu)
- h_2 – entalpija pare na izlazu iz turbine
- h_v – entalpija napojne vode na ulazu u kotao
- H_u – donja toplotna moć goriva
- F – potrošnja goriva za proizvodnju jednog kilograma pare

Efektivni stepen korisnosti turbine iz jednačine 3.3. predstavlja umnožak sljedećih stepena korisnosti:

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_g$$

→ Stepen korisnosti generatora

→ Mehanički stepen korisnosti

→ Unutrašnji (izentropski) stepen korisnosti $\eta_i = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2i}}$

3.4.

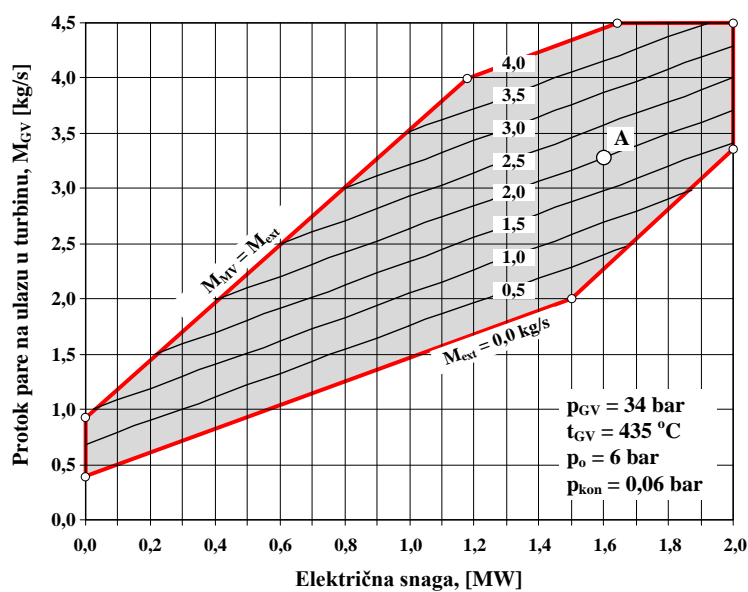
Raspon vrijednosti pojedinih stepena korisnosti je vrlo velik. Naprimjer, efektivni stepen korisnosti (η_e) za vrlo velike turbine može biti i 0,88, a za vrlo male može pasti i do 0,50. To samo zahtijeva pažljivu i detaljnu analizu parametara turbine pri projektovanju postrojenja.

Na slici 3.7. prikazan je primjer dijagrama režima rada jedne kondenzacione parne turbine sa jednim regulisanim oduzimanjem, a ključni parametri turbine su dati u tabeli 3.1.

Tabela 3.1. Kondenzaciona parna turbina sa kontrolisanim oduzimanjem pare

Parametri	
Nominalni (max.) kapacitet, MW	2,0
Broj obrtaja, 1/min	7.500 → 3.000
Pritisak pare (abs), bar	34 (32–36)
Temperatura pare na ulazu, °C	435 (420–445)
Pritisak pare na mjestu oduzimanja, bar	6 (5-8)
Temperatura pare na mjestu oduzimanja, °C	248 (228–376)
Pritisak kondenzacije, bar	0,074 (0,05–0,075)

Pod dijagramom režima rada parne turbine sa oduzimanjem pare podrazumijeva se grafički prikaz zavisnosti snage generatora od količine svježe pare i količine oduzete pare. Pri tome pritisak pare na mjestu oduzimanja ostaje konstantan. Radi izrade dijagrama režima, dio turbine visokog pritiska se posmatra kao jedna protivpritisna parna turbina, a dio turbine niskog pritiska kao jedna kondenzaciona parna turbina. Grafičkim superponiranjem linije potrošnje pare obje turbine dobiva se dijagram režima sa granicama radnog područja i linijama istog protoka oduzete pare. Dijagram režima može se izraditi bez poznavanja velikog broja detaljnih informacija.



Slika 3.7. Radni dijagram kondenzacione turbine s oduzimanjem (2 MWe)

Osjenčena oblast na slici 3.7. je radna oblast turbine. Naprimjer, tačka A definiše režim rada pri kojem je električna snaga 1,6 MW i pri tome je protok oduzete pare 2,0 kg/s. Na ulazu u turbinu potrebno je dovesti protok pare od 3,28 kg/s. Odgovarajući $M_{o,min} = 1,322 \text{ kg/s}$, a $E_{max} = 1,9705 \text{ MW}$. Ove vrijednosti podrazumijevaju da je $M_{GV} = 3,28 \text{ kg/s} = \text{const}$.

3.1.1. Tržište parnih turbina

Parne turbine se komercijalno koriste već dugo i postoji veći broj proizvođača parnih turbina veće snage (preko 1MW). Ključna karakteristika ovih postrojenja je da je odnos toplotne i električne snage veoma velik, a povećava se što je električna snaga turbine manja. Renomiranih proizvođača parnih mikroturbina električne snage manje od 250 kW vrlo je malo i prave se prema specifikacijama kupca. U Evropi postoji svega nekoliko, a navest ćemo dvije: Technopa (Austrija) i G-Team (Češka).

3.2. Gasifikacija i gasni motori

Iz kilograma suhe mase drvnog otpada moguće je proizvoditi oko 2 Nm^3 gasa energetske vrijednosti od 1,4 do $2,4 \text{ kWh/Nm}^3$. Pripremljena drvena masa se ubacuje u reaktor, gdje se odvijaju procesi sušenja, termičkog razlaganja, redukcije, oksidacije i gasifikacije. Rezultat procesa je razgradnja organskih molekula i stvaranje molekula (atoma) C, CO, CO₂, H₂ i CH₄. Nastali gasovi se, nakon hlađenja, eliminacije kondenzata, katrana i čađi, vode do krajnjeg korisnika. Takav se gas može koristiti na više načina, baš kao i dobro poznati prirodni gas. Ovaj sintetički gas ipak ima znatno manju toplotnu moć od prirodnoga gasa, koja je približno jednaka 10 kWh/Nm^3 .

Ovom tehnologijom se energetska potencijal otpadnog drveta može plasirati potrošačima koji su udaljeni od deponija drvnog otpada tako što se gas transportuje do potrošača energije ili se lokalno proizvedena električna energija predaje lokalnoj distributivnoj mreži.

Gasifikacijom drvnog otpada rješava se ekološki problem kontaminacije tla, vodotokova i zraka, koji nastaje na mjestu odlaganja otpada iz drvoprerađivačke industrije, industrije papira, šumskog i poljoprivrednog čvrstog otpada.

Osnovni dijelovi i procesi u postrojenju za gasifikaciju drvne biomase su:

- skladištenje, priprema i sušenje drvne biomase,
- gasifikacija,
- hlađenje i prečišćavanje drvnoga gasa,
- gasni motor ili turbina i generator električne energije,
- priključak na elektrodistributivnu mrežu,
- sistem kontrole i nadzora.

Skladištenje, priprema i sušenje drvne biomase

Drvena sječka od svježeg šumskog drveta skladišti se u natkrivenom prozračenom prostoru. Maseni udio vlage u ovakvoj sječki je obično od 45 do 50%, a komadi drveta su od 20 do 100 mm, nepravilnog oblika.

Proizvođač gasifikacijskog reaktora propisuje uslove koje sječka treba zadovoljiti prije njenog unosa u reaktor. Jedan je od važnih uslova, pored veličine sječke, maseni udio vlage sječke od 10%. Ova vlažnost može vrlo malo varirati, ali značajno utiče na kapacitet reaktora. Sušenje sječke do potrebne vlažnosti obavlja se korištenjem dijela toplote iz samog procesa gasifikacije. Naprimjer, postrojenju za proizvodnju električne energije i toplotne energije potrebno je oko 240 kg osušene sječke na sat. Mokri udio mase ovakve osušene sječke (10% masenog udela) je kako slijedi:

$$U_1 = \frac{W_1}{1 - W_1} = \frac{0,1}{1 - 0,1} = 0,1111 \quad 3.5.$$

Ovaj rezultat može se dobiti i direktnim očitavanjem iz tabele 1.2. Kako je ukupna masa osušene sječke 240 kg, to znači da u njoj ima $U_1 \times 240 = 0,1 \times 240 = 24,0$ kg vlage. Suhe materije u toj masi sječke ima: $m_s = m_v/U_1 = 24,0/0,1111 = 216$ kg (ili 240-24). Mokri udio u sječki koju tek treba osušiti u procesu pripreme za gasifikaciju jeste 81,8% (Tabela 1.2.). Kako je suhi udio drveta poznat, to je masa vlage (vode) u sirovoj sječki $216/0,8181 = 264$ kg. Sad je masa sirove sječke 480 kg. Razlika masa osušene i sirove sječke je značajna i ukazuje na veliku količinu toplotne energije koju će trebati upotrijebiti za eliminaciju vlage. Ta toplotna energija se dobiva hlađenjem.

Sušenje se obavlja prirodnim prozračivanjem sirove sječke u skladištu i propuhavanjem toplog zraka kroz sloj sječke prije njenog unosa u reaktor.

Gasifikacija

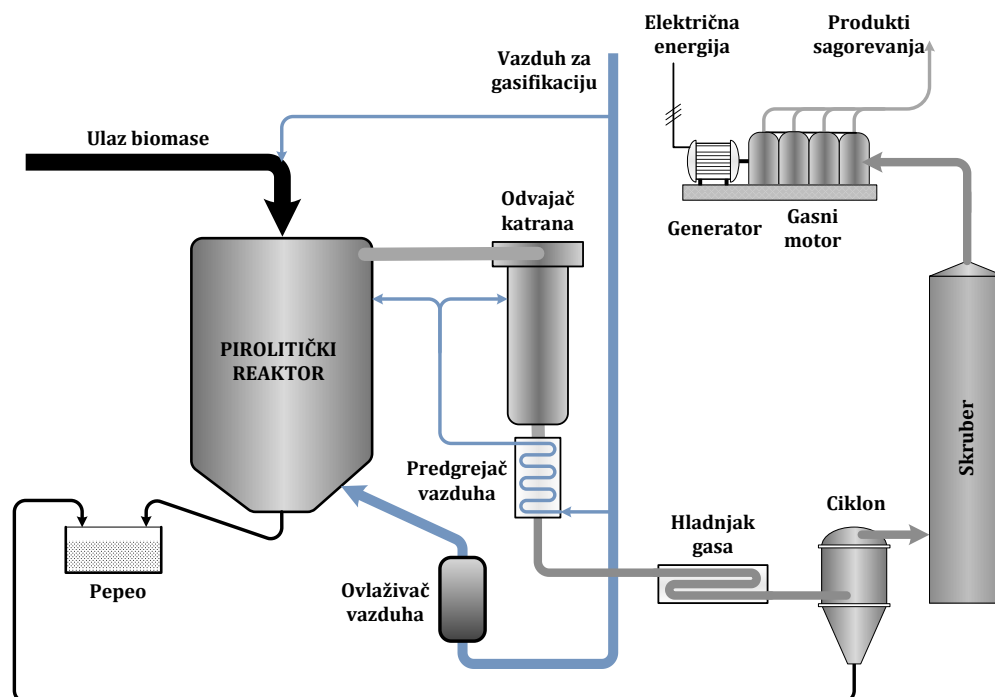
Gasifikacija je najjednostavniji, gotovo najpouzdaniji i najstariji metod prerade goriva biomase u svrhu proizvodnje kvalitetnijeg goriva. Gasifikacija predstavlja postupak termičke dekompozicije, pri kojoj se materijal zagrijava spoljašnjim izvorom toplote bez prisustva zraka, a kao rezultat se dobiva mješavina čvrstog, tečnog i gasovitoga goriva. Jedan dio dobivenoga goriva koristi se kao izvor toplotne energije za gasifikaciju. U tehnološkom smislu, pod gasifikacijom se podrazumijeva postupak proizvodnje gorivoga gasa i koksnog ostatka termičkom destrukcijom goriva u uslovima odsustva kiseonika.

Tokom procesa gasifikacije organske čestice se transformišu u gasove, male količine tečnosti i čvrste ostatke koji sadrže ugljenik i pepeo. Za uklanjanje čvrstih čestica koristi se odgovarajuća oprema, kao što su elektrostatički filteri.

Na slici 3.8. shematski je prikazano postrojenje za proizvodnju drvnoga gasa iz drvene biomase i njegovo korištenje za proizvodnju električne energije. Tri osnovna dijela ovakvog postrojenja su:

- reaktor (gasifikator), odnosno uređaj u kome se obavlja gasifikacija,
- gasni motor, u kome se generisani gas pretvara u mehaničku energiju,
- generator, u kome se mehanička energija pretvara u električnu energiju.

Za veće snage se umjesto gasnog motora može koristiti gasna turbina. Ostali dijelovi postrojenja sa slike 3.8. su pomoćni, ali veoma važni uređaji, koji omogućavaju efektivan i efikasan rad postrojenja. Njihova će uloga biti naknadno objašnjena.



Slika 3.8. Postrojenje za gasifikaciju drvene biomase

Gas koji nastaje djelimičnim sagorijevanjem čvrste biomase u reaktoru uz suprotnosmjerno, istosmjerno ili unakrsno strujanje zraka naziva se generatorski, karburatorski, ili sintetički gas ili biogas, odnosno drveni gas. Preposljednja dva termina koriste se i u drugim procesima proizvodnje gorivih gasova, pa da ne bude zabune, koristit će se izraz drveni gas. Pri procesu gasifikacije čvrsta biomasa se pretvara u gorive gasove (volatile), koji zadržavaju najveći dio početne gorive vrijednosti. Sastav gasa može se mijenjati u zavisnosti od temperature, pritiska i atmosferskih uslova, kao i od vrste procesa koji se koristi. Primjer sastava gasa pri gasifikaciji uglja i biomase, kao i sastav prirodnoga gasa radi poređenja, dat je u tabeli 3.2. Toplotna moć gasa dobivenog gasifikacijom biomase je od 1,4 do 2,4 kWh/Nm³ (5,04–8,64 MJ/Nm³). Ukupni stepen korisnosti ovog procesa pretvaranja čvrste biomase u gas je oko 70%.

Gorive komponente generatorskoga gasa su ugljenmonoksid, vodonik, metan i manje količine etana i propana. Pored toga, ovaj gas sadrži i određene količine negorljivih gasova, ugljendioksida i vodene pare. Sastav generatorskoga gasa zavisi od temperature i pritiska na kojima se proces obavlja, kao i od

sastava i vlažnosti ulazne sirovine. Generalno se može reći da se pri višim pritiscima povećava stvaranje metana i vodene pare, a da se pri višim temperaturama podstiče proizvodnja ugljenmonoksida i vodonika. Generatorski gas na izlazu iz reaktora sadrži i brojne štetne materije, kao što su azotni i sumporni oksidi, teški ugljikovodonici (katran), pepeo itd. Prije daljnje upotrebe potrebno je ovaj gas očistiti do one mjere koju zahtijeva motor sa unutrašnjim sagorijevanjem, ako će se gas u njemu koristiti. Ako se generatorski gas koristi u kotlovima, potrebni stepen prečišćavanja je manji, ali ako se koristi gasna turbina, gas mora biti dodatno prečišćen.

Tabela 3.2. Sastav gasa dobivenog gasifikacijom uglja i biomase

Sastav	Gasifikacija uglja	Gasifikacija biomase	Prirodni gas
Vodonik (H ₂)	14,0%	18,0%	--
Ugljenmonoksid (CO)	27,0%	24,0%	--
Ugljendioksid (CO ₂)	4,5%	6,0%	--
Kiseonik (O ₂)	0,6%	0,4%	--
Metan (CH ₄)	3,0%	3,0%	90,0%
Azot (N ₂)	50,9%	48,6%	5,0%
Etan (C ₂ H ₆)	--	--	5,0%
Hg (MJ/Nm ³)	6,07	5,03	37,33

Vrste gasifikatora

Gasifikatori se mogu podijeliti u tri kategorije, pri čemu se podjela odnosi na karakteristike strujanja goriva i sredstva za gasifikaciju:

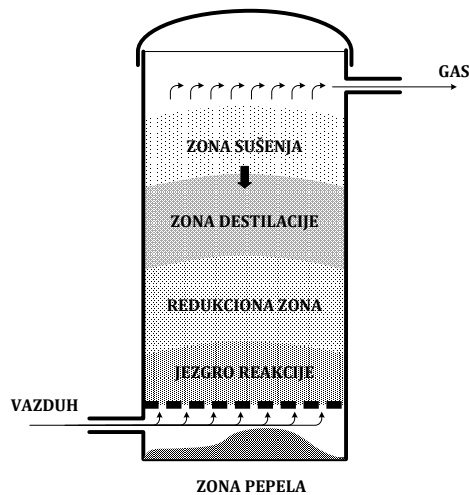
- gasifikator sa fiksnim slojem,
- gasifikator sa fluidizovanim slojem i
- gasifikator sa slobodnim strujanjem.

Gasifikatori sa fluidizovanim slojem i gasifikatori sa slobodnim strujanjem pogodni su za primjenu za snage gasifikatora preko 3 MWth [55], tako da se neće dalje razmatrati u ovom tekstu.

Gasifikatori sa fiksnim slojem se dijele, u zavisnosti od načina toka goriva u odnosu na tok sredstva za gasifikaciju (zrak, para ili O₂), na istosmjerne, suprotnosmjerne i unakrsne.

Osnovne karakteristike **suprotnosmjernoga** gasifikatora (Slika 3.9), u poređenju s ostalim, su:

- jednostavan dizajn,
- niski zahtjevi u pogledu pripreme goriva: fleksibilnost u pogledu veličine čestica (20–200mm) i vlažnosti (do 60 %),
- visok stepen efikasnosti gasifikatora pošto je proizvedeni gas relativno hladan,
- gas sadrži veliki procent katrana,
- ima dugo vrijeme paljenja i dugo vrijeme početka rada,
- kašnjenje u odzivu pa se koristi za dugotrajne procese.

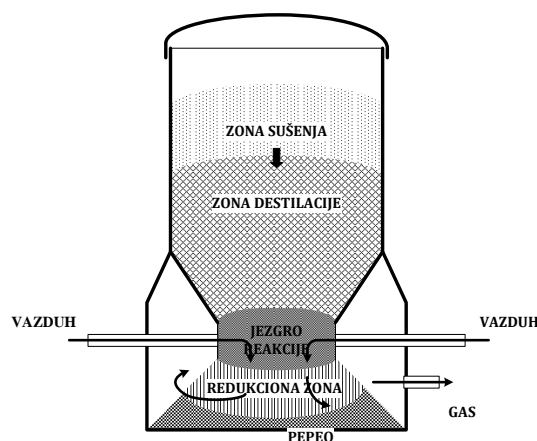


Slika 3.9. Suprotnosmjerni gasifikator

Kada se gasifikacija obavlja **istosmjerno** (Slika 3.10), nastali se gasovi vode kroz hladniju zonu prema izlazu iz postrojenja. To je i razlog što se veliki molekuli ugljikovodonika ne raspadaju, pa se gas mora dodatno očistiti. Ovaj se način koristi vrlo često, jer je pogodniji za biomasu sa većim udjelom vlage. **Većina gasifikatora drvene biomase snage manje od 1 MWt, koji su trenutno u pogonu u Njemačkoj, ovog su tipa** [55]. Stoga je ova vrsta gasifikatora najinteresantnija za primjenu u BiH.

Osnovne karakteristike istosmjernih uređaja, u poređenju s ostalim, su:

- složenije su konstrukcije,
- visoki zahtjevi u pogledu pripreme goriva: mala fleksibilnost u pogledu veličine čestica (samo komadno drvo) i vlažnosti (< 20 %),
- gas sadrži nizak procent katrana,
- ima kraće vrijeme paljenja i kraće vrijeme početka rada,
- brži odziv,
- koristi se za dugotrajne procese,
- ne može koristiti goriva sa velikim sadržajem pepela.

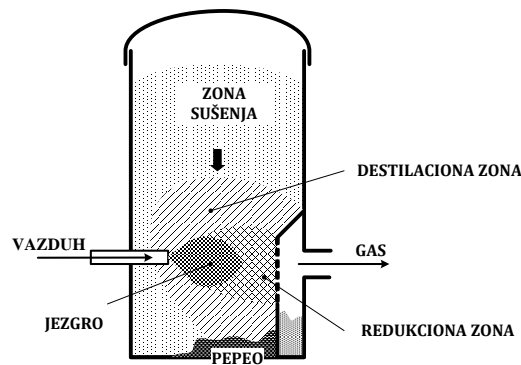


Slika 3.10. Istosmjerni gasifikator

Gasifikacija s **unakrsnim** strujanjem najjednostavniji je proces (slika 3.11). Gorivo se ubacuje kroz otvor na zidu reaktora u sloj, gdje odmah dolazi u kontakt sa vrelim zrakom. Neposredan kontakt vrelag sadržaja sloja i novoga goriva osigurava visok stepen korisnosti ovakvog procesa. Uobičajena temperatura nastaloga gasa je od 700 do 850 °C.

Za unakrsnu gasifikaciju vrijedi:

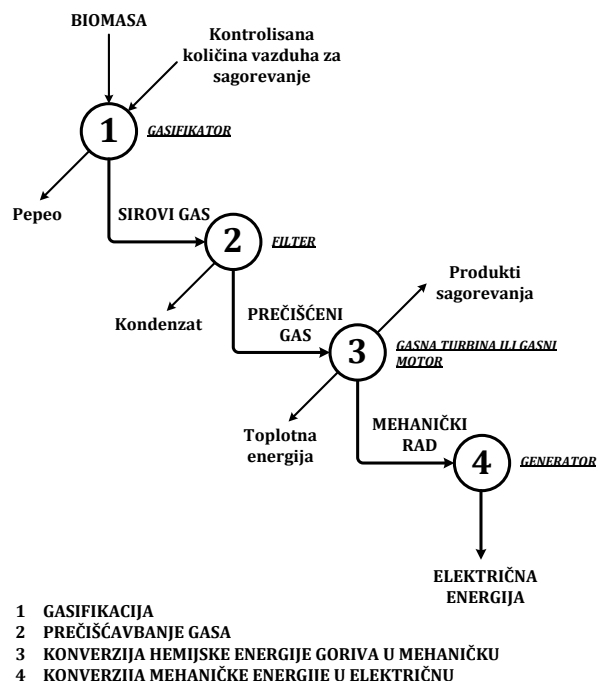
- visoki zahtjevi u pogledu pripreme goriva: veličina i oblik sječke moraju biti uniformni,
- ne može se koristiti gorivo sa visokim sadržajem katrana i pepela,
- brži odziv,
- kraće vrijeme startovanja.



Slika 3.11. Unakrsni gasifikator

Kvalitet goriva koje se gasifikuje jeste funkcija njegovog ugljeničnog sadržaja, granulacije goriva i njegove uniformnosti, nasipne gustine, sadržaja katrana, pepela, vlage i brzine reakcije sagorijevanja.

Prikaz procesa koji se odvija u postupku transformacije drvene biomase u električnu energiju i opis međuprocasa i operacija prikazan je na sljedećoj slici.



Slika 3.12. Shema procesa

Hlađenje i prečišćavanje gasa

Temperatura generatorskoga gasa nakon izlaska iz istosmjernoga gasifikatora (reaktora) je oko 750 °C. Gas se u nekoliko konsektivnih postupaka prečišćava i hladi na konačnih oko 60 °C, nakon čega se filtrira. Tako pripremljen gas je ohlađen, bez prisustva katrana, pepela i prašine, i može se koristiti u gasnom motoru (ili turbini).

Sistem prečišćavanja i hlađenja uglavnom je zatvoren, a svi nusproizvodi se vraćaju u reaktor i naknadno podvrgavaju razgradnji.

Gasni motor i generator električne energije

Gasni motor je klasičan Otto motor, ali prilagođen očekivanom sastavu generatorskoga gasa. Stepenn korisnosti ovakvih motora u proizvodnji mehaničke snage iznosi 35 do 40%. Korisna toplotna energija nastaje od tečnosti za hlađenje motora i od produkata sagorijevanja. Temperatura tečnosti na izlazu motora je 75–90 °C, a na ulazu 60–80°C. Temperatura produkata sagorijevanja je 500–550°C.

Generator električne energije manjih snaga je niskog napona i frekvencije 50 Hz. Stepenn korisnosti ovakvih generatora je obično 91–93%.

Sistem kontrole i nadzora

Ovakvo postrojenje za proizvodnju električne i toplotne energije ima puno pojedinačnih međusobno zavisnih komponenata. Takvo složeno postrojenje zahtijeva odgovarajuća mjerenja i sistem upravljanja sa ciljem optimizacije rada postrojenja.

3.2.1. Tržište gasifikacionih postrojenja

Postoji veći broj proizvođača gasifikacionih postrojenja koji koriste gasne motore prilagođene karakteristikama drvnoga gasa. Neki od poznatijih u Evropi su: Spanner Re2 (Njemačka), Burkhardt (Njemačka) i Urbas (Austrija). Ključna karakteristika ovih postrojenja je odnos toplotne i električne snage od 1:1,2.

3.3. Direktno sagorijevanje sa organskim Rankinovim ciklusom (ORC)

Organski Rankinov ciklus (ORC), za razliku od parnih, ne koristi vodu (vodenu paru) kao radni fluid, već obično organske ugljikovodonike. Naziv „organski ciklus“ je samo marketinški koncept i ne uslovljava korištenje samo organskih materija u Rankinovom ciklusu, mada se one najčešće koriste. Za razliku od parnog (Rankinovog) ciklusa, u ORC-postrojenju koristi se posredni fluid – termička ulja (silikonska ulja), koja se griju na temperature od oko 300 °C. Tako zagrijano ulje vodi se u dvostepeni isparivač, gdje se njegova toplota odvodi u sekundarni krug u kome se isparava radni fluid. Dobivena para radnog fluida nakon toga se vodi u turbinu, koja je direktno spojena sa generatorom električne energije. Nakon hlađenja, pare odlaze u kondenzator, gdje se toplota kondenzacije prenosi vodi. Ova se voda može iskoristiti na brojne načine, npr. za grijanje, potrošnu toplu vodu ili za neki tehnološki proces.

Prednosti ORC-turbina

Sljedeći argumenti idu u prilog korištenju ORC-tehnologije u odnosu na klasično parno-turbinsko postrojenje.

- Većina organskih tečnosti koje se koriste u ORC-postrojenjima ne zahtijeva pregrijavanje. Važni faktori u ukupnim troškovima instalacije su dizajn i dimenzije izmjenjivača toplote (tj.

isparivača i pregrijača) za regeneraciju otpadne toplote. Dimenzije pregrijača su obično velike zbog lošeg prenosa toplote gasovitog medija po jedinici površine.

- Izentropska efikasnost turbine veoma zavisi od njene snage. U principu, ORC-turbine imaju veću efikasnost pri malim snagama od parnih turbina istih snaga.
- Nema pripreme i kontrole vode u kotlu.
- Instalacija je manje kompleksna od parne instalacije, što je poželjno kada se radi o “green-field” investicijama ili kada ne postoji distributivna parna mreža.
- Troškovi održavanja su niski, a raspoloživost postrojenja velika.
- Rukovanje postrojenjem je jednostavno i obično se svodi na on/off postupak.
- Efikasnost postrojenja pri djelimičnom opterećenju je visoka.
- Pritisak u sistemu je mnogo manji nego kod parnog sistema, pa je i regulativa vezana za sigurnost manje stroga.
- Nije potrebna visokokvalifikovana radna snaga za upravljanje postrojenjem.

U prilog parnim ciklusima u odnosu na ORC treba uzeti sljedeće argumente:

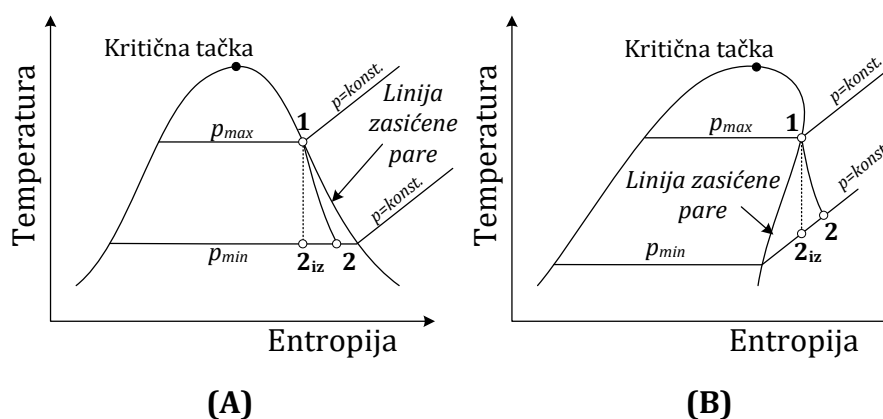
- Voda kao radni fluid je jeftina, dok ORC-fluid može biti vrlo skup ili mu je upotreba ograničena iz razloga koji se tiču zaštite okoliša.
- Odnos snage/toplote koji je vrlo raznolik i promjenljiv kod parno-turbinskog postrojenja daje mogućnost odličnog usklađivanja potreba električne i toplotne energije u kogeneracionim postrojenjima.
- Direktna upotreba vodene pare u turbini i kotlu eliminiše potrebu posrednog fluida kakvo je termičko ulje.

