Tehno-ekonomska analiza zamjene goriva u kogeneracijskim postrojenjima na drvu biomasu

Vrdoljak, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:834342

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Ivan Vrdoljak

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:
Doc. dr. sc. Tomislav Pukšec, dipl. ing.

Student:
Ivan Vrdoljak

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Iskreno zahvaljujem doc. dr. sc. Tomislavu Pukšecu i asistentu Antunu Pfeiferu na savjetima i pomoći tijekom pisanja ovog rada.

Ivan Vrdoljak

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: **602 - 04 / 21 - 6 / 1**	
Ur.broj: **15 - 1703 - 21 -**	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Ivan Vrdoljak** Mat. br.: **0035204943**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Tehno-ekonomska analiza zamjene goriva u kogeneracijskim postrojenjima na drvnu biomasu**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Techno-economic analysis of a fuel switch in cogeneration plants fuelled by biomass**

Opis zadatka:

Visokoučinkovita kogeneracijska postrojenja koja koriste biomasu kao gorivo zauzimaju važno mjesto u opskrbi toplinskom i električnom energijom urbanih sredina u energetskoj tranziciji, poglavito u manjim gradovima ili gradskim četvrtima. Mogu se učinkovito koristiti kao izvor energije za daljinsko grijanje, a prednost im je mogućnost korištenja različitih vrsta održive biomase. U okolnostima promjena sustava gospodarenja otpadom i s ciljem da se osigura održivost goriva, potrebno je razmatrati potencijalnu promjenu goriva tijekom životnog vijeka postrojenja.
U okviru ovog zadatka potrebno je:

1. Napraviti pregled stanja tehnologije i primjene različitih održivih oblika biomase u kogeneracijskim postrojenjima.
2. Procijeniti troškove prilagodbe postrojenja za rad na drugoj vrsti goriva.
3. Izračunati tehnički potencijal različitih vrsta održivih oblika biomase: otpadna drvna biomasa, biorazgradive komponente otpada i energetski nasadi za odabranu makro-lokaciju.
4. Prikazati dinamiku promjene goriva kroz životni vijek postrojenja za različite scenarije.
5. Provesti tehno-ekonomsku analizu isplativosti projekta kogeneracije na biomasu za scenarije različite dinamike promjene goriva, iskazujući rezultate kroz neto sadašnju vrijednost projekta.

Potrebni podaci i literatura se mogu dobiti kod mentora. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
30. studenoga 2020.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Tomislav Pukšec

Datum predaje rada:
1. rok: 18. veljače 2021.
2. rok (izvanredni): 5. srpnja 2021.
3. rok: 23. rujna 2021.

Predvideni datumi obrane:
1. rok: 22.2. – 26.2.2021.
2. rok (izvanredni): 9.7.2021.
3. rok: 27.9. – 1.10.2021.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

SADRŽAJ

SADRŽAJ i
POPIS SLIKA iii
POPIS TABLICA iv
POPIS OZNAKA v
SAŽETAK vii
SUMMARY viii
1. UVOD 1
2. KOGENERACIJA 2
2.1. Vrste turbina u kogeneracijskim postrojenjima 3
2.1.1. Parne turbine 3
2.1.2. Plinske turbine 5
2.1.3. Kombinirani ciklus 5
2.2. Ostali dijelovi kogeneracijskih postrojenja 6
2.2.1. Cjevovodi i pumpe 6
2.3. Tržišta električne i toplinske energije 7
2.3.1. Tržište električne energije 7
2.3.2. Tržište toplinske energije 9
3. BIOMASA I OTPAD 11
3.1. Drvna biomasa 11
3.1.1. Kulture kratkih ophodnji 13
3.2. Poljoprivredni ostaci 13
3.3. Miješani komunalni otpad 14
3.4. Ekološki pregled otpada i drvne biomase 15
3.5. Dijelovi postrojenja na drvnu i poljoprivrednu biomasu i komunalni otpad 15
3.5.1. Kotlovi 16
3.5.2. Sustavi za pročišćavanje dimnih plinova i sakupljanje krutih ostataka izgaranja 17

3.5.3. Kondenzatori dimnih plinova 18
3.5.4. Zbrinjavanje kondenzata i otpadne vode 19
4. METODE TEHNO-EKONOMSKE ANALIZE KOGENERACIJSKOG POSTROJENJA NA BIOMASU I OTPAD 20
4.1. Izračun energetskih potencijala goriva 20
4.2. Troškovi vezani uz gorivo i opis postrojenja 21
5. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA POSTROJENJA NA PODRUČJU VRBOVCA ... 23
5.1. Energetski potencijali i potrebe u Vrbovcu 23
5.2. Troškovi goriva i postrojenja 28
5.3. Različiti scenariji dinamike zamjene goriva 29
6. ZAKLJUČAK 43
7. LITERATURA 45

POPIS SLIKA

Slika 1. Usporedba efikasnosti pojedinačnih sustava i kogeneracije 2
Slika 2. Shema postrojenja s kondenzacijskom turbinom [5] 4
Slika 3. Shema postrojenja s protutlačnom turbinom [5] 5
Slika 4. Krivulja opterećenja sustava el. energije tijekom dana [10] 9
Slika 5. Shema postrojenja na otpad i/ili drvnu biomasu [2] 16
Slika 6. Shema mokrog pročišćivača dimnih plinova [3] 18
Slika 7. Dinamika zamjene goriva, scenarij 1 31
Slika 8. Dinamika zamjene goriva, scenarij 2 32
Slika 9. Dinamika zamjene goriva, scenarij 3 33
Slika 10. Kumulativni tok novca, financijski tok novca, scenarij 1 34
Slika 11. Kumulativni tok novca, ekonomski tok novca, scenarij 1 35
Slika 12. Kumulativni tok novca, financijski tok novca, scenarij 2 36
Slika 13. Kumulativni tok novca, ekonomski tok novca, scenarij 2 37
Slika 14. Kumulativni tok novca, financijski tok novca, scenarij 3 38
Slika 15. Kumulativni tok novca, ekonomski tok novca, scenarij 3 39
Slika 16. NPV za različite scenarije 40
Slika 17. IRR za različite scenarije 40
Slika 18. Utjecaj promjene cijene el. energije na NPV 41
Slika 19. Utjecaj promjene cijene invesicije 42

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prosječni udio kemijskih elemenata u drvnom gorivu……...……14

Tablica 2. Donje ogrjevne vrijednosti pojedinih vrsta otpada…...……....17

Tablica 3. Potrošnja i broj grijanih objekata……...24

Tablica 4. Cijene topl. energije u Velikoj Gorici…….……..28

Tablica 5. Vrsta i količina drveta na području Vrbovca …...……..30

Tablica 6. Vrsta i količina drveta na području Bjelovara……...31

Tablica 7. Tijek otplate kredita ……...…….…...……..33

Tablica 8. Financijski tijek novca, scenarij 1…….35

Tablica 9. Ekonomski tijek novca, scenarij 2…….36

Tablica 10. Financijski tijek novca, scenarij 2……...37

Tablica 11. Ekonomski tijek novca, scenarij 2……...38

Tablica 12. Financijski tijek novca, scenarij 3……...39

Tablica 13. Ekonomski tijek novca, scenarij 3……...40

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$T_{pf(i)}$	m^3	tehnički potencijal pojedine vrste drveta
$Y_{pf(i)}$	m^3	usječeni volumen pojedine vrste drveta
F_r	-	udio iskoristivih poljoprivrednih ostataka
T_{kko}	t	tehnički potencijal farme kulture kratkih ophodnji
A_{neo}	km^2	površina neobrađenog zemljišta
m	kg	masa
a'	km^{-2}	gustoća sadnje
k	-	faktor rotacije
E_{kko}	GWh	energetski potencijal farme kulture kratkih ophodnji
LHV_{vrba}	$\frac{MJ}{kg}$	donja ogrjevna vrijednost drveta vrbe
E_{kuk}	GWh	energetski potencijal kukuruzovine
LHV_{kuk}	$\frac{MJ}{kg}$	donja ogrjevna vrijednost kukuruzovine
K	t	ukupna godišnja proizvodnja kukuruza
α_{zt}	-	udio biljke koji se ostavlja za zaštitu tla
E_{sl}	GWh	ukupni energetski potencijal slame
LHV_{sl}	$\frac{MJ}{kg}$	donja ogrjevna vrijednost slame
P	t	ukupna godišnja proizvodnja pšenice
P_{el}	MW_e	električna snaga
LHV_G	$\frac{MJ}{kg}$	donja ogrjevna vrijednost goriva
η_{el}	-	električna efikasnost
P_{topl}	MW_t	toplinska snaga
η_{topl}	-	toplinska efikasnost
P_b	€	konačna cijena biomase

p_b	$\frac{€}{t}$	specifična cijena biomase
P_t	$\frac{€}{t\ x\ km}$	
L	km	udaljenost
m_b	t	masa biomase

SAŽETAK

Kogeneracija je je postupak istovremene proizvodnje električne i korisne toplinske energije u jedinstvenom procesu. Korisna se toplina najčešće koristi u kućanstvima i ostalim građevinama, ali ponekad i u industriji. Umjesto odlaganja, komunalni se otpad koji nije predviđen za reciklažu može iskoristiti kao izvor energije. Biomasa, bilo u obliku drveta ili poljoprivrednih ostataka, također predstavlja ogroman i uglavnom neiskorišten energetski potencijal. Obje vrste goriva, iako nisu u potpunosti bez posljedica za okoliš, veliki su napredak u odnosu na fosilna goriva. Ovaj rad opisuje rad kogeneracijskih postrojenja, prvenstveno onih koja koriste komunalni otpad i/ili biomasu kao gorivo. Opisane su i metode izračunavanja tehničkih i energetskih potencijala otpada i različitih vrsta biomase. Također je analizirana dinamika zamjene goriva, s tehničke i ekonomske strane. Budući da je jedna od najvećih stavki pri izgradnji ikakvog postrojenja njegova financijska isplativost, procijenjeni su troškovi za jedno takvo potencijalno postrojenje u Vrbovcu te je provedena analiza isplativosti za različite scenarije zamjene goriva.

Ključne riječi: kogeneracija, biomasa, miješani komunalni otpad

SUMMARY

Cogeneration (often called combined heat and power or simply CHP) is a process of producing both electricity and useful heat simultaneously. Useful heat is most commonly use din households and other bulildings, but is sometimes used in industry, too. Instead of landfilling, municipal waste that is not going to be recycled can be used as an energy source. Biomass, whether in the form of wood or agricultural residues represents a huge and often unused energy potential. Both fule types, even though not absolutely without environmental impact, are a huge step forward compared to fossil fuels. This thesis describes the workings of combined heat and power plants, primarily those that use municipal solid waste and/or biomass as fuel. Methods of calculating technical and energy potentials of municipal solid waste an different types of biomass have been described. Also, the dynamics of fuel switch have been analysed, from both the technical and the economical standpoint. Given that the cost effectivness of building any kind of power plant is usually high on the list of priorities, the costs for a potential plant of this kind in Vrbovec have been estimated and the analysis of cost-effectivnes of different scenarios of fuel switch has been carried out.

Key words:cogeneration, biomass, municipal solid waste

1. UVOD

Globalno zatopljenje te općenito zagađenje atmosfere jedan je od najvećih problema s kojim se danas susreće cijeli Svijet. Sam sektor energetike također uvelike sudjeluje u emitiranju stakleničkih plinova, a poseban je po tome što o njemu ovise svi drugi sektori. Kako se ekonomija, odnosno životni standard, određene zajednice razvijaju, razvijaju se i industrija, promet, zgradarstvo i ostali sektori koji zahtijevaju mnogo energije, i električne i toplinske.