Organski fluidi kao što je n-pentan ili toluen omogućavaju upotrebu niskotemperaturnog toplotnog izvora (čak i 70–90°C). Efikasnost ovog ciklusa niža je od parnog, jer su temperature niže, ali se ovo nadoknađuje nižim troškovima proizvodnje toplote na niskim temperaturama. Alternativno, mogu se koristiti i fluidi čija je temperatura ključanja iznad temperature ključanja vode i na taj način ostvariti termodinamički pozitivni efekti (živa). Karakteristike nekih radnih fluida ovih ciklusa date su u tabeli 3.3.

Tabela 3.3. Radne materije Rankinovog ciklusa

Fluid	Formula/ ime	Molekularna masa kg/mol	T _{krit} °C	p _{krit} bar	Temp. ključanja °C	Toplota isparavanja kJ/kg
Voda	H ₂ O	0,018	373,95	220,64	100,0	2257,5
Toluen	C ₇ H ₈	0,092	318,65	41,06	110,7	365,0
R245fa	C ₃ H ₃ F ₅	0,134	154,05	36,40	14,8	195,6
n-pentan	C ₅ H ₁₂	0,072	196,55	33,68	36,2	361,8
Ciklopentan	C ₅ H ₁₀	0,070	238,55	45,10	49,4	391,7
Solkatherm (azeotropna smješa)	solkatherm	0,185	177,55	28,49	35,5	138,1
OMTS (octamethyltrisiloxane)	MDM	0,237	290,98	14,15	152,7	153,0
HMDS (hexamethyldisiloxane)	MM	0,162	245,51	19,51	100,4	195,8
Živa	Hg	200,59 (atomska masa)			356,7	

Neke materije karakteriše negativan nagib linije zasićene pare (gornje granične linije) u T-s dijagramu (Slika 3.13(A)). Izentropska ekspanzija takvih fluida završava u vlažnom području (tačka 2_{iz}), što značajno umanjuje stepen korisnosti takvih procesa. Realno, proces ekspanzije završava u tački 2, koja može, ali ne mora, biti u pregrijanom području (desno od linije zasićenja). Materije koje se koriste u ORC-ciklusima biraju se tako da imaju pozitivan nagib linije zasićenja pare. Kod takvih fluida ekspanzija uvijek završava u pregrijanom području, što je za rad same turbine povoljnije u odnosu na rad u vlažnom području. Kod turbina koje koriste vodenu paru ovaj se nedostatak prevazilazi pregrijavanjem pare visokog pritiska tako da i izentropska ekspanzija završi u pregrijanom području.

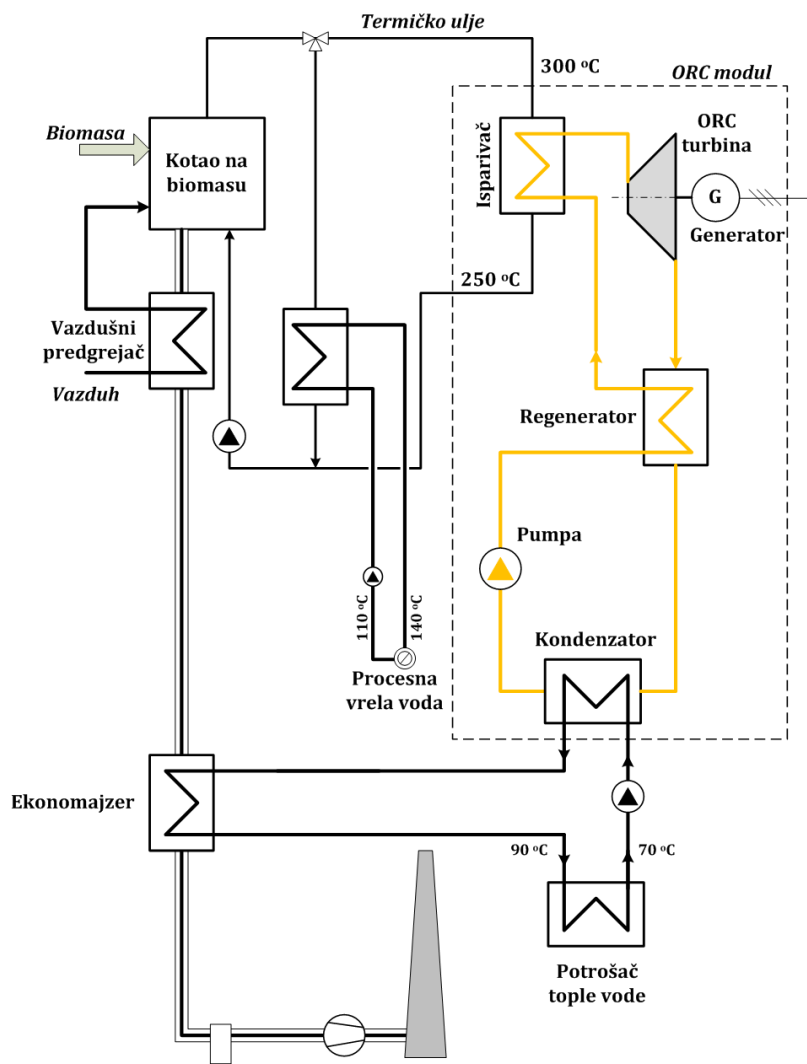


Slika 3.13. T-s dijagram za vodu (A) i tipične ORC-fluide (B)

Opis ORC-postrojenja

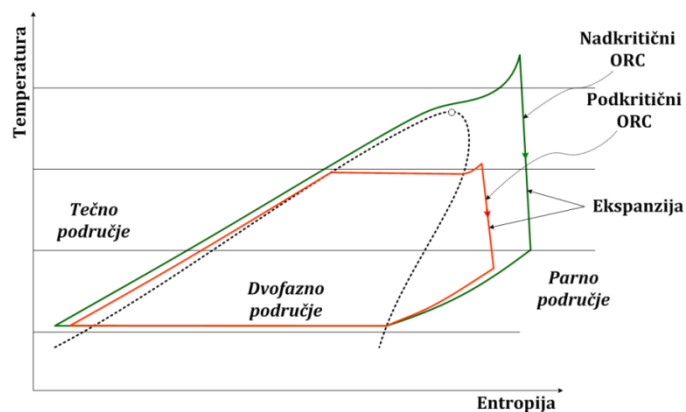
Na slici 3.14. shematski je prikazano jedno ORC-postrojenje. Odmah se uočava ORC-modul kao zasebna cjelina postrojenja. Unutar te cjeline nalazi se ORC-turbina i generator. Vrlo karakterističan uređaj ORC-ciklusa je i regeneratore, kojim se predgrijava ORC-fluid nakon kondenzacije, a prije ulaska u isparivač.

U drugom cirkulacionom krugu nalazi se termičko ulje u kome se postižu temperature oko 300°C. Zagrijavanje ulja obavlja se u kotlu na biomasu. Za zagrijavanje zraka za sagorijevanje biomase koriste se produkti sagorijevanja (predgrijač zraka). Produkti sagorijevanja se u ekonomajzeru koriste za pripremu tople vode, koja se može koristiti za potrebe grijanja. Poseban cirkulacioni krug termičkog ulja koristi se za pripremu vrele vode za potrebe procesa. Ova toplotna energija i topla voda iz kondenzatora i ekonomajzera su *korisne* toplote, koje su, pored električne energije, proizvod ovoga ORC-postrojenja.



Slika 3.14. Generalna shema ORC-postrojenja

Na sljedećoj slici (Slika 3.15) prikazani su nadkritični i podkritični ORC-ciklusi. Nema posebno izraženih termodinamičkih, ali ni tehničkih ili ekonomskih prednosti pojedinih fluida. Proizvođači opreme za ORC-postrojenja razvijaju pojedinačna tehnička rešenja prilagođena nekom od ORC-fluida.



Slika 3.15. Prikaz ORC-ciklusa u T-s dijagramu

3.3.1. Tržište ORC-postrojenja

Istraživanjem tržišta i pregledom literature utvrđeno je da postoji veoma mali broj renomiranih proizvođača ORC-sistema na čvrstu biomasu. Jedni od najznačajnijih proizvođača u Evropi su: Turboden (Italija), Adoratec (Njemačka) i GMK (Njemačka) [59]. Pregled sistema manje snage koje ove firme nude dat je u sljedećim tabelama. Sisteme najmanje električne snage proizvodi Turboden, i to je model Turboden 2, sa snagama 200 kWe i 1002kWt.

Tabela 3.4. Turboden ORC-postrojenja do 300 kWe

THERMAL INPUT	TURBODEN 2 Dual mode*		TURBODEN 3 Dual mode*		TURBODEN 3 CHP	
	Saturated steam -16 bar(a)	Saturated steam -26 bar(a)	Saturated steam -23 bar(a)	Saturated steam -30 bar(a)	Thermal Oil	
	Max electric efficiency mode	CHP mode	Max electric efficiency mode	CHP mode	80 °C water output	90 °C water output
Saturated steam / Thermal Oil inlet temperature "HT" Loop (in)	200	226	220	234	310	310
Water condensate / Thermal Oil outlet temperature "HT" Loop (out)	181	209	201	216	221	227
Overall thermal power input	1234	1624	1708	1971	1817	1835
Heat source flow rate**	2.2	3.1	3.2	3.8	30.2	32.4
Saturated steam / Thermal Oil inlet temperature "HT" Loop (in)	392	439	428	453	590	590
Water condensate / Thermal Oil outlet temperature "HT" Loop (out)	358	408	394	421	437	441
Overall thermal power input	4.21	5.54	5.83	6.73	6.21	6.26
Heat source flow rate**	81	114	118	140	309	331
THERMAL OUTPUT - Hot water						
Hot water temperature (in/out)	35/55	75/95	35/55	55/75	60/80	75/90
Thermal power to the cooling water circuit	1002	1402	1380	1647	1491	1505
Hot water temperature (in/out)	95/131	167/203	95/131	131/167	140/176	167/194
Thermal power to the cooling water circuit	3.42	4.78	4.71	5.62	5.09	5.13
PERFORMANCES						
Gross active electric power	200	200	300	300	300	300
Captive consumption	12	22	18	26	20	23
Net active electric power	188	178	282	274	280	277
Gross electric efficiency	16.2	12.3	17.5	15.5	16.5	16.3
Electric generator	Asynchr.; 400V, 50Hz	Asynchr.; 400V, 50Hz	Asynchr.; 400V, 50Hz	Asynchr.; 400V, 50Hz	Asynchr.; 400V, 50Hz	Asynchr.; 400V, 50Hz
Biomass consumption***	558	735	775	880	825	830
Typical delivery time (EXW)	9	9	9	9	9	9

Tabela 3.5. Turboden ORC-postrojenja 600–1300 kWe

		TURBODEN 6 CHP	TURBODEN 7 CHP	TURBODEN 10 CHP	TURBODEN 14 CHP
INPUT - Thermal Oil					
Nominal temperature "HT" loop (in/out)	°C	312/252	312/252	310/250	310/250
Thermal power input "HT" loop	kW	3056	3572	4685	6130
Nominal temperature "LT" loop (in/out)	°C	252/132	252/132	250/130	250/130
Thermal power input "LT" loop	kW	283	338	450	585
Overall thermal power input	kW	3339	3910	5135	6715
Nominal temperature "HT" loop (in/out)	°F	594/486	594/486	590/482	590/482
Thermal power input "HT" loop	MMBtu/hr	10.43	12.19	15.99	20.92
Nominal temperature "LT" loop (in/out)	°F	486/270	486/270	482/266	482/266
Thermal power input "LT" loop	MMBtu/hr	0.96	1.15	1.54	2.00
Overall thermal power input	MMBtu/hr	11.06	13.02	17.52	22.91
OUTPUT - Hot Water					
Hot water temperature (in/out)	°C	60/80	60/80	60/80	60/80
Thermal power to hot water circuit	kW	2689	3146	4095	5341
Hot water temperature (in/out)	°F	140/176	140/176	140/176	140/176
Thermal power to hot water circuit	MMBtu/hr	9.18	10.73	13.97	18.22
PERFORMANCES					
Gross active electric power	kW	619	729	1000	1317
Gross electric efficiency		18.5%	18.6%	19.5%	19.6%
Captive power consumption	kW	32	40	51	62
Net active electric power	kW	587	689	949	1255
Net electric efficiency		17.6%	17.6%	18.5%	18.7%
Electric generator**		50Hz, 400V	50Hz, 400V	50Hz, 400V 60Hz, 480V	50Hz, 400V
Plant size		Single Skid	Single Skid	Multiple Skid	Multiple Skid
Biomass consumption***	kg/h	1459	1709	2244	2935
Typical delivery time (EXW)	Months	9-11	9-11	9-11	9-11

Tabela 3.6. Adoratec ORC-postrojenja 300–1000 kWe

		AD 300 TF-plus	AD 400 TF-plus	AD 500 TF-plus	AD 625 TF-plus	AD 750 TF-plus	AD 875 TF-plus	AD 1000 TF-plus
Thermal Oil								
Total thermal capacity	kW _{th}	1650	2180	2690	3290	3950	4610	5270
Thermal capacity of main circuit	kW	1505	1985	2450	2995	3595	4200	4800
Flow and return temperature of main circuit	°C	320/245	320/245	320/245	320/245	320/245	320/245	320/245
Thermal capacity of sub circuit	kW _{th}	145	195	240	295	355	410	470
Flow and return temperature of sub circuit	°C	245/155	245/155	245/155	245/155	245/155	245/155	245/155
Heating Water								
Thermal capacity	kW _{th}	1350	1780	2190	2665	3200	3735	4270
Temperature in / out	°C	60/80	60/80	60/80	60/80	60/80	60/80	60/80
Volume flow	m ³ /h	59	78	96	117	141	164	188
Generator								
Power at terminals	kW _{el}	300	400	500	625	750	875	1000
Voltage	V	400	400	400	400	400	400	400
Auxiliary power	kW _{el}	19	24	30	36	43	49	55

Firma GMK na svojoj web-stranici ne nudi tačne podatke o ORC-postrojenjima, ali daje okvirne podatke prikazane u sljedećoj tabeli.

Tabela 3.7. GMK-ova ORC-postrojenja 300–1000 kWe

Naziv	Električna snaga (MW)	Toplotna snaga (MW)	Potrošnja goriva (t/god)	Broj radnih sati godišnje
ECOCAL – biomasa	0,5–2,0	3,0–8,0	6.000–20.000	7.500

4. Tehno-ekonomska analiza kogenerativnih tehnologija korištenja drvne biomase

Opis tri komercijalne kogenerativne tehnologije korištenja drvne biomase dat je u Poglavlju 3. U ovom poglavlju će se izvršiti tehno-ekonomska analiza odabranih tehnologija sa ciljem određivanja isplativosti investiranja u zavisnosti od visine investicije, snage postrojenja i cijena električne i toplotne energije. Analiza tehnologija data u ovom poglavlju bazirana je na izvještaju koji je urađen u okviru USAID-ovog projekta u BiH pod nazivom „Investiranje u sektor energije“ [42].

4.1. Tehno-ekonomska analiza direktnog sagorijevanja sa parnim ciklusom

Opis procesa baziranog na tehnologiji parne kogeneracije, dat u Poglavlju 4, ukazuje na njegovu složenost. Za potrebe pojednostavljenog tehno-ekonomskog proračuna potrebno je znati parametre koji su prikazani u sljedećim tabelama. Ovakav proračun dosta je zahtjevan i uključuje proračun entalpije pare na ulazu i izlazu iz turbine i na mjestu oduzimanja, a za tu svrhu je izrađen i VBA (Visual Basic for Applications) program u Excelu, koji na osnovu zadanog pritiska i temperature određuje entalpiju pare. Ostatak proračuna urađen je u Excelu koristeći ugrađene matematičke funkcije. Primjer ulaznih parametara i rezultata tehno-ekonomskog proračuna turbine sa osnovnim parametrima datim u sljedećim tabelama prikazuje jedan od mogućih načina proračuna. Sivo označene vrijednosti u tabeli 4.1. mijenjaju se od slučaja do slučaja. Sve vrijednosti mogu se mijenjati, ali one koje nisu sivo označene zajedničke su za jednu regiju/državu ili ih izračunava softver.

Tabela 4.1. Polazni podaci tehno-ekonomskog proračuna

Feed-in-tarifa	EUR/kWh	0,1232
Godišnji troškovi pogona i održavanja (O&M) (1–5% od investicije)	%	3,0
Vlastita potrošnja električne energije postrojenja	% od BRUTO proizvodnje električne energije	7,0
Kupovna cijena električne energije iz mreže	EUR/kWh	0,0500
Prodajna cijena toplotne energije	EUR/kWh	0,0175
Emisioni CO ₂ faktor za električnu energiju	kg CO ₂ /kWh	0,708
Emisioni CO ₂ faktor za fosilno gorivo	kg CO ₂ /kWh (prirodni gas)	0,1836
	kg CO ₂ /kWh (mazut)	0,2517
	kg CO ₂ /kWh (industrijski ugalj)	0,3325
Berzanska cijena CO ₂	EUR/t	20
Period važenja ugovora o feed-in-tarifama	god	12
Period otplate kredita	god	10
Diskontna stopa	%	7,5
Inflacija	%	2,0
Amortizaciona stopa	%	5,0
PDV	%	17,0
Korekcionni faktor električne energije		2,0

Ulazni podaci koji su korišteni u proračunima su:

Emisioni CO₂ faktor

Emisioni CO₂ faktor za električnu energiju obično propisuje resorno ministarstvo ili neko drugo tijelo. U slučaju BiH zvaničnog podatka nema pa je u ovom radu izračunat i dat u tabeli 2.2.

Berzanska cijena CO₂

Berzanska cijena CO₂ ovdje je navedena jer za neke projekte ili neke kredite treba imati i taj podatak. Naprimjer, European Bank for Reconstruction and Development (EBRD) u analizi projekata koristi vrijednost CO₂ od 20 EUR/t. Emisija CO₂ će se izračunati tako što će se proizvedena neto električna energija pomnožiti sa emisionim CO₂ faktorom za električnu energiju, a proizvedena neto toplotna energija sa emisionim CO₂ faktorom za dizel. Sječka je obnovljivi izvor energije i njen emisioni faktor je nula.

Korekcionni faktor električne energije

Korekcionni faktor električne energije specifičan je faktor kojim se vrednuje primarna energija za proizvodnju jedinične finalne električne energije. Taj koeficijent zavisi od nacionalnog energetskog miksa. U BiH se oko 60% proizvede iz uglja u termoelektranama sa prosječnim stepenom efikasnosti od 30% pa korekcionni faktor električne energije iznosi oko 2.

Finansijski parametri

Diskontna stopa, inflacija, amortizaciona stopa i PDV neophodni su parametri pri proračunu finansijskih elemenata projekta.

U sljedećoj tabeli dati su rezultati tehničkog proračuna na osnovu unesenih parametara (sivo označeni).

Tabela 4.2. Rezultati tehničkog proračuna parne turbine

PARNA TURBINA (kondenzaciona sa jednim oduzimanjem)		
Nominalni kapacitet turbine	kW	2000
Pritisak pare (abs)	bar	34
Temperatura pare na ulazu u turbinu	°C	435
Pritisak pare na mjestu oduzimanja	bar	6
Pritisak kondenzacije	bar	0,0750
Udio pare na mjestu oduzimanja	%	55
Unutrašnji (izentropski) stepen korisnosti		0,80
Entalpija pare na ulazu u turbinu	kJ/kg	3303,89
Entalpija pare u oduzimanju	kJ/kg	2942,66
Entalpija pare na izlazu iz turbine	kJ/kg	2399,46
Temperatura kondenzacije	°C	40,29
Mehanički stepen korisnosti		0,92
Električni stepen korisnosti		0,96
Protok pare na ulazu u turbinu	kg/s	3,74
Protok pare u oduzimanju	kg/s	2,06
Korisna toplota u oduzimanju	kW	5.271,9

KOTAO		
Temperatura napojne vode	°C	75
Stepen korisnosti kotla		0,8
Vlažnost sirove sječke (W1)	%	45
Donja toplotna moć drvene biomase (vlažne)	kJ/kg	9352
Potrošnja biomase	kg/s	1,19
Hemijska energija biomase	MWh/a	89.376
GODIŠNJI PARAMETRI		
Godišnji broj sati rada postrojenja	h/a	8.000
Proizvodnja električne energije BRUTO	MWh/a	16.000
Proizvodnja toplotne energije	MWh/a	42.176
Potrošnja biomase	t/a	34.405
Vlastita potrošnja električne energije	%	7,00
Vlastita potrošnja električne energije	MWh/a	1.120
Eta CHP (neto)		63,8%
EMISIJA CO2		
Ukupna NETO finalna energija	MWh/a	57.056
Korekcionni faktor električne energije		2
Primarna energija	MWh/a	71.936
Smanjenje emisije CO2	tCO2/a	19.071

Podaci koji su korišteni u proračunima investicija, prihoda i rashoda su:

Investicioni troškovi

Investicija obuhvata sve troškove koji su vezani za ukupnu investiciju projekta. Investicije u projekt obično obuhvataju sljedeće elemente:

- projektovanje/planiranje,
- upravljanje projektom/uvjerenje o kvalitetu,
- nabavku komponenata, opreme i uređaja,
- montažu,
- kontrolu i testiranje,
- izradu i prikupljanje dokumenata o izgrađenom objektu,
- obuku,
- ostale troškove.

Prihodi

Prihodi se ostvaruju prodajom električne energije i toplotne energije. Električna energija se prodaje po garantovanoj otkupnoj cijeni (engl. Feed-in tariff) i preuzima se iz zvaničnih dokumenata koje izdaju regulatorne komisije (vidi potpoglavlje 2.3.4).

Prodajna cijena toplotne energije nije definisana, nego je stvar pregovora sa zainteresovanim kupcem ili se dâ vrijednost koju ima toplotna energija za vlastitu potrošnju.

Procjena tekućih rashoda

Rashodi su sljedeći:

- troškovi biomase,
- troškovi radne snage,
- troškovi zemljišta,
- vlastita potrošnja postrojenja,
- troškovi pogona i održavanja (O&M),
- ostali materijalni troškovi.

Troškovi biomase

Na osnovu tehničkih karakteristika postrojenja računa se potrošnja biomase i množi se sa tržišnom cijenom biomase.

Troškovi radne snage

Zavisi od broja zaposlenih za upravljanje i rukovanje postrojenjem.

Troškovi zemljišta

Ovaj trošak ne mora postojati ako firma posjeduje neiskorišteno zemljište, ali se i u tom slučaju može smatrati troškom ako je firma u mogućnosti da to zemljište iznajmi drugom.

Vlastita potrošnja postrojenja

Za pogon pumpi, ventilatora i druge opreme, dio proizvedene električne energije troši samo postrojenje.

Može postojati i druga potrošnja, pored električne energije, a u slučaju parnih turbina potrebno je nadomjestiti gubitak vode, koju je potrebno pripremiti prije nego što se ubaci u sistem.

Troškovi pogona i održavanja (O&M)

Troškovi pogona i održavanja procjenjuju se i dodaju se troškovima vlastite potrošnje energije. Obično se za ovakva postrojenja uzima da je to 1–5% od investicije, osim ako proizvođač opreme nije drugačije preporučio.

U sljedećoj tabeli dat je pregled investicija, prihoda i rashoda na osnovu unesenih parametara (sivo označeni).

Tabela 4.3. Pregled investicija, prihoda i rashoda

Specifična investicija	EUR/kWe	3.243
INVESTICIONI TROSKOVI		
<i>Projektna dokumentacija, dozvola i saglasnosti</i>	EUR	100.000
<i>Građevinski radovi</i>	EUR	250.000
<i>Elektroinstalacije</i>	EUR	250.000
<i>Mašinska oprema i radovi</i>	EUR	4.800.000
<i>Sistem za kontrolu i nadzor</i>	EUR	35.000
<i>Priključak na elektrodistribucionu mrežu</i>	EUR	15.000
<i>Priključak na toplovodnu mrežu</i>	EUR	13.500
<i>Nadzor</i>	EUR	5.000
<i>Puštanje u rad, garantni test i trening osoblja</i>	EUR	25.000
<i>Nepredviđeni troškovi</i>	EUR	50.000
Ukupna investicija (sa PDV-om)	EUR	6.485.895
<i>PDV</i>	EUR	1.102.602
Ukupno plaće i administracija	EUR/god.	32.000
Broj zaposlenih radnika	osoba	4
Prosječna bruto plaća	EUR/god.	8.000
Godišnji trošak potrošnje i pripreme vode	EUR/a	75.000
TROŠAK RADA POMOĆNIH UREĐAJA		
Cijena električne energije	EUR/kWh	0,0500
Trošak rada pomoćnih uređaja	EUR/a	56.000
O&M troškovi (1–5% od investicije)	EUR/god.	194.577
Troškovi goriva	EUR/god.	1.204.171
Potrošnja biomase	t/god.	34.405
Jedinična cijena biomase (sa transportom)	EUR/t	35
BRUTO ELEKTRIČNA energije (sva proizv. el. energija po FIT-u)	MWh/god.	16.000
Jedinična cijena električne energije u prodaji (engl. feed-in-tarifa)	EUR/kWh	0,12317
Prihod od prodaje električne energije	EUR/god.	1.970.720
Jedinična cijena toplotne energije	EUR/MWh	17,50
NETO TOPLOTNA energija za prodaju	MWh/god.	42.176
Prihod od prodaje toplotne energije	EUR/god.	738.071
UKUPNI GODIŠNJI PRIHOD	EUR/god.	2.708.791
UKUPNI GODIŠNJI RASHOD	EUR/god.	1.367.171
NETO ZARADA	EUR/god.	1.341.620
Prost period otplate	god.	4,8

4.2. Tehno-ekonomska analiza gasifikacionog postrojenja

Polazni podaci tehno-ekonomskog proračuna su isti kao i za parno postrojenje. U sljedećoj tabeli dati su osnovni proračunski podaci gasifikacionog postrojenja na osnovu unesenih parametara (sivo označeni). Osnovna i najvažnija pretpostavka koja se ovdje navodi je podatak o potrebnom protoku suhe sječke za snagu od 1 kW električne energije. Obično se uzima da je protok od 1 kg/h suhe sječke dovoljan za snagu od 1 kW na klemama generatora. Na osnovu potrošnje nekih postrojenja u pogonu u EU, ova vrijednost potrošnje suhe sječke okvirno je tačna, ali stvarnu vrijednost će dati proizvođač opreme.

Tabela 4.4. Rezultati tehničkog proračuna gasifikacionog postrojenja

OSNOVNA PRETPOSTAVKA OVOG PRORAČUNA JE DA SVAKI kW ELEKTRIČNE SNAGE TREBA 1 kg/h SUŠENE SJEČKE (može se mijenjati)		1,00
GASNI MOTOR		
Električna snaga	kW	500,00
Električni stepen korisnosti	%	38,00
Ukupni stepen korisnosti	%	85,00
Snaga generatorskoga gasa	kW	1315,79
Toplotna snaga	kW	618,42
RAD POSTROJENJA		
Godišnji broj sati rada	h/god.	8000
BRUTO godišnja proizvodnja električne energije	MWh/god.	4000,00
Vlastita potrošnja električne energije	MWh/god.	280,00
NETO godišnja proizvodnja električne energije	MWh/god.	3720,00
BRUTO godišnja proizvodnja toplotne energije (od motora + hlađenje gasa)	MWh/god.	8001,9
NETO godišnja toplotna energija (sve od motora)	MWh/god.	4947,37
Potrošnja generatorskoga gasa	MWh/god.	10526,32
BRUTO stepen korisnosti (bruto električna i toplotna energija)	%	64,08
NETO stepen korisnosti (neto električna i toplotna energija)	%	46,28
SJEČKA		
Vlažnost sirove sječke (W1)	%	45
Vlažnost sušene sječke (W2)	%	10
Mokri udio U1		0,8182
Mokri udio U2		0,1111
Donja toplotna moć drvne biomase (vlažne)	MJ/kg	9,35
Donja toplotna moć drvne biomase (sušene)	MJ/kg	16,86
Potrošnja sušene sječke	kg/h	500,00
Masa suhe materije	kg/h	450,00
Potrošnja vlažne sječke	kg/h	818,18
Godišnja potrošnja sušene sječke	t/god.	4000,0
Energija sušene sječke	MWh/a	18728,9
Godišnja potrošnja vlažne sječke	t/god.	6545,5
Masa vode koju treba odstraniti	t/god.	2545,5
Potrebna toplota za sušenje sječke (0,8–1,25 kWh/kgH ₂ O)	MWh/a	3054,5

EMISIJA CO2		
Korekcionni faktor električne energije		2
Finalna energija	MWh/a	8.667
Primarna energija	MWh/a	12.387
Smanjenje emisije CO2	tCO2/a	3.542

- Električna snaga gasnog motora je snaga koju taj motor daje na klemama priključenoga generatora.
- Električni stepen korisnosti je efikasnost transformacije ukupne energije goriva u električnu energiju. Taj podatak daje proizvođač i obično se kreće u granicama od 35 do 40%.
- Stepenn korisnosti kogenerativnog postrojenja definisan je na sljedeći način:

$$\eta_{CHP} = \frac{E_e + E_t}{E_{gor}}$$

gdje je:

E_e – proizvedena električna energija

E_t – proizvedena toplotna energija

E_{gor} – primarna energija goriva (bimase)

- Snaga generatorskoga gasa ukupna je hemijska snaga generisanoga gasa (opranog i očišćenog), koji se dovodi na ulaz gasnog motora (kW ili MW).
- Toplotna snaga je toplotna snaga vode za hlađenje i produkata sagorijevanja, koja se može korisno upotrijebiti ili prodati (kW ili MW).
- Vlažnost sječke na ulazu (maseni udio). Toplotna moć sječke zavisi od vlažnosti i svakako utiče i na cijenu. Zato je veoma važno precizno definisati kolika je ulazna vlažnost, kako se mjeri i kako cijena zavisi od ove vlažnosti.
- Vlažnost sječke nakon sušenja (maseni udio) propisuje proizvođač gasifikatora (reaktora). Stepenn korisnosti reaktora i kvalitet gasa zavisi od te vlažnosti.
- Cijena sječke na ulazu u postrojenje je ona cijena koja se plaća za isporučeni kvalitet sječke. Ako se koristi vlastita sječka, onda se uzima srednja tržišna vrijednost sječke u okruženju.
- Godišnji broj sati rada. Ovo je vrlo važan podatak. Treba dobro razmotriti mogućnost raspoloživosti sirovine, jer je to osnovni uslov za rad postrojenja. Često se događa da sirovina nije dostupna u količini i po cijeni koja je prepostavljena da bi se ostvarila profitabilnost. Za mali broj sati rada postrojenja godišnje (ispod 3000 h/a) vrlo je teško očekivati ekonomičnost investicije.
- Bruto godišnja proizvodnja električne energije. Ova veličina se izračunava prema poznatom broju sati rada i prema odabranim snagama generatora.
- Vlastita potrošnja električne energije. Ovdje se samo izračunava ova potrošnja (pumpe, ventilatori, automatika itd.) na osnovu procijenjenog procenta.
- Bruto godišnja proizvodnja toplotne energije. Ovdje se izračunava proizvodnja TOPLOTNE energije. Dio ove energije koristi se za sušenje sječke. Ova potrošnja je promenljiva, ali treba računati da će vlažnost sirove sječke biti između 40 i 50%, što znači da će se značajan dio toplotne energije utrošiti na sušenje.
- Neto godišnja toplotna energija (za daljnju upotrebu). Preostali dio toplotne energije može se koristiti za druge potrebe (grijanje, hlađenje upotrebom apsorpcionih rashladnih mašina itd.).