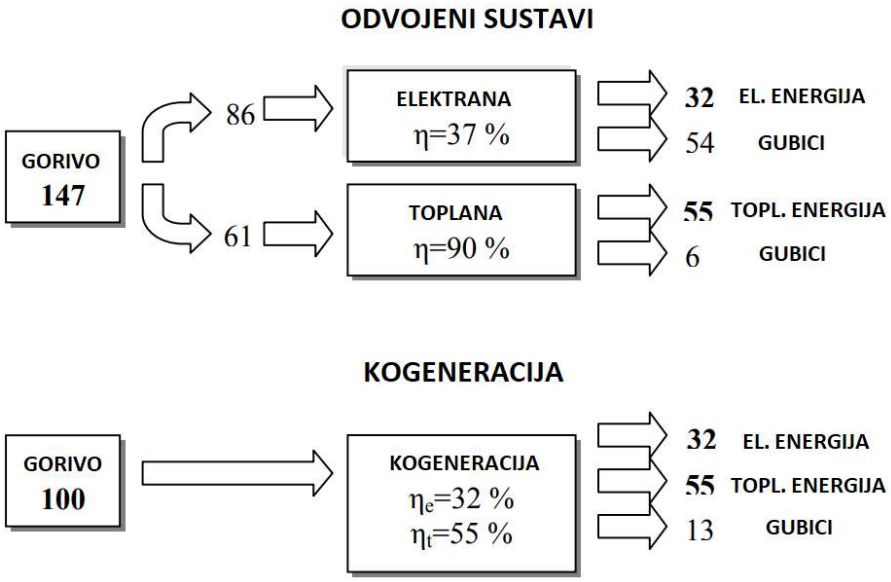
Osim samog smanjenja emisija, veliki zadatak predstavlja i povećanje energetske efikasnosti, u suštini, proizvodnja čim više energije iz što manje goriva, što je prednost ne samo iz ekološkog, već i iz ekonomskog aspekta. Energetska se efikasnost, naravno, može povećati i na strani proizvodnje i na strani potrošnje.

Uz ostale obnovljive izvore, zadnjih godina sve popularnija postaje proizvodnja električne i korisne toplinske energije iz otpada i biomase. Iako prvenstvo u hijerarhiji upravljanja otpadom ima reciklaža, dokle god se ne krene strože provoditi, trebalo bi ga se što više iskorištavati kao gorivo. Iako nezbrinuta biomasa, za razliku od otpada, ne predstavlja ekološki problem, svejedno se na nju može gledati kao na neiskorišteni energetski potencijal.

Posebno se stavlja naglasak na kogeneraciju, istovremenu proizvodnju obje, kako bi se podigla gore spomenuta efikasnost i centralizirali izvori topline za grijanje kućanstava. Mnogi radovi, strani i hrvatski, poput [1] koji aproksimira potencijal poljoprivrednih i šumskih ostataka u Hrvatskoj, [2] u kojem se uspoređuju postrojenja na komunalni otpad i biomasu, i [3] gdje se analizira kogeneracijsko postrojenje na otpad s posebnim naglaskom na analizu sustava za pročišćavanje dimnih plinova bave se problematikom tehničke i ekonomske održivosti takvih postrojenja i u svima se njima došlo do zaključka da su isplativi.

2. KOGENERACIJA

Prednost kogeneracije u odnosu na samostalnu proizvodnju električne energije proizlazi iz iskorištavanja otpadne topline koja je neizbježna. To je toplina koja u klasičnim postrojenjima nije iskorištena, odnosno odbačena je u okoliš. Kogeneracijsko se postrojenje upravo temelji na iskorištavanju visokih temperatura dimnih plinova ili vodene pare. Većina elektrana, izuzev hidroelektrana, ima efikasnost manju od 50% što znači da je više od pola energije goriva (ogrjevne vrijednosti) neiskorišteno, odnosno nije pretvoreno u električnu energiju poslanu u mrežu. Na slici 1. prikazana je usporedba pojedinačnih sustava proizvodnje električne, odnosno toplinske energije i kogeneracije. Vidi se da za istu količinu proizvedene energije, odvojeni sustavi trebaju oko 50% više goriva.



Slika 1. Usporedba efikasnosti pojedinačnih sustava i kogeneracije

Osim direktne ekonomske prednosti, kogeneracijska postrojenja i ekološki su povoljnija, odnosno emitiraju manje štetnih plinova za istu proizvedenu energiju u odnosu na konvencionalne elektrane.

Ovakvi se sustavi često koriste u industrijama koje zahtijevaju velike količine toplinske energije, no najčešće za opskrbu naselja ili dijela grada električnom i toplinskom energijom za daljinsko grijanje kućanstava.

2.1. Vrste turbina u kogeneracijskim postrojenjima

U većini slučajeva koristi se ili plinska ili parna turbina (u novije vrijeme i kombinacija obje) te rjeđe motori s unutarnjim izgaranjem. I dalje ih najveći broj koristi jedno od fosilnih goriva (zemni plin, naftu ili ugljen), međutim sve većim izbjegavanjem takve vrste goriva, biomasa i otpad dolaze do izražaja, posebice u razvijenim zemljama poput zemalja zapadne Europe i Skandinavije.

2.1.1. Parne turbine

Parnoturbinski sustavi podrazumijevaju zagrijavanje napojne vode u područje pregrijane pare te iskorištavanje njene kinetičke energije koja se pretvara u mehanički rad vrtnje lopatica, odnosno rotora turbine koji zatim pokreće električni generator koji stvara električnu energiju. Oko 80% električne energije u svijetu dobiveno je ovakvim turbinama [4].

Po smjeru kretanja vodene pare u odnosu na turbinu, dijele se na radijalne i aksijalne. Kod radijalnih vodena para struji okomito na os vrtnje vratila. Ove su turbine uglavnom manje pa su i manjih snaga, ali su i jeftinije. Turbine u većim postrojenjima su uglavnom aksijalne, kod njih vodena para struji paralelno osi vrtnje vratila turbine [4].

Para na izlazu iz generatora visoke je temperature i tlaka te takva nastrujava na nepokretne lopatice koje joj mijenjaju smjer i ubrzavaju je. Nakon toga prolazi preko okretnih lopatica povezanih s vratilom. Para mijenja smjer kretanja jer je time osigurana vrtnja okretnih lopatica uslijed reakcijske sile u suprotnom smjeru skretanja pare. Temperatura i tlak pare u padu su duž cijele turbine dok brzina opada kod rotorskih lopatica, ali raste kod statorskih.

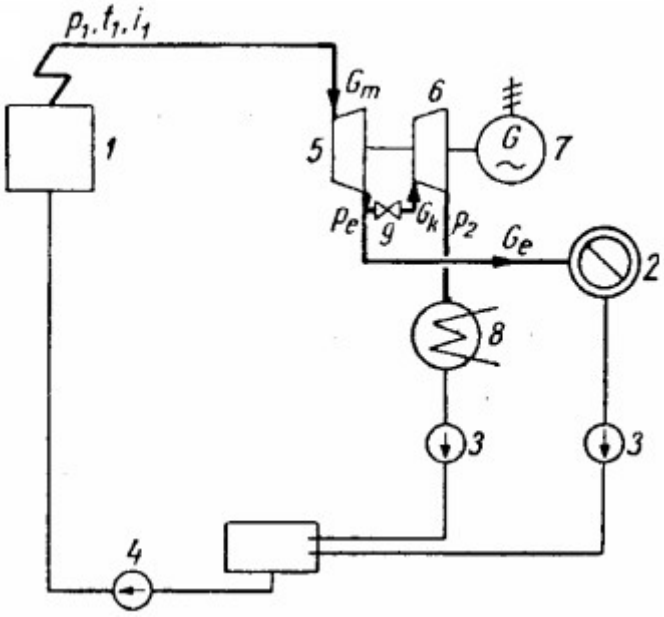
Ako para iz turbine izađe na tlaku relativno blizu onom okoline (ili čak nižem), radi se o kondenzacijskoj, a ako izađe na tlaku višem od okoline i još uvijek s visokom temperaturom, o protutlačnoj turbini.

2.1.1.1. Kondenzacijske parne turbine

Ovo je najčešća izvedba u slučajevima s daljinskim grijanjem kućanstava. Turbina ima 2 ili više stupnjeva te se između nekih od njih oduzima dio pare sa svrhom grijanja vode koja se potom vodovodima šalje u kućanstva. Najjednostavniji je slučaj s 2 stupnja turbine, visokotlačnim i niskotlačnim. Nakon visokotlačnog dijela preusmjerava se dio pare prema

potrošačima dok dio nastavlja kroz niskotlačni i ne sudjeluje u proizvodnji korisne toplinske energije kao što je prikazano na slici 2. Dakako, manji se dio pare odvaja i za regenerativno zagrijavanje napojne vode radi manjeg opterećenja kotla.

Vod između 2 turbinska stupnja opremljen je regulacijskim ventilom kojim se određuje protok pare koji će proći do niskotlačnog stupnja. Nikada se ne smije dozvoliti da se sva para odvoji za potrošače jer se drugi stupanj turbine uvijek mora hladiti.



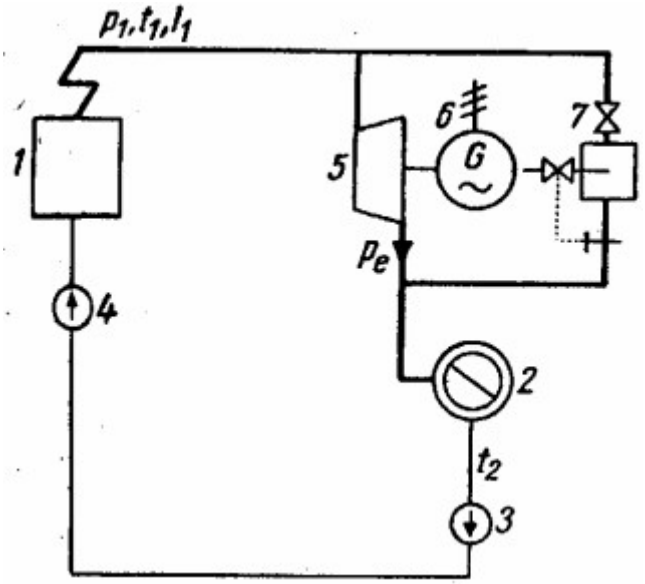
Slika 2. Shema postrojenja s kondenzacijskom turbinom [5]

2.1.1.2. Protutlačne parne turbine

Ovakvi su sustavi manji i jeftiniji te se uglavnom koriste za industrijske pogone koji zahtijevaju veće količine toplinske energije.

Vodena para u turbini ekspandira do određenog tlaka koji je još uvijek znatno veći od atmosferskog. Para u takvom stanju još uvijek ima visoku temperaturu, odnosno toplinsku energiju pa se njome grije vodovodna voda kao što je prikazano na slici 3.

Oko turbine se postavlja obilazni vod s reducir ventilom koji omogućava preusmjeravanje pare direktno na potrošače ukoliko je potreba za toplinskom energijom veća od one koju može predati količina pare na izlazu iz turbine koja zadovoljava trenutne potrebe električne energije. U slučaju da je proizvodnja pare prevelika, višak se može ispustiti u atmosferu.



Slika 3. Shema postrojenja s protutlačnom turbinom [5]

2.1.2. Plinske turbine

Za razliku od parne turbine, u plinsku ulaze direktno dimni plinovi nastali izgaranjem goriva, dakle nema posrednog medija (vode). Kompresor usisava zrak iz okoline, tlači ga te ubacuje u komoru izgaranja gdje se miješa s gorivom te izgaranjem nastaju dimni plinovi. Dimni plinovi zatim odlaze u turbinu i predaju joj energiju.

Kako dimni plinovi napuštaju postrojenje na visokoj temperaturi, toplinski su gubici veliki ukoliko se u njima pohranjena toplina ne iskoristi. Taj se problem rješava ako turbina preuzme ulogu plamenika u parnom kotlu, dakle predstavlja izvor topline koji vodu pretvara u pregrijanu paru. Ta para se onda, kao i u prošlom primjeru, uz pomoć protutlačne turbine, koristi za proizvodnju i električne energije i korisne topline.

2.1.3. Kombinirani ciklus

Kombinirani ciklus predstavlja sustave koji imaju i parnu i plinsku turbinu. Dok stupanj iskoristivosti današnjih parnoturbinskih postrojenja ne prelazi 45%, kod sustava s kombiniranim ciklusom dolazi se i do 50% [5].

U nekim izvedbama obje turbine pokreću isti generator, a u nekim različite. Potonja je izvedba kompliciranija i manjeg očekivanog životnog vijeka, ali ima veću efikasnost [6].

Prva je na redu plinska turbina koju direktno pokreću dimni plinovi koji izađu iz kotla. Nakon što izađu iz turbine, šalju se u izmjenjivač u kojem pregrijavaju vodu koja se u obliku pare zatim šalje u parnu turbinu. Kako i dimni plinovi na izlazu iz tog izmjenjivača i vodena para na izlazu iz turbine još uvijek imaju visoke temperature, preusmjerava ih se u izmjenjivače u kojima griju vodu za daljinsko grijanje. Vodena para tu kondenzira te ponovno ide u prvi izmjenjivač, a dimni plinovi napuštaju sustav.

2.2. Ostali dijelovi kogeneracijskih postrojenja

Osim turbine, sastavni su dijelovi postrojenja:

- skladište goriva
- kotao/peć uz prikladan sustav za napoj gorivom
- generator pokretan turbinom
- sustav za pročišćavanje dimnih plinova
- sustav za skupljanje krutih ostataka izgaranja, ali i ostataka od pročišćavanja dimnih plinova
- kondenzator dimnih plinova
- ovlaživač zraka za izgaranje

O svim ovim dijelovima bit će više riječi u idućem poglavlju, specifično za drvnu/poljoprivrednu biomasu i komunalni otpad kao goriva.

Gore navedeni dijelovi neposredno su vezani uz sam rad postrojenja, no i električna i toplinska energija proizvode se kako bi bile prenesene do krajnjeg potrošača. Kako infrastruktura za električnu energiju već postoji, o njoj neće biti riječi. No, prelazak na daljinsko grijanje zahtjeva izgradnju cjevovoda i pumpi od postrojenja do potrošača.

2.2.1. Cjevovodi i pumpe

Cijevi se razlikuju po duljini, promjeru, materijalu, otpornosti na tlak i temperaturu, itd. Kombinacijama tih parametara, dalekovodne se cijevi dijele u 3 osnovne skupine:

- prijenosne

- distributivne
- povezne

Prijenosne su cijevi između samog postrojenja i velikih izmjenjivača te se ponekad smještaju i iznad zemlje. Distributivne se protežu od izmjenjivača pa gotovo do krajnjeg potrošača, a povezne se nastavljaju na njih te idu do potrošača. Distributivne i povezne cijevi u pravilu se smještaju isključivo ispod zemlje.

Cijevi se najčešće izoliraju poliuretanskom pjenom mineralnom vunom ili porastim betonom. Osim same toplinske izolacije, izolator mora imati i određenu čvrstoću jer se nalazi između cijevi i kućišta cijevi pa mora moći izdržati toplinska naprezanja. Dubina zakapanja cijevi nema veliki utjecaj na toplinske gubitke, ali u svakom slučaju tlo ima konstantniju temperaturu tijekom godine na većim dubinama pa i to treba imati na umu. Cijevi se polažu ili u paru (povratna uz polaznu) ili jedna u drugoj [7].

2.3. Tržišta električne i toplinske energije

2.3.1. Tržište električne energije

Sa strogo ekonomskog stajališta, električna je energija roba kao i svaka druga te je podložna trgovanju ukoliko postoje ponuda i potražnja. Najznačajnija razlika električne struje u odnosu na većinu drugih proizvoda je što ju je nemoguće uskladištiti i što mora biti dostupna potrošačima na zahtjev, trenutno.

Do 2008. godine u Hrvatskoj su postojali određeni povlašteni i tarifni kupci, no otada svi mogu biti u prvoj kategoriji što znači da svaki krajnji potrošač (kupac) može birati svog opskrbljivača. Dakako, ukoliko kupac ne želi sam tražiti opskrbljivača, ima pravo kupovati električnu energiju od HEP grupe, javne tvrtke zadužene za opskrbljivanje tarifnih kupaca. HEP je 2014. bio u vlasništvu više od 95% instaliranog kapaciteta za proizvodnju električne energije [8].

Hrvatski operator tržišta energije d.o.o. (HROTE) tijelo je koje organizira tržišta električne energije i plina kao javne usluge u Republici Hrvatskoj. Za prijenos i održavanje prijenosnog sustava zadužen je Hrvatski operator prijenosnog sustava (HOPS), a za distribuciju električne energije i održavanje distribucijskog sustava HEP-Operator distribucijskog sustava (HEP ODS) [9].

Sudionici na tržištu su proizvođači, opskrbljivači, trgovci i krajnji kupci. Svi oni, osim krajnjeg kupca, moraju imati dozvolu izdanu od Hrvatske Energetske Regulatorne Agencije (HERA-e).

Proizvođač može energiju koju proizvede prodati opskrbljivaču i/ili trgovcu, dok ju opskrbljivač može kupiti, ne samo od proizvođača, već i od trgovca ili drugog opskrbljivača. Tu govorimo o veleprodajnom tržištu. Opskrbljivač je onaj koji prodaje energiju krajnjem kupcu koji ga je odabrao. Ovo je, s druge strane, maloprodajno tržište. Čisti trgovci su jedini sudionici tržišta koji nemaju doticaja s fizičkom električnom strujom, već je njihov cilj isključivo profitirati od promjena cijena energije, slično kao npr. investitorima i špekulantima na burzama vrijednosnih papira ili novčanim i robnim burzama [9].

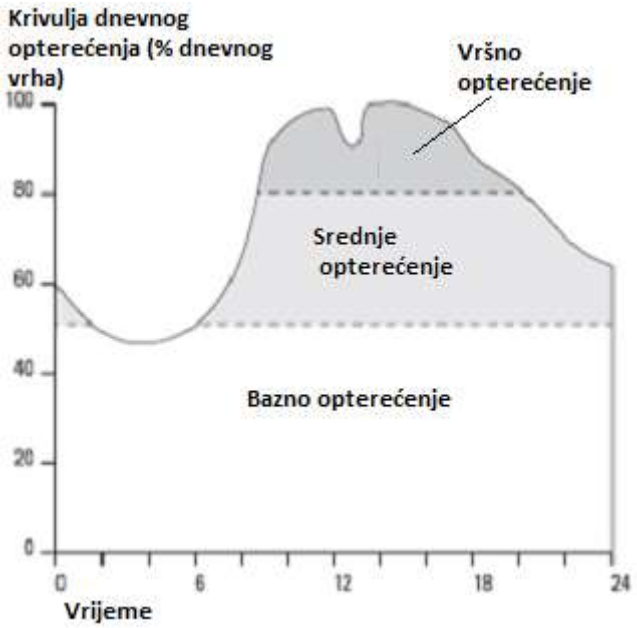
U Hrvatskoj postoje 3 tržišta električnom energijom.

Prvo je bilateralno tržište u kojem se trgovanje električnom energijom provodi temeljem bilateralnih ugovora, a koji se sklapaju između sudionika na tržištu električne energije. U veleprodajnom smislu, to je između kupca, opskrbljivača i/ili proizvođača, a u maloprodajnom između krajnjeg kupca i opskrbljivača. Drugo je tržište uravnoteženja na kojem HOPS kupuje i prodaje električnu energiju radi uravnoteženja sustava. Treće je tržište električne energije organizirano tržište kojeg provodi Hrvatska burza električne energije d.o.o. (CROPEX). U sklopu CROPEX-a postoje 2 paralelna tržišta, tzv. Dan unaprijed (*day-ahead*) i Unutardnevno (*intraday*) tržište. Na Dan unaprijed tržištu održava se svakoga dana središnja dražba za isporuku el. energije idućeg dana po pravilu jedinstvene cijene. Cijena je određena prema ponudi i potražnji te svi članovi burze trguju po istoj cijeni. Unutardnevno tržite kontinuirano je tržište na kojem se transakcije automatski uparuju kada se unesu podudarni nalozi [9].

Kupci električne energije plaćaju naknade za uslugu isporuke električne energije, obavljanje poslova reguliranja energetskih djelatnosti te snošenje naslijeđenih troškova. Tu su uključene, proizvodnja/dobava, distribucija, prijenos i opskrba.

Potrošnja električne energije na strani krajnjeg kupca, pa tako i cijena koju plaća, izražava se u kWh, odnosno kn/kWh. Isporučena se električna energija od HEP-ODS-a obračunava po 3 stavke jer opterećenje sustava varira po danu kao što je prikazano na slici 4. pa je opskrbljivačima cilj rasteretiti sustav, odnosno natjerati potrošače da što je moguće više troše u noćnim satima:

- viša dnevna, od 7:00 do 21:00, odnosno od 8:00 do 22:00 (zimsko, odnosno ljetno računanje vremena)
- niža dnevna, sva ostala vremena
- jedinstvena dnevna, svaki dan od 00:00 do 24:00



Slika 4. Krivulja opterećenja sustava el. energije tijekom dana [10]

2.3.2. Tržište toplinske energije

U Republici Hrvatskoj tržište je toplinskom energijom regulirano Zakonom o tržištu toplinske energije [11]. Ovim zakonom uređene su opskrba, distribucija i isporuka toplinske energije te sve uz to vezane cijene i tarife.

Među bitnijim pojmovima su:

- tarifna grupa
- tarifni model
- tarifna stavka

Tarifna grupa predstavlja skupinu potrošača sličnih karakteristika potrošnje, a najčešće se dijeli na kućanstva te industriju i ostale poslovne potrošače. Tarifni se model odnosi na model obračuna potrošnje toplinske energije, a ovisi o tome isporučuje li se vrela/topla voda ili recimo tehnološka para. Tarifna stavka određuje vrijednost (u kunama) koja se odnosi na predanu toplinsku energiju ili snagu za energetsku djelatnost proizvodnje toplinske energije unutar određene tarifne grupe, ovisno o tarifnom modelu.

Također, cijene nisu iste ovisno o tome radi li se o samostalnom, zatvorenom ili centralnom toplinskom sustavu.

Samostalni je toplinski sustav (STS) onaj preko kojeg se jednoj zgradi/građevini koja se sastoji od više samostalnih uporabnih cjelina isporučuje toplinska energija radi obračuna toplinske energije. Zatvoreni je toplinski sustav (ZTS) onaj koji obuhvaća više industrijskih i/ili stambeno-poslovnih zgrada/građevina, koje počinje mjestom preuzimanja ulaznog energenta za proizvodnju toplinske energije do mjesta razgraničenja s kupcem, a uključuje mjerila toplinske energije i vanjske instalacije, koje su kraće od 2000 metara i ima priključeno manje od 500 samostalnih uporabnih cjelina. Centralni je toplinski sustav (CTS) onaj koji se sastoji od proizvodnog postrojenja toplinske energije (toplane, kotlovnice) i distribucijske mreže duljine veće od 2000 metara. CTS obuhvaća veći broj stambenih/poslovnih zgrada s priključenih više od 500 samostalnih uporabnih jedinica (stambenih/poslovnih prostora). Kako je cilj ovoga rada opis postrojenja koje bi između ostaloga bilo i gradska toplana u Vrbovcu, koristit će se cijene upravo za centralni toplinski sustav.

Budući da na području Vrbovca ne postoji postrojenje s namjenom daljinskog grijanja, pretpostavljeno je da se s velikom točnošću mogu uzeti sve cijene, tarife i ostali zakoni koji vrijede za Veliku Goricu koja je u istoj županiji.

3. BIOMASA I OTPAD

Pod biomasom podrazumijeva se materija biljnog ili životinjskog podrijetla koja se može iskoristiti za proizvodnju energije ili u industrijske svrhe. Najčešće su to šumski otpad i ostaci iz poljoprivrede. Kada se govori o otpadu kao gorivu, najčešće se misli na kruti komunalni otpad, a to je otpad iz raznih industrija i kućanstava, ali ne uključuje posebno sortirani otpad kao ni industrijski, medicinski, radioaktivni i poljoprivredni otpad.. U novije vrijeme sve se više koristi kultura kratkih ophodnji (KKO), zasađeno drveće upravo sa svrhom da se iskorištava u industrijske i/ili energetske svrhe, a najčešće se radi o vrbama.

Oblici u kojima se biomasa iskorištava su bioplin, biogoriva, a najčešće kruta biomasa. Bioplin se dobiva energetskim transformacijama u anaerobnim uvjetima, a sastoji se uglavnom od metana i ugljikova dioksida. 2 osnovne vrste biogoriva su biodizel kao alternativa običnom dizelu te bioetanol kao alternativa benzinu, no i dalje im je proizvodnja skupa. U krutu biomasu prvenstveno ubrajamo drvo, poljoprivredne ostatke i otpad.

3.1. Drvna biomasa

Drvo je jedno od najstarijih oblika goriva, a koristi se još i danas. Više od 30% kućanstava u Hrvatskoj grije se na drva, ali u individualnim pećima.