- Potrošnja generatorskoga gasa određena je njegovom toplotnom moći i stepenima korisnosti koje daje proizvođač.
- Bruto stepen korisnosti. Ovaj stepen korisnosti izračunat je kao odnos zbira generisane BRUTO električne i BRUTO toplotne energije u gasnom motoru i generatoru i energije suhe sječke. Na taj je način uzeta u obzir i efikasnost gasifikacionog procesa, prečišćavanja gasa i proizvodnje energije gasnim motorom.
- Neto stepen korisnosti. Definisan je kao odnos zbira neto raspoložive električne energije i neto raspoložive toplotne energije i energije vlažne sječke. Na ovaj je način uzeta u obzir i energija potrebna za sušenje sječke.
- Vlažnost sirove sječke (W1) i vlažnost sušene sječke (W2) su veličine koje se mjere i koje moraju biti precizno određene za tačno energetske bilansiranje.
- Mokri udio U1 i U2 se određuju računski.
- Donja i gornja toplotna moć drvene biomase (sirove i sušene) izračunava se na osnovu empirijskih formula ili se mjere.
- Potrošnja sušene sječke bazirana je na proračunu da 1 kg/h sječke treba za svaki kW električne snage. To je iskustveni podatak, koji se može koristiti ako stvarna vrijednost nije dobivena od proizvođača opreme.
- Masa suhe materije, potrošnja sirove sječke, godišnja potrošnja sušene sječke, energija suhe sječke i godišnja potrošnja sirove sječke određuju se proračunima.
- Potrebna toplota za sušenje sječke. Određivanje ove vrijednosti vrlo je složen postupak, ali je u ovoj fazi proračuna dovoljna njena procjena na osnovu iskustvene specifične potrošnje toplotne energije od 0,8 do 1,25 kWh/kgH₂O. Ona zavisi od granulacije sječke, vrste drveta, upotrijebljenog postupka sušenja, temperature vrelog ili toplog zraka itd. Pomoću specifične potrošnje toplotne energije i početne i konačne vlažnosti sječke izračunava se potrošnja toplotne energije. Početna vlažnost je obično 40–50%, a konačna vlažnost je obično 10%.

U sljedećoj tabeli dat je pregled investicija, prihoda i rashoda na osnovu unesenih parametara (sivo označeni).

Tabela 4.5. Pregled investicija, prihoda i rashoda

Specifična investicija	EUR/kWe	4.399
TROŠKOVI		
<i>Projektna dokumentacija</i>	EUR	100.000
<i>Pribavljanje dozvola i saglasnosti</i>	EUR	100.000
<i>Građevinski radovi</i>	EUR	100.000
<i>Sistem za transport i sušenje biomase</i>	EUR	300.000
<i>Uređaj za doziranje biomase</i>	EUR	100.000
<i>Pirolitički reaktor</i>	EUR	250.000
<i>Oprema za prečišćavanje generatorskoga gasa</i>	EUR	150.000
<i>Gasni motor i generator</i>	EUR	200.000
<i>Dimnjak</i>	EUR	50.000
<i>Elektroradovi</i>	EUR	100.000
<i>Mašinski radovi</i>	EUR	100.000
<i>Sistem za kontrolu i nadzor</i>	EUR	10.000
<i>Priključak na elektrodistribucionu mrežu</i>	EUR	30.000
<i>Priključak na toplovodnu mrežu</i>	EUR	50.000
<i>Nadzor</i>	EUR	50.000

<i>Puštanje u rad, garantni test i trening osoblja</i>	EUR	90.000
<i>Nepredviđeni troškovi</i>	EUR	100.000
Ukupna investicija (sa PDV-om)	EUR	2.199.600
<i>PDV</i>	EUR	373.932
Ukupno plaće i administracija	EUR/god.	32.000
Broj zaposlenih radnika	osoba	4
Prosečna bruto plaća	EUR/god.	8.000
O&M troškovi	EUR/god.	65.988
Troškovi goriva	EUR/god.	229.091
Potrošnja drvene sječke	t/god.	6.545
Jedinična cijena sječke (sa transportom)	EUR/t	35
TROŠAK RADA POMOĆNIH UREĐAJA		
Cijena električne energije	EUR/kWh	0,0500
Trošak rada pomoćnih uređaja	EUR/a	14.000
Energetski i finansijski efekti rada postrojenja		
BRUTO ELEKTRIČNA energija (sva proizv. el. energija po FIT-u)	MWh/god.	4.000
Jedinična cijena električne energije u prodaji	EUR/kWh	0,12317
Prihod od prodaje električne energije	EUR/god.	492.680
Jedinična cijena toplotne energije	EUR/MWh	17,50
TOPLOTNA energija za prodaju	MWh/god.	4.947
Prihod od prodaje toplotne energije	EUR/god.	86.579
UKUPNI GODIŠNJI PRIHOD	EUR/god.	579.259
UKUPNI GODIŠNJI RASHOD	EUR/god.	341.079
NETO ZARADA	EUR/god.	238.180
Prost period otplate	god.	9,2

4.3. Tehno-ekonomska analiza ORC-postrojenja

Polazni podaci tehno-ekonomskog proračuna isti su kao i za parno i gasifikaciono postrojenje. U sljedećoj tabeli dati su osnovni proračunski podaci ORC-postrojenja na osnovu unesenih parametara (sivo označeni). Svi parametri već su objašnjeni u prethodnim potpoglavljima.

Tabela 4.6. Rezultati tehničkog proračuna ORC-postrojenja

PODACI O POSTROJENJU I USLOVIMA RADA	Jedinica	Vrijednost
Godišnji broj sati rada postrojenja	h/a	8.000
Nominalna električna snaga	kW	729
Vlastita potrošnja	kW	51
Nominalna toplotna snaga	kW	3.146
Donja toplotna moć biomase	MWh/t	2,6
Električni stepen korisnosti ORC-postrojenja (srednji)		0,17
Termički stepen korisnosti ORC-postrojenja (srednji)		0,75
Efikasnost kotla na biomasu (srednji)		0,78
Udio proizvedene toplotne energije za proizvodni proces i za grijanje	%	100
Potrebna toplotna energija u procesu i za grijanje	MWh/a	25.168
SJEČKA		
Vlažnost sirove sječke (W1)	%	45
Donja toplotna moć drvne biomase (vlažne)	MJ/kg	9,352
PRORAČUNSKE VRIJEDNOSTI		
Proizvodnja električne energije BRUTO	MWh/a	5.832
Električna energija isporučena mreži	MWh/a	5.424
Proizvodnja toplotne energije BRUTO	MWh/a	25.168
Hemijska energija biomase	MWh/a	43.200
Potrošnja biomase	t/a	16.629
Godišnja efikasnost cijelog postrojenja	%	70,8%
Korekcionni faktor električne energije		2
EMISIJA CO2		
Finalna energija	MWh/a	30.592
Primarna energija	MWh/a	36.016
Smanjenje emisije CO2	tCO2/a	8.461

U sljedećoj tabeli dat je pregled investicija, prihoda i rashoda na osnovu unesenih parametara (sivo označeni).

Tabela 4.7. Pregled investicija, prihoda i rashoda

Specifična investicija	EUR/kWe	5.994
TROŠKOVI		
<i>Projektna dokumentacija, dozvola i saglasnosti</i>	EUR	100.000
<i>Građevinski radovi</i>	EUR	350.000
<i>Kotao za grijanje termičkog ulja na biomasu</i>	EUR	1.500.000
<i>Uređaj za doziranje biomase</i>	EUR	50.000
<i>Oprema za prečišćavanje produkata sagorijevanja</i>	EUR	100.000
<i>ORC-modul</i>	EUR	1.200.000
<i>Vaduhom hlađeni kondenzator</i>	EUR	40.000
<i>Priključak na elektrodistribucionu mrežu</i>	EUR	250.000
<i>Mašinski radovi</i>	EUR	30.000
<i>Sistem za kontrolu i nadzor</i>	EUR	35.000
<i>Nadzor</i>	EUR	5.000
<i>Puštanje u rad, garantni test i trening osoblja</i>	EUR	25.000
<i>Nepredviđeni troškovi</i>	EUR	50.000
Ukupna investicija (sa PDV-om)	EUR	4.369.950
<i>PDV</i>	EUR	742.892
O&M troškovi (1–3% od investicije)	EUR/god.	131.099
Ukupno plaće i administracija	EUR/god.	32.000
Broj zaposlenih radnika	osoba	4
Prosječna bruto plaća	EUR/god.	8.000
Troškovi goriva	EUR/god.	582.030
Potrošnja drvne sječke	t/god.	16.629
Jedinična cijena sječke (sa transportom)	EUR/t	35
TROŠAK RADA POMOĆNIH UREĐAJA		
Cijena električne energije	EUR/kWh	0,0500
Trošak rada pomoćnih uređaja	EUR/a	20.412
Energetski i finansijski efekti rada postrojenja		
BRUTO ELEKTRIČNA energija (sva proizv. el. energija po FIT-u)	MWh/god.	5.832
Jedinična cijena električne energije u prodaji	EUR/kWh	0,1232
Prihod od prodaje električne energije	EUR/god.	718.327
Jedinična cijena toplotne energije	EUR/MWh	17,50
TOPLOTNA energija za prodaju	MWh/god.	25.168
Prihod od prodaje toplotne energije	EUR/god.	440.440
UKUPNI GODIŠNJI PRIHOD	EUR/god.	1.158.767
UKUPNI GODIŠNJI RASHOD	EUR/god.	765.540
NETO ZARADA	EUR/god.	393.227
Prost period otplate	god.	11,1

5. Razvoj modela optimizacije

Da bi kogenerativno postrojenje bilo isplativo, treba imati što veći broj radnih sati godišnje, a za to je potrebno da postrojenje ima stalnog potrošača toplotne energije tokom cijele godine. Ovaj se rad bavi optimizacijom instrumenata energetske politike korištenja drvene biomase, a kako drvoprerađivačka industrija koristi drvenu biomasu i troši toplotnu energiju tokom cijele godine, **model optimizacije će se razviti za primjenu u drvoprerađivačkoj industriji u odabranom geografskom području.**

Područje na koje će se moći primijeniti model je bilo koja regija/administrativna jedinica sa nadležnošću nad energetsom politikom tako da se instrumenti energetske politike mogu definisati i primijeniti na teritoriji administrativne jedinice. Pored toga, za tu regiju moraju postojati statistički podaci na osnovu kojih se mogu odrediti ili procijeniti potrebni parametri. Poželjno je da administrativna jedinica ima nadležnost nad dijelovima fiskalne politike, npr. oslobađanje od poreza na dodatnu vrijednost ili doprinosa na plaću, jer su i to načini za prikupljanje sredstava za podsticaj – da ne moraju cijeli iznos platiti građani kroz račune za električnu energiju.

Za drvoprerađivačku industriju u odabranoj regiji potrebno je razviti matematički model za rješavanje problema optimizacije instrumenata energetske politike održivoga korištenja drvene sječke. **Optimizacija u ovom slučaju znači: za raspoloživu količinu finansijskih sredstava, kojima će se podsticati proizvodnja električne i toplotne energije iz sječke, maksimizirati ekonomsku i društvenu korist, koja se ogleda kroz stvaranje nove ekonomske vrijednosti i otvaranje novih radnih mjesta.**

Da bi se mogao razviti model, potrebno je izvršiti sljedeće korake za odabranu regiju:

1. Utvrditi iznos ukupnih sredstava raspoloživih za podsticaje
2. Odrediti raspoloživu količinu biomase za korištenje u kogenerativnim postrojenjima
3. Napraviti listu drvoprerađivačkih firma i za svaku utvrditi toplotnu snagu i toplotnu energiju potrebnu za proces proizvodnje. Ako je regija velika, pa je broj firmi prevelik, onda firme podijeliti u grupe po potrebnoj toplotnoj snazi. Svaka grupa treba imati makar jednu firmu, što će predstavljati najmanji mogući reprezentativni uzorak.
4. Na osnovu potrebne toplotne snage za svaku firmu odrediti toplotnu snagu a time i električnu snagu za svaku od tri vrste kogenerativnih postrojenja. Toplotna snaga kogenerativnog postrojenja može biti za maksimalno 25% veća od potreba proizvodnje. Na taj se način osigurava da se toplotna energija stvarno koristi jer se samo u rijetkim slučajevima u drvoprerađivačkoj industriji toplota može prodati drugom potrošaču. Ako je potrebna toplotna snaga firme premala da bi se mogla odabrati odgovarajuća kogenerativna tehnologija ili firma ima malu proizvodnju a time i investicionu sposobnost, te firme se neće razmatrati kao potencijalni investitori u kogenerativna postrojenja.
5. Na osnovu kogenerativnih postrojenja dostupnih na tržištu, za svaku firmu odabrati konkretno kogenerativno postrojenje, za svaku od tri tehnologije, sa toplotnom snagom do 25% većom od potreba firme. Od tri tehnologije najmanji odnos toplotne i električne snage imaju gasifikaciona postrojenja, pa ORC i na kraju parna postrojenja (Poglavlje 4). Ako je potreba za toplotnom energijom premala da bi se moglo naći parno kogenerativno postrojenje, onda će se za tu firmu odabrati samo dva kogenerativna postrojenja (ORC i gasifikacija). Ako su toplotne potrebe firme za više od 25% veće od toplotnoga kapaciteta najmanjeg ORC-postrojenja dostupnog na komercijalnom tržištu, onda se za tu firmu može razmatrati samo gasifikaciono postrojenje.

6. Izračunati proizvodnju toplotne i električne energije za svaku firmu za sve tri (dvije ili jednu) tehnologije na osnovu godišnjih sata rada, toplotnih i električnih snaga postrojenja
7. Izračunati dodatnu potrošnju sječke kao razliku izračunate potrošnje kogenerativnog postrojenja i potrošnje prijašnjeg kotlovskeg postrojenja (ako ne postoje podaci za prijašnju potrošnju, izračunati sa pretpostavljenim prosječnim stepenom korisnosti)
8. Utvrditi maksimalnu količinu dostupne sječke za posmatranu regiju iz odgovarajućih zvaničnih studija i izvještaja. Ako ne postoje takve studije, onda procijeniti.
9. Izračunati vrijednost toplotne energije, dobivene iz sječke, koja se upotrebljava za vlastite potrebe drvoprerađivačke firme (referentna cijena toplotne energije)
10. Utvrditi garantovane otkupne cijene električne energije iz biomase u regiji, kao orijentacione vrijednosti
11. Utvrditi referentnu cijenu električne energije
12. Utvrditi vrijednost sječke na tržištu

Kada je u potpoglavlju 1.9. objašnjeno šta model treba obuhvatiti, navedeno je da će model omogućiti unos parametara koji definišu specifičnosti društvenog, ekonomskog i industrijskog nivoa razvoja zemlje. Specifičnosti društvenog, ekonomskog i industrijskog nivoa razvoja zemlje ogledaju se u strukturi toplotnih potreba preduzeća u drvoprerađivačkom sektoru, referentnoj cijeni električne energije i maksimalnom novčanom iznosu na raspolaganju za podsticaje.

Ako je zemlja razvijena, onda vrijedi sljedeće, a za zemlje u razvoju i tranziciji je obrnuto:

- Postoji veći broj preduzeća sa velikim potrebama za toplotnom energijom, što će se odraziti na odabir i snagu kogenerativnih postrojenja i krajnji rezultat optimizacije.
- Cijene električne energije, sječke i toplotne energije su više.
- Novčani iznos na raspolaganju za podsticaje po jedinici energije je viši.
- Plaće uposlenih su više.

Nakon što smo utvrdili navedene parametre, možemo pristupiti razvoju modela. Matematička metodologija pomoću koje će se modelirati ovaj problem optimizacije se zove linearno programiranje ili linearna optimizacija. Tom matematičkom metodologijom traži se maksimum ili minimum određene funkcije – funkcije cilja (engl. objective function) sa ograničenjima (engl. constraints) iskazanim u obliku linearnih jednačina ili nejednačina.

Ova je metodologija odabrana jer će se pomoću nje dobiti eksplicitno rješenje na osnovu definisane **funkcije cilja: ukupna ekonomska i društvena korist** i odgovarajućih ograničenja. Da bi se sve vrste koristi mogle sabirati, sve će biti monetizirane – izražene u novcu, odnosno kvantifikovane. Značajna prednost ove metode je što ne miješa kvalitativne i kvantitativne parametre, čime se sabiru ili upoređuju vrijednosti koje nemaju istu jedinicu mjere. Izražavanjem svih parametara u novcu optimizacijom je moguće dobiti jednoznačno rješenje.

Glavni elementi **ukupne ekonomske i društvene koristi** su:

1. Nova tržišna vrijednost ostvarena kroz dodatnu proizvodnju i prodaju sječke
2. Nova tržišna vrijednost ostvarena kroz proizvodnju i prodaju električne energije
3. Nova tržišna vrijednost ostvarena kroz proizvodnju i prodaju toplotne energije

4. Nova tržišna vrijednost ostvarena kroz otvaranje novih radnih mjesta (neto plaće, doprinosi i fiksni troškovi)

Svi ovi elementi ukupne ekonomske i društvene koristi predstavljaju novu vrijednost i povećavaju bruto društveni proizvod (BDP) i javne prihode. Za svaku je regiju poznat procent javnih prihoda u odnosu na BDP, koji iznosi i polovinu BDP-a, kao i multiplikator. Naprimjer, za Evropski fond za strateške investicije (European Fund for Strategic Investments), koji se implementira od 2015. do 2017. godine, očekuje se da će multiplikatorski efekt Fonda biti 1:15, odnosno, svaki javni EUR koji je uložen iz Fonda rezultovat će u 15 EUR ukupne investicije, koje inače ne bi bilo. Na isti način treba razmišljati o poticanju kogenerativnih postrojenja na biomasu. Za svaki uloženi EUR višestruko će se povećati BDP, a i javni prihodi, zavisno od udjela u BDP-u.

Ograničenja i uslovi koji će se koristiti u definisanju modela:

1. **Ulaganje u kogenerativno postrojenje mora biti isplativo sa prostim periodom povrata manjim od 8 godina. Takav period povrata odgovara internoj stopi rentabilnosti (engl. Internal Rate of Return) od 7%, što je potrebno da bi se mogla plaćati rata kredita u iznosu od 70% investicije, sa periodom otplate od 10 godina i kamatom od 6%, i da investitoru preostane novca za nepredviđene troškove. Kamatna stopa od 6% je realna vrijednost koju nude komercijalne banke za takve projekte u zemljama koje se smatraju zemljama sa većim rizikom ulaganja, kao što su zemlje u razvoju.**
2. **Pošto je interes društva da se energija efikasno koristi, u proračunu isplativosti će se računati da se 70% proizvedene toplotne energije koristi i ima odgovarajuću vrijednost** (to je u skladu sa prethodno objašnjenim načinom odabira toplotne snage kogenerativnog postrojenja).
3. Na jednoj lokaciji (firmi) se može instalirati samo jedno postrojenje (parno, ORC ili gasifikaciono).
4. Ne mora se na svakoj lokaciji instalirati kogenerativno postrojenje.
5. Ukupna potrošnja sječke ne smije biti veća od ukupne raspoložive količine.
6. Ukupni troškovi podsticaja ne smiju preći odabrani iznos koji će se izračunati kao dio prosječnog iznosa računa za električnu energiju.

Ključna je pretpostavka da kapacitet mreže na lokaciji drvoprerađivačke firme omogućava priključenje kogenerativnog postrojenja.

Sada je potrebno definisati funkciju cilja i ograničenja u formi matematičke metode linearnog programiranja.

Kao što je objašnjeno u potpoglavlju 1.6, opći oblik matematičke metode linearnog programiranja je:

odrediti varijable odlučivanja x_1, x_2, \dots, x_n

tako da se maksimizira ili minimizira **funkcija cilja** definisana kao:

$$c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n, \quad 5.1.$$

uz ograničenja (uslove):

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &\leq b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &\leq b_2, \\ &\vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &\leq b_m, \end{aligned} \quad 5.2.$$

pri čemu je

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

$$c_1, c_2, \dots, c_n = \text{const.}$$

$$a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n}, a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2n}, a_{m1}, \dots, a_{mn} = \text{const.}$$

Cilj optimizacije je maksimizacija ukupne nove tržišne vrijednosti ostvarene kroz od proizvodnju sječke, električne i toplotne energije i zapošljavanja odabirom jedne od tri raspoložive kogenerativne tehnologije za svaku drvoprerađivačku firmu iz reprezentativnog uzorka. Tri raspoložive kogenerativne tehnologije su: gasifikacija drvene sječke, ORC-sistem i sistem sa parnom turbinom. Proizvodnja toplotne energije zavisi od instalisane toplotne snage postrojenja i broja radnih sati, a proizvodnja električne energije zavisi od instalisane električne snage postrojenja i broja radnih sati.

Ukupna potrošnja energenta (sječke) ne smije biti veća od količine raspoložive sječke. Da bi se taj uslov ispunio, a istovremeno maksimizirala ukupna proizvodnja električne i toplotne energije, potrebno je u modelu predvidjeti mogućnost da se u nekim firmama uopće ne instalise kogenerativno postrojenje. Potrošnja sječke zavisi od instalisane toplotne snage kogenerativnog postrojenja i vrste tehnologije. Dodatna potrošnja sječke je razlika između prijašnje potrošnje sječke samo za proizvodnju električne energije i potrošnje sječke kogenerativnog postrojenja.

Za svaku firmu za sve tri (ili dvije ili jednu) tehnologiju određena je toplotna i električna snaga postrojenja, odgovarajuća dodatna potrošnja sječke i vrijednost novih radnih mjesta.

Primjena metode linearnog programiranja na problem optimizacije korištenja drvne sječke je kako slijedi:

Funkcija cilja je ukupna tržišna vrijednost proizvodnje sječke, električne energije, toplotne energije i zapošljavanja i tu funkciju treba maksimizirati. Za svaku firmu tržišna vrijednost električne energije jednaka je:

$$P_e = S_e \cdot N \cdot C_e \quad 5.3.$$

gdje je

S_e – instalisana električna snaga postrojenja (kW)

N – broj radnih sati (h)

C_e – garantovana otkupna cijena električne energije (EUR/kWh)

Zavisno od odabira tehnologije, instalisana električna snaga postrojenja će biti jednaka:

$$S_e = S_{eg} \quad \text{ili} \quad S_e = S_{eo} \quad \text{ili} \quad S_e = S_{ep}, \quad 5.4.$$

gdje je

S_{eg} – instalisana električna snaga gasifikacionog postrojenja (kW)

S_{eo} – instalisana električna snaga ORC-postrojenja (kW)

S_{ep} – instalisana električna snaga parnog postrojenja (kW)

Na temelju toga, tržišna vrijednost električne energije za **i-tu firmu** može se izraziti kao:

$$P_{e,i} = (S_{eg,i} \cdot G_i + S_{eo,i} \cdot O_i + S_{ep,i} \cdot P_i) \cdot N \cdot C_{e,i}, \quad 5.5.$$

pri čemu su

G_i , O_i i P_i binarne varijable, dakle imaju vrijednost 0 ili 1, odnosno

$$G_i = 0 \text{ ili } G_i = 1; \quad O_i = 0 \text{ ili } O_i = 1; \quad P_i = 0 \text{ ili } P_i = 1 \quad 5.6.$$

Samo jedna ili nijedna tehnologija može biti odabrana za jednu firmu, pa je:

$$G_i + O_i + P_i = 1 \text{ ili } G_i + O_i + P_i = 0 \quad 5.7.$$

Za neku(e) firmu(e) neće biti odabrana niti jedna tehnologija da bi se zadovoljio uslov ograničene količine energenta i ograničenog ukupnog iznosa podsticaja.

Ukupan broj firmi je n , pa $i = 1, 2, \dots, n$.

Analogno proizvodnji električne energije, za proizvodnju toplotne energije, P_t , vrijedi:

$$P_t = S_t \cdot N \cdot C_t, \quad 5.8.$$

gdje je

S_t – instalisana toplotna snaga postrojenja (kW)

N – broj radnih sati (h)

C_t – cijena toplotne energije (EUR/kWh)

Zavisno od odabira tehnologije, instalisana toplotna snaga postrojenja će biti jednaka:

$$S_t = S_{tg} \quad \text{ili} \quad S_t = S_{to} \quad \text{ili} \quad S_t = S_{tp}, \quad 5.9.$$

gdje je

S_{tg} – instalisana toplotna snaga gasifikacionog postrojenja (kW)

S_{to} – instalisana toplotna snaga ORC-postrojenja (kW)

S_{tp} – instalisana toplotna snaga parnog postrojenja (kW)

Dakle, tržišna vrijednost toplotne energije za **i-tu firmu** može se izraziti kao:

$$P_{t,i} = (S_{tg,i} \cdot G_i + S_{to,i} \cdot O_i + S_{tp,i} \cdot P_i) \cdot N \cdot C_{t,i} \quad 5.10.$$

Analogno toplotnoj i električnoj energiji, tržišna vrijednost dodatne potrošnje ulazne energije (sječke) za **i-tu firmu** je jednak:

$$P_{s,i} = (U_{g,i} \cdot G_i + U_{o,i} \cdot O_i + U_{p,i} \cdot P_i - E_{p,i}) \cdot N \cdot C_s, \quad 5.11.$$

gdje je

$U_{g,i}$ – ulazna snaga gasifikacionog postrojenja (kW)

$U_{o,i}$ – ulazna snaga ORC-postrojenja (kW)

$U_{p,i}$ – ulazna snaga parnog postrojenja (kW)

$E_{p,i}$ – prijašnja ulazna snaga kotla na biomasu (prije instalacije kogenerativnog postrojenja) (kW)

N – broj radnih sati (h)

C_s – cijena primarne energije sječke (EUR/kWh)

Tržišna vrijednost od zapošljavanja zavise od broja zaposlenih, a broj zaposlenih zavisi od veličine, odnosno električne snage postrojenja.