Daljinsko grijanje na drva ima mnoge prednosti u odnosu na individualno, pogotovo s ekološke strane. Prednost prvenstveno proizlazi iz činjenice da se uglavnom radi kao kogeneracijsko postrojenje, dakle istovremeno proizvodi i električnu energiju pa je efikasnost veća. Osim toga, u pravilu postoje visoko razvijeni sustavi za pročišćavanje dimnih plinova što gotovo ne postoji kod individualnih ložišta. Najveća mu je mana nemogućnost trenutnog gašenja i paljenja na zahtjev potrošača.

Najvažnija svojstva drveta su:

- sadržaj vlage
- gustoća
- ogrjevna vrijednost
- udio pepela

- kemijski sastav

Sadržaj vlage obrnuto je proporcionalan ogrjevnoj vrijednosti drveta. Ovisi o više faktora, a najviše o klimatskim uvjetima, dobu godine i vrsti drveta. Udio vlage od 40% često se uzima kao standard kada se procjenjuje energetski potencijal šume. Gustoća je omjer mase suhog drveta i njegovog volumena [12].

Postoji više ogrjevnih vrijednosti koje se spominju kod drvne biomase. Najveća po apsolutnom iznosu je kalorimetrijska vrijednost i predstavlja energiju dobivenu izgaranjem 1 kg potpuno suhog drveta uz naknadnu kondenzaciju pare nastale pri izgaranju, dakle to je gornja ogrjevna vrijednost potpuno suhog drveta. Zatim postoji efektivna ogrjevna vrijednost suhog drveta, a u termodinamičkom smislu predstavlja donju ogrjevnu vrijednost potpuno suhog drveta, što će reći da je to kalorimetrijska vrijednost umanjena za energiju koju bi dobili kondenzacijom vodene pare iz dimnih plinova. Zatim postoji i samo efektivna vrijednost, ona je najmanja po iznosu i termodinamički predstavlja donju ogrjevnu vrijednost vlažnog drveta.

Udio pepela predstavlja omjer mase krutih ostataka nakon potpunog gorenja i mase suhog drveta prije gorenja. Kao i udio vlage obrnuto je proporcionalan ogrjevnoj vrijednosti, kreće se od 0.08% do 2.3% [12].

Prosječni kemijski sastav najčešće korištenih vrsta drveta prikazan je u tablici 1.

Tablica 1. Prosječni udio kemijskih elemenata u drvnom gorivu

Element	Udio, % mase suhe tvari
Ugljik	45-50
Vodik	6-6.5
Kisik	38-42
Dušik	0.1-0.5
Sumpor	Maksimalno 0.05

Različiti izvori daju različite vrijednosti prosječne donje ogrjevne vrijednosti šumskih ostataka no uglavnom se vrijednosti kreću od 15 do 20 MJ/kg za drvo s 30% vlage. U slučaju predloženog postrojenja u Vrbovcu, sakupljat će se drvni ostaci nakon sječe [13].

3.1.1. Kulture kratkih ophodnji

KKO predstavlja intenzivno je sađenje brzorastućih vrsta drveća radi prinosa biomase. Razdoblje između dviju sječa uglavnom je od 2 do 8 godina. Najčešće sađeno drvo je vrba dok se topole uglavnom sade uz vrbe iz estetskih razloga.

Postoji više rasporeda sadnji, no u Europi je najčešći dvoredni s 0.75m između sadnica u dvoredu, 1.5m između dvoreda te 0.4m do 1m između sadnica u redu. Najčešće se sadi u rano proljeće zbog visoke vlage tla u to doba te velikog broja sunčanih sati u kasnom proljeću i ranom ljetu. Sječe se u kasnu jesen ili ranu zimu kada je tlo smrznuto. Uzimaju se cijeli trupci jer nisu teški za skladištenje u takvom obliku. Sušenje je dovoljno efikasno, a i najjeftinije, prirodnim putem, samo ih se ostavi na vanjskom zraku do iduće jeseni kada im udio vlage padne do prosječno 30%. Ovakve su farme neutralne u pogledu ispuštanja ugljikova dioksida u atmosferu jer je sav koji je u nju ispušten iz nje i uzet za vrijeme rasta drveća.

U novije se vrijeme umjesto vrbe koristi i kineski šaš (miscanthus). To je vrsta visokog šaša koja je relativno neosjetljiva na kvalitetu tla te joj ne smetaju ni hladnije klime. Prinosi su također visoki, od 10 do 40 tona po hektaru po godini [14].

3.2. Poljoprivredni ostaci

Najdostupniji su korisni poljoprivredni ostaci slama koja ostaje na tlu nakon žetve pšenice te kukuruzovina koja ostaje na tlu nakon žetve kukuruza.

Ne može se uzeti sva slama jer se jedan dio ostavlja na tlu za zaštitu od vjetra i vode, a jedan dio koristi kao stočna hrana. Također se mora i paziti na omjer stabljike i zrna u cjelokupnoj biljci. Prosječna je donja ogrjevna vrijednost slame 13.74 GJ/t. [1]

Kukuruzovina je ostatak biljke kukuruza osim klipa. Također, ni sva kukuruzovina se ne može uzeti s polja jer jedan dio mora ostati za zaštitu tla, a dio se izgubi prilikom sakupljanja, ovisno o načinu skupljanja. Prosječna je donja ogrjevna vrijednost kukuruzovine 14.7 GJ/t. [1]

Prema [15], račun za bilo koju je vrstu isti, 30% ostavlja se na tlu radi zaštite od vjetra i vode, a 30% od ostatka se može smatrati tehničkim potencijalom.

3.3. Miješani komunalni otpad

Najčešća klasifikacija otpada je na sljedeći način [16]:

- biorazgradivi (hrana, zeleni otpad i dio papira)
- otpad za reciklažu (papir, karton, staklo, boce, limenke i ostali metali, neke plastike, odjeća, gume i baterije)
- inertni otpad (uglavnom građevinski otpad poput prašine i kamenja)
- elektronički otpad (kućanski uređaji, žarulje, satovi, mobiteli itd.)
- ostali otpad (medicinski, toksični, boje, razne kemikalije itd.)

Prvenstvo u hijerarhiji upravljanja otpadom ima reciklaža, odnosno ponovno korištenje. Ono što se ne reciklira trebalo bi se pretvoriti u energiju (bilo toplinsku bilo električnu), a na zadnjem je mjestu odlaganje.

Iako postoji više tehnologija za energetsko iskorištenje otpada, kao što su rasplinjavanje i piroliza, najčešće je direktno spaljivanje krutog otpada. Spaljivanjem otpada dobivaju se pepeo, dimni plinovi i toplina.

Spaljivanje otpada postoji oduvijek, no kroz povijest se to radilo prvenstveno zbog smanjenja volumena radi lakšeg odlaganja. Paljenjem se otpadu volumen u prosjeku smanji za čak 95%, a masa za oko 75%, naravno ovisno o sastavu. U novije se vrijeme toplina dobivena paljenjem iskorištava za proizvodnju pare koja se šalje u turbine radi proizvodnje električne energije.

Podaci o ogrjevnim vrijednostima pojedine vrste otpada nalaze se u tablici 2.

Tablica 2. Donje ogrjevne vrijednosti pojedinih vrsta otpada [17]

Vrsta otpada	Donja ogr. vrijednost, MJ/kg
Miješani komunalni	11.20
Papir i karton	11.97
Plastika	21.63
Biootpad	5.49

3.4. Ekološki pregled otpada i drvne biomase

Prema [18] paljenje otpada emitira manje čestica, SO_2, HCl, CO i NO_x od paljenja ugljena, ali više od zemnog plina. Najveći problem stvaraju emisije furana i dioksina, a emisija CO_2 je oko 37 kg/GJ (bazirano na donjoj ogrjevnoj vrijednosti) [19].

Budući da se ugljik iz atmosfere pohranjuje u biljke, a prilikom spaljivanja ispušta nazad, dokle god se koristi onoliko biomase koliko se zasadi, ona je neutralno gorivo. No u stvarnosti je to teško izvedivo. Čak i kada bi se ponovno zasadio jednako stabala koliko je iskorišteno kao gorivo, sami procesi sađenja, sječe i transporta rezultiraju emisijama CO_2. Također kao argument protiv se postavlja pitanje vremena potrebnog za apsorpciju CO_2 jer čak i trenutno ispuštanje u atmosferu može biti loše. Drvo pri izgaranju emitira otprilike jednako CO_2 po jedinici energije kao i ugljen, ako je suho malo manje, a ako je mokro malo više. [20]

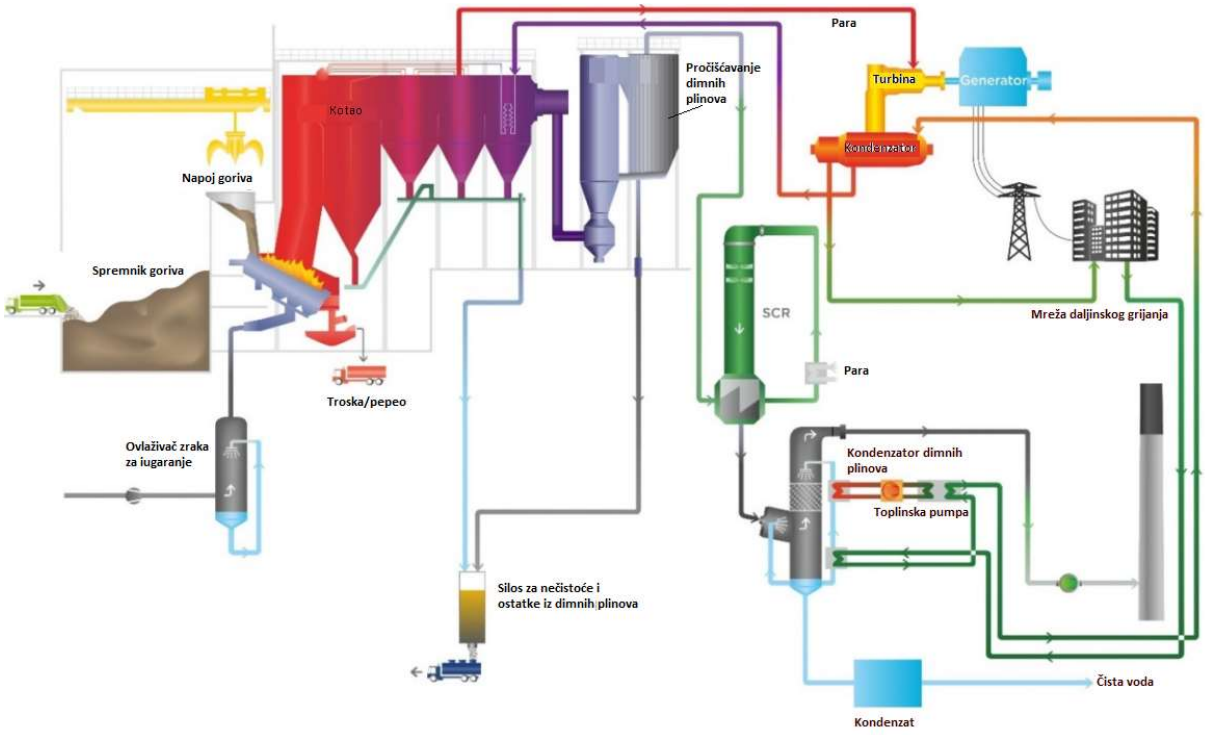
3.5. Dijelovi postrojenja na drvnu i poljoprivrednu biomasu i komunalni otpad

Drvo se može koristiti u obliku šumskih ostataka (grane i grančice), drvne sječke ili drvnih peleta. Peleti su najpraktičniji za skladištenje, ali su i najskuplji za proizvesti dok su šumski ostaci najrobusniji i najteži za rukovanje, ali i najjeftiniji jer ne zahtijevaju nikakvu obradu. Skladišta za drvnu sječku su uglavnom veličine da mogu primiti dovoljno sječke za 7 do 14 dana rada postrojenja. Za sječku ne treba silos, dovoljno je da su pod krovom radi zaštite od kiše.

Poljoprivredni ostaci koristit će se u obliku kukuruzovine, odnosno slame. Slama se skladišti u obliku bala, a i slami i kukuruzovini je dovoljno samo da se drže u zatvorenom prostoru.

Otpad dolazi u obliku u kakvom je sakupljen. Također se čuva u zatvorenom prostoru, u nekoj vrsti kontejnera, ponajviše zbog neugodna mirisa. Skladište se najčešće količine dovoljne za nekoliko dana rada postrojenja, dakle manje od drvne biomase.

Na slici 5. prikazana je jedna od izvedaba postrojenja na otpad i/ili drvnu biomasu.



Slika 5. Shema postrojenja na otpad i/ili drvnu biomasu [2]

3.5.1. Kotlovi

Postoji više tehnologija izgaranja kao što su izgaranje u fluidiziranom sloju, izgaranje u kombinaciji s fosilnim gorivom te izgaranje na pomičnoj/nepomičnoj rešetci. Prve dvije spomenute tehnologije uglavnom se koriste za postrojenja većih kapaciteta, otprilike preko 200 MW_t te zahtijevaju pripreme goriva što iziskuje i vrijeme i novac. Pogodne bi bile za drvnu biomasu, ali ne i za otpad pa je najlogičnije ne koristiti ih budući da će se u postrojenju u Vrbovcu započeti s otpadom kao gorivom. Iako se izgaranje u fluidiziranom sloju smatra fleksibilnom tehnologijom, nije pogodna za komunalni otpad iz 2 razloga. Prvenstveno zbog

visokih emisija policikličkih aromatskih ugljikovodika, ali i iz razloga što zakoni u Europskoj Uniji (EU) zahtijevaju da se plinovi na izlazu iz kotla zagriju na barem 850 ºC što je teško izvedivo s otpadom koji izgara u fluidiziranom sloju [21]. Rešetka je provjerena, jednostavna i jeftina tehnologija te je stoga i najraširenija te se isti tip rešetke može koristiti i za otpad i za drvnu biomasu. Pri izgaranju otpada, pretičak zraka se drži oko 1.5, a kod drveta oko 1.3, a izlazni parametri dimnih plinova su gotovo identični, u prosijeku malo više temperature kod otpada [2].

Prije kotla nalaze se pumpe koje dovode vodu pod pritiskom. Kako je produkt grijanja u kotlu pregrijana vodena para, kotao treba još sadržavati i 3 izmjenjivača, prvi u kojem se voda dovodi do vrelišta, drugi u kojem dolazi do stanja suhozasićene pare i treći u kojem pregrijava. Također treba postojati i odvajač kapljevine i pare iza drugog izmjenjivača. Prilikom paljenja potrebno je imati sekundarni plamenik, najčešće plinski, kako bi se dostigla potrebna temperatura, ali tijekom rada je on nepotreban.

I drvo i otpad vrlo su pogodni za izgaranje na rešetci, jedina je razlika što su dimni plinovi otpada uglavnom na malo višim temperaturama i što otpad zahtjeva veći pretičak zraka, 1.5 nasuprot 1.3 kod drveta ili slame i kukuruzovine.

3.5.2. Sustavi za pročišćavanje dimnih plinova i sakupljanje krutih ostataka izgaranja

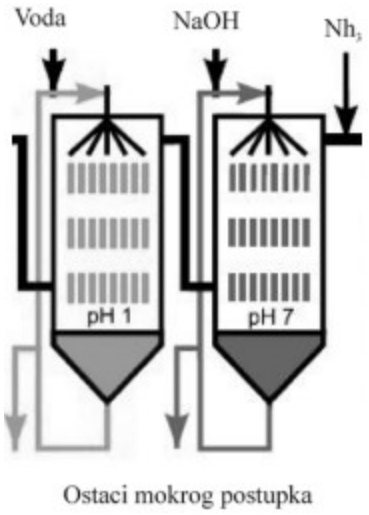
Sastavni je dio ovog sustava filter za čestice, ili elektrostatski taložnik ili filter s vrećama, najčešće posljednji. Proces može biti mokar, polusuh ili suh.

Mokri proces podrazumijeva ekspanziju dimnih plinova te prevođenje polutanata u njima iz plinovitog u tekuće stanje. Očišćeni plinovi se mogu ispustiti, a kondenzat se treba zbrinuti. Kod procesa se s mokrim pročišćivačem stvara manje krutih ostataka, ali mora se zbrinjavati otpadna voda.

Za razliku od mokrog sustava, ovdje dimni plinovi trebaju biti ohlađeni pa se suhi pročišćivač često stavlja iza kondenzacijskog sustava. Kod suhog se procesa utjecaj klorovodika, sumporova (IV) oksida i fluorovodika smanjuje dodavanjem kalcijevog hidroksida u vrećasti filter. Također se rješava prašine, teških metala i dioksina.

Za postrojenja s drvnom ili poljoprivrednom biomasom prigodniji je suhi način čišćenja dok je za postrojenje s otpadom prigodniji mokri. Shema mokrog pročišćivača prikazana je na slici 6.

Dušikovi se oksidi (NOx) skupljaju selektivnom nekatalitičkom redukcijom (SNRC sustavi) ili selektivnom katalitičkom redukcijom (SRC sustavi). SNRC sustavi rade na principu ubacivanja amonijaka (NH_3) ili uree ($CO(NH_2)_2$) u bojler kada su dimni plinovi još uvijek na visokim temperaturama kako bi reagirali s dušikovim oksidima. Produkti redoks reakcije su dušik, ugljikov dioksid i voda. U SRC se sustavima, s druge strane, dimnim plinovima dodaje mješavina amonijaka i zraka. SNRC sustavi su u prosjeku za oko 10% neefikasniji od SRC sustava, no znatno su jeftiniji te su čest izbor kod manjih pogona. Ugrađuju se nizvodno u odnosu na grube filtre [22].



Slika 6. Shema mokrog pročišćivača dimnih plinova [3]

3.5.3. Kondenzatori dimnih plinova

Ugrađuju se radi povećanja efikasnosti, kondenzira se vodena para iz dimnih plinova. Posebice velik utjecaj ima na drvnu biomasu jer sadrži relativno puno vlage.

Najčešće su to klasični cjevasti izmjenjivači s dimnim plinovima u cijevi i ohlađenom povratnom vodom oko njih.

Sustav se sastoji od 2 osnovna dijela, u prvom je direktna izmjena topline s vodovodnom vodom i ovaj je dio ograničen povratnom temperaturom vode, a u drugom je izmjena potpomognuta toplinskom pumpom. Drugi se dio ponekad koristi jer su razlike temperatura između dimnih

plinova nakon pročišćavanja i povratne vode često jako male, rijetko preko 20°C. Toplinska pumpa ohladi dimne plinove na relativno niske temperature, čak i do 20°C.

Sustavi kondenzacije sastavni su dijelovi svakog postrojenja na otpad i drvnu biomasu, no toplinske pumpe još su relativno nova tehnologija pa neće biti ni korištena u slučaju postrojenja u Vrbovcu.

3.5.4. Zbrinjavanje kondenzata i otpadne vode

Otpadna voda koja nastaje prilikom mokrog pročišćavanja mora se zbrinuti prije nego se, u najgorem slučaju, ispusti u kanalizaciju. To uključuje neutralizaciju, filtraciju te odvajanje teških metalnih iona. Stvara se i mala količina mulja. Nakon postupka dobiva se relativno čista voda, tim više što je sustav kondenzacije dimnih plinova postavljen iza sustava za pročišćavanje istih, koja se može koristiti u industrijske svrhe pa čak i ponovno u samom postrojenju ili da pokriva nedostatke u vodovodima koji idu do kućanstava. S obzirom da goriva u sebi sadrže i vodik i kisik te izgaranjem nastaje voda, dolazi do pojave viška vode nakon izgaranja, odnosno ima je više nego što je udio vlage u još neizgorenom gorivu.

4. METODE TEHNO-EKONOMSKE ANALIZE KOGENERACIJSKOG POSTROJENJA NA BIOMASU I OTPAD

S tehničke strane analizirat će se eventualna zamjena ključnih dijelova tijekom prelaska s jedne vrste goriva na drugu ukoliko određeni dijelovi nisu pogodni za obje vrste goriva. Naravno, otpad i drvna biomasa vrlo su kompatibilna goriva te se stoga uopće i razmatra mogućnost jednog ovakvog postrojenja.

S ekonomskog stajališta uzet će se u obzir porezi, amortizacija, vraćanje kredita te će se izračunati unutarnja stopa povrata za različite scenarije zamjene goriva.

Osnovni troškovi vezani uz jedno ovakvo postrojenju su investicijski troškovi koji se većinom javljaju na samom početku projekta, troškovi operacija i održavanja koji su raspoređeni tijekom životnog vijeka postrojenja te troškovi goriva koji su također prisutni tijekom cjelokupnog rada postrojenja.

4.1. Izračun energetskih potencijala goriva

Što se tiče šumskih ostataka, iskoristive su samo grane promjera manjeg od 7cm. Prema [1], to je 12% ukupnih ostataka. Ukupni se tehnički potencijal računa sljedećom formulom:

$$\sum_{i=1}^{n} T_{pf(i)} = \sum_{i=1}^{n} Y_{f(i)} \; x \; F_r$$

$T_{pf(i)}$ [m3] je tehnički potencijal pojedine vrste drveta, a pod sumom predstavlja ukupni tehnički potencijal**,** $Y_{f(i)}$ [m3] usječeni volumen pojedine vrste drveta, a pod sumom predstavlja ukupni usječeni volumen, ***a*** *Fr* je udio iskoristivih ostataka.

Prema tome, formula za izračun tehničkog potencijala je:

$$T_{kko} = \frac{A_{neo} \; x \; m \; x \; a'}{k}$$

T_{kko} je tehnički potencijal kulture kratkih ophodnji [t], A_{neo} površina neobrađenog zemljišta [km^2], m masa jedne vrbe [t], a' gustoća sadnje [km^{-2}], a k faktor rotacije. Energijski se potencijal računa prema formuli:

$$\boldsymbol{E_{kko} = T_{kko}\ x\ LHV_{vrba}}$$

E_{kko} [GWh] predstavlja energijski potencijal kulture kratkih ophodnji, a LHV_{vrba} [GWh/t] donju ogrjevnu vrijednost vrbe ako pretpostavimo da je drvo o kojem je riječ vrba, što najčešće je .

Kao što je rečeno, prikupiti se može samo određeni dio ostataka nakon žetve kukuruza i slame. Uz već prije spomenute karakteristike sakupljanja kukuruzovine, dobiva se izraz za ukupni energetski potencijal kukuruzovine na nekom području:

$$\boldsymbol{E_{kuk} = LHV_{kuk}\ x\ K\ x\ (1 - \alpha_{zt})\ x\ 0.3}$$

E_{kuk} je ukupni energetski potencijal kukuruzovine [GWh], LHV_{kuk} donja ogrjevna vrijednost kukuruzovine [GWh/t], K ukupna godišnja proizvodnja kukuruza [t], a α_{zt} udio koji se ostavlja za zaštitu tla.

Ekvivalentnim je postupkom izveden izraz za energetski potencijal slame:

$$\boldsymbol{E_{sl} = LHV_{sl}\ x\ P\ x\ (1 - \alpha_{zt})\ x\ 0.3}$$

Esl je ukupni energetski potencijal slame [GWh], LHV_{sl} donja ogrjevna vrijednost kukuruzovine [GWh/t], P ukupna godišnja proizvodnja pšenice [t], a α_{zt} udio koji se ostavlja za zaštitu tla.

4.2. Troškovi vezani uz gorivo i opis postrojenja

Troškovi goriva su troškovi koji su prisutni tijekom cijelog životnog vijeka postrojenja. Ovisit će samo o količini goriva koja se doprema do postrojenja. O tome će biti više riječi u jednome od sljedećih poglavlja.

Konačna cijena biomase (drveta i poljoprivrednih ostataka), P_b [€], računa se prema formuli:

$$P_b = (p_b + P_t\ x\ L)\ x\ m_b$$

p_b predstavlja specifičnu cijenu same kupnje biomase [€/t], P_t specifičnu cijenu transporta biomase [€/t/km], L prosječnu udaljenost od preuzimanja biomase do postrojenja [km], a m_b masu biomase [t].

Za razliku od drvne i poljoprivredne biomase, otpad kao gorivo sa sobom ne nosi troškove kupnje. Dapače, pri odlaganju otpada, strana koja odlaže plaća tzv. *gate-fee*, što znači da paljenje otpada ubiti donosi i prihode sa sobom. Kako u hrvatskoj nema termoenergetskog

postrojenja na otpad, ne postoji ni definiran *gate-fee*. Uzeta je srednja vrijednost europskih država od 110 €/t. S druge strane, pri paljenju otpada plaća se porez. Iz već spomenutog razloga, uzeta je vrijednost iz Danske od 44 €/t [23]. Dakle, dobit postrojenja je procijenjena na 110-44 €/t otpada.