Tržišna vrijednost zapošljavanja za **i-tu firmu** je jednak:

$$P_{z,i} = (S_{eg,i} \cdot G_i + S_{eo,i} \cdot O_i + S_{ep,i} \cdot P_i) \cdot C_{z,i}, \quad 5.12.$$

gdje su

$C_{z,i}$ – tržišna vrijednost zapošljavanja – plaća, doprinosi i administrativni troškovi (EUR)

Sada se ukupna nova tržišna vrijednost za i-tu firmu ($P_{u,i}$) može napisati kao:

$$P_{u,i} = P_{e,i} + P_{t,i} + P_{s,i} + P_{z,i} = N \cdot (S_{eg,i} \cdot C_{e,i} + S_{tg,i} \cdot C_{t,i} + U_{g,i} \cdot C_s + S_{eg,i} \cdot C_{z,i}) \cdot G_i + N \cdot (S_{eo,i} \cdot C_{e,i} + S_{to,i} \cdot C_{t,i} + U_{o,i} \cdot C_s + S_{eo,i} \cdot C_{z,i}) \cdot O_i + N \cdot (S_{ep,i} \cdot C_{e,i} + S_{tp,i} \cdot C_{t,i} + U_{p,i} \cdot C_s + S_{ep,i} \cdot C_{z,i}) \cdot P_i - E_{p,i} \cdot N \cdot C_s \quad 5.13.$$

Za prvu firmu, $i = 1$, pa jednačina 5.13. glasi

$$P_{u,1} = P_{e,1} + P_{t,1} + P_{s,1} + P_{z,1} = N \cdot (S_{eg,1} \cdot C_{e,1} + S_{tg,1} \cdot C_{t,1} + U_{g,1} \cdot C_s + S_{eg,1} \cdot C_{z,1}) \cdot G_1 + N \cdot (S_{eo,1} \cdot C_{e,1} + S_{to,1} \cdot C_{t,1} + U_{o,1} \cdot C_s + S_{eo,1} \cdot C_{z,1}) \cdot O_1 + N \cdot (S_{ep,1} \cdot C_{e,1} + S_{tp,1} \cdot C_{t,1} + U_{p,1} \cdot C_s + S_{ep,1} \cdot C_{z,1}) \cdot P_1 - E_{p,1} \cdot N \cdot C_s \quad 5.14.$$

Ako jednačinu 5.14. uporedimo sa jednačinom 5.1, onda vidimo da su istog oblika, gdje su:

$$\begin{aligned} c_1 &= N \cdot (S_{eg,1} \cdot C_{e,1} + S_{tg,1} \cdot C_{t,1} + U_{g,1} \cdot C_s + S_{eg,1} \cdot C_{z,1}), & x_1 &= G_1 \\ c_2 &= N \cdot (S_{eo,1} \cdot C_{e,1} + S_{to,1} \cdot C_{t,1} + U_{o,1} \cdot C_s + S_{eo,1} \cdot C_{z,1}), & x_2 &= O_1 \\ c_3 &= N \cdot (S_{ep,1} \cdot C_{e,1} + S_{tp,1} \cdot C_{t,1} + U_{p,1} \cdot C_s + S_{ep,1} \cdot C_{z,1}), & x_3 &= P_1 \end{aligned}$$

Za svaku firmu imamo tri konstante i tri nepoznate, pa možemo

- umjesto c_1 pisati $c_{1,g}$
- umjesto c_2 pisati $c_{1,o}$
- umjesto c_3 pisati $c_{1,p}$

pa jednačina 5.14. postaje

$$P_{u,1} = P_{e,1} + P_{t,1} + P_{s,1} + P_{z,1} = c_{1,g} \cdot G_1 + c_{1,o} \cdot O_1 + c_{1,p} \cdot P_1 - E_{p,1} \cdot N \cdot C_s \quad 5.15.$$

Ako jednačinu 5.15. uvrstimo u jednačinu 6.1, dobijemo **ciljnu funkciju**:

$$c_{1,g} \cdot G_1 + c_{1,o} \cdot O_1 + c_{1,p} \cdot P_1 - E_{p,1} \cdot N \cdot C_s + c_{2,g} \cdot G_2 + c_{2,o} \cdot O_2 + c_{2,p} \cdot P_2 - E_{p,2} \cdot N \cdot C_s + \dots + c_{n,g} \cdot G_n + c_{n,o} \cdot O_n + c_{n,p} \cdot P_n - E_{p,n} \cdot N \cdot C_s, \quad 5.16.$$

gdje su varijable odlučivanja

$$G_1, G_2, \dots, G_n, O_1, O_2, \dots, O_n, P_1, P_2, \dots, P_n$$

Ciljna funkcija 5.16. sadrži i konstante $E_{p,1} \cdot N \cdot C_s, E_{p,2} \cdot N \cdot C_s, \dots, -E_{p,n} \cdot N \cdot C_s$, za razliku od jednačine 6.1, ali i dalje je to funkcija koja se može maksimizirati metodom lineranog programiranja jer konstante ne sadrže varijable odlučivanja.

OGRANIČENJA

Prvo ograničenje je dato jednačinom 5.7.

Drugo ograničenje je raspoloživa količina energenta, koje se definiše kako slijedi.

Prema jednačini 5.11, dodatna potrošnja ulazne energije (sječke) za **i-tu firmu** je jednaka

$$E_{s,i} = (U_{g,i} \cdot G_i + U_{o,i} \cdot O_i + U_{p,i} \cdot P_i - E_{p,i}) \cdot N, \quad 5.17.$$

gdje je

$U_{g,i}$ – ulazna snaga gasifikacionog postrojenja (kW)

$U_{o,i}$ – ulazna snaga ORC-postrojenja (kW)

$U_{p,i}$ – ulazna snaga parnog postrojenja (kW)

$E_{p,i}$ – prijašnja ulazna snaga kotla na biomasu (prije instalacije kogenerativnog postrojenja) (kW)

N – broj radnih sati (h)

Prema tome, ukupna potrošnja ulazne energije (energenta) mora biti manja od raspoložive ulazne energije – E_{ras} :

$$E_{uk} = (U_{g,1} \cdot G_1 + U_{o,1} \cdot O_1 + U_{p,1} \cdot P_1 - E_{p,1} + U_{g,2} \cdot G_2 + U_{o,2} \cdot O_2 + U_{p,2} \cdot P_2 - E_{p,2} + \dots + U_{g,n} \cdot G_n + U_{o,n} \cdot O_n + U_{p,n} \cdot P_n - E_{p,n}) \cdot N < E_{ras} \quad 5.18.$$

Treće ograničenje je raspoloživa količina novca za podsticaje, koje se definiše kako slijedi. Podsticaj za proizvodnju električne energije za **i-tu firmu** može se izraziti kao:

$$L_{e,i} = (S_{eg,i} \cdot G_i + S_{eo,i} \cdot O_i + S_{ep,i} \cdot P_i) \cdot (G_{e,i} - G_r) \cdot N, \quad 5.19.$$

gdje je

$S_{eg,i}$ – instalisana električna snaga gasifikacionog postrojenja

$S_{eo,i}$ – instalisana električna snaga ORC-postrojenja

$S_{ep,i}$ – instalisana električna snaga parnog postrojenja

$G_{e,i}$ – garantovana otkupna cijena električne energije

G_r – referentna cijena električne energije

N – broj radnih sati (h)

Analogno, podsticaj za proizvodnju toplotne energije za **i-tu firmu** može se izraziti kao:

$$L_{t,i} = (S_{tg,i} \cdot G_i + S_{to,i} \cdot O_i + S_{tp,i} \cdot P_i) \cdot (G_{t,i} - G_t) \cdot N, \quad 5.20.$$

gdje je

$S_{tg,i}$ – instalisana toplotna snaga gasifikacionog postrojenja

$S_{to,i}$ – instalisana toplotna snaga ORC-postrojenja

$S_{tp,i}$ – instalisana toplotna snaga parnog postrojenja

$G_{t,i}$ – podsticajna cijena toplotne energije

G_t – referentna cijena toplotne energije

N – broj radnih sati (h)

Ukupna suma pojedinačnih podsticaja – L_{uk} – mora biti manja od raspoloživog iznosa – L_{ras} , odnosno

$$L_{uk} = \sum_{i=1}^n L_{e,i} + L_{t,i} = L_{e,1} + L_{t,1} + L_{e,2} + L_{t,2} + \dots + L_{e,n} + L_{t,n} < L_{ras} \quad 5.21.$$

Ako analiziramo jednačine 5.18. i 5.21, možemo vidjeti da su one u zahtijevanoj formi jednačine 5.2, samo varijable odlučivanja nisu x_1, x_2, \dots, x_n , nego $G_1, G_2, \dots, G_n, O_1, O_2, \dots, O_n, P_1, P_2, \dots, P_n$.

Proces određivanja optimalne vrijednosti garantovane otkupne cijene električne energije i eventualnog podsticanja toplotne energije je iterativan. Početna vrijednost garantovane otkupne cijene električne energije će biti približno jednaka najnižoj cijeni iz regije, a toplota neće biti podsticana, nego će se koristiti referentna (stvarna) vrijednost toplotne energije. Na taj se način počinje sa najnižom ukupnom vrijednosti podsticaja. Uvrštavanjem početnih vrijednosti za sve konstante, model će odabrati odgovarajuću tehnologiju za svaku firmu da bi se dobila maksimalna ukupna nova tržišna vrijednost. Tada će se vidjeti koja je tehnologija odabrana za svaku instalisanu električnu snagu. Postepeno će se povećavati dva parametra: podsticaj za električnu energiju i podsticaj za toplotnu energiju i vidjeti kakav je uticaj na odnos ukupne nove tržišne vrijednosti i podsticaja. Na taj će se način utvrditi koje su kombinacije podsticaja najpovoljnije, odnosno koje rezultuju najvećim odnosom uloženog (podsticaji) i koristi (ukupna nova tržišna vrijednost).

Potom će se tehno-ekonomskom analizom tehnologija utvrditi da za najpovoljnije kombinacije podsticaja, one tehnologije koje je model izabrao imaju najniži period povrata za te električne snage. Investitor će izabrati investiciju sa najkraćim periodom povrata ili sa približno najkraćim periodom ali s manjom ukupnom investicijom. Ako tehnologije koje je model izabrao nemaju najniži period povrata, analizom će se odrediti kako najpovoljnije povećati podsticaje da se to ostvari.

Na kraju će se odrediti najpovoljnija kombinacija podsticaja da se ostvare maksimalna ukupna nova tržišna vrijednost za raspoloživi iznos podsticaja.

Ova metodologija razvoja modela optimizacije napravljena je sa ciljem maksimizacije ukupnih koristi od kogeneracije u drvoprerađivačkoj industriji odabirom jedne od tri raspoložive kogenerativne tehnologije za svaku drvoprerađivačku firmu primjenjujući odgovarajuća ograničenja. Optimizacijom se želi dobiti jednoznačno rješenje – vrijednosti specifičnih podsticaja za električnu i toplotnu energiju koje rezultuju najvećim koristima za raspoloživu sumu podsticaja. **Međutim, ovakva metodologija je univerzalna i može se primijeniti na bilo koju sirovinu, komercijalne tehnologije korištenja te sirovine, odgovarajuću industriju, proizvode i indirektno dobiti tih tehnologija.**

6. Primjena modela optimizacije na Bosnu i Hercegovinu

Energetika i energetska politika su u nadležnosti entiteta, koji, nezavisno jedan od drugog, prave planove razvoja energetike, a i entitetske regulatorne komisije određuju referentne i garantovane otkupne cijene električne energije. Zato će se model optimizacije razviti za oba entiteta u BiH primjenjujući metodologiju razvoja modela prezentovanih u Poglavlju 5.

6.1. Formiranje reprezentativnog uzorka firmi

Drvoprerađivačke firme će se podijeliti u tri grupe prema potrebama za toplotnom energijom koja će se odrediti prema godišnjoj proizvodnji. Međutim, u izvještajima statističkih zavoda FBiH i RS-a, a i Agencije za statistiku BiH, objavljene su samo zbirne količine proizvodnje u drvoprerađivačkoj industriji. Podaci o proizvodnji pojedinačnih firmi, prema entitetskim zakonima o statistici, povjerljivi su i ne mogu se dostavljati trećim licima. Iz agencija za statistiku dostavili su što znači da se od svake pojedinačne firme moraju tražiti podaci o proizvodnji, što nije praktično, pa će se umjesto toga izvršiti procjena raspodjele ukupne proizvodnje po pojedinačnim firmama. Dakle, procijenit će se broj najvećih firmi i njihova pojedinačna proizvodnja na osnovu dostupne literature i prikupljenih podataka o tržištu u BiH. Ova procjena ne utiče na kvalitet modela, jer će model funkcionisati za bilo kakvu raspodjelu ukupne proizvodnje po firmama, dakle, za bilo koju državu ili regiju, ali može uticati na rezultat analize modela ako procjena ne odgovara stvarnom stanju. Međutim, kako je ovaj model namijenjen institucijama vlasti koje raspolažu tačnim podacima o raspodjeli proizvodnje po firmama, taj problem u stvarnoj primjeni modela ne postoji.

U svrhu procjene proizvodnje pojedinačnih drvoprerađivačkih firmi, podijelit ćemo ih u dvije osnovne grupe:

1. Firme koje se bave primarnom i finalnom preradom drveta (proizvodnja rezane građe, furnira, namještaja, parketa, ploča i drugih proizvoda od drveta)
2. Proizvođači peleta i briketa

Prva grupa firmi koristi trupce ili proizvode primarne prerade drveta, dok druga koristi ostatak proizvodnje prve grupe kao ulaznu sirovinu (okrajci, piljevina).

6.1.1. Drvoprerađivačke firme

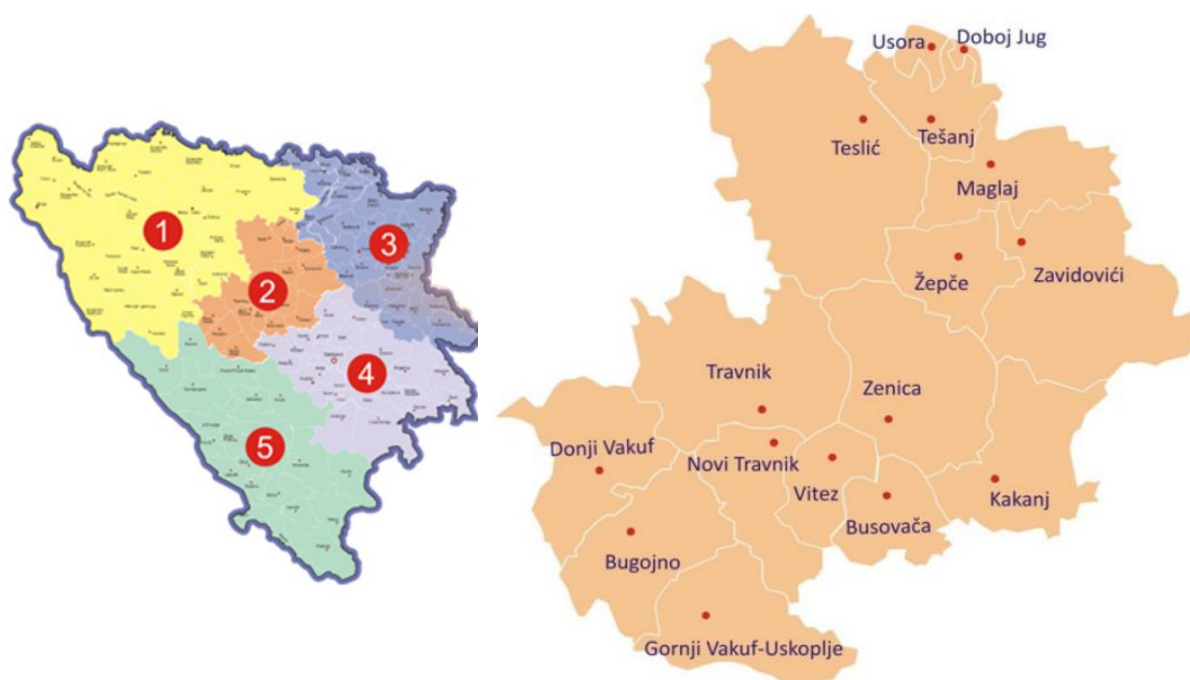
Kao što je navedeno u potpoglavlju 6.2, ukupna količina trupaca proizvedenih u BiH u 2014. godini iznosila je:

- FBiH: četinari 633.320 m³ i lišćari 274.350 m³ [35]
- RS: četinari 623.000 m³ i lišćari 321.000 m³ [66]
- BiH: četinari 1.256.320 m³ i lišćari 595.350 m³, ukupno 1.851.670 m³

Jedan dio proizvedenih trupaca se izvozi, ali podaci o količinama i vrsti drveta nisu javno dostupni, što je, nažalost, čest slučaj za podatke u BiH. To značajno otežava primjenu i testiranje modela. Vanjskotrgovinska komora BiH (VTKBiH) objavljuje podatke o izvozu drvoprerađivačke industrije i šumarstva ali u novčanim iznosima. VTKBiH je na svojoj web-stranici (www.komorabih.ba) u novembru 2015. godine objavio da je drvna industrija i šumarstvo u devet mjeseci 2015. ostvarilo izvoz od 778.818.381 KM, a da je izvoz proizvoda šumarstva činio 14,6%. U okviru toga, najveće je učešće bilo ogrjevnog drveta 78%, a trupaca 8%. Ako pretpostavimo da se izvoz nastavio u istoj prosječnoj

mjesečnoj količini, u 2015. godini je ostvaren izvoz od oko 1 milijarde KM, što je u skladu sa izvozom iz 2014. godine. Vrijednost izvoza šumarstva je 14,6% do 1 milijarde KM, odnosno 146 miliona KM, a vrijednost izvoza trupaca je 8% od 146 miliona KM, odnosno 11,7 miliona KM. Da bi se procijenila količina u kubnim metrima izvoza, potrebno je znati cijenu trupaca, a cijena značajno varira u zavisnosti od kvaliteta drveta i ima raspon od oko 100 KM/m³ do 700 KM/m³ za rezonantno drvo prečnika preko 50 cm [14]. Ako pretpostavimo da se u prosjeku izvozi kvalitetno drvo hrasta i najzastupljenijih četinarara, onda cijena u prosjeku iznosi oko 300 KM/m³. Iznos izvoza od 11,7 miliona KM onda odgovara količini od 39.000 m³, što predstavlja samo 2,6% proizvedenih trupaca.

Može se onda pretpostaviti da su u BiH drvoprerađivačke firme preradile ukupno oko 1.851.630 m³ drveta. Sada je potrebno procijeniti koliko je većih drvoprerađivačkih firmi i koliko one pojedinačno prerađuju drveta, te na osnovu godišnje proizvodnje drveta odrediti toplotne potrebe. Procjena će se bazirati na rezultatima Studije o komercijalnoj upotrebi drvnog ostatka, koju je izradila Regionalna razvojna agencija za regiju centralna BiH. Ekonomska regija centralna BiH je geografski i ekonomski povezana cjelina, koja obuhvata 16 općina iz dva kantona FBiH, Zeničko-dobojskog i Srednjobosanskog, i jednu općinu (Teslić) iz RS-a, kao što je prikazano na sljedećoj slici.



Ekonomska regija centralna BiH

Regija centralne BiH zauzima površinu od 5.295,91 km², što je 10,3% od ukupne površine BiH od 51.197 km² i ima oko 566.695 stanovnika, što je 14,9% od ukupnog broja stanovnika u BiH od 3.791.622, prema preliminarnim rezultatima popisa iz 2013. godine.

Regionalna razvojna agencija za regiju centralne BiH utvrdila je da na prostoru regije postoji 298 firmi koje su registrovane kao drvoprerađivačke firme, međutim, uvidom na terenu konstatovano je da 206 firmi ne obavlja registrovanu djelatnost ili raspolaže zanemarljivom količinom drvnog ostatka. Agencija je kontaktirala preostale 92 drvoprerađivačke firme u regiji centralne BiH i prikupila podatke od 84 firme o godišnjim količinama obrađenog drveta i drvnim ostacima iz proizvodnje [71]. Prikupljeni podaci prikazani su u sljedećoj tabeli.

Tabela 6.1. Pregled količina obrađenog drveta i ostatka u firmama regije centralna BiH [71]

R/B	NAZIV KOMPANIJE	MJESTO	KOLIČINE OBRADENOG DRVETA GODIŠNJE			KOLIČINA DRVENOG OSTATKA GODIŠNJE			
			Crnogor. m ³	Bjelogor m ³	Ostalo m ³	Piljevina m ³	Sječka m ³	Komadi m ³	Ostalo m ³
1	Drvorez doo	Bugojno	2.000	2.000		400		10	
2	Duboka doo	Bugojno	2.500			1.000	3.840		
3	PGS doo	Bugojno	500			1.500		50	10
4	Drvopromex doo	Bugojno	12.000	3.000		3.800	2.000		
5	Vesna - S doo	Bugojno	3.000	6.000		1.500		1.000	
6	PPUD Imra doo	Bugojno	1.000	1.000		500		100	
7	Karašin Komerc doo	Bugojno	5.000	1.000		3.000			
8	Tamex doo	Busovača		15.000		2.500		2.250	250
9	Eko System doo	Busovača	20.000	20.000		10.000		2.000	
10	Grand doo	Busovača	10.000	2.500		2.000		2.000	150
11	DI Janj dd	D.Vakuf	10.000	3.000		3.000		800	
12	Espro doo	D.Vakuf	10.000			2.000		2.000	1.000
13	Omorika doo	G.Vakuf		3.000				600	
14	Aureus doo	G.Vakuf	1.000	3.000		400		100	50
15	Ingras doo	G.Vakuf	1.000			100			
16	Rosewood doo	G.Vakuf		20.000		2.000		2.000	
17	Komerc 3 doo	G.Vakuf		15.000		5.000		150	
18	M-Kasumović doo	H.Bila	8.000	2.000		3.000		500	
19	Drvoprerađiva doo	H.Bila	8.000			1.770		100	
20	Silvestra doo	Kakanj	1.000	1.000		500			
21	Hambi doo	Kakanj		1.000		350		50	
22	Am-mi doo	Kakanj	800	500		500		100	
23	Borik doo	Maglaj	400	300	1.700	1.000		180	
24	Primus doo	Maglaj		24.000		4.000		1.000	
25	Budo-Export doo	N.Seher	14.800			10.800			
26	Elektron doo	N.Travnik	2.500			150		600	
27	Grac doo	N.Travnik	2.000			1.200		100	
28	N&S doo	N.Travnik	800			500		150	
29	SSR Stolar Jukić	N.Travnik	120			10		5	
30	Askokomerc doo	Nemila	10.000			3.000	3.000		
31	Belma Kom doo	Nemila	500			100			
32	Energoholz doo	Nemila		7.500		1.200			
33	KS Promet Senči doo	Nemila	3.600			700			
34	Elgrad doo	Teslić		8.000		1.600			
35	Lignaon dd	Teslić		1.500		100		200	
36	Magis doo	Teslić	1.500			300			
37	SZR KN	Tešanj	150	100		80		10	
38	SZR Salkić	Tešanj		500		100		15	
39	Drvoproizvodi doo	Tešanj		50		5		10	
40	Fami Trade doo	Tešanj	1.000	2.000		600			
41	Nord Ent doo	Tešanj		600		150			
42	Stolarska radnja Čostović A doo	Tešanj	30	200		60		50	
43	Lampex doo	Travnik	7.000			350		1.750	
44	Vlašić MG doo	Travnik	15.000	5.000		3.000			

nastavak tabele

45	Tvornica Namještaja doo	Travnik	1.000	500		200			
46	SZR Luka	Travnik	1.500			500		100	
47	Vuković doo	Turbe	2.500	500		400			
48	Drvoess doo	Turbe	9.500	500		3.000			
49	Homar doo	Turbe	6.000			1.500			
50	Lang Komerc doo	Turbe	4.000			1.200	1.000		
51	Termoglas doo	Turbe	200			80			
52	AJE doo	Turbe	2.000	1.600		1.000		230	
53	Blaž doo	Vitez		10.000		1.020		3.850	
54	ANSA doo	Vitez		3.500		1.800			
55	Carllato doo	Vitez		300		150		50	
56	Sarajčić doo	Vitez	5.000			1.000		100	
57	Invest Drvo doo	Vitez	5.000	3.000		2.000		1.000	
58	Bosna Wood doo	Vitez	1.000	1.000		3.000			
59	Top Wood doo	Vitez		3.000		600		200	
60	Bosna Drvo doo	Vitez	700	100		80		160	
61	SZR Marijanović	Vitez	40	40		18			
62	Bessa doo	Vitez	3.000			800		50	
63	Intermerkur doo	Zavidovići		2.000		200		100	
64	SAILA Wood doo	Zavidovići	400	400					
65	Euroimpex AN	Zavidovići	2.500	500		400		600	
66	SZR Garo doo	Zavidovići	50			130		5	
67	Alex doo	Zenica	2.000	8.000		3.000		1.000	
68	Fantasy doo	Zenica	250	400		1.200		80	
69	Festo doo	Zenica	50	50		50		10	
70	Krin doo	Zenica	300	100		200		50	
71	Stanex doo	Zenica	3.000			450		450	
72	Barbara doo	Žepče	1.200			400			
73	Inter Komerc doo	Žepče	350	350		300		200	
74	Jasmin M doo	Žepče	2.850	3.600		985		4.900	
75	Krivaja Žepče doo	Žepče		12.000		3.000		3.500	
76	Nansi doo	Žepče	5.000	5.000		600		300	
77	Miško Holz doo	Žepče	500	200		200			
78	Niko-Promet doo	Žepče	150	250		100		70	
79	Pravda doo	Žepče	6.000	1.000		350	300	100	100
80	Prograd doo	Žepče	645	85		10	6	5	
81	Enterijer doo	Žepče	1.000			300			
82	Stolarska radnja Šimić	Žepče	200			40		10	
83	Stolarska radnja Mulabdić	Žepče	100	50		100			
84	Tisakomers doo	Žepče	10.000			3.000			
	UKUPNO ZA REGION		233.185	206.775	1.700	107.188	10.146	35.000	1.560

Iz prethodne tabele (Tabela 6.1.) može se vidjeti da ukupna količina prerađenog drveta u regije centralne BiH iznosi 441.660m³, dok ukupna količina ostatka iznosi 153.894 m³. U drvoprerađivačkoj industriji procent ostataka i otpada pri proizvodnji rezane građe, furnira i namještaja iznosi 30% kod četinara i 35% kod lišćara [40], tako da očekivana količina ostatka iznosi 30% od 233.185 m³ (69.955,5 m³) i 35% od 206.775 m³ (72.371,3 m³), odnosno ukupno 142.326,8 m³. Količina ostatka iz tabele 6.1. u odličnoj je saglasnosti sa očekivanom vrijednošću, pa se može smatrati da su podaci iz tabele pouzdani.

Količina prerađenog drveta u regiji centralne BiH predstavlja 48,7% od ukupno 907.670 m³ u FBiH ili 46,7% od ukupno 944.00 m³ u RS-u, što predstavlja dovoljno velik uzorak da je opravdano pretpostaviti da na nivou FBiH i RS-a postoji ista struktura firmi u pogledu količine obrađenog drveta, ali da ih ima oko dvaput puta više.

6.1.2. Proizvođači peleta i briketa

Prema studiji USAID-Sida FIRMA projekta iz 2014. godine, najveći proizvođači peleta u BiH raspolažu proizvodnim kapacitetima u rasponu od 10.000 do 40.000 tona godišnje [57]. Pored velikih proizvođača peleta, u BiH postoji dvadesetak manjih proizvođača s proizvodnjom od 1.000 do 10.000 tona godišnje. U istoj su studiji ukupni raspoloživi kapaciteti za proizvodnju peleta u BiH procijenjeni na oko 200.000 tona godišnje. Tržište peleta u BiH vrlo je dinamično, jer se naglo povećala proizvodnja i izvoz peleta u BiH. Prema podacima Eurostata, iz BiH je u Evropsku uniju izvezeno 67.815 tona peleta u 2012. godini, dok je u 2013. godini izvezeno 170.389 tona, što predstavlja povećanje od 151% [34]. Ovakav nagli porast proizvodnje uzrokovao je veliki porast potražnje za sirovinom, čije se ukupne količine nisu značajno promijenile. To je dovelo do toga da su neki proizvođači peleta morali obustaviti proizvodnju, neki smanjiti proizvodnju, ali istovremeno su se pojavili novi proizvođači sa veoma značajnim količinama proizvodnje.

Podaci o ukupnoj potrošnji i proizvodnji peleta u BiH nisu dostupni, ali su podaci za potrošnju peleta u domaćinstvima u BiH dati u izvještaju Agencije za statistiku BiH [3]. Međutim, u tom je izvještaju navedena prosječna potrošnja po domaćinstvu koje koristi pelet, ali nije dat ukupan broj domaćinstava koje koristi pelet da bi se mogla izračunati ukupna potrošnja peleta u BiH.

Podaci o proizvodnji peleta u RS-u su dostupni i proizvodnja peleta u 2014. godini je iznosila 117.754 tona (u 2013. godini 100.349 tona) a briketa 43.415 tona (u 2013. godini 33.805 tona) [66,67]. Za FBiH ti podaci nisu na raspolaganju pa će se proizvodnja morati procijeniti. Kako je u EU uvoz peleta u 2014. godini porastao na oko 8 miliona tona u odnosu na 7 miliona tona u 2013. godini, odnosno oko 14%, onda možemo pretpostaviti da se izvoz iz BiH u EU povećao [28]. Kako se proizvodnja peleta u RS-u povećala za oko 17%, onda ćemo pretpostaviti da se i izvoz povećao za oko 17% na 199.355 tona. Već je rečeno da podaci o potrošnji peleta u BiH nisu dostupni, ali se procjenjuje da je oko 20% proizvodnje peleta za tržište BiH, pa je ukupna proizvodnja oko 250.000 tona, od toga 117.754 tona u RS-u i oko 123.000 tona u FBiH.