Praksa u Europi je izražavati efikasnost samo u odnosu na donju ogrjevnu vrijednost dimnih plinova. Efikasnost će uvelike ovisiti o povratnoj i polaznoj temperaturi vode koja se šalje u kućanstva. Iako će te temperature varirati ovisno o dobu godine (odnosno o vanjskoj temperaturi) i znatno se razlikuju po europskim gradovima te nema nekog standarda, može se uzeti prosječna polazna temperatura od 100 °C, a povratna od 40 °C [24].

Također se i efikasnosti razlikuju, ali ne previše, većina postrojenja prema [2] kreće se u rasponima od 20% do 25% električne efikasnosti i 90% do 95% ukupne pa će ovdje biti računato sa srednjim vrijednostima od 22.5% i 92.5%. Faktor kapaciteta označava omjer sati u kojima je postrojenje u pogonu i ukupnog broja sati u godini. Za ovakvo postrojenje koje će raditi 7,500 sati godišnje, taj faktor iznosi 0.86. Kapacitet, odnosno snaga, predstavlja omjer proizvedene energije i vremena rada postrojenja. Proizvedena energija dakako nije jednaka energetskom potencijalu goriva zbog navedenih stupnjeva efikasnosti sustava. Uz ranije navedene energetske potrebe, potrebni kapaciteti postrojenja su oko 3 MWt i 1 MWe, dakle radi se o manjem postrojenju. Snage se računaju sljedećim formulama:

$$\boldsymbol{P_{el} = LHV_G \, x \, \eta_{el}}$$

$$\boldsymbol{P_{topl} = \eta_{kogen} \, x \, LHV_G - P_{el}},$$

gdje P_{el} predstavlja električnu snagu [MWe], P_{topl} toplinsku snagu [MWt], LHV_G donju ogrjevnu vrijednost goriva [MJ/kg], η_{el} električnu efikasnost, a η_{topl} toplinsku efikasnost.

5. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA POSTROJENJA NA PODRUČJU VRBOVCA

U nastavku rada izvršit će se analiza jednog potencijalnog kogeneracijskog postrojenja na području grada Vrbovca koje za gorivo koristi miješani komunalni otpad, drvo u obliku šumskih ostataka, poljoprivredne ostatke u obliku slame i kukuruzovine te drvo iz farmi KKO.

5.1. Energetski potencijali i potrebe u Vrbovcu

Vrbovec je grad smješten u središnjem dijelu sjeverne Hrvatske, na istoku zagrebačke županije. Klima je prema Köppenovoj klasifikaciji na granici između C i D skupina što znači da su zime relativno hladne i da postoji velika potreba za grijanjem, ne samo u zimskim mjesecima, već i u prijelaznim godišnjim dobima.

Podaci za specifičnu potrošnju toplinske energije postoje za kontinentalnu Hrvatsku u cjelini te bi trebali dovoljno točno aproksimirati i potrošnju u samome Vrbovcu [25]. Podaci su prikazani u tablici 3. uz podatke o prosječnoj kvadraturi i broju pojedine vrste objekata koja će biti opskrbljivana toplinskom energijom u Vrbovcu. Budući da je dio grada Vrbovca poprilično ruralan, odnosno rijetko naseljen, bilo bi neisplativo provlačiti infrastrukturu za udaljene dijelove pa će se ovdje fokusirati isključivo na naselje Vrbovec u sklopu grada Vrbovca i to na višestambene zgrade te objekte javne i komercijalne namjene. Uz gore navedene podatke dobivena je ukupna godišnja potrošnja u centru Vrbovca od 22.90 GWh. Kao što je ranije rečeno, koristit će se već postojeće cijene toplinske energije u Velikoj Gorici kako je prikazano u tablici 4. Cijene se razlikuju po djelatnosti, tarifnoj stavci (TS) i tarifnoj grupi (Tg) koja se razlikuje za kućanstva (Tg1) i industriju i poslovne potrošače (Tg2). TS za proizvodnju i distribuciju dijeli se na *energiju* i ona predstavlja varijabilni dio računa, direktno proporcionalan potrošenoj toplinskoj energiji i *snagu* koja predstavlja fiksni dio računa i ovisi o maksimalnoj snazi koju objekt ima na raspolaganju. Iz tablice 4. vidi da će specifični prihod uvijek biti veći za Tg2, osim paušalnog dijela koji se plaća za usluge opskrbe toplinskom energijom i cijene za pripremu potrošne tople vode (PTV). Pretpostavljeno je da će svi potrošači koristiti usluge pripreme PTV. Jednostavnim množenjem podataka iz tablice 3. i tablice 4. dobivaju se godišnji prihodi od prodaje toplinske energije u iznosu od 1,284,577 € te se smatra da ostaju konstantnima tijekom cijelog životnog vijeka postrojenja. Korišten je tečaj EUR/HRK kakav je bio za vrijeme pisanja rada, odnosno 7.57.

Tablica 3. Potrošnja i broj grijanih objekata

Vrsta objekta	Specifična potrošnja topl. energije, kWh/m^2	Prosječna kvadratura, m2	Broj objekata
Višestambena zgrada	187	180.7	13
Obiteljska kuća	300	183.9	0
Zgrada javne namjene	183	816.9	130
Zgrada komercijalne namjene	249	172.1	70

Tablica 4. Cijene topl. energije u Velikoj Gorici

Naziv djelatnosti	TS/djelatnost	Tg1	Tg2
Proizvodnja topl. Energije kn/kWh	Energija	0.2760	0.3128
Distribucija topl. Energije kn/kWh	Energija	0.0240	0.0272
Proizvodnja topl. Energije kn/kW/mj.	Snaga	7.88	8.97
Distribucija topl. Energije kn/kW/mj.	Snaga	3.27	3.73
Opskrba topl. Energijom kn/mj.	Naknada za djelatnost opskrbe toplinskom energijom	7.02	7.02

Kupac topl. energije kn/m^2/mj.	Naknada za djelatnost kupca za krajnje kupce s pripremom PTV	0.69	0.69

Električna će se energija prodavati na hrvatskoj burzi električne energije, CROPEX-u. Kako krajnji kupci ne mogu direktno električnu energiju nabavljati s burze, ovdje je riječ o ranije opisanom veleprodajnom tržištu između proizvođača i trgovaca i/ili opskrbljivača. Pri izračunu je uzeta srednja *day-ahead* cijena iz 2019. godine koja je iznosila 49.28 €/MWh. Iako je s čisto tehničkog aspekta toplinska energija nusprodukt proizvodnje električne energije, s ekonomske se strane može na to gledati obrnuto. Razlog tomu je što većina infrastrukture za prijenos i distribuciju električne energije već postoji dok se za toplinsku sve treba izgraditi, odnosno financirati. Dakle, broj objekata opskrbljivanih toplinskom energijom određen je direktno iz energetskog potencijala goriva, odnosno energije koju postrojenje iz toga može proizvesti uz svoje gubitke, a broj objekata opskrbljivanih električnom energijom je kao takav nebitan u financijskoj analizi i radi jednostavnosti računa pretpostavlja se da se sva električna energija uspijeva prodati. Jednostavnim množenjem spomenute cijene i izračunate proizvodnje električne energije dobiva se godišnji prihod od prodaje električne energije u iznosu od 368,340 €.

Analizirat će se dostupnost 4 vrsta goriva, drvne biomase, slame, kukuruzovine i komunalnog otpada. Budući da Vrbovec nema dovoljno resursa da pokrije vlastite potrebe za energijom, područje dobave drveta i otpada prošireno je na susjedni grad Bjelovar.

Ukupna površina šuma na području kojim gospodari šumarija Vrbovec iznosi 160.31 km^2, drvna je zaliha 2,300,000 m^3, a sječivi etat 39,854 m^3. Tablica 5. prikazuje 5 najzastupljenijih vrsta, njihove udjele u ukupnoj zalihi te usječeni volumen uz pretpostavku da je usječen jednak udio svake vrste drveta. Ostatak čine crnogorica i neke manje zastupljene vrste te su one zanemarene u izračunu tehničkog, odnosno energetskog potencijala.

Tablica 5. Vrsta i količina drveta na području Vrbovca [26]

Vrsta drveta	Udio u ukupnoj zalihi, %	Usječeno, m^3
Hrast lužnjak	53	1,985.26

Grab	19	7,117.92
Bukva	13	4,870.16
Crna joha	5	1,873.14
Crni jasen	4	1,498.51

Prema podacima dobivenim od Šumarije Bjelovar, područje kojim gospodare je 113.67 km^2, ukupna drvna zaliha 3,182,571 m^3, a sječivi etat 51,838 m^3.

Tablica 6. prikazuje 6 najzastupljenijih vrsta, njihove pojedinačne zalihe te usječeni volumen. Ostale su vrste drveta također zanemarene. Podaci su dobiveni direktno od Šumarije Bjelovar.

Tablica 6. Vrsta i količina drveta na području Bjelovara

Vrsta drveta	Zaliha, m^3	Usječeno, m^3
Hrast lužnjak	891,304	14,517.70
Hrast kitnjak	347,438	5,659.83
Grab	604,846	9,851.83
Bukva	846,626	13,789.98
Crna joha	71,762	1,168.87
Jasen	204,491	3,330.78

Uz ranije spomenut način računanja dobiva se ukupan volumen sakupljenog drveta od 10024 m^3. Pretpostavljena je prosječna udaljenost od postrojenja 12 km. Uz prosječnu gustoću drveta od 665 kg/m3 [27] i prosječnu donju ogrjevnu vrijednost od 15.4 MJ/kg [28], dobivamo ukupni energetski potencijal drveta u iznosu 28.52 GWh.

Na području Zagrebačke županije nalazi se 149.72 km^2 neobrađenog zemljišta te je omjerima površina procijenjeno da je 7.78 km2 od toga na području Vrbovca [25]. Specifična je cijena biomase uprosječena na 35 €/t, a transporta na 0.1 €/t/km [1].

Kako je već spomenuto, posađene bi bile vrbe čija je prosječna masa procijenjena na 7,000 kg [29] i to gustoćom sadnje od 1,667 po km2 iz čega dobivamo podatak o 11,699 tona drveta po kilometru kvadratnom površine. Faktor rotacije označava učestalost sječe jednog stabla u godinama i najčešće je 3, dakle jedno se stablo siječe svake treće godine. Uz donju ogrjevnu vrijednost vrbe od 12.6 MJ/kg i gustoću od 400 kg/m3, dobiven je ukupni energetski potencijal od 105.94 GWh.

Dakle, iako je površina na kojoj bi sadili vrbe puno manja od površina šuma, dobiva se oko 4 puta veći energetski potencijal. Razlog leži u tomu što se kod kulture kratkih ophodnji koristi gotovo cijelo drvo, ostavi se samo panj, a ne ostaci. Cijena kulture kratkih ophodnji izračunata je na identičan način kao i cijena drveta uz razliku da je cijena transporta računata s manjom prosječnom udaljenošću od 6 km zbog pretpostavke da će farma biti bliže postrojenju i cijena kupovine je 43.47 €/t [30].

Uslijed nedostatka podataka, pretpostavljeno je da se u Vrbovcu proizvodi kukuruza u jednakom odnosu prema proizvodnji kukuruza cijele Zagrebačke županije kao što im se odnose brojevi stanovništva te je dobivena brojka od 6,580.67 tona godišnje [25]. Izračunati je energetski potencijal 5.64 GWh godišnje.

Istom metodom kao i za kukuruz, proizvodnja pšenice na području Vrbovca procijenjena je na 2,439.83 tona godišnje. Za obje je poljoprivredne kulture također pretpostavljena prosječna udaljenost od postrojenja 12 km. Izračunati je energetski potencijal 1.96 GWh godišnje.