Istraživanjem tržišta peleta utvrđena je sljedeća struktura proizvodnje u firmama u oba **entiteta**:

- oko 2 firme koje proizvode 20.000 tona ili više peleta godišnje (4 firme u BiH),
- oko 2 firme koje proizvode 10.000 do 20.000 tona peleta godišnje (4 firme u BiH),
- oko 3 firme koje proizvode oko 10.000 tona peleta godišnje (6 firmi u BiH) i
- manji proizvođači koji proizvode do 10.000 tona peleta godišnje.

Prve tri grupe velikih proizvođača peleta proizvode ukupno oko 100.000 tona peleta godišnje po entitetu, dok manji proizvođači ukupno proizvode oko 20.000 tona peleta godišnje po entitetu. Manji proizvođači ne posjeduju dovoljno sirovine niti imaju dovoljne potrebe za toplotnom energijom da bi razmatrali izgradnju kogenerativnog postrojenja, pa neće biti razmatrani u ovoj analizi.

Proizvodnja briketa u RS-u u 2014. godini je poznata i iznosi 43.415 tona, a pretpostavit ćemo da se približno ista količina proizvodi u FBiH, odnosno ukupno u BiH oko 80.000 tona briketa godišnje. Nadalje, pretpostavit ćemo da je struktura proizvodnje u firmama u entitetima ista kao i za pelete, s tim da je proizvodnja u firmama proporcionalna ukupnoj proizvodnji briketa, što znači da proizvođači briketa proizvode $80.000/200.000 = 40\%$ količina briketa u odnosu na proizvođače peleta, što znači:

- oko 2 firme koje proizvode 8.000 tona ili više briketa godišnje (4 firme u BiH),
- oko 2 firme koje proizvode 4.000 do 8.000 tona briketa godišnje (4 firme u BiH),
- oko 3 firme koje proizvode oko 4.000 tona briketa godišnje (6 firmi u BiH) i
- manji proizvođači do 4.000 tona briketa godišnje.

Samo firme koje proizvode preko 8.000 tona briketa godišnje imaju dovoljne potrebe za toplotnom energijom da bi razmatrale izgradnju kogenerativnog postrojenja.

6.1.3. Procjena toplotnih potreba drvoprerađivačkih firmi

Uz Studiju o komercijalnoj upotrebi drvnog ostatka, koju je izradila Regionalna razvojna agencija za regiju centralne BiH, priložena je analiza energetskog bilansa firme ROSE WOOD d.o.o., Gornji Vakuf, koju je izradila firma STON-ING d.o.o. Zagreb [71].

Ključni podaci dati u analizi energetskog bilansa firme ROSE WOOD su:

- Godišnja količina prerađenog drveta (bukva): 20.000 m³
- Drvni ostatak nastao u proizvodnom procesu iznosi:
 - piljevina (sirova) iz primarne prerade: 2.000 m³
 - krupni drvni ostatak (sječka): 4.000 m³
 - piljevina (prosušena) iz sek. prerade: 2.000 m³
- Potrošači
 - 4 sušioničke komore sa sadržajem po cca 80 m³ drvne mase
 - Ukupna instalisana snaga: 1.120 kW
 - U pogonu cijele godine, 24 sata dnevno
 - 2 parioničke komore sa sadržajem po cca 30 m³ drvne mase
 - Ukupna instalisana snaga: 600 kW
 - U pogonu cijele godine, 24 sata dnevno
 - Grijanje objekata
 - Instalisana snaga: 350 kW
 - U pogonu samo zimi, 12 sati dnevno

Osnova odabira toplotne snage kogenerativnog postrojenja su kontinuirane toplotne potrebe sušioničkih i parioničkih komora, a to iznosi 1.720 kW. Potrebe za toplotnom energijom drugih drvoprerađivačkih firmi će se procijeniti proporcionalno godišnjoj količini prerađenog drveta, što znači da firma koja obradi 10.000m³ trupaca godišnje ima kontinuiranu potrebu za toplotnom energijom, za koju je potreban kapacitet od 860 kW.

6.1.4. Procjena toplotnih potreba proizvođača peleta i briketa

Proizvođači peleta i briketa kao ulaznu sirovinu koriste piljevinu i okrajke iz drvoprerađivačkih firmi. Odnos količina ove dvije sirovine koje koristi proizvođač varira od proizvođača do proizvođača, kao i vlažnost sirovine, pa i vrsta drveta: lišćari ili četinari. Kada bi bilo moguće dobiti podatke od svakog pojedinačnog proizvođača obuhvaćenog ovom analizom, opet bi ti podaci bili tačni samo za tu godinu jer se i kod svakog pojedinačnog proizvođača svake godine mijenjaju karakteristike ulazne sirovine. Najvažnija karakteristika sirovine je vlažnost (maseni udio vlage). Ako se drvo pila neposredno poslije sječe u šumi, svježja piljevina i okrajci imaju vlažnost od 40% (ljeti) do 45% (zimi). Okrajci, ukoliko se skladište na otvorenom, mogu imati vlažnost od 25% (drvo prosušeno na otvorenom) do 55% (drvo koje dugo kisne), a piljevina koja je izložena atmosferskim padavinama može imati vlažnost i do 70%.

Za svrhu primjene ovog modela pretpostavit će se da prosječna vlažnost sirovine za proizvodnju peleta i briketa iznosi 45%.

Pelet ima maseni udio vlage sječke od 10%, što znači da jedna tona peleta sadrži 100 kg vlage i 900 kg apsolutno suhog drveta. Ako sirovina ima vlažnost od 45%, onda je mokri udio mase sirovine jednak (jednačina 1.4):

$$U = \frac{m_v}{m_s} = \frac{W}{1 - W} = \frac{0,45}{1 - 0,45} = 0,818$$

Masa suhog drveta se ne mijenja u procesu sušenja, pa je za sirovinu $m_s = 900$ kg, a $m_v = 0,818 \cdot 900 \text{ kg} = 736$ kg. Dakle, potrebno je isušiti $736 - 100 = 636$ kg vlage. Iskustvene specifične potrošnje **neto** toplotne energije za sušenje iznosi 0,8 do 1,25 kWh/kgH₂O, pa ako se usvoji vrijednost od 1 kWh/kgH₂O, **potrebno je 636 kWh toplotne energije za proizvodnju jedne tone peleta ili briketa.**

Od jednog od većih proizvođača peleta u BiH dobili smo iskustveni podatak da za sušenje sirovine za proizvodnju jedne tone peleta potroše $\frac{3}{4}$ prostornog metra okrajaka od smreke. U literaturi su date vrijednosti za masenu gustoću i energetske vrijednosti raznih vrsta drveća i za različite vlažnosti [77]. Za jedan prostorni metar smreke vlažnosti 50% navedena je masa od 489 kg i toplotna moć od 2,23 kWh/kg, tako da toplotna moć $\frac{3}{4}$ prostornog metra okrajaka od smreke iznosi

$$Q = \frac{3}{4} \cdot 489 \text{ kg} \cdot 2,23 \text{ kWh/kg} = 817,9 \text{ kWh.}$$

To odgovara izračunatoj vrijednosti od 636 kWh i stepenu korisnosti kotla od $636/817,9 = 77,8\%$, što je realna vrijednost.

Za korištenje u modelu će se odabrati da je za jednu tonu peleta potrebno 800 kWh, **što znači da proizvođač peleta koji proizvodi 10.000 tona peleta godišnje i 8.000 sati pogona godišnje treba 1 MWt instalisanog toplotnog kapaciteta.**

6.1.5. Potencijalni investitori u kogenerativna postrojenja

U sljedećoj tabeli prikazane su firme iz regije centralne BiH, poredane po godišnjim količinama prerađenog drveta i potrebnom toplotnom kapacitetu. Firme koje prerađuju manje od 7.000 m³ drveta godišnje imaju kontinuirane toplotne potrebe manje od 600 kWt i ne smatraju se potencijalnim investitorom u kogenerativna postrojenja. U ovoj početnoj fazi uvođenja kogeneracije u drvoprerađivačku industriju, očekuje se da će veće firme biti spremne da preuzmu rizik investiranja.

Tabela 6.2. Potencijalni investitori u kogenerativna postrojenja u regiji centralne BiH

R.br.	Naziv firme	Mjesto	Godišnje količine prerađenog drveta			Potrebni toplotni kapacitet (kW)
			Četinari (m ³)	Lišćari (m ³)	Ukupno (m ³)	
1	Eko System doo	Busovača	20.000	20.000	40.000	3.440
2	Primus doo	Maglaj		24.000	24.000	2.064
3	Rosewood doo	G.Vakuf		20.000	20.000	1.720
4	Vlašić MG doo	Travnik	15.000	5.000	20.000	1.720
5	Drvopromex doo	Bugojno	12.000	3.000	15.000	1.290
6	Tamex doo	Busovača		15.000	15.000	1.290
7	Komerc 3 doo	G.Vakuf		15.000	15.000	1.290
8	Budo-Export doo	N.Šeher	14.800		14.800	1.273
9	DI Janj dd	D.Vakuf	10.000	3.000	13.000	1.118
10	Grand doo	Busovača	10.000	2.500	12.500	1.075
11	Krivaja Žepče doo	Žepče		12.000	12.000	1.032
12	Espro doo	D.Vakuf	10.000		10.000	860
13	M-Kasumović doo	Han-Bila	8.000	2.000	10.000	860
14	Askokomerc doo	Nemila	10.000		10.000	860
15	Drvoess doo	Turbe	9.500	500	10.000	860
16	Blaž doo	Vitez		10.000	10.000	860
17	Alex doo	Zenica	2.000	8.000	10.000	860
18	Nansi doo	Žepče	5.000	5.000	10.000	860
19	Tisakomers doo	Žepče	10.000		10.000	860
20	Vesna - S doo	Bugojno	3.000	6.000	9.000	774
21	Drvoprerađivačka doo	Han-Bila	8.000		8.000	688
22	Elgrad doo	Teslić		8.000	8.000	688
23	Invest Drvo doo	Vitez	5.000	3.000	8.000	688
24	Energoholz doo	Nemila		7.500	7.500	645
25	Lampex doo	Travnik	7.000		7.000	602
26	Pravda doo	Žepče	6.000	1.000	7.000	602

Kao što je već rečeno, količina prerađenog drveta u regiji centralne BiH čini oko polovice ukupne količine drveta prerađene u FBiH i isto oko pola u RS-u, što predstavlja dovoljno velik uzorak da je opravdano pretpostaviti da na nivou entiteta postoji ista struktura firmi u pogledu količine obrađenog drveta, ali da ih ima oko dva puta više. To znači da u svakom entitetu, za svaku ovu firmu, postoji još jedna firma koja ima sličnu količinu prerađenog drveta, što znači da postoje ukupno 52 drvoprerađivačke firme potencijalna investitora u kogenerativna postrojenja. Pored njih, postoje i veliki proizvođači peleta i briketa. U prethodnim poglavljima utvrđeno je da će se kao potencijalni investitori u kogenerativna postrojenja smatrati sljedeće firme:

- oko 2 firme koje proizvode 20.000 tona ili više peleta godišnje,
- oko 2 firme koje proizvode 10.000 do 20.000 tona peleta godišnje,
- oko 3 firme koje proizvode oko 10.000 tona peleta godišnje i
- oko 2 firme koje proizvode 8.000 tona ili više briketa godišnje.

Kako se model primjenjuje na osnovu uzorka koji predstavlja jednu polovinu drvoprerađivačkih firmi u entitetu, onda će se broj proizvođača peleta i briketa u modelu podijeliti sa 2, pa imamo 2 firme koje proizvode 20.000 tona ili više peleta godišnje.

Tabela 6.3. Proizvođači peleta i briketa – potencijalni investitori u kogenerativna postrojenja

R.br.	Naziv firme	Godišnja proizvodnja (ton)	Potrebni toplotni kapacitet (kW)
1	Peletara 1	20.000	2.000
2	Peletara 2	20.000	2.000
3	Peletara 3	15.000	1.500
4	Peletara 4	15.000	1.500
5	Peletara 5	10.000	1.000
6	Peletara 6	10.000	1.000
7	Peletara 7	10.000	1.000
8	Briketara 1	8.000	800
9	Briketara 2	8.000	800

Model će obuhvatiti ukupno 35 firmi, 26 drvoprerađivačkih firmi i 9 proizvođača peleta i briketa, što je reprezentativni uzorak svih firmi u svakom entitetu pojedinačno. Uzorak se ne može dalje smanjivati, tako što bi reprezentativni uzorak umjesto 8 drvoprerađivačkih firmi koje prerade 10.000 m³ godišnje sadržao 4 takve firme i da se broj ostalih firmi isto podijeli sa 2 jer postoji samo jedna firma koja godišnje preradi 40.000 m³ ili više.

6.1.6. Određivanje kapaciteta kogenerativnih postrojenja

Snaga gasnih motora

Kao što smo naveli u Poglavlju 3, gasni motori se koriste za sagorijevanje raznih vrsta gasovitoga goriva, a samo mala postrojenja do 150 kW električne snage posjeduju komercijalnu zrelost. Tako su za primjenu u BiH pogodna samo mala postrojenja do 150 kW električne snage, što odgovara toplotnoj snazi od 185 kWt. Postoji više proizvođača, ali postrojenja imaju slične ključne karakteristike:

1. Postrojenja od 150 kWe troše oko 150 kg/h sušene sječke sa 10% vlažnosti.
2. Odnos toplotne i električne snage je 1,2:1.

Postrojenje troši 150 kg/h sušene sječke sa 10% vlažnosti (4,6 kWh/kg), odnosno ima ulaz energenta od 690 kW. Pretpostavlja se da je stari kotao imao stepen korisnosti od 0,75. Ovo je potrebno za proračun prijašnje potrošnje sječke i potrebe za novom sječkom.

Na osnovu ovih karakteristika moguće je odrediti sve potrebne parametre za ova postrojenja.

Snaga ORC-postrojenja

U potpoglavlju 3.3.1. dat je pregled tržišta ORC-sistema manje snage na čvrstu biomasu. ORC-sistem najmanje snage proizvodi Turboden i to je model Turboden 2, 200 kWe i 1002 kWt. Za veće snage karakteristike postrojenja su vrlo slične, a za svrhu optimizacije u ovom radu mogu se izabrati postrojenja i jedne i druge firme, jer to neće uticati na rezultat. Da su karakteristike značajno različite, izabrano bi se postrojenje sa boljom isplativošću. Za ovaj rad će se izabrati postrojenje firme Turboden.

Pretpostavlja se da novi kotao ima stepen korisnosti od 0,85, a da je stari kotao imao stepen korisnosti od 0,75. Ovo je potrebno za proračun toplotnog ulaza, potrošnje sječke i potrebe za novom sječkom.

Na osnovu ovih karakteristika moguće je odrediti sve potrebne parametre za ova postrojenja.

Snaga parnih turbina

Renomiranih proizvođača parnih mikroturbina električne snage manje od 250 kWe vrlo je malo i prave se prema specifikacijama kupca. U Evropi postoji svega nekoliko, a navest ćemo dvije: Technopa (Austrija) i G-Team (Češka). Ključna karakteristika ovih postrojenja je da je odnos toplotne i električne snage veoma velik, tako da je za postrojenje električne snage 150 kWe toplotna snaga preko 3 MW. Tako veliku kontinuiranu potrebu za toplotnom energijom ima svega jedna firma u reprezentativnom uzorku, odnosno tri firme u BiH.

Korištene su karakteristike turbine TR 100 od 145 kW firme G-Team.

Pretpostavlja se da novi kotao ima stepen korisnosti od 0,85, a da je stari kotao imao stepen korisnosti od 0,75. Ovo je potrebno za proračun ulazne snage, potrošnje sječke i potrebe za novom sječkom.

Na osnovu ovih karakteristika moguće je odrediti sve potrebne parametre za ova postrojenja.

Određivanje kapaciteta potencijalnih kogenerativnih postrojenja

Za svaku od firmi iz prethodnih tabela (Tabela 6.3. i Tabela 6.4.) treba odrediti toplotnu i električnu snagu, kao i ulazne snage. Na osnovu svih navedenih informacija, pregled toplotnih i električnih snaga, kao i ulazne snage za firme iz reprezentativnog uzorka dat je u sljedećoj tabeli. Nula je napisana za firme čiji je potrebni toplotni kapacitet manji od 70% toplotnog kapaciteta postrojenja sa najmanjom snagom koje se može naći na tržištu. Samo jedna firma u reprezentativnom uzorku ima dovoljno velik potrebni toplotni kapacitet da se može razmatrati korištenje parne mikroturbine. Samo za tu firmu se razmatra mogućnost korištenja sve tri tehnologije. Za 26 firmi se razmatra mogućnost korištenja dvije tehnologije, a za 6 najmanjih firmi je primjenljiva samo gasifikacija.

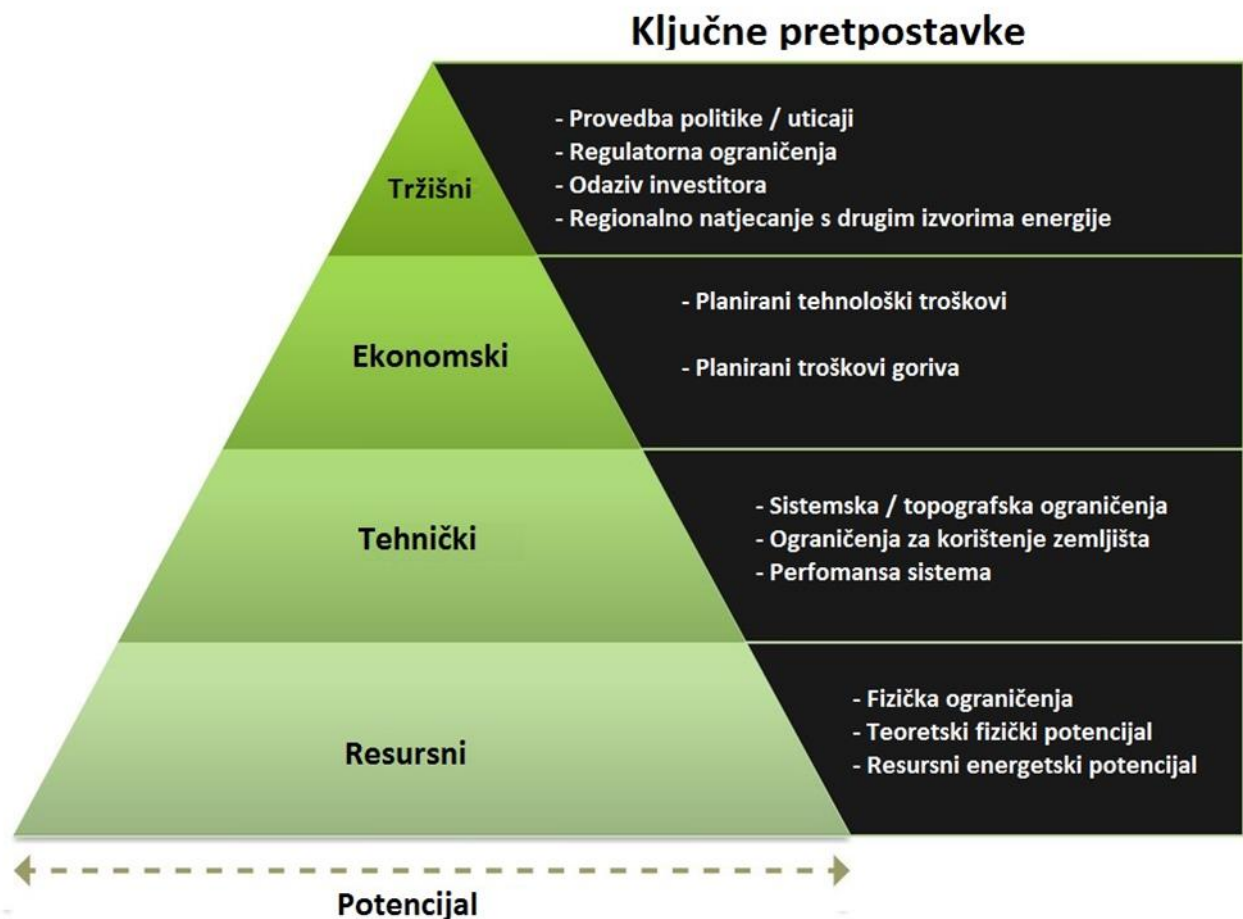
Tabela 6.4. Pregled karakteristika mogućih kogenerativnih postrojenja

R.br	Potrebni toplotni kapacitet (kW)	Gasifikacija			ORC			Parna turbina		
		Ulazna snaga (kW)	Topl. kap. (kW)	Elektr. kap. (kW)	Ulazna snaga (kW)	Topl. kap. (kW)	Elektr. kap. (kW)	Ulazna snaga (kW)	Topl. kap. (kW)	Elektr. kap. (kW)
1	3.440	690	185	150	6.041	4.095	1.000	3.941	3350	145
2	2.064	690	185	150	3.928	2.689	619	0	0	0
3	2.000	690	185	150	3.928	2.689	619	0	0	0
4	2.000	690	185	150	3.928	2.689	619	0	0	0
5	1.720	690	185	150	3.928	2.689	619	0	0	0
6	1.720	690	185	150	3.928	2.689	619	0	0	0
7	1.500	690	185	150	2.159	1.505	300	0	0	0
8	1.500	690	185	150	2.159	1.505	300	0	0	0
9	1.290	690	185	150	2.159	1.505	300	0	0	0
10	1.290	690	185	150	2.159	1.505	300	0	0	0
11	1.290	690	185	150	2.159	1.505	300	0	0	0
12	1.273	690	185	150	2.159	1.505	300	0	0	0
13	1.118	690	185	150	2.159	1.505	300	0	0	0
14	1.075	690	185	150	2.159	1.505	300	0	0	0
15	1.032	690	185	150	2.159	1.505	300	0	0	0
16	1.000	690	185	150	2.159	1.505	300	0	0	0
17	1.000	690	185	150	2.159	1.505	300	0	0	0
18	1.000	690	185	150	2.159	1.505	300	0	0	0
19	860	690	185	150	1.452	1.002	200	0	0	0
20	860	690	185	150	1.452	1.002	200	0	0	0
21	860	690	185	150	1.452	1.002	200	0	0	0
22	860	690	185	150	1.452	1.002	200	0	0	0
23	860	690	185	150	1.452	1.002	200	0	0	0
24	860	690	185	150	1.452	1.002	200	0	0	0
25	860	690	185	150	1.452	1.002	200	0	0	0
26	860	690	185	150	1.452	1.002	200	0	0	0
27	800	690	185	150	1.452	1.002	200	0	0	0
28	800	690	185	150	1.452	1.002	200	0	0	0
29	774	690	185	150	1.452	1.002	200	0	0	0
30	688	690	185	150	0	0	0	0	0	0
31	688	690	185	150	0	0	0	0	0	0
32	688	690	185	150	0	0	0	0	0	0
33	645	690	185	150	0	0	0	0	0	0
34	602	690	185	150	0	0	0	0	0	0
35	602	690	185	150	0	0	0	0	0	0

6.2. Potencijal drvene biomase u Bosni i Hercegovini

Kao što je poznato, postoji nekoliko nivoa energetskog potencijala: resursni, tehnički, ekonomski i tržišni. Na sljedećoj slici prikazane su ključne pretpostavke (razmatranja) korištene pri procjenjivanju svakog nivoa potencijala. Resursni ili teoretski potencijal jednak je ukupnoj dostupnoj količini resursa. Tehnički potencijal je manji od resursnog potencijala jer uzima u obzir tehnička ograničenja pri korištenju tog resursa. Ekonomski potencijal uzima u obzir ekonomsku isplativost korištenja resursa. Tržišni potencijal razmatra druga ograničenja, kao što su regulatorna ograničenja i mogućnost finansiranja.

U okviru ovoga rada vrlo grubo će se procijeniti tržišni potencijal drvene biomase. Prva dva nivoa potencijala, resursni/teoretski potencijal i tehnički potencijal, mogu se okvirno procijeniti na osnovu raspoloživih podataka, a da bi se odredio ekonomski i tržišni potencijal, potrebno je uraditi detaljniju analizu, što je izvan obima ovog rada. Detaljna bi analiza uključivala određivanje geografske distribucije drvene biomase i potrošnju energije (postojeću i potencijalnu), prikupljanje podataka iz drvoprerađivačke industrije i firmi koje se bave eksploatacijom šume, kao i analizu zakonskog i regulatornog okvira i raspoloživih sredstava finansiranja.



Slika 6.1. Nivoi potencijala [74]

Posljednja studija o potencijalu biomase u BiH urađena je 2008. godine kao dio Synenergy projekta, koji su finansirali USAID i Hellenic Aid [11]. U ovom će radu procjena Synenergy projekta biti ažurirana koristeći nove raspoložive statističke podatke i kroz kritički pregled metodologije korištene u

Synenergy studiji. Procijenjeni primarni energetska potencijal tehničke biomase iz Synenergy studije prikazan je u sljedećoj tabeli.

Tabela 6.5. Procjena tehničkog potencijala primarne energije biomase u BiH u 2008. [11]

Vrsta biomase	Tehnički potencijal (PJ)	Tehnički potencijal (GWh)
Energetski usjevi	15,33	4.258,3
Šumska drvena biomasa	28,04	7.788,9
Ostaci iz usjeva	6,63	1.841,7
Ostaci iz voćarstva	0,84	233,3
Stočni ostaci	1,3	361,1
Komunalni čvrsti otpad	4,28	1.188,9
TOTAL	56,41	15.672,2

U ovom radu se razmatra korištenje drvene biomase tako da samo prve dvije vrste biomase, **energetski usjevi i šumska drvena biomasa, predstavljaju potencijalne izvore drvene biomase.**

Energetski usjevi su, u Synenergy studiji, bili uključeni u procjenu potencijala biomase uz pretpostavku da se dio postojećeg zemljišta za ispašu i nekultivisanog zemljišta može koristiti za uzgajanje energetskih usjeva (energetski usjevi su usjevi koji se isključivo uzgajaju za korištenje u vidu goriva i daju visoke prinose po hektaru uz niska ulaganja). Rezultati pokazuju da bi veoma značajan izvor energije bio na raspolaganju čak i ako se samo male površine zemljišta koriste za uzgajanje energetskih usjeva. Mada je ova pretpostavka razumna, činjenica da se ove vrste usjeva ne uzgajaju u BiH vodi prevelikoj procjeni potencijala biomase, **pa se stoga energetski usjevi ne razmatraju u ovom radu.**

Postoji nedostatak statističkih podataka koji se odnose na snabdijevanje i potrošnju energije iz obnovljivih izvora u Bosni i Hercegovini: postoje statistički podaci o snabdijevanju električnom energijom, grijanju i snabdijevanju fosilnim gorivima, izdatim od Agencije za statistiku BiH i entitetskih agencija za statistiku, ali ne postoje izvještaji o obnovljivim izvorima energije, uključujući biomasu.

BiH je veoma bogata šumama i šumskim zemljištima, koja pokrivaju više od 50% teritorije i jedan su od najznačajnijih prirodnih resursa. Bez obzira na značajnu resorsnu osnovu, do sada ne postoji strateški plan za značajno povećanje korištenja biomase za proizvodnju energije ili za proizvodnju biogoriva.

Procjena šumske drvene biomase prikazane u tabeli 6.6. preuzeta je iz studije UNDP-a od oktobra 2014. [44], a zasnovana je na obimu šumske proizvodnje iz 2012. godine, koji je iznosio 1.768.827 m³ trupaca.

Sljedeći procenti ukupnih količina posječenog drveta su korišteni u studiji UNDP-a kako bi se procijenile dostupne količine drvene biomase u BiH:

- ostaci poslije sječe i izrade šumskog drvnog sortimenta – 16,3% za četinare i 11,7% za lišćare,
- procent sitne granjevine (ostaci od sječe drveta) – 15% za četinare i 18% za lišćare,
- procent panjevina – 15% od ukupnih količina drveta,
- procent ostataka i otpadaka iz proizvodnje rezane građe, furnira i namještaja – 30% za četinare i 35% za lišćare.

Tabela 6.6. Teoretski potencijal drvene biomase u BiH [44]

Izvori drvene biomase	Četinari (m ³)	Lišćari (m ³)	Teoretski dostupne količine (m ³)
Ogrjevno drvo	1.711	1.228.441	1.230.152
Ostaci iz drvoprerađ. industrije	314.848	334.527	555.701
Šumski ostaci	342.181	261.154	603.334
Sitna granjevina	314.848	401.432	716.280
Panjevina	354.857	200.843	649.375
UKUPNO	1.328.446	2.426.396	3.754.842

Ogrjevno drvo je najveći izvor šumske biomase u BiH, kao što se jasno može vidjeti u tabeli 6.6. U 2012. godini, ukupne količine ove vrste biomase iznosile su oko 1,23 miliona m³. Ogrjevno drvo se obično koristi za zagrijavanje domaćinstava a koristi se u pećima niske energetske efikasnosti. Uprkos niskoj efikasnosti, korištenje ogrjevnog drveta za zagrijavanje domaćinstava je u porastu u urbanim sredinama jer cijene drugih izvora energije stalno rastu. Kako će proći dosta vremena prije nego što se na tržištu desi značajan pomak u smislu korištenja peleta i briketa umjesto ogrjevnog drveta, **u bliskoj budućnosti neće biti neiskorištenog ogrjevnog drveta pogodnog za upotrebu u kogenerativnim postrojenjima i u ovom radu se ono neće uračunati u procjenu neiskorištenog potencijala biomase.**

U drvoprerađivačkoj industriji postoje značajne količine drvnog ostatka od proizvodnje furnira, rezane građe i namještaja. Kao što je prikazano u tabeli 6.6, ovi drvni ostaci iznose skoro 0,55 miliona m³. Međutim, većina drvoprerađivačkih firmi u BiH koristi drvene ostatke za zagrijavanje svojih prostorija i/ili za sušenje drveta. Preostali drvni ostaci se prodaju firmama koje proizvode pelete i brikete. Dakle, **ostaci iz drvoprerađivačke industrije su potpuno iskorišteni, tako da se neće uračunati u procjenu neiskorištenog potencijala biomase.** Međutim, umjesto korištenja drvnih ostataka samo za proizvodnju potrebne toplote ili za pelete i brikete, ostaci se mogu koristiti u kogenerativnim postrojenjima za istovremenu proizvodnju potrebne toplote i za proizvodnju električne energije. To znači da je za kogenerativna postrojenja u drvoprerađivačkim firmama potrebno osigurati samo razliku u potrošnji između kogenerativnog postrojenja i postrojenja za proizvodnju toplotne energije.