2019. je godine na području Vrbovca odloženo 3,284.96 tona miješanog komunalnog otpada. Odvojeno odloženi otpad (staklene ambalaže, papir i karton, biootpad, plastika itd.) tu se ne ubraja [31]. Područje sakupljanja prošireno je na Bjelovar budući da su količine iz Vrbovca premale te gradnja postrojenja na te količine sigurno nije isplativa, a Bjelovar je relativno blizu i veći je od Vrbovca. 2016. godine na području je Bjelovara odloženo 12,660.51 tona miješanog komunalnog otpada [32]. Iako varira zbog sastava, radi jednostavnosti je uzeta donja ogrjevna vrijednost otpada od 10 MJ/kg [24]. Tako je dobiven energetski potencijal od 44.293 GWh godišnje.

5.2. Troškovi goriva i postrojenja

Troškovi postrojenja sastoje se uglavnom od investicijskih troškova i troškova upravljanja i održavanja. U investiciju ulazi kupnja opreme, inženjerski radovi i radovi na samoj izgradnji postrojenja. Za postrojenja na otpad kreću se od 7,800,000 €/MWe za veće sustave do 10,400,000 €/MW_e za manje [19], kako se ovdje radi o manjem postrojenju, uzeta je druga vrijednost. Osim navedenoga, postoje i troškovi izrade infrastrukture za prijenos tople vode, odnosno cjevovoda od postrojenja do svakog objekta koji je u sustavu. Ti troškovi procijenjeni su na 5,820 € po objektu koji će biti opskrbljivan, dakle 1,239,660 € [32]. Zbrajanjem ta 2 iznosa dobiva se ukupna investicija od 11,664,926 €. Pod troškove upravljanja i održavanja ubrajamo troškove planiranja, administracije, osiguranja, potrošnih materijala i eventualno privremenog osoblja. Za postrojenje na otpad kreću se od 186,000 €/MW_e za veće sustave do 411,000 €/MW_e za manje. Za razliku od investicije, upravljanje i održavanje predstavlja kontinuirani trošak, prisutan na godišnjoj razini. Kao što je već napomenuto, postrojenja na otpad i drvo vrlo su slične građe i jedini dio u kojem se uglavnom razlikuju je pročišćivač dimnih plinova. Budući da se ovdje analizira prijelaz s otpada na biomasu kao gorivo, potrebno je u jednom trenu napraviti zamjenu pročišćivača. Prema [3] jedan pročišćivač za postrojenje od 100,000 tona goriva godišnje košta oko 1,000,000 €. Kako je ovo postrojenje 10 puta manje, pretpostavljen je trošak od 100,000 €.

Amortizacija opreme u ekonomskom smislu predstavlja postupno administrativno smanjenje vrijednosti određene imovine tijekom njezina vijeka upotrebe. Radi jednostavnosti pretpostavljena je linearna amortizacija investicijskih troškova na period od 4 godine [33]. U RH postoje 2 stope poreza na dobit, 12% na dobiti ispod 7,500,000 kn, a 18% na dobiti iznad te brojke pa će ovdje biti uzeta vrijednost od 18% [34]. Pretpostavljeno je da će iznos privatnog kapitala biti 30% ukupne investicije, odnosno 3,481,265 €, što znači da je se za ostatak investicije mora uzeti kredit od banke u iznosu 8,122,951 €. Kamatna stopa na kredit od banke pretpostavljena je na 5%, a diskontna stopa na 9%. Trajanje otplate kredita je 15 godina. Tijek otplate kredita prikazan je u tablici 6.

Tablica 7. Tijek otplate kredita

Godina	Glavnica [€]	Kamata [€]	Rata [€]
1	483,989.30	522,189.70	1,006,179.00
2	508,188.77	497,990.23	1,006,179.00
3	533,598.21	472,580.79	1,006,179.00
4	560,278.12	445,900.88	1,006,179.00
5	588,292.02	417,886.98	1,006,179.00
6	617,706.62	388,472.38	1,006,179.00
7	648,591.96	357,587.05	1,006,179.00
8	681,021.55	325,157.45	1,006,179.00
9	715,072.63	291,106.37	1,006,179.00
10	750,826.26	255,352.74	1,006,179.00
11	788,367.58	217,811.43	1,006,179.00
12	827,785.95	178,393.05	1,006,179.00
13	869,175.25	137.003.75	1,006,179.00
14	912,634.01	93,544.99	1,006,179.00
15	958,265.71	47,913.29	1,006,179.00

5.3. Različiti scenariji dinamike zamjene goriva

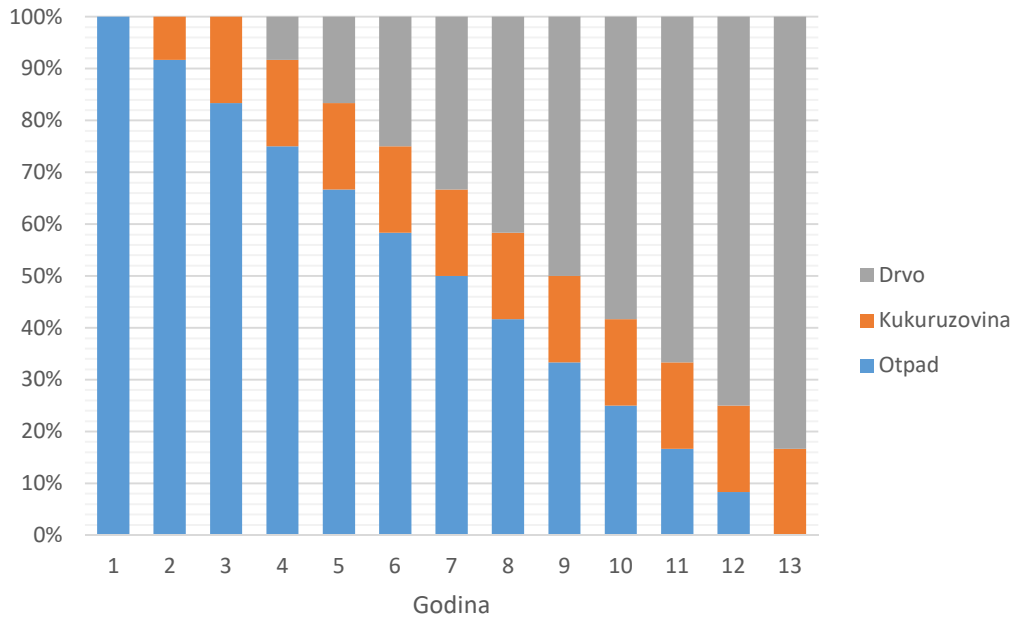
Za svaki scenarij napravljen je ekonomski i financijski tok novca. Ekonomski se tok novca sastoji prvenstveno od zbrajanja svih rashoda (bruto rashod) i prihoda (bruto prihod) tijekom

životnog vijeka postrojenja. Razlika tih dviju veličina predstavlja bruto dobit. Bruto dobit umanjena za porez na dobit predstavlja neto dobit. Zatim se kumulativni tijek novca dobiva na način da se u svakoj godini neto dobiti u tekućoj godini doda vrijednost kumulativnog tijeka novca iz prošle godine. U prvoj se godini od neto dobiti oduzima početna investicija koja ubiti predstavlja prvi član kumulativnog tijeka novca, u „nultoj“ godini. Također će svake godine biti izračunata sadašnja vrijednost (PV) novca koja predstavlja vrijednost novca iz budućnosti kao da ga imamo sada. Neto sadašnja vrijednost (NPV) novca zbroj je svih sadašnjih vrijednosti novca tijekom trajanja projekta te se koristi kao kriterij za upuštanje u projekt, ako je veća od 0, projekt se prihvaća. Također će se za svaki scenarij izračunati i unutarnja stopa povrata koja nije ništa drugo nego diskontna stopa koja izjednačava sadašnju vrijednost očekivanih troškova sa sadašnjom vrijednosti očekivanih prihoda. Zbog postojanja *gate-fee* naknade za zbrinjavanje otpada, ni prihodi neće biti konstantni, već će biti smanjivani kako se smanjuje udio otpada.

Radi usporedbe ekonomske isplativosti, bit će analizirana 3 scenarija zamijene goriva.

Scenarij 1 prikazati će postepen prelazak s otpada na poljoprivredne ostatke i drvo iz postojećih šuma. Korištena količina otpada smanjivat će se za 8.33% godišnje kako bi se otpad u potpunosti izbacio do 13. godine životnog vijeka postrojenja. To je u skladu s regulacijama Europske Unije koje nalažu udio u recikliranju otpada od 65% do 2035. godine [35]. Vrbino drvo iz KKO neće se koristiti u ovom scenariju.

Izračunato je da je dovoljno 75% od ukupnog potencijala otpada kako bi se pokrile toplinske potrebe grijanih objekata. Kako bi se u energetskom smislu pokrio nedostatak otpada, godišnje će se dodavati energetski ekvivalent kukuruzovine, a zatim drveta iz postojećih šuma. Izračunato je da je slama od pšenice nepotrebna pa se neće koristiti. Proces zamijene goriva prikazan je na slici 7., a prikazuje udio u ukupnoj proizvodnji energije pojedinog goriva tijekom godina. Od 13. godine pa nadalje udio biomase ostaje 100% pa taj dio radi preglednosti nije prikazan.



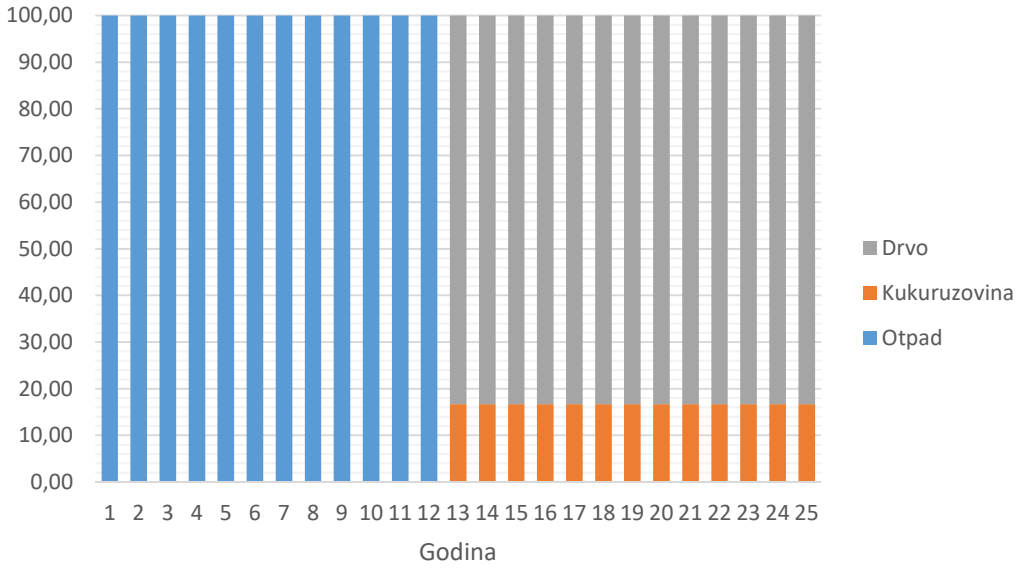
Slika 7. Dinamika zamjene goriva, scenarij 1

U 2. se godini dodaje pola od tehničkog potencijala kukuruzovine (691 tona), a u trećoj još pola, odnosno koristi se cijeli potencijal do treće godine pa nadalje. Od 4. godine nadalje se dodaje po 10% tehničkog potencijala drveta (667 tona) i tako 10 godina zaredom. Energetski potencijal ukupne kukuruzovine i drveta taman odgovara energetskom potencijalu 75% otpada. U 9. će godini prvi puta maseni udio drveta (i kukuruzovine) u gorivu biti veći od masenog udjela otpada te će se u 8. godini obaviti remont u vidu zamjene pročišćivača dimnih plinova s mokroga na suhi pročišćivač.

Kao što je rečeno, NPV predstavlja zbroj svih PV-ova umanjen za iznos početne investicije i za scenarij 1 iznosi 873,373 €. Kako je NPV pozitivan, projekt je profitabilan. Isto tako, IRR ispada 10%, odnosno malo je veći od pretpostavljene diskontne stope koja iznosi 9%.

U scenariju 2 započet će se s otpadom, onoliko koliko ga je potrebno da se zadovolje toplinske potrebe. Koristit će se isključivo otpad do i uključujući 12. godine životnog vijeka postrojenja. Nakon toga će se otpad izbaciti u potpunosti, a zamijenit će ga kukuruzovina i drvo iz postojećih šuma kojih također ima dovoljno za pokriće svih potreba. Prikaz zamjene goriva u vidu udjela

u kojem sudjeluju u proizvodnji energije prikazan je na slici 8. Scenarij 2 također ne uključuje drvo vrbe iz KKO.