Panjevina, sitna granjevina i drugi drvni ostaci ostaju u šumi nakon sječe i izrade šumskog drvnog sortimenta (ŠDS). Ovi ostaci predstavljaju najveći potencijalni izvor drvene biomase, a kombinovane količine iznose više od 1,9 miliona m³, kao što je prikazano u tabeli 6.6. Određene količine sitne granjevine i drvnog ostatka moraju ostati u šumi kako bi se osiguralo obogaćivanje zemljišta hranjivim materijama. Panjevina je veoma bitna za stabilnost šumskih ekosistema i ne smije se potpuno odstraniti iz šume. Za prikupljanje sitne granjevine i ostataka poslije sječe drveta na lokacijama koje imaju dobru pristupačnost potrebna je minimalna količina investicija. Međutim, za lokacije koje imaju teži pristup za mehanizaciju, troškovi prikupljanja drvnog ostatka mogu biti vrlo visoki.

Na osnovu prethodno rečenog, može se zaključiti da panjevina, sitna granjevina i ostali drvni ostaci nakon sječe predstavljaju neiskorištenu drvenu biomasu. Da bi se izračunala donja toplotna moć šumske biomase, procjenjuje se da je sadržaj vlage 50%. Četinari sa 50% vlažnosti imaju gustoću od oko 810 kg/m³, dok lišćari sa istim procentom vlažnosti imaju gustoću od oko 1140 kg/m³. Obje vrste drveća imaju u prosjeku istu donju toplotnu moć, a za 50% sadržaja vlage toplotna moć je oko 8 GJ/t. Mada drvoprerađivački ostaci imaju manje od 50% sadržaja vlage, ista će se vrijednost od 8 GJ/t koristiti kao konzervativna procjena.

Obim sječe varira od godine do godine pa će se za potrebe ovog rada koristiti najnoviji dostupni podaci. Ukupna količina proizvodnje neto mase krupnog drveta (trupci, ostalo oblo drvo, celuloza, ogrjevno drvo) u BiH u 2014. godini je iznosila:

- FBiH: četinari 1.051.370 m³ i lišćari 967.036 m³ [35]
- RS: četinari 942.000 m³ i lišćari 1.003.000 m³ [66]

Studija UNDP-a je napisana u saradnji sa stručnjacima iz šumarske industrije i nedavno objavljena (2014. godine), pa će se procenti iz studije koristiti u procjeni teoretskog potencijala šumske biomase i u ovom radu.

U svrhu procjene tržišnog potencijala šumske drvne biomase, koristit će se sljedeće procjene:

- Procjenjuje se da 1/3 panjevine, sitne granjevine i drugog drvnog ostatka mora biti ostavljena u šumi.
- Od preostale 2/3 šumske drvne biomase, 3/4 je dostupno za prikupljanje.
- Od količine dostupne za prikupljanje, 3/4 je isplativo prikupljati.
- Od isplative količine, 4/5 predstavlja tržišni potencijal.

Na osnovu navedenih procjena, faktor kojim treba pomnožiti teoretski potencijal da bi se dobio tržišni potencijal iznosi $2/3 \times 3/4 \times 3/4 \times 4/5 = 3/10$.

Uzimajući u obzir navedene argumente i procjene, tržišni potencijal neiskorištene šumske drvne biomase iznosi 591 GWh u FBiH i 576 GWh u RS-u, kako je prikazano u tabeli 6.7.

Tabela 6.7. Tržišni potencijal neiskorištene drvne biomase u BiH

Entitet	Izvori drvne biomase	Četinari (m ³)	Četinari (PJ)	Lišćari (m ³)	Lišćari (PJ)	Faktor tržišnog potenc.	Tržišni potencijal (PJ)	Tržišni potencijal (GWh)
FBiH	Šumski ostaci	171.373	1,11	113.143	1,03	0,3	0,64	179
	Sitna granjevina	157.706	1,02	174.066	1,59	0,3	0,78	217
	Panjevina	157.706	1,02	145.055	1,32	0,3	0,70	195
	Ukupno u FBiH							
RS	Šumski ostaci	153.546	0,99	117.351	1,07	0,3	0,62	172
	Sitna granjevina	141.300	0,92	180.540	1,65	0,3	0,77	214
	Panjevina	141.300	0,92	150.450	1,37	0,3	0,69	191
	Ukupno u RS-u							
Ukupno u BiH								1.168

6.3. Vrednovanje ekonomskog doprinosa kogenerativnih postrojenja

Proizvodi kogenerativnih postrojenja koji imaju tržišnu vrijednost su:

- električna energija
- toplotna energija
- šumske biomase (sječke)

Kogenerativna postrojenja doprinose ekonomiji, povećanju BDP-a i smanjenju troškova (eksterni troškovi proizvodnje električne energije) i kroz zapošljavanje radnika na rukovanju i održavanju.

Svakom od ovih proizvoda i usluga treba dodijeliti odgovarajuću vrijednost.

Postoje i druge dobrobiti korištenja drvene biomase koje imaju ekonomsku vrijednost, ali neće biti razmatrane u ovom radu. Neke od njih su:

- poboljšanje kvaliteta šume kroz smanjenje pojave štetočinapotkornjaka, koji se množe u neokorenoj drvnjoj masi nakon sječe šuma i šire se na ostala stabla [79], i
- bolja prohodnost šume i pristup šumskim sastojinama.

Proizvodnja i potrošnja nove biomase

U BiH se sav drvni ostatak i otpad iz drvoprerađivačke industrije koristi u samim firmama za energetske potrebe ili se prodaje proizvođačima peleta i briketa. Preostala neiskorištena drvena biomasa je drvena biomasa nastala sječom koja trenutno propada u šumama. Logično je da će drvoprerađivačke firme koje budu gradile kogenerativna postrojenja prestati prodavati svoj ostatak, već će ga koristiti za kogenerativno postrojenje. Međutim, cilj energetske politike nije ugušiti proizvodnju peleta i briketa, nego stimulisati korištenje neiskorištenog resursa, pa će se **dodatna količina biomase potrebne za kogenerativno postrojenje, u odnosu na proizvodnju samo toplotne energije, osigurati prikupljanjem šumskog ostatka i njegovom preradom u sječku.**

U potpoglavlju 6.2. je tržišni potencijal šumskih ostataka u FBiH procijenjen na 591 GWh, a u RS-u na 576 GWh.

Električna energija

Električna energija se otkupljuje po garantovanoj otkupnoj cijeni, **koja je promjenljiva vrijednost u procesu optimizacije.** Za svako postrojenje se proizvedena električna energija množi sa odgovarajućom garantovanom otkupnom cijenom i tako se dobije tržišna vrijednost električne energije za tu firmu. Zbir tržišnih vrijednosti električne energije pojedinačnih firmi čini ukupnu tržišnu vrijednost električne energije. Početna vrijednost garantovane otkupne cijene će biti jednaka 123 EUR/MWh, što je približno jednako vrijednostima koje su trenutno na snazi u RS-u, a koje su najniže od četiri posmatrane grupe cijena (tabela 6.8.).

Tabela 6.8. Pregled garantovanih otkupnih cijena u BiH i susjednim zemljama

Instalisana električna snaga (kW)	FBiH (EUR/MWh)	RS (EUR/MWh)	Hrvatska (EUR/MWh)	Hrvatska za kogeneraciju > 50% efikasnost (EUR/MWh)	Srbija (EUR/MWh)
Do 23	159,99	123,37	173,33	208,00	132,6
23–150	127,76	123,37	173,33	208,00	132,6
150–200	123,05	123,37	173,33	208,00	132,6
200–300	123,05	123,37	173,33	208,00	132,6
300–700	123,05	123,37	166,67	200,00	132,6
700–1.000	123,05	123,37	166,67	200,00	132,6
1.000–2.000	116,09	115,60	166,67	200,00	127
2000–10.000	116,09	115,60	160,00	192,00	127

Toplotna energija

Toplotna energija će se u potpunosti koristiti u preduzećima koja izgrade kogenerativno postrojenje. Kao što je prethodno objašnjeno, u BiH će se sječka nastala preradom ostatka iz šuma koristiti za kogenerativna postrojenja, pa se vrijednost toplotne energije može procijeniti na sljedeći način:

$$V_{sj} \left[\frac{EUR}{kWh} \right] = \frac{\text{cijena sječke} \left[\frac{EUR}{nas. m^3} \right]}{\text{gustoća sječke} \left[\frac{kg}{nas. m^3} \right] * \text{toplotna moć} \left[\frac{kWh}{kg} \right]}$$

- Cijena sječke na tržištu iznosi 11 EUR/(nas. m³).
- Srednja gustoća sječke vlažnosti 45% je 347 kg/nas. m³.
 - Smreka 286 kg/nas. m³ i bukva 408 kg/nas. m³ [77].
- Toplotna moć drveta vlažnosti 45% je 2,52 kWh/kg.

Kada to uvrstimo u gornju jednačinu, dobijemo da **cijena sječke iznosi:**

$$V_{sj} = 0,0126 \text{ EUR/kWh} = 12,6 \text{ EUR/MWh}$$

Regulatorna komisija za energiju u FBiH (FERK) je u odluci iz decembra 2015. o garantovanim otkupnim cijenama procijenila cijenu biomase 14 KM/MWh = 7,16 EUR/MWh [15]. Ta je cijena sigurno preniska u odnosu na tržišne, čak i kada se radi o veoma povoljnim cijenama.

To je samo cijena energenta, ne uzimajući u obzir efikasnost kotlova. Ako pretpostavimo prosječni godišnji stepen efikasnosti postojećih kotlova od 70% i da troškovi investicije, održavanja i rukovanja iznose 50% vrijednosti energenta [33] i to uvrstimo u prethodnu jednačinu, dobijemo da **referentna vrijednost toplotne energije iznosi:**

$$V_{te} = (V_{sj}/0,7) * 1,5 = (12,6/0,7) * 1,5$$

$$V_{te} = 27 \text{ EUR/MWh}$$

Cijena koju bi platila neka druga firma ili domaćinstva je najmanje duplo veća (oko 50 EUR/MWh je cijena koju plaćaju korisnici daljinskih sistema grijanja na sječku u BiH), ali ne postoji toplovodna mreža koja bi ovu toplotnu energiju dostavila tim potrošačima pa je njena vrijednost jednaka sadašnjoj vrijednosti toplotne energije koja se proizvede u firmi.

Podsticaj za toplotnu energiju u vidu premije (EUR/MWh) će se u ovom radu primijeniti za dodatni podsticaj kogeneracije u odnosu na samo proizvodnju električne energije. Ovaj podsticaj je **promjenljiva vrijednost u procesu optimizacije.**

Regulatorna komisija za energiju u FBiH (FERK) je u odluci iz decembra 2015. o garantovanim otkupnim cijenama procijenila tržišnu vrijednost toplotne energije u iznosu od 68 KM/MWh = 34,77 EUR/MWh [18]. To pokazuje da je 27 EUR/MWh dobra početna vrijednost u postupku optimizacije. U prvom koraku optimizacije nema podsticaja za toplotnu energiju, a onda se podsticaj uvodi i postepeno povećava.

Zapošljavanje radnika na rukovanju i održavanju

Proizvođač opreme mora osigurati odgovarajuću obuku uposlenim koji će rukovati postrojenjem a preuzet će i održavanje nakon isteka garantnog roka, osim za opremu koja zahtijeva vrlo stručno osoblje, kao što je gasni motor i ORC-turbina.

Vrlo često u bosanskohercegovačkim drvoprerađivačkim, a i drugim firmama nema osobe koja je isključivo zadužena za energetska postrojenja. Obično to obavlja osoba kojoj to nije primarno zaduženje, a nekad nije ni dovoljno stručna. Ta je praksa vrlo loša, a naročito kada se izgradi kogenerativno postrojenje, potrebno je zaposliti jednu osobu koja je isključivo zadužena za energetska postrojenja, uključujući i kogenerativno postrojenje. Toj osobi treba biti na raspolaganju jedna osoba pola radnog vremena. Kako postrojenje radi u tri smjene cijele godine, procjena zaposlenih je sljedeća:

Prva smjena: Vođa postrojenja (8 sati) i pomoćnik (4 sata)

Druga i treća smjena: Vođa postrojenja (samo po pozivu) i pomoćnik (4 sata)

Kako u sedmici ima 21 smjena, a za svaku smjenu je potrebno pola radnog vremena pomoćnika, potrebno je 10 smjena sedmično, što odgovara novom zaposlenju od 2 pomoćnika.

Plaće:

- Vođa postrojenja – 800 EUR neto plaća
 - Doprinosi na plaću su 70% neto plaće – 560 EUR
 - Opći troškovi – 50% plaće – 400 EUR
 - Ukupno: 1.760 EUR
- Pomoćnik – 400 EUR neto plaća
 - Doprinosi na plaću su 70% neto plaće – 280 EUR
 - Opći troškovi – 50% plaće – 200 EUR
 - Ukupno: 880 EUR

Mjesečni troškovi za zaposlene su 1.760 EUR + 2 x 880 EUR = 3.520 EUR, odnosno godišnje 42.240 EUR.

Ovaj je iznos isti za sve drvoprerađivačke firme u BiH jer je i za mala postrojenja od 150 kW potreban vođa postrojenja, koji je odgovorna osoba, i pomoćnici, koji u tri smjene nadgledaju i rukuju postrojenjem. Kako se snaga postrojenja povećava, potrebno je zaposliti više ljudi, ali to treba procijeniti na osnovu vrste postrojenja.

6.4. Ukupna sredstva raspoloživa za podsticaje

Ukupna sredstva raspoloživa za podsticaje će se odrediti tako da prosječno domaćinstvo u BiH dodatno plati 0,5 EUR mjesečno za električnu energiju za podsticanje kogeneracije iz čvrste biomase. Prosječno domaćinstvo u BiH troši 350 kWh električne energije mjesečno, pa ukupni podsticaj može iznositi

$$\frac{0,5 \text{ EUR}}{350 \text{ kWh}} = 1,43 \text{ EUR/MWh}$$

U FBiH se godišnje krajnjim kupcima na distributivnoj mreži isporučiti oko 5.138 GWh (EPBiH 3.983 GWh, EPHZHB 1.155 GWh) električne energije [36]. To znači da je ukupni godišnji iznos raspoloživih podsticaja jednak $1,43 \text{ EUR/MWh} \times 5.138.000 \text{ MWh} = 7,35$ miliona EUR.

U RS-u se godišnje krajnjim kupcima na distributivnoj mreži isporučiti oko 3.212 GWh električne energije [37]. To znači da je ukupni godišnji iznos raspoloživih podsticaja jednak $1,43 \text{ EUR/MWh} \times 3.212.000 \text{ MWh} = 4,59$ miliona EUR.

Ova bi se sredstva mogla osigurati i na druge načine, kao npr. povratom PDV-a investitoru ili smanjenjem troškova javne administracije, pa da se na taj način dobiju sredstva za podsticaje, a ne da isključivo krajnji kupac plaća za podsticaje.

6.5. Rezultati optimizacije za Federaciju Bosne i Hercegovine

Matematički model problema optimizacije podsticaja za električnu i toplotnu energiju, koji je objašnjen u Poglavlju 5, kreiran je u Excelu. Excel ima ugrađeni solver za probleme linearnog programiranja, kojim će se riješiti zadani problem.

Ukupan iznos podsticaja za FBiH je 7,35 miliona EUR, a za uzorak u modelu koji je jednak polovini proizvodnje u FBiH iznosi $7,35/2 = 3,675$ miliona EUR. Podsticaj za toplotnu energiju jednak je proizvodu podsticaja i proizvedene toplotne energije. Podsticaj za električnu energiju po kWh jednak je razlici između garantovane otkupne cijene i referentne cijene električne energije. **Referentna cijena električne energije u FBiH iznosi 0,099458 KM/kWh = 0,050852 EUR/kWh** (tabela 2.12.) [48,49]. Ukupan iznos podsticaja u modelu ne smije biti veći od 3,675 miliona EUR.

Ukupna količina raspoložive sječke za uzorak u modelu iznosi $591 \text{ GWh}/2 = 295,5 \text{ GWh}$ (tabela 6.7.). Potrošnja (dodatne) sječke jednaka je razlici potrošnje kogenerativnog postrojenja i prijašnje potrošnje za proizvodnju toplotne energije. **Ukupna potrošnja sječke u modelu ne smije biti veća od 295,5 GWh.**

Prvi korak u optimizaciji je uvrstiti sve potrebne parametre, uključujući i početne vrijednosti podsticaja za toplotnu energiju i otkupne cijene za električnu energiju jednake najnižim u regiji (123 EUR/MWh za električnu energiju i bez podsticaja za toplotnu energiju, uzimajući vrijednost od 27 EUR/MWh). Matematički model će odabrati tehnologiju za svaku firmu iz razmatranog uzorka tako da se maksimizira ukupna nova tržišna vrijednost toplotne energije, električne energije, sječke i zapošljavanja sa ograničenjima za ukupan iznos podsticaja i raspoložive sječke.

Zatim će se postepeno povećavati vrijednosti otkupne cijene za električnu energiju i podsticaja (premije) na toplotnu energiju i vidjeti kakav uticaj imaju na ukupnu novu tržišnu vrijednost i ukupan iznos podsticaja i na njihov međusobni odnos.

Rezultati primjene optimizacije prikazani su u sljedećim tabelama. Iz tabele 6.9. vidimo da je ograničavajući faktor raspoloživi iznos za podsticaje, a ne raspoloživa sječka. Rezultati pokazuju da se najbolji povrat na uloženi novac kroz podsticaje ostvaruje najnižim vrijednostima podsticaja (iteracija

A.1), a da se bolji povrat ostvaruje povećanjem podsticaja za toplotnu energiju nego za električnu energiju.

Tabela 6.9. Rezultati primjene optimizacije za FBiH

Iteracija	Podsticaj za toplotnu energiju (EUR/MWh)	FIT za električnu energiju (EUR/MWh)	Potrošnja sječke (MWh)	Ukupna nova tržišna vrijednost (EUR)	Ukupni podsticaji (EUR)	Odnos ukupne nove tržišne vrijednosti i podsticaja
A.1	0	123	54.106	15.327.380	3.673.199	4,17
A.2	0	150	45.854	12.322.882	3.605.021	3,42
A.3	0	200	39.768	9.827.595	3.633.245	2,70
A.4	5	123	51.264	12.435.762	3.655.840	3,40
A.5	5	150	49.264	10.705.422	3.627.517	2,95
A.6	5	200	33.998	8.182.620	3.578.078	2,29
A.7	10	123	82.223	10.748.647	3.625.568	2,96
A.8	10	150	47.507	9.575.306	3.635.687	2,63
A.9	10	200	36.756	8.317.287	3.628.980	2,29
A.10	15	123	104.748	9.938.348	3.640.242	2,73
A.11	15	150	75.777	8.703.769	3.612.484	2,41
A.12	15	200	34.781	7.773.779	3.647.204	2,13

U sljedećoj tabeli vidimo koje je tehnologije model optimizacije odabrao za svaku iteraciju. Vidimo da se odabir tehnologija značajno razlikuje od iteracije do iteracije i da maksimalan ukupan broj postrojenja iznosi 30 a minimalni 10.

Tabela 6.10. Odabrane tehnologije za iteracije optimizacije za FBiH

Iteracija	Broj gasifikacionih postrojenja	Broj ORC-postrojenja	Broj parnih postrojenja	Ukupan broj postrojenja
A.1	0	23	1	24
A.2	0	18	1	19
A.3	0	13	1	14
A.4	1	18	1	20
A.5	0	15	1	16
A.6	2	11	0	13
A.7	13	10	1	24
A.8	2	12	1	15
A.9	0	10	1	11
A.10	29	0	1	30
A.11	16	3	1	20
A.12	1	8	1	10

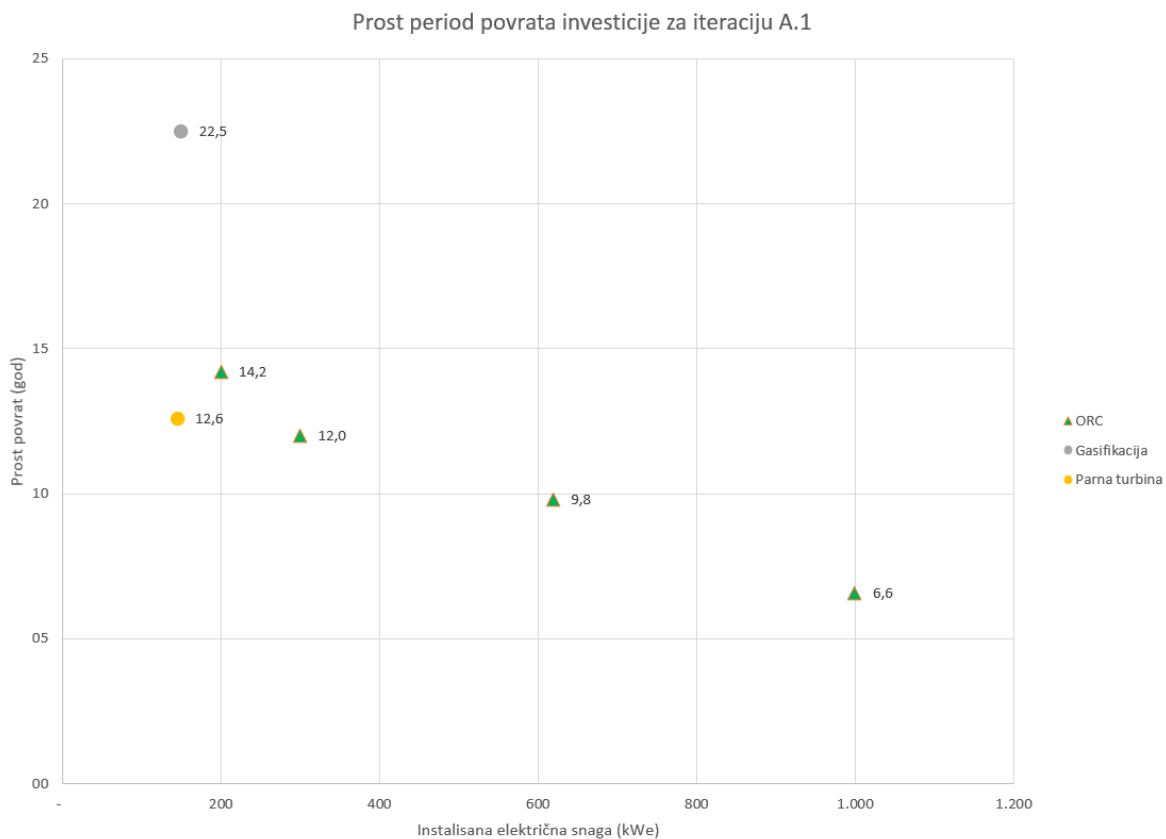
U sljedećoj su tabeli (Tabela 6.11.) iteracije iz tabele 6.9. rangirane po odnosu ukupne nove tržišne vrijednosti i podsticaja, od najvećeg ka najmanjem. Najpovoljnije je izabrati kombinaciju podsticaja sa najvećim odnosom ukupne nove tržišne vrijednosti i podsticaja, pa je iteracija A.1. najpovoljnija.

Tabela 6.11. Rangirane iteracije optimizacije za FBiH

Iteracija	Podsticaj za toplotnu energiju (EUR/MWh)	FIT za električnu energiju (EUR/MWh)	Odnos ukupne nove tržišne vrijednosti i podsticaja
A.1	0	123	4,17
A.2	0	150	3,42
A.4	5	123	3,40
A.7	10	123	2,96
A.5	5	150	2,95
A.10	15	123	2,73
A.3	0	200	2,70
A.8	10	150	2,63
A.11	15	150	2,41
A.9	10	200	2,29
A.6	5	200	2,29
A.12	15	200	2,13

Međutim, potrebno je i da firme investiraju u tehnologije koje je model odabrao za njih u iteraciji A.1, a za to je potrebno da je povrat perioda investicije za tu tehnologiju i električnu snagu postrojenja najkraći. Excel softver za tehno-ekonomsku analizu tehnologija prezentovan je u Poglavlju 10 i rezultati za podsticaje iz iteracije A.1 su izračunati. Na sljedećoj su slici grafički prikazani period povrata investicije za sve tri tehnologije za instalisanu električnu snagu do 1 MWe. Vidi se da sve tehnologije, osim ORC-1.000 kWe, imaju prosti povrat duži od 12 godina, što predstavlja vrlo neisplative investicije. Investicija od ORC-1.000 kWe, koja ima povrat od 6,6 godina je prihvatljiva, ali je iteracija A.1 izabrala za firmu 1 parnu turbinu, a za sve ostale firme je ORC-1.000 kWe postrojenje preveliko.

Slika 6.2. Prosti period povrata investicije za podsticaje iz iteracije A.1



Karakteristike kogenerativnih postrojenja date u sljedećoj tabeli bazirane su na primjerima iz regije i iz literature (okrugle vrijednosti specifične investicije).

Tabela 6.12. Vrijednosti investicija korištene u proračunu isplativosti za iteraciju A.1

Tehnologija	Električna snaga (kW)	Toplotna snaga (kW)	Ukupna investicija	Specifična investicija (EUR/kWe)
Parna turbina	145	3.000	1.615.000	11.138
Gasifikacija	150	185	950.000	6.333
ORC	1.000	4.095	4.300.000	4.300
	619	2.689	3.559.250	5.750
	300	1.505	1.860.000	6.200
	200	1.002	1.300.000	6.500

Pretpostavke korištene u proračunu isplativosti prikazane su u sljedećoj tabeli.

Tabela 6.13. Pretpostavke korištene u proračunu isplativosti za iteraciju A.1

Godišnji broj sati rada postrojenja	h/a	8.000
Garantovana otkupna cijena za električnu energiju – FIT	EUR/kWh	0,123
Prodajna cijena toplotne energije (ostvaruje se 70% od mogućih prihoda)	EUR/kWh	27
Godišnji troškovi pogona i održavanja (O&M) (1–5% od investicije)	%	3,0
Vlastita potrošnja električne energije postrojenja	% od proizvodnje električne energije	7,0
Kupovna cijena električne energije iz mreže	EUR/kWh	0,05
Vlažnost sirove sječke (W1)	%	45
Jedinična cijena sječke (sa transportom)	EUR/t	35

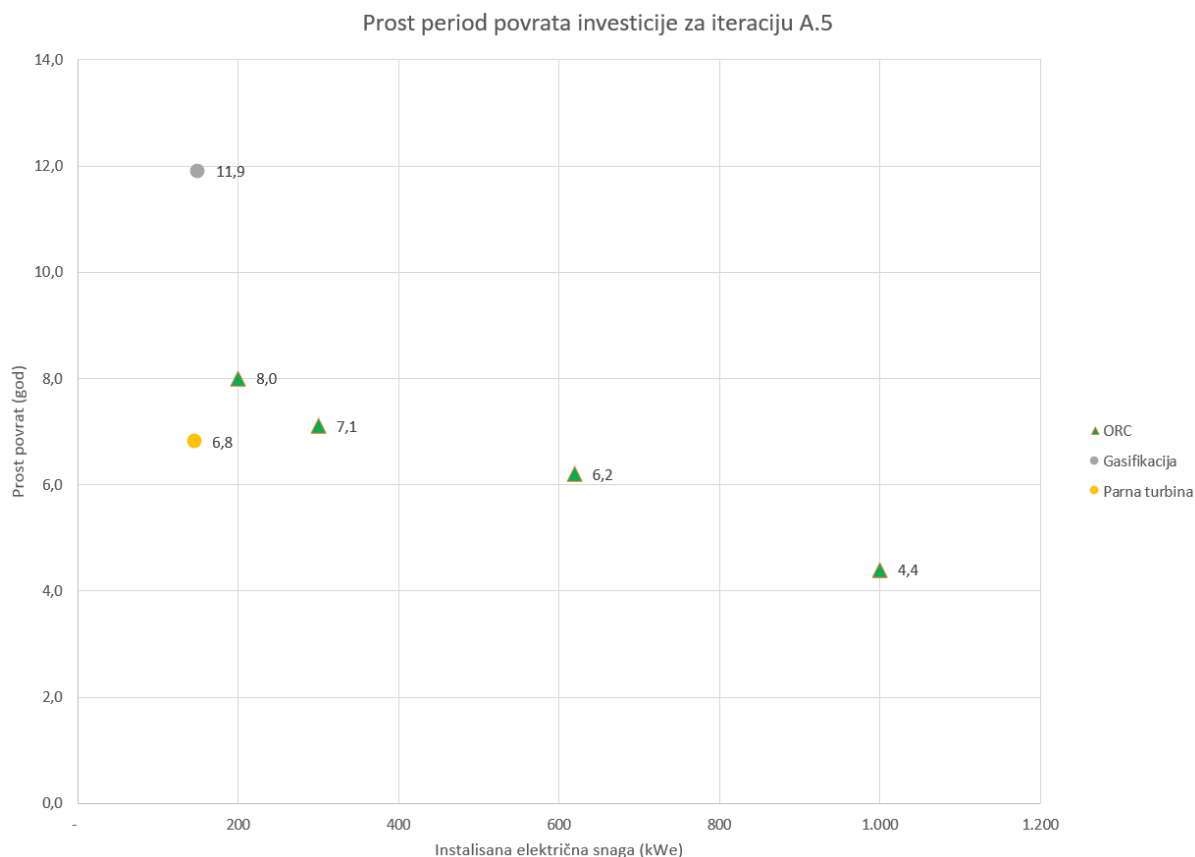
Sljedeća kombinacija podsticaja za koju ćemo provjeriti da li su investicije isplative je A.2. Iteracija A.2 je za firme br. 19–29 izabrala ORC-200kWe. Koristeći iste parametre iz prethodnih tabela (Tabela 6.12. i Tabela 6.13.), osim vrijednosti podsticaja, dobio se period povrata za ORC-200kWe od 9,7 godina, što nije isplativo pa iteracija A.2 nije isplativa.

Sljedeća kombinacija podsticaja za koju ćemo provjeriti da li su investicije isplative je A.4. Koristeći iste parametre, osim vrijednosti podsticaja, dobio se period povrata od 10,9 godina za ORC-postrojenje od 200kWe, a iteracija A.4 je odabrala ORC-postrojenje od 200kW za 11 od 11 mogućih firmi pa kombinacija podsticaja A.4 nije isplativa.

Sljedeća kombinacija podsticaja za koju ćemo provjeriti da li su investicije isplative je A.7. Koristeći iste parametre, osim vrijednosti podsticaja, dobio se period povrata od 18,1 godinu za gasifikaciono postrojenje od 150 kWe, a iteracija A.7 je odabrala gasifikaciono postrojenje od 150 kWe za čak 13 firmi pa kombinacija podsticaja A.7 nije isplativa.

Sljedeća kombinacija podsticaja za koju ćemo provjeriti da li su investicije isplative je A.5. Koristeći iste parametre, osim vrijednosti podsticaja, dobili su se rezultati prikazani na sljedećoj slici. Period povrata za ORC-200kWe je 8,0 godina, što je granično isplativo, dok je za sva veća ORC-postrojenja period povrata kraći. Parna turbina također ima period povrata kraći od 8 godina, ali gasifikacija od 150 kWe ima prosti period povrata od 11,9 godina.

Slika 6.3. Prosti period povrata investicije za podsticaje iz iteracije A.5



Za iteraciju A.5 odabrane su tehnologije prikazane u sljedećoj tabeli (Tabela 6.14.). Vidimo da je parna turbina odabrana za firmu br. 1, ostalo su ORC-postrojenja. Vidimo da nisu odabrana ORC-postrojenja od 619 kW (firme broj 2 do 6 – Tabela 6.4.). Odabrana su četiri od mogućih 12 ORC-postrojenja od 300 kWe (firme broj 7 do 18 – Tabela 6.4.) i 11 od mogućih 11 ORC-postrojenja od 200 kWe (firme broj 19 do 29 – Tabela 6.4.).

Niti jedno gasifikaciono postrojenje od 150 kWe nije odabrano, a pošto nisu isplativa, onda nije potrebno ništa mijenjati u kombinaciji podsticaja. Da je bilo potrebno da se ta investicija učini isplativom, povećavao bi se FIT za električnu energiju za postrojenja do 150 kW, dok se prosti period povrata ne smanji ispod 8 godina. Povećavao bi se FIT za električnu energiju umjesto podsticaja za toplotnu energije jer to favorizuje gasifikaciono postrojenje u odnosu na parnu turbinu, a parna turbina je već isplativa.

Tabela 6.14. Odabrane tehnologije za iteraciju A.5

G1	0	O1	0	P1	1
G2	0	O2	0	-	-
G3	0	O3	0	-	-
G4	0	O4	0	-	-
G5	0	O5	0	-	-
G6	0	O6	0	-	-
G7	0	O7	0	-	-
G8	0	O8	0	-	-
G9	0	O9	1	-	-
G10	0	O10	1	-	-
G11	0	O11	1	-	-
G12	0	O12	0	-	-
G13	0	O13	0	-	-
G14	0	O14	0	-	-
G15	0	O15	0	-	-
G16	0	O16	1	-	-
G17	0	O17	0	-	-
G18	0	O18	0	-	-
G19	0	O19	1	-	-
G20	0	O20	1	-	-
G21	0	O21	1	-	-
G22	0	O22	1	-	-
G23	0	O23	1	-	-
G24	0	O24	1	-	-
G25	0	O25	1	-	-
G26	0	O26	1	-	-
G27	0	O27	1	-	-
G28	0	O28	1	-	-
G29	0	O29	1	-	-
G30	0	-	-	-	-
G31	0	-	-	-	-
G32	0	-	-	-	-
G33	0	-	-	-	-
G34	0	-	-	-	-
G35	0	-	-	-	-
Ukupno	0		15		1

Optimalne vrijednosti podsticaja date su u sljedećoj tabeli. Ove optimalne vrijednosti podsticaja su približne jer se manjim koracima povećanja podsticaja, prvenstveno garantovane otkupne cijene, mogu i preciznije odrediti optimalne vrijednosti podsticaja. Ali pošto je proračun isplativosti u ovom radu baziran na brojnim pretpostavkama, u prvom redu zbog nedostatka statističkih podataka, nije svrsishodno time se baviti. Kada se prikupi više podataka o konkretnim instalisanim postrojenjima kogeneracije, onda treba ponovo proći kroz proces optimizacije i odrediti nove vrijednosti podsticaja.

Tabela 6.15. Izračunate optimalne vrijednosti podsticaja i ukupna nova tržišna vrijednost za FBiH

Instalisana električna snaga (kWe)	Podsticaj za toplotnu energiju (EUR/MWh)	Garantovana otkupna cijena za električnu energiju (EUR/MWh)	Ukupna nova tržišna vrijednost (EUR)	Ukupni podsticaji (EUR)
Do 1000	5	150	10.705.422	3.627.517

Ukupna nova tržišna vrijednost u iznosu od 10.705.422 EUR potrošit će se najvećim dijelom u FBiH i predstavlja prihod za druge firme i uposlenike. To se zove efekt multiplikacije i zavisi od granične sklonosti ka potrošnji stanovništva (Marginal Propensity to Consume – MPC). Granična sklonost ka potrošnji je odnos promjena u potrošnji podijeljen sa promjenom u raspoloživom dohotku. Dakle, ako u prosjeku od 1 EUR povećanja raspoloživog dohotka stanovnik potroši 0,3 EUR, $MPC = \frac{0,3 \text{ EUR}}{1 \text{ EUR}} = 0,3$. Prosječna vrijednost MPC-a u EU iznosi 0,2–0,4 [12]. Promjena u ukupnoj potrošnji iznosi:

$$\text{Ukupna potrošnja} = \text{Ukupni dohodak} * \frac{1}{1 - MPC} \quad 6.1.$$

Iz formule se vidi da što je veći MPC, to je veći faktor multiplikacije $\frac{1}{1-MPC}$. Ako pretpostavimo srednju vrijednost MPC-a od 0,3, dobijemo sljedeće:

$$\begin{aligned} \text{Ukupna potrošnja} &= \text{Ukupni dohodak} * 1/(1 - 0,3) = 10.705.422 * 1,43 \\ &= 15.308.753 \text{ EUR} \end{aligned} \quad 6.2.$$

Prema podacima o javnim prihodima u BiH koje objavljuje Fondacija „Centar za zastupanje građanskih interesa“ iz Sarajeva, ukupni prihodi svih nivoa vlasti iznose ok 9 milijardi KM, odnosno 4,5 milijarde EUR [6,7]. Bruto društveni proizvod u BiH u 2014. godini iznosio je 27,26 milijardi KM, odnosno 13,94 milijardi EUR (Agencija za statistiku BiH – <http://www.bhas.ba/>). To znači da od svakog EUR-a BDP-a javni prihodi iznose 0,32 EUR, pa od prihoda korištenja biomase u kogenerativnim postrojenjima, koji predstavljaju povećanje BDP-a u iznosu od 15.308.753 EUR, javni prihodi iznose 4.898.801 EUR.

Da bi se ostvarilo povećanje BDP-a u iznosu od 15.308.753 EUR, godišnji javni rashodi kroz podsticaje iznose 3.627.517 EUR, a godišnji javni prihodi iznose 4.898.801 EUR, tako da povrat investicije institucija vlasti FBiH u podsticaje iznosi $3.627.517/4.898.801 * 12 = 8,9$ mjeseci.

Godišnji javni prihodi će biti veći od godišnjih podsticaja ako je odnos ukupnog prihoda i ukupnih podsticaja veći od $1/0,32/1,43 = 2,18$, ako pretpostavimo MPC od 0,3.

6.6. Rezultati optimizacije za Republiku Srpsku

Optimizacija podsticaja za kogenerativne tehnologije korištenja biomase u RS-u će se provesti na isti način kao u FBiH.

Ukupan iznos podsticaja za RS iznosi 4,59 miliona EUR, a za uzorak u modelu koji je jednak polovini proizvodnje u RS-u iznosi $4,59/2 = 2,295$ miliona EUR. Podsticaj za toplotnu energiju je jednak proizvodu podsticaja i proizvedene toplotne energije. Podsticaj za električnu energiju po kWh jednak je razlici između garantovane otkupne cijene i referentne cijene električne energije. **U sistemu obaveznog otkupa, referentna cijena u RS-u iznosi 0,0541 KM/kWh (0,0277 EUR/kWh) (Tabela 2.13.).** Ukupan iznos podsticaja u modelu ne smije biti veći od 2,295 miliona EUR.

Ukupna količina raspoložive sječke za uzorak u modelu iznosi od 576 GWh/2 = 288 GWh (Tabela 6.7.). Potrošnja (dodatne) sječke jednaka je razlici potrošnje kogenerativnog postrojenja i prijašnje potrošnje za proizvodnju toplotne energije. **Ukupna potrošnja sječke u modelu ne smije biti veća od 288 GWh.**

Rezultati primjene optimizacije prikazani su u sljedećima tabelama. Iz sljedeće tabele (Tabela 6.16.) vidimo da je ograničavajući faktor raspoloživi iznos za podsticaje, a ne raspoloživa sječka. Rezultati pokazuju da se najbolji povrat na uloženi novac kroz podsticaje ostvaruje najnižim vrijednostima podsticaja (iteracija B.1).

Tabela 6.16. Rezultati primjene optimizacije u RS

Iteracija	Podsticaj za toplotnu energiju (EUR/MWh)	FIT za električnu energiju (EUR/MWh)	Potrošnja sječke (MWh)	Ukupna nova tržišna vrijednost (EUR)	Ukupni podsticaji (EUR)	Odnos ukupne nove tržišne vrijednosti i podsticaja
B.1	0	123	41.631	7.768.307	2.245.268	3,46
B.2	0	150	39.197	6.919.112	2.294.348	3,02
B.3	0	200	30.445	4.756.517	2.136.520	2,23
B.4	5	123	39.663	6.734.991	2.291.908	2,94
B.5	5	150	36.433	5.308.271	2.194.400	2,42
B.6	5	200	26.353	5.176.399	2.228.428	2,32
B.7	10	123	31.235	5.855.131	2.239.668	2,61
B.8	10	150	34.632	5.042.189	2.254.000	2,24
B.9	10	200	24.552	4.869.357	2.247.068	2,17
B.10	15	123	29.900	5.393.527	2.285.428	2,36
B.11	15	150	27.459	5.066.781	2.292.428	2,21
B.12	15	200	21.471	4.466.027	2.185.548	2,04

U sljedećoj tabeli vidimo koje je tehnologije model optimizacije odabrao za svaku iteraciju. Vidimo da se odabir tehnologija značajno razlikuje od iteracije do iteracije i da maksimalan ukupan broj postrojenja iznosi 14 a minimalni 5.

Tabela 6.17. Odabrane tehnologije za iteracije optimizacije za RS

Iteracija	Broj gasifikacionih postrojenja	Broj ORC-postrojenja	Broj parnih postrojenja	Ukupan broj postrojenja
B.1	0	13	1	14
B.2	0	11	1	12
B.3	1	7	0	8
B.4	1	10	1	12
B.5	2	8	0	10
B.6	0	6	1	7
B.7	0	8	1	9
B.8	2	7	0	9
B.9	0	5	1	6
B.10	1	6	1	8
B.11	1	5	1	7
B.12	0	4	1	5

U sljedećoj tabeli (Tabela 6.18.) su date iteracije iz prethodne tabele rangirane po odnosu prihoda i podsticaja, od najvećeg ka najmanjem. Najpovoljnije je izabrati kombinaciju podsticaja sa najvećim odnosom prihoda i podsticaja, pa je iteracija B.1. kao i za FBiH najpovoljnija. Ako uporedimo tabelu 6.18. sa tabelom 6.11., vidjet ćemo da su prvih šest najpovoljnijih iteracija (kombinacija podsticaja) iste u RS-u i FBiH. To se moglo očekivati jer je korišten isti uzorak firmi sa istim toplotnim potrebama.

Tabela 6.18. Rangirane iteracije optimizacije za RS

Iteracija	Podsticaj za toplotnu energiju (EUR/MWh)	FIT za električnu energiju (EUR/MWh)	Odnos ukupne nove tržišne vrijednosti i podsticaja
B.1	0	123	3,46
B.2	0	150	3,02
B.4	5	123	2,94
B.7	10	123	2,61
B.5	5	150	2,42
B.10	15	123	2,36
B.6	5	200	2,32
B.8	10	150	2,24
B.3	0	200	2,23
B.11	15	150	2,21
B.9	10	200	2,17
B.12	15	200	2,04

Iz analize za FBiH znamo da je B.5 prva iteracija za koju je isplativo investiranje u kogenerativna postrojenja, osim za gasifikaciju, snage 150 kWe (Slika 6.3). Za FBiH model nije odabrao gasifikaciono postrojenje pa nije bilo potrebno dalje mijenjati podsticaje da se postigne period povrata za gasifikaciono postrojenje manje od 8 godina. Međutim, u sljedećoj tabeli (Tabela 6.19.) vidimo da je za iteraciju B.5 za dvije firme odabrana gasifikacija. Da bi se ta investicija učinila isplativom, potrebno je povećavati FIT za električnu energiju ili podsticaj za toplotnu energiju za postrojenja do 150 kW, dok se prost period povrata ne smanji ispod 8 godina. Pošto će se povećati podsticaji samo za postrojenja do 150 kW, to neće uticati na isplativost ORC-postrojenja odabranih u iteraciji B.5. Postepenim povećavanjem podsticaja za električnu energiju dobije se prost period povrata od 8,0 godina za podsticaje za električnu energiju od 183 EUR/MWh.

Tabela 6.19. Odabrane tehnologije za iteraciju B.5

G1	0	O1	0	P1	0
G2	0	O2	0	-	-
G3	0	O3	0	-	-
G4	0	O4	0	-	-
G5	0	O5	0	-	-
G6	0	O6	0	-	-
G7	0	O7	0	-	-
G8	0	O8	0	-	-
G9	0	O9	0	-	-
G10	0	O10	0	-	-
G11	0	O11	0	-	-
G12	0	O12	0	-	-
G13	0	O13	0	-	-
G14	0	O14	0	-	-
G15	0	O15	0	-	-
G16	0	O16	0	-	-
G17	0	O17	0	-	-
G18	0	O18	0	-	-
G19	0	O19	1	-	-
G20	0	O20	1	-	-
G21	0	O21	1	-	-
G22	0	O22	1	-	-
G23	0	O23	0	-	-
G24	0	O24	0	-	-
G25	0	O25	1	-	-
G26	0	O26	1	-	-
G27	0	O27	1	-	-
G28	0	O28	0	-	-
G29	0	O29	1	-	-
G30	0	-	-	-	-
G31	0	-	-	-	-
G32	0	-	-	-	-
G33	0	-	-	-	-
G34	1	-	-	-	-
G35	1	-	-	-	-
Ukupno	2		8		0

Optimalne vrijednosti podsticaja date su u sljedećoj tabeli. One su približne jer se manjim koracima povećanja podsticaja mogu preciznije odrediti optimalne vrijednosti podsticaja. Ali pošto je isplativost bazirana na brojnim pretpostavkama, nije svrsishodno time se baviti. Kada se prikupi više podataka o konkretnim instalisanim postrojenjima kogeneracije, onda treba ponovo proći kroz proces optimizacije i odrediti nove vrijednosti podsticaja.

Tabela 6.20. Izračunate optimalne vrijednosti podsticaja za RS

Instalisana električna snaga (kWe)	Podsticaj za toplotnu energiju (EUR/MWh)	FIT za električnu energiju (EUR/MWh)
Do 150 kW	5	183
150–1.000 kW	5	150

Sada je potrebno još jednom razmotriti problem optimizacije za izračunate vrijednosti podsticaja da bi se utvrdila nova ukupna tržišna vrijednost i ukupna vrijednost podsticaja te njihovog odnosa.

Tabela 6.21. Ukupna nova tržišna vrijednost za optimalne vrijednosti podsticaja u RS

Instalisana električna snaga (kWe)	Premija za toplotnu energiju (EUR/MWh)	FIT za električnu energiju (EUR/MWh)	Potrošnja sječke (MWh)	Ukupna nova tržišna vrijednost (EUR)	Ukupni podsticaji (EUR)	Odnos ukupne nove tržišne vrijednosti i podsticaja
Do 150	5	183	47.095	5.387.471	2.273.600	2,37
150–1.000	5	150				

Ako u RS-u, kao i u FBiH, pretpostavimo srednju vrijednost MPC-a od 0,3 i faktor multiplikacije od 1,43, onda dobijemo da je ukupna potrošnja, odnosno povećanje BDP-a, jednako $1,43 \cdot 5.387.471 = 7.704.083$ EUR.

Da bi se ostvarilo povećanje BDP-a u iznosu od 7.704.083 EUR, godišnji javni rashodi kroz podsticaje iznose 2.273.600 EUR, a godišnji javni prihodi iznose 2.465.306 EUR, tako da povrat investicije institucija vlasti RS-a u podsticaje iznosi $2.273.600 / 2.465.306 \cdot 12 = 11,07$ mjeseci.

Kao i u FBiH, godišnji javni prihodi će biti veći od godišnjih podsticaja ako je odnos ukupnog prihoda i ukupnih podsticaja veći od $1/0,32/1,43 = 2,18$, uz pretpostavljeni MPC od 0,3.

6.7. Analiza osjetljivosti

Brojni su ulazni podaci koji su korišteni u ovoj optimizaciji, a dva ključna koja najviše utiču na rezultate optimizacije su:

- 1) cijena sječke
- 2) ukupni iznos podsticaja

Pored dva navedena podatka, struktura i vrijednosti toplotnih potreba firmi u reprezentivnom uzorku isto tako značajno utiču na rezultate optimizacije, ali su moguće varijacije toliko brojne da analiza uticaja na krajnji rezultat ne može dati jedinstven zaključak. Moguće je da je broj firmi u kojima se

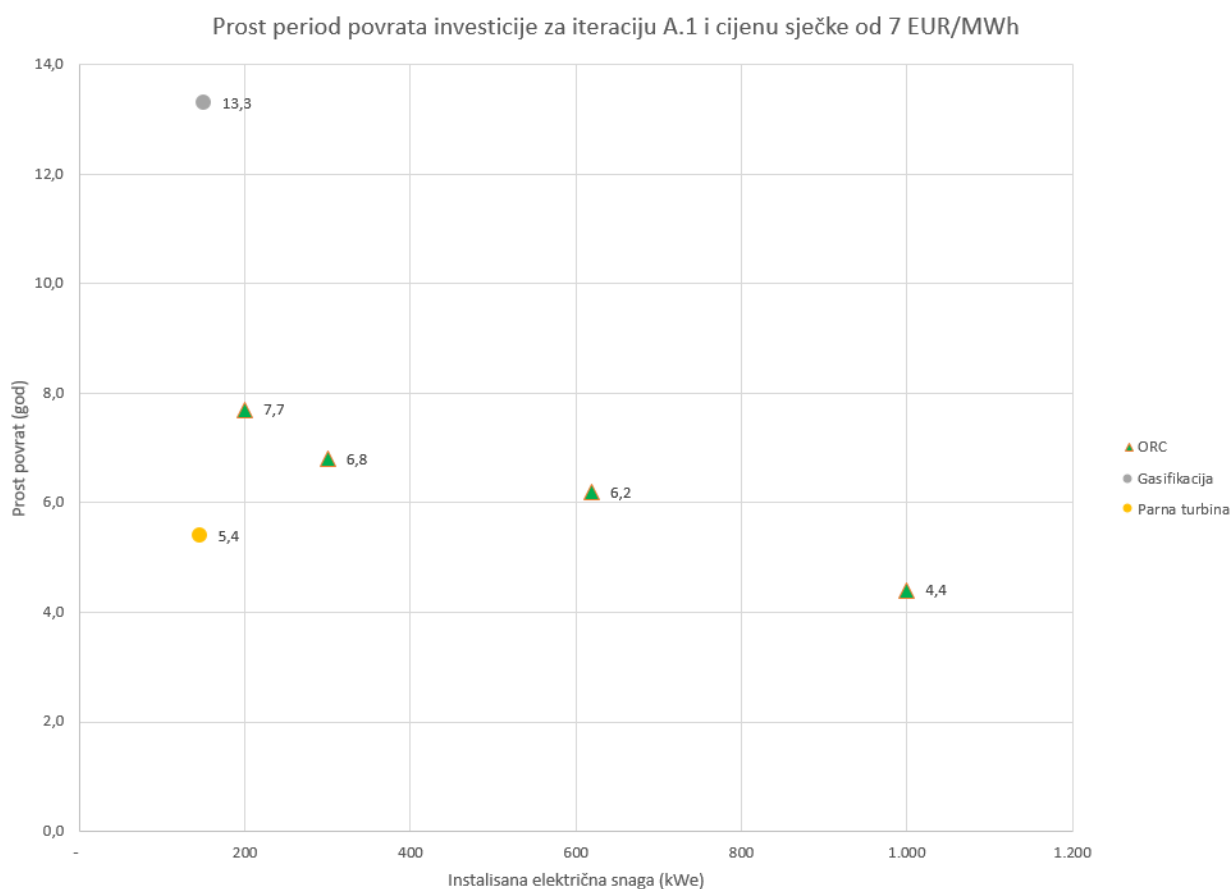
može instalirati parna turbina veći ili manji. To isto vrijedi za firme u kojima je data mogućnost izgradnje ORC-postrojenja od 300 kWe ili gasifikacionog postrojenja od 150 kWe. Promjena parametara reprezentativnog uzorka predstavlja ustvari primjenu modela optimizacije na drugu regiju. Zato će se u okviru analize osjetljivosti analizirati samo dva navedena parametra.

6.7.1. Osjetljivost modela na cijenu sječke

Rangiranje kombinacija podsticaja (iteracija) prema odnosu ukupne nove tržišne vrijednosti i podsticaja ne zavisi od cijene sječke, jer je udio vrijednosti sječke u ukupnoj novoj tržišnoj vrijednosti najmanji. Za usvojeni reprezentativni uzorak u FBiH vrijede rezultati prikazani u tabeli 6.11. Međutim, odabire se prva iteracija za koju su investicije u kogenerativna postrojenja isplative, a isplativost najviše zavisi od cijene sječke. **Razlog za to je da najveći dio operativnih troškova otpada na cijenu sječke.** Ako umjesto 12,6 EUR/MWh za cijenu sječke pretpostavimo 7,2 EUR/MWh, kao što je korišteno u proračunu garantovanih otkupnih cijena za električnu energiju u FBiH (potpoglavlje 6.3), onda bismo za iteraciju A.1 (ili B.1) dobili periode povrata za posmatrane tehnologije i snage kao što je prikazano na sljedećoj slici.

Vidimo da sve investicije imaju period otplate manji od osam godina, osim gasifikacije. Ako pogledamo tabelu 6.10, vidjet ćemo da u iteraciji A.1 nije odabrana gasifikacija, tako da je kombinacija podsticaja u A.1 isplativa i daje najveći odnos dobivenog i uloženog pa bi bila izabrana kao optimalna. **Iz ovoga se može zaključiti da je cijena sječke ključni faktor koji se mora precizno odrediti da bi rezultati optimizacije bili tačni.**

Slika 6.4. Prosti period povrata za iteracije A.1 i cijenu sječke od 7 EUR/MWh



6.7.2. Osjetljivost modela na ukupan iznos podsticaja

Ako se za FBiH poveća iznos podsticaja sa 3,675 miliona EUR na 8 miliona EUR, pa na 12 miliona EUR, i izračuna odnos ukupne nove tržišne vrijednosti i podsticaja u modelu za FBiH, dobiju se rezultati prikazani u sljedećim tabelama (tabela 6.22. i Tabela 6.23.). Ako uporedimo tabelu 6.22. s tabelom 6.11. ili tabelom 6.18., vidjet ćemo da su A.2 i A.4 zamijenili mjesta, ali i dalje je prva isplativa kombinacija podsticaja A.5. Iz toga možemo zaključiti da promjena ukupnog iznosa podsticaja ne utiče na odabir najbolje iteracije (kombinacije podsticaja).

Tabela 6.22. Rangirane iteracije optimizacije za FBiH i 8 miliona EUR podsticaja

Iteracija	Podsticaj za toplotnu energiju (EUR/MWh)	FIT za električnu energiju (EUR/MWh)	Odnos ukupne nove tržišne vrijednosti i podsticaja
A.1	0	123	3,78
A.4	5	123	3,20
A.2	0	150	3,13
A.7	10	123	2,81
A.5	5	150	2,71
A.10	15	123	2,55
A.8	10	150	2,47
A.3	0	200	2,45
A.11	15	150	2,34
A.6	5	200	2,33
A.9	10	200	2,17
A.12	15	200	2,04

Tabela 6.23. Rangirane iteracije optimizacije za FBiH i 12 miliona EUR podsticaja

Iteracija	Podsticaj za toplotnu energiju (EUR/MWh)	FIT za električnu energiju (EUR/MWh)	Odnos ukupne nove tržišne vrijednosti i podsticaja
A.1	0	123	3,78
A.4	5	123	3,13
A.2	0	150	3,02
A.7	10	123	2,72
A.5	5	150	2,66
A.10	15	123	2,45
A.8	10	150	2,44
A.3	0	200	2,42
A.6	5	200	2,25
A.11	15	150	2,24
A.9	10	200	2,11
A.12	15	200	1,98

Da bi se utvrdio uticaj ukupnog iznosa podsticaja na odnos ukupne nove tržišne vrijednosti i podsticaja u **FBiH**, za odabranu iteraciju A.5 mijenjan je ukupan iznos podsticaja i rezultati su prikazani u sljedećoj tabeli. Vidimo da je za iznose veće od 3,675 miliona EUR odnos ukupne nove tržišne vrijednosti i podsticaja manji od 2,95, koji je ostvaren za podsticaj od 3,675 miliona EUR, ali i dalje je veći od 2,7, sve dok iznos podsticaja ne pređe vrijednost od 10 miliona EUR.

U potpoglavlju 6.5. u radu navedeno je da u BiH od svakog EUR-a BDP-a javni prihodi iznose 0,32 EUR tako da se podsticaji isplate sve dok je odnos ukupne nove tržišne vrijednosti i podsticaja veći od 2,18, ako pretpostavimo da je MPC jednak 0,3. Iz sljedeće tabele vidimo da je odnos ukupne nove tržišne vrijednosti i podsticaja za reprezentativni uzorak firmi veći od 2,18 za sve iznose podsticaja. U tabeli je prikazan maksimalni podsticaj od 10.709.301 EUR, za koji se u svakoj drvoprerađivačkoj firmi instalira kogenerativno postrojenje i ostvaruje maksimalna ekonomska korist. Za maksimalni podsticaj model je odabrao ORC-postrojenje za firme 1 do 29, a za firme 30 do 35 gasifikaciju. Da bi gasifikacija bila isplativa, mora se povećati FIT za postrojenja snage do 150 kW na 183 EUR/MWh, kao što je izračunato za RS. Za tu kombinaciju podsticaja i ukupni iznos podsticaja od 10.709.301 EUR ukupna ekonomska korist je 28.042.979 EUR. Za navedenu kombinaciju podsticaja i reprezentativni uzorak firmi, daljnje povećanje ukupnih podsticaja nije moguće.

Sa pretpostavkama korištenim u ovom radu, u FBiH vrijednost podsticaja za korištenje drvne biomase u kogenerativnim postrojenjima treba iznositi 21,42 miliona EUR.

Tabela 6.24. Uticaj ukupnog iznosa podsticaja u FBiH

Ukupna nova tržišna vrijednost (EUR)	Ukupni podsticaji (EUR)	Odnos ukupne nove tržišne vrijednosti i podsticaja
13.673.000	4.923.320	2,78
16.344.854	5.890.125	2,77
19.579.134	6.990.433	2,80
21.497.395	7.938.503	2,71
23.884.796	8.882.829	2,69
26.553.952	9.763.729	2,72
28.042.979	10.709.301	2,62

Da bi se utvrdio uticaj ukupnog iznosa podsticaja na odnos ukupne nove tržišne vrijednosti i podsticaja u **RS-u**, za odabranu iteraciju B.5 mijenjan je ukupan iznos podsticaja i rezultati su prikazani u sljedećoj tabeli (Tabela 6.24.). Vidimo da je za iznose veće od 5 miliona EUR odnos ukupne nove tržišne vrijednosti i podsticaja manji od 2,4, koji je ostvaren za podsticaj od 2,295 miliona EUR (Tabela 6.18.).

U tabeli je prikazan maksimalni podsticaj od 12.708.708 EUR, za koji se u svakoj drvoprerađivačkoj firmi instalira kogenerativno postrojenje i ostvaruje maksimalna ekonomska korist. Za taj maksimalni podsticaj odnos ukupne nove tržišne vrijednosti i podsticaja iznosi 2,21 i veći je od 2,18 pa se isplati. Za maksimalni podsticaj model je odabrao ORC-postrojenje za firme 1 do 29, a za firme 30 do 35 gasifikaciju. Da bi gasifikacija bila isplativa, FIT za postrojenja snage do 150 kW treba biti 183 EUR/MWh. Za tu kombinaciju podsticaja i ukupni iznos podsticaja od 12.708.708 EUR ukupna ekonomska korist je 28.042.979 EUR. Za navedenu kombinaciju podsticaja i reprezentativni uzorak firmi, daljnje povećanje ukupnih podsticaja nije moguće.

Sa pretpostavkama korištenim u ovom radu, u RS-u vrijednost podsticaja za korištenje drvne biomase u kogenerativnim postrojenjima treba iznositi 25,42 miliona EUR.

Tabela 6.25. Uticaj ukupnog iznosa podsticaja u RS

Ukupna nova tržišna vrijednost (EUR)	Ukupni podsticaji (EUR)	Odnos ukupne nove tržišne vrijednosti i podsticaja
12.349.417	4.991.548	2,47
13.975.881	5.970.600	2,34
16.588.992	6.878.108	2,41
18.246.330	7.938.710	2,30
20.338.913	8.935.569	2,28
23.198.515	9.966.626	2,33
24.632.172	10.985.228	2,24
28.042.979	12.708.708	2,21

Za maksimalni podsticaj od 10.709.301 EUR u FBiH ili 12.708.708 EUR u RS-u, rezultati su prikazani u sljedećim tabelama. Cijena toplotne energije iznosi 32 EUR/MWh.

Tabela 6.26. Ostvarena ekonomska korist za maksimalni podsticaj

Vrijednost topl. en. (EUR)	Vrijednost elektr. en. (EUR)	Vrijednost sječke (EUR)	Vrijednost zapošljavanja (EUR)	Ukupna ekonomska korist (EUR)
12.219.392	13.191.600	1.153.587	1.478.400	28.042.979

Tabela 6.27. Ostvarena proizvodnja energije za maksimalni podsticaj

Proizvodnja toplotne energije (MWh)	Proizvodnja električne energije (MWh)	Proizvodnja sječke (MWh)
381.856	86.360	91.555

7. Zaključci

U ovom je radu prezentovana metodologija razvoja modela optimizacije podsticaja proizvodnje električne i toplotne energije u kogenerativnim postrojenjima koja koriste drvenu biomasu kao gorivo. Model optimizacije razvijen je koristeći matematičku metodu linearnog programiranja, u kome je maksimizirana ukupna ekonomska korist od svih kogenerativnih postrojenja. Ukupna ekonomska korist u ovom modelu uzeta je kao ukupna nova tržišna vrijednost stvorena kroz povećano korištenje drvne biomase, proizvodnje električne i toplotne energije i zapošljavanja.

Model je originalan jer pregledom literature nije nađen niti jedan rad u kome je optimizacija korištenja drvne biomase izvršena kroz maksimizaciju ekonomske koristi primjene različitih kogenerativnih tehnologija u određenoj industriji.

Model može imati široku primjenu iz sljedećih razloga:

- Model obuhvata parametre kojima se uzimaju u obzir specifičnosti društvenog, ekonomskog i industrijskog nivoa razvoja regije.
- Model se može primijeniti na bilo koju regiju za koju su ulazni parametri poznati ili se mogu procijeniti.
- Metodologija razvoja modela može se primijeniti za druge sirovine, tehnologije i industrije koje tu sirovinu koriste.

Model optimizacije primijenjen je na kogenerativna postrojenja u drvoprerađivačkoj industriji u Bosni i Hercegovini, u entitetima FBiH i RS-u. Pokazano je da se primjenom modela optimizacije, kroz iterativni proces, mogu odrediti optimalne vrijednosti podsticaja za proizvedenu električnu i toplotnu energiju, za određenu ukupnu vrijednost podsticaja, koje rezultuju maksimalnim odnosom ekonomske koristi (povećanja BDP-a) i ukupnih podsticaja.

Podsticaji su odabrani na način da je investicija u tehnologije koje model odabere za pojedinačne električne snage postrojenja istovremeno i opcija sa najkraćim periodom povrata, što će osigurati da investitor odabere upravo te tehnologije. Kada se govori o isplativosti samih postrojenja, drvena biomasa (sječka) je ključni trošak koji znatno utiče na odabir tehnologije i investicione odluke o samim postrojenjima.

Za datu strukturu toplotnih potreba drvoprerađivačkih firmi, optimizacija je pokazala da povećavanje podsticaja proizvodnje toplotne energije donosi veći povrat po jedinici uloženi sredstava nego povećavanje podsticaja proizvodnje električne energije.

Ako prosječno domaćinstvo u FBiH dodatno plati 0,5 EUR mjesečno za električnu energiju za podsticanje kogeneracije iz čvrste biomase, ukupan iznos podsticaja u FBiH iznosi 7,34 miliona EUR (3,67 miliona EUR za reprezentativni uzorak). Za taj ukupan iznos podsticaja je pokazano da je u FBiH optimalna kombinacija podsticaja FIT od 150 EUR/MWh i premija za toplotnu energiju od 5 EUR/MWh. Takva kombinacija podsticaja rezultuje ukupnom novom tržišnom vrijednosti, odnosno povećanjem BDP-a od 30,62 miliona EUR (15,3 miliona EUR za reprezentativni uzorak) ako pretpostavimo da je granična sklonost ka potrošnji stanovništva (Marginal Propensity to Consume – MPC) jednaka 0,3.

Kako u BiH od svakog EUR-a BDP-a javni prihodi iznose 0,32 EUR, podsticaji se isplate sve dok je odnos povećanja BDP-a i podsticaja veći od 2,18, ako pretpostavimo da je MPC jednak 0,3. **S pretpostavkama korištenim u ovom radu, u FBiH vrijednost podsticaja za korištenje drvne biomase u kogenerativnim postrojenjima treba iznositi 21,42 miliona EUR.** S tim podsticajem moglo bi se u svakoj većoj

drvoprerađivačkoj firmi instalirati kogenerativno postrojenje i ostvariti **maksimalna ukupna ekonomska korist od 56 miliona EUR**. Da bi se prikupio iznos od 21,42 miliona EUR, potrebno je da prosječno domaćinstvo u FBiH dodatno plati 1,66 EUR mjesečno ili da institucije vlasti osiguraju taj iznos putem štednje, zaduživanja ili povećanja poreza.

Ako prosječno domaćinstvo u RS-u dodatno plati 0,5 EUR mjesečno za električnu energiju za podsticanje kogeneracije iz čvrste biomase, ukupan iznos podsticaja u RS-u iznosi 4,54 miliona EUR (2,27 miliona EUR za reprezentativni uzorak). **Za taj ukupan iznos podsticaja je pokazano da je u RS-u optimalna kombinacija podsticaja FIT od 183 EUR/MWh za postrojenja snage do 150 kW i 150 EUR/MWh za postrojenja veće snage, a premija za toplotnu energiju od 5 EUR/MWh.** Takva kombinacija podsticaja rezultuje povećanjem BDP-a od 15,4 miliona EUR (7,7 miliona EUR za reprezentativni uzorak), ako pretpostavimo da je granična sklonost ka potrošnji stanovništva (Marginal Propensity to Consume – MPC) jednaka 0,3.

S pretpostavkama korištenim u ovom radu, u RS-u vrijednost podsticaja za korištenje drvene biomase u kogenerativnim postrojenjima treba iznositi 25,4 miliona EUR. S tim podsticajem moglo bi se u svakoj većoj drvoprerađivačkoj firmi instalirati kogenerativno postrojenje i **ostvariti maksimalna ukupna ekonomska korist od 56 miliona EUR**. Da bi se prikupio iznos od 21,42 miliona EUR, potrebno je da prosječno domaćinstvo u RS-u dodatno plati 1,66 EUR mjesečno ili da institucije vlasti osiguraju taj iznos putem štednje, zaduživanja ili povećanja poreza.

Ukupno povećanje BDP-a od 112 miliona EUR ne može imati veći uticaj na ekonomski razvoj zemlje i na energetske indikatore predstavljene u potpoglavlju 2.2. Međutim, ovaj je model samo obuhvatio drvoprerađivačku industriju, a sva raspoloživa drvena biomasa nije potrošena. Ako bi se razmotrilo korištenje drvene biomase u kogenerativnim postrojenjima u drugim industrijama i u trigenerativnim postrojenjima u zgradarstvu, u kome se troši više od polovice ukupne potrošnje energije u BiH, onda bi se mogla utrošiti sva raspoloživa drvena biomasa i stvoriti potreba za dodatnom biomasom (energetskim zasadima). Za trigenerativna postrojenja posebno su pogodni veliki objekti s potrošnjom toplotne/rashladne energije tokom cijele godine kao što su bolnice, bazeni, hoteli i studentski domovi. Kada bi se obuhvatile i druge industrije i navedene vrste objekata u izgradnji ili koji se renoviraju, sva trenutno raspoloživa drvena biomasa mogla bi se potrošiti i bilo bi potrebno osigurati novu drvenu biomasu kroz energetske zasade. BiH je rijetko naseljena zemlja i postoje hiljade hektara zemljišta koje se mogu koristiti u tu svrhu, a posebno su interesantni napušteni površinski kopovi koje treba rekultivirati i revitalizirati. Energetski zasadi na napuštenim površinskim kopovima mogli bi osigurati radna mjesta za rudare ako želimo smanjiti potrošnju uglja.

U tom bi se slučaju i energetske indikatori predstavljeni u potpoglavlju 2.2. poboljšali. Ukupna potrošnja primarne energije i potrošnja električne energije po stanovniku bi se povećali, kao i bruto domaći proizvod po stanovniku, ali bi se smanjio energetske intenzitet i emisija CO₂ po stanovniku.

U ukupnoj novoj tržišnoj vrijednosti, najznačajnije su vrijednosti toplotne energije i električne energije, dok je vrijednost dodatne potrošnje sječke mnogo manja. Razlog za to je da se sječka već troši za proizvodnju toplotne energije u drvoprerađivačkim firmama i da je dodatna potrošnja sječke rezultat veće potrošnje sječke u kogeneraciji u odnosu na kotao u kome se proizvedila samo toplotna energija. Međutim, ta razlika u potrošnji nije toliko značajna, što rezultuje niskom dodatnom potrošnjom sječke u odnosu na procijenjeni tržišni potencijal neiskorištene šumske drvene biomase od 591 GWh u FBiH i 576 GWh u RS-u.

Rezultati optimizacije zavise od mnogo faktora, a najvažniji su: struktura toplotnih potreba drvoprerađivačkih firmi, raspoložive snage komercijalnih kogenerativnih postrojenja, mogućnost priključenja kogenerativnog postrojenja na mrežu, specifični investicioni troškovi, cijene drvene

biomase i ukupan raspoloživi iznos podsticaja. Kada dođe do značajnih promjena ovih parametara, iznose podsticaja treba ponovo izračunati i po potrebi promijeniti. Pokazano je da su troškovi za nabavku biomase operativni troškovi koji najviše utiču na isplativost postrojenja. Da bi se cijena biomase mogla precizno utvrditi, potrebno je uređeno tržište biomase, a i investitor bi se osjećao sigurnijim da postoji tržište biomase sa kontrolisanim kvalitetom biomase, ujednačenom cijenom i skladištima.

Dakle, strateški cilj podsticanja kogeneracije na čvrstu biomasu se ne mijenja, ali instrumenti energetske politike kojima se ostvaruje taj cilj, kao što su podsticaji, moraju se prilagođavati promjenama na tržištu.

Statističkih podataka potrebnih za energetske analize proizvodnje i potrošnje energije u drvoprerađivačkoj industriji nisu na raspolaganju pa su se morali procijeniti. Potrebno je da statističke agencije prikupljaju potrebne podatke i obrađuju ih na način da mogu poslužiti za energetske analize, uključujući i definisanje energetske politike. S pouzdanim podacima korištenim u ovoj analizi mogu se onda precizno odrediti optimalne vrijednosti podsticaja.

U ovom je radu pokazano da sadašnje garantovane otkupne cijene u BiH od oko 123 EUR/MWh za električnu energiju iz kogenerativnih postrojenja na čvrstu biomasu električne snage od 150 do 1.000 kWe i vrijednost toplotne energije od 27 EUR/MWh rezultuju prostim povratom investicije od 6,6 do 22,5 godine. U Hrvatskoj su garantovane otkupne cijene 70% veće nego u BiH (208 EUR/MWh) i **zato u Hrvatskoj postoji 10 elektrana na biomasu ukupne instalisane električne snage od 24.585 kW, a u BiH, a i Srbiji, koja ima slične garantovane otkupne cijene kao BiH, ne postoji niti jedno kogenerativno postrojenje korištenja čvrste biomase.**

Za daljnje istraživanje se planira u proračun ekonomske koristi u modelu dodati moguća vrijednost proizvodnje i održavanja dijela postrojenja u BiH. To će se moći učiniti kada se utvrde tačni podaci o vrijednosti pojedinačnih dijelova postrojenja i utvrdi koje je dijelove postrojenja moguće proizvoditi u BiH. Pored toga, potrebno je dodati i vrijednost smanjene štete po okoliš i zdravlje ljudi zbog smanjenja emisija sumpordioksida (indirektni troškovi) u proizvodnji električne energije. To će se učiniti kada budu na raspolaganju preciznije procjene o vrijednosti štete po okoliš i zdravlje ljudi izazvane emisijom sumpordioksida. Već postoje studije o vrijednosti štete po okoliš i zdravlje ljudi po kilogramu emitovanog sumpordioksida u BiH, ali u procjeni je korištena metodologija i softver koji su izrađeni za Evropsku uniju, gdje su troškovi liječenja i bolovanja puno veći nego u BiH [72]. Procjena iz te studije od skoro 7.000 EUR/tSO₂ čini se prevelikom jer rezultuje ukupnom godišnjom štetom u BiH od 2 milijarde EUR zbog emisije SO₂ u proizvodnji električne energije, a cijeli BDP u BiH iznosi oko 14 milijardi EUR. Istražit će se i uticaj linearne promjene garantovane otkupne cijene na rezultate optimizacije. Sa sadašnjom stepenastom promjenom garantovane otkupne cijene, favorizuju se postrojenja sa snagom na kraju raspona u kome je garantovana otkupna cijena konstantna.

Model optimizacije će se dalje razvijati tako da se izvrši proračun isplativosti tehnologija i poveže sa modelom na način da nije potrebno odvojeno raditi proračune. U model će se unijeti početne vrijednosti podsticaja i korak povećanja podsticaja te svi potrebni parametri za izračunavanje isplativosti tehnologija. Tako će se u jednom koraku moći odrediti optimalne vrijednosti podsticaja – one koje daju najveći odnos ekonomske koristi i subvencija a da su istovremeno investicije u tehnologije isplative.

Literatura

1. Akcioni plan Federacije BiH za korištenje obnovljivih izvora energije (APOEF), *Službene novine FBiH* 48/14, 2014.
2. Akcioni plan Republike Srpske za korišćenje obnovljivih izvora energije, *Službeni glasnik RS* 45/14, 2014.
3. Anketa o potrošnji energije u domaćinstvima u BiH, Agencija za statistiku BiH, 2015.
4. Arnette, A., Zobel, C. W., The role of public policy in optimizing renewable energy development in the greater southern Appalachian mountains, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 15, Issue 8, Pages 3690–3702, 2011.
5. Arnette, A., Zobel, C. W., An optimization model for regional renewable energy development, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 16, Issue 7, Pages 4606–4615, 2012.
6. Basarić, H., *Pregled finansija lokalne samouprave u BiH*, Fondacija „Centar za zastupanje građanskih interesa“, Sarajevo, 2015.
7. Baza podataka o javnim finansijama, Fondacija „Centar za zastupanje građanskih interesa“, Sarajevo, 2015. <http://javnefinansije.cpi.ba/budzetski-korisnici/>
8. Biomass Combined Heat and Power Catalog of Technologies, U. S. Environmental Protection Agency, September 2007.
9. Biomass for Heat and Power – Technology Brief, IRENA and IEA-ETSAP, 2015.
10. Biomass for Power Generation, RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES, Volume 1: Power Sector Issue 5/5, International Renewable Energy Agency (IRENA), 2012.
11. Biomass Potential in BiH Study, USAID/HELLENIC AID, SYNENERGY Project, 2008.
12. Carroll, D. et al., The distribution of Wealth and the Marginal Propensity to Consume, European Central Bank, 2014.
13. Casisi, M., De Nardi, A., Pinamonti, P., Reini, M., Effect of different economic support policies on the optimal synthesis and operation of a distributed energy supply system with renewable energy sources for an industrial area, *Energy Conversion and Management*, Vol. 95, p. 131–139, 2015.
14. Cjenovnik šumskih drvnih sortimenata, Šume Republike Srpske, 2014.
15. Conversion factors – energy and carbon conversion guide, Carbon Trust, 2014.
16. Čerić, V. i dr., *Informacijska tehnologija u poslovanju*, Element, Zagreb, 2004.
17. Decision D/2012/04/MC-EnC on the implementation of Directive 2009/28/EC and amending Article 20 of the Energy Community Treaty, Energy Community Ministerial Council, Vienna, 2012.
18. Decision D/2012/04/MC-EnC on the implementation of Directive 2009/28/EC and amending Article 20 of the Energy Community Treaty, Energy Community Ministerial Council, Vienna, 2012.
19. Decision D/2013/05/MC-EnC on the implementation of Directive 2001/80/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants, Energy Community Ministerial Council, Belgrade, 2013.

20. Decision D/2015/08/MC-EnC on the implementation of Directive 2012/27/EU, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC i 2006/32/EC, Energy Community Ministerial Council, Tirana, 2015.
21. Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources, European Parliament and Council, Strasbourg, 2009.
22. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC, *Official Journal of the European Union*, L 315/1.
23. Directive 2012/27/EU on energy efficiency, European Parliament and Council, Strasbourg, 2012.
24. Direktiva 2009/28/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. travnja 2009. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora te o izmjeni i kasnijem stavljanju izvan snage direktiva 2001/77/EZ i 2003/30/EZ, *Službeni list Europske unije*, 5. 6. 2009.
25. Direktiva 2012/27/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 25. listopada 2012. o energetske učinkovitosti, izmjeni direktiva 2009/125/EZ i 2010/30/EU i stavljanju izvan snage direktiva 2004/8/EZ i 2006/32/EZ, *Službeni list Europske unije*, 14. 11. 2012.
26. Dodić, J., Grahovac, J., Studija o obnovljivim izvorima energije, DAI, Agencija za konsalting, Leskovac, 2013.
27. Energy Community Treaty, Athens, Greece, 25 October 2005.
28. Energy, transport and environment indicators, Eurostat, 2015.
29. EU launches Investment Offensive to boost jobs and growth, 2014. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-14-2128_en.htm
30. Guidelines for assessing the efficiency of district heating and district cooling systems, ECOHEATCOOL-Workpackage 3, EU Intelligent Energy Europe Programme, Euroheat & Power, 2006.
31. Gvozdenc, D., Morvaj, Z., Ekonomska i finansijska analiza projekata energijske efikasnosti, USAID 3E, UNDPBiH, GIZ, Sarajevo, 2011.
32. Gvozdenc, D., Nakomčić-Smaragdakis, B., Gvozdenc-Urošević, B., *Obnovljivi izvori energije*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2010.
33. Holzwärme für Hotels und Gewerbe, *Österreichischer Biomasse-Verband*, 2016.
34. IHB Timber Network (dostupno na: http://www.ihb.de/wood/news/EU_wood_pellets_imports_renewable_energy_biomass_EC_36395.html)
35. Informacija o gospodarenju šumama u Federaciji BiH u 2014. godini i planovima gospodarenja šumama za 2015. godinu, Federalno ministarstvo poljoprivrede, vodoprivrede i šumarstva, Sarajevo, 2015. (dostupno na: <http://www.fmpvs.gov.ba/>)
36. Izvještaj o radu FERK-a za 2014. godinu, FERK, 2015.
37. Izvještaj o radu za 2014. godinu, RERS, 2015.
38. Izvještaj o radu, Državna regulatorna komisija za električnu energiju, 2014.
39. Izvještaj o trenutnom stanju i potencijalu u BiH za izgradnju kogeneracijskih postrojenja i elektrana na biomasu, USAID EIA (autori: Kulić, F. i Gvozdenc, D.), 2016.

40. Jovanović, B., Musić, J., Lojo, A., „Energetski potencijal drvne biomase u Bosni i Hercegovini“, *Radovi Šumarskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu*, Volume 38, broj 1, Sarajevo, 2008.
41. Kako napraviti sopstveno biogas postrojenje, Program za prekograničnu saradnju IPA Bugarska – Srbija, 2013, http://www.tf.ni.ac.rs/IPA_Bul_Ser
42. Katalog energetskih tehnologija za proizvodnju električne i toplotne energije korištenjem biomase (sa softverom za proračune), USAID EIA (autori: Kulić, F. i Gvozdenc, D.), 2016.
43. Key World Energy Statistics, International Energy Agency, 1992–2014.
44. Mogućnosti korištenja biomase iz šumarstva i drvne industrije u Bosni i Hercegovini, UNDP, Sarajevo, 2014.
45. NEOS Optimization Guide, <http://dev.neos-guide.org/content/optimization-taxonomy>, Wisconsin Institutes for Discovery at the University of Wisconsin in Madison, USA.
46. Labudović, B. (ur.), *Obnovljivi izvori energije*, Energetika marketing, Zagreb, 2002.
47. Odluka broj: 01-540-3/15/R-03-34 – Odluka o visini garantovanih otkupnih cijena i premija za električnu energiju proizvedenu iz obnovljivih izvora i u efikasnoj kogeneraciji, Regulatorna komisija za energetiku RS-a, Trebinje, 29. 1. 2016.
48. Odluka broj: 01-07-1052-04/15 o referentnoj cijeni električne energije, Regulatorna komisija za energiju u FBiH, Mostar, 18. 12. 2015.
49. Odluka broj: 01-07-1052-05/1 o garantovanim otkupnim cijenama, Regulatorna komisija za energiju u FBiH, Mostar, 18. 12. 2015.
50. Omu, A., Choudhary, R., Boies, A., Distributed energy resource system optimisation using mixed integer linear programming, *Energy Policy*, Vol. 61, p. 249–266, 2013.
51. Petrović, P. et al., Razvoj postrojenja za proizvodnju biogasa u malim poljoprivrednim seoskim farmama, <http://www.mfkg.rs/sajt/Downloads/ostalo/biogas.pdf>
52. Pravilnik o izdavanju sertifikata za proizvodno postrojenje koje proizvodi električnu energiju iz obnovljivih izvora energije ili u efikasnoj kogeneraciji, *Službeni glasnik RS*, br. 112/13, 2013.
53. Pravilnik o metodologiji za utvrđivanje referentne cijene električne energije, FERK, Mostar, http://www.ferk.ba/ba/images/stories/2014/pravilnik_revidirani_referentna_cijena_bs.pdf
54. Pravilnik o podsticanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora i u efikasnoj kogeneraciji, *Službeni glasnik RS*, br. 114/13 i 88/14.
55. Priručnik o čvrstim gorivima, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Stručna agencija za obnovljive resurse, 2014.
56. Priručnik za obuku: MERENJE – IZVEŠTAVANJE – VERIFIKACIJA (MRV) – Nacionalne mere za ublažavanje klimatskih promena (NAMA), UNDP, 2014.
57. Proizvodnja drvenog peleta u Bosni i Hercegovini – Pregled investicionog potencijala, USAID-Sida Firma Project, Sarajevo, 2014.
58. Purwanto, W. W. et al., Multi-objective optimization model for sustainable Indonesian electricity system: Analysis of economic, environment, and adequacy of energy sources, *Renewable Energy*, Vol. 81, p. 308–318, 2015.
59. Quoilin, S. et al., Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Issue 22, Pages 168–186, 2013.

60. Razvoj i finansiranje kapitalnih investicionih projekata (PRIRUČNIK), USAID, Beograd, 2009.
61. Reasoned request in Case ECS-4/14 against Bosnia and Herzegovina for failure to adopt a National Renewable Energy Action Plan within the prescribed time limit, Energy Community Ministerial Council, Vienna, 2015.
62. Recommendation No. 2010/01/MC-EnC of 24 September 2010 on the promotion of the use of energy from renewable sources, Energy Community Ministerial Council, Vienna, 2010.
63. Reynolds, W. C., Thermodynamic properties in SI: Graphs, tables, and computational equations for forty substances, Stanford University, 1979.
64. Ryan, L., Campbell, N., Spreading the Net: the Multiple Benefits of Energy Efficiency Improvements, International Energy Agency (IEA), 2012.
65. Samer, M., Biogas Plant Constructions, InTech (<http://cdn.intechopen.com/pdfs/31334.pdf>)
66. Statistički godišnjak Republike Srpske, Republički zavod za statistiku Republike Srpske, 2015. (dostupno na: <http://www.rzs.rs.ba/>)
67. Statistički godišnjak Republike Srpske, Republički zavod za statistiku Republike Srpske, 2014.
68. Statistički poslovni registar, Agencija za statistiku BiH, 2015.
69. Strategija razvoja energetike Republike Srpske do 2030. godine, Ministarstvo industrije, energetike i rudarstva RS-a, 2012.
70. Strateški plan i program razvoja energetskog sektora Federacije BiH, Federalno ministarstvo energetike, rudarstva i industrije, 2008.
71. Studija izvodljivosti: Komercijalna upotreba drvnog ostatka u centralnoj Bosni i Hercegovini kao projekat oporavka i ekonomskog razvoja regije, Regionalna razvojna agencija za regiju centralne BiH, 2006.
72. Study on the Need for Modernization of Large Combustion Plants in the Energy Community, South East European Consultants, 2013.
73. Technology Roadmap – Biomass for Heat and Power, International Energy Agency – IEA, 2012.
74. U.S. Renewable Energy Technical Potentials: A GIS-Based Analysis, NREL, 2012.
75. Uredba Komisije (EZ) br. 1200/2009 od 30. studenoga 2009. o provedbi Uredbe (EZ) br. 1166/2008 Europskog parlamenta i Vijeća o istraživanjima o strukturi poljoprivrednih gospodarstava i o istraživanju o metodama poljoprivredne proizvodnje, a tiču se koeficijenata stočnih jedinica i definicija obilježja (tekst značajan za EGP), *Službeni list Europske unije*, L 329/1, 15. 12. 2009.
76. Urosevic, D., Gvozdenac, D., Grkovic, V., Calculation of the power loss coefficient of steam turbine as a part of the cogeneration plant, *Energy*, Vol. 59, pp. 642–651, 2013.
77. Wood fuels handbook – Priručnik o gorivima iz drvene biomase (prevod na hrvatski), AIEL – Italian Agriforestry Energy Association, Regionalna energetska agencija sjeverozapadne Hrvatske, 2008.
78. Wouters, C., Fraga, E. S., James, A. M., An energy integrated, multi-microgrid, MILP (mixed-integer linear programming) approach for residential distributed energy system planning – A South Australian case-study, *Energy*, Vol. 85, p. 30–44, 2015.

79. Zahirović, K. et al., Sušenje sastojina smrče uslijed djelovanja potkornjaka u centralnoj Bosni, *Naše šume*, broj 36–37, Udruženje inženjera i tehničara šumarstva FBiH i Hrvatsko šumarsko društvo BiH, 2014.
80. Zakon o korištenju obnovljivih izvora energije i efikasne kogeneracije FBiH, *Službene novine FBiH* 70/13, 2013.
81. Zakon o obnovljivim izvorima energije i efikasnoj kogeneraciji, *Službeni glasnik RS* 39/13, 2013.