Slika 8. Dinamika zamjene goriva, scenarij 2

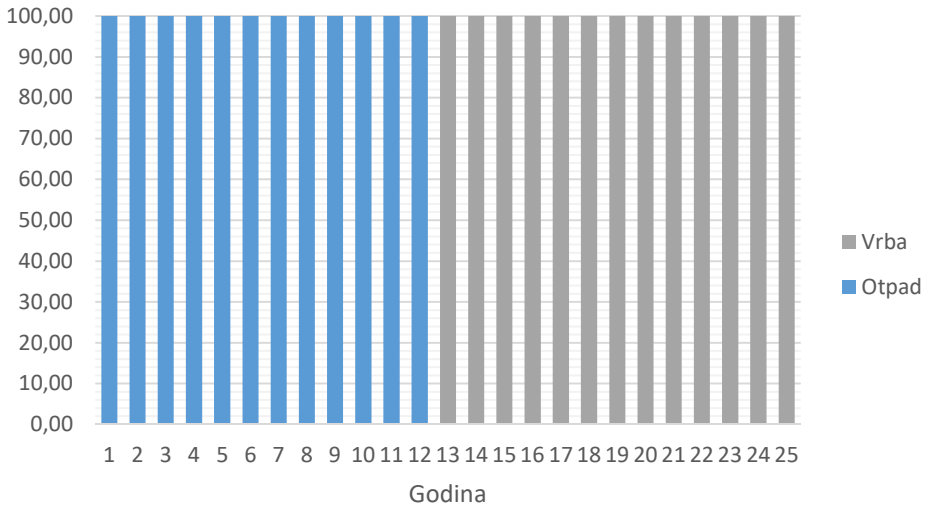
Kao što je rečeno, ukupni potencijal kukuruzovine i drveta iz postojećih šuma taman je dovoljan da u energetskom smislu zamijeni 75% ukupne količine otpada. Ovoga puta remont se odvija u 12. godini jer se nakon toga događa nagli prijelaz s jedne vrste goriva na drugu.

NPV u ovom scenariju iznosi 3,338,258 €, a IRR 14%. To nam govori da je ovakav način zamjene goriva u financijskom smislu bolji od onoga predstavljenog u prvome scenariju. To opet proizlazi iz činjenice da je otpad gorivo koje se ne plaća.

Scenarij 3, kao i scenarij 2, također će imati nagli prijelaz, ali ovoga puta s otpada na drvo vrbe iz KKO i bez kukuruzovine baš kao što je prikazano na slici 9. S obzirom da je faktor rotacije vrbe 3 godine, farma bi trebala biti posađena u 11. godini kako bi bila spremna za sječu u 13. Ovim i scenarijem 2 usporediti će se isplativost KKO u odnosu na sakupljanje drveta iz postojećih šuma.

IRR je također 14%. Ipak je NPV malo veći i iznosi 3,604,203 €. Cijena kupovine vrbe bila je pretpostavljena kao otprilike 25% viša od cijene kupovine drvne biomase i poljoprivrednih ostataka, ali glavna je prednost farme KKO centraliziranost. Gradske i privatne šume mogu biti,

i u praksi često i jesu, na nepristupačnim lokacijama, rascjepkane na više dijelova i slično, dok bi farma ciljano zasađenog drveća bila na jednom mjestu, lako pristupačna i po mogućnosti u blizini postrojenja pa se veća isplativost ovog scenarija u odnosu na drugi pripisuje uštedi na transportu. Zamjena pročišćivača također se obavlja u 12. godini.

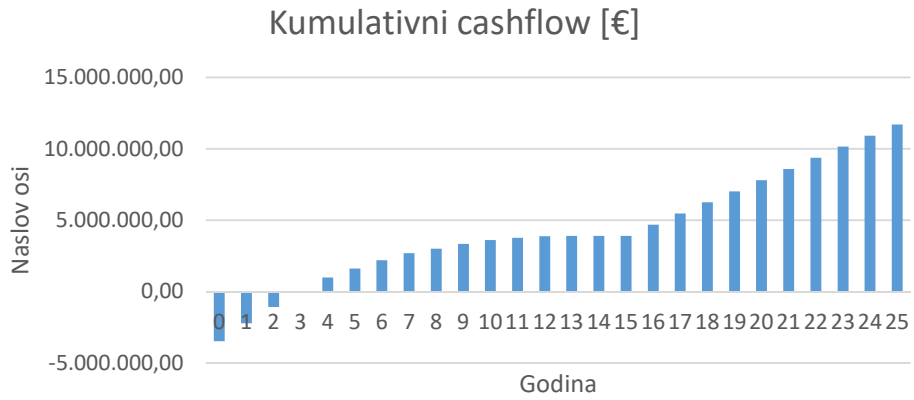


Slika 9. Dinamika zamjene goriva, scenarij 3

U tablicama 8.-13. prikazani su financijski i ekonomski tokovi novca za svaki od scenarija, a kumulativni su tokovi novca prikazani na slikama 10.-15. Radi preglednosti su troškovi svrstani u jedan stupac. U scenarijima 1 i 2 pod bruto rashode spadaju troškovi upravljanja i održavanja, cijena biomase, cijena mokrog pročišćivača i porez na paljenje. U scenariju 3 su to troškovi održavanja, cijena drveta vrbe iz KKO, cijena mokrog pročišćivača te porez na paljenje. Financijski tok uzima u obzir privatni kapital i kredit podignut za ostatak investicije. U ekonomskom se računa kao da kredita nema, odnosno on ne uzima u obzir podrijetlo novca.

Tablica 8. Financijski tok novca, scenarij 1

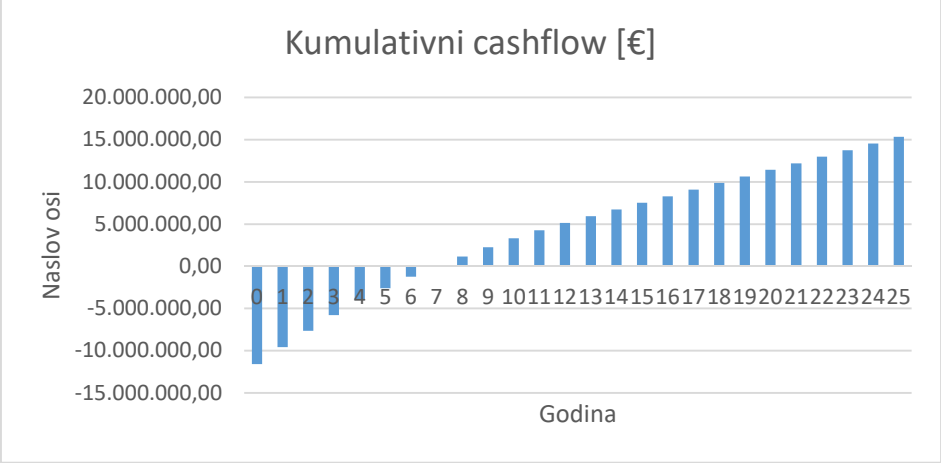
Godina	Investicija [€]	Prihod od topl. energije [€]	Prihod od el. energije [€]	Gate fee (otpad) [€]	Amortizacija [€]	Bruto rashod [€]	Bruto dobit [€]	Porez na dobit [€]	Neto dobit [€]	Sadašnja vrijednost (PV) [€]
0	-3,481,264.65	0.00	0.00	0.00	0.00	-3,481,264.65	0.00	0.00	-3,481,264.65	-3,481,264.65
1	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	2,901,053.88	-935,799.77	2,032,619.07	0.00	1,250,035.40	1,146,821.47
2	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,205,876.17	2,901,053.88	-916,962.87	1,941,830.86	0.00	1,159,247.20	975,715.17
3	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,096,251.06	2,901,053.88	-898,125.97	1,851,042.66	0.00	1,068,458.99	825,046.38
4	0.00	1,284,577.21	368,340.36	986,625.96	2,901,053.88	-878,406.68	1,761,136.84	0.00	978,553.17	693,231.74
5	0.00	1,284,577.21	368,340.36	877,000.85	0.00	-858,687.40	1,671,231.02	242,317.41	646,329.94	420,070.12
6	0.00	1,284,577.21	368,340.36	767,375.74	0.00	-838,968.11	1,581,325.19	230,252.40	568,489.13	338,971.49
7	0.00	1,284,577.21	368,340.36	657,750.64	0.00	-819,248.83	1,491,419.37	218,393.30	490,442.41	268,288.79
8	0.00	1,284,577.21	368,340.36	548,125.53	0.00	-899,529.54	1,301,513.55	188,750.40	330,179.49	165,705.95
9	0.00	1,284,577.21	368,340.36	438,500.42	0.00	-779,810.26	1,311,607.73	195,334.50	333,689.56	153,639.94
10	0.00	1,284,577.21	368,340.36	328,875.32	0.00	-760,090.97	1,221,701.91	184,156.96	254,961.28	107,698.40
11	0.00	1,284,577.21	368,340.36	219,250.21	0.00	-740,371.69	1,131,796.09	173,229.70	175,982.72	68,199.09
12	0.00	1,284,577.21	368,340.36	109,625.11	0.00	-720,652.40	1,041,890.26	162,565.22	96,741.38	34,394.92
13	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	152,176.67	17,224.10	5,618.13
14	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	158,260.90	11,139.87	3,333.57
15	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	164,649.34	4,751.44	1,304.45
16	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	196,616.40
17	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	180,382.02
18	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	165,488.09
19	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	151,823.93
20	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	139,288.01
21	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	127,787.17
22	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	117,235.93
23	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	107,555.90
24	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	98,675.14
25	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	90,527.65



Slika 10. Kumulativni tok novca, financijski tok novca, scenarij 1

Tablica 9. Ekonomski tok novca, scenarij 1

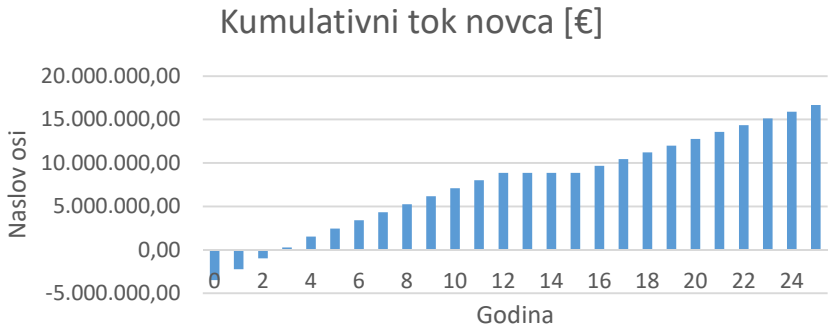
Godina	Investicija [€]	Prihod od topl. Energije [€]	Prihod od el. Energije [€]	Gate fee (otpad) [kn]	Amortizacija [kn]	Bruto rashod [€]	Bruto dobit [€]	Porez na dobit [€]	Neto dobit [€]	Sadašnja vrijednost (PV) [€]
0	-11,604,215.50	0.00	0.00	0.00	0.00	-11,604,215.50	0.00	0.00	-11,604,215.50	-11,604,215.50
1	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	2,901,053.88	-935,799.77	2,032,619.07	0.00	2,032,619.07	1,864,788.14
2	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,205,876.17	2,901,053.88	-916,962.87	1,941,830.86	0.00	1,941,830.86	1,634,400.19
3	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,096,251.06	2,901,053.88	-898,125.97	1,851,042.66	0.00	1,851,042.66	1,429,344.56
4	0.00	1,284,577.21	368,340.36	986,625.96	2,901,053.88	-878,406.68	1,761,136.84	0.00	1,761,136.84	1,247,633.74
5	0.00	1,284,577.21	368,340.36	877,000.85	0.00	-858,687.40	1,671,231.02	242,317.41	1,428,913.61	928,695.80
6	0.00	1,284,577.21	368,340.36	767,375.74	0.00	-838,968.11	1,581,325.19	230,252.40	1,351,072.79	805,600.56
7	0.00	1,284,577.21	368,340.36	657,750.64	0.00	-819,248.83	1,491,419.37	218,393.30	1,273,026.07	696,388.86
8	0.00	1,284,577.21	368,340.36	548,125.53	0.00	-899,529.54	1,301,513.55	188,750.40	1,112,763.15	558,458.30
9	0.00	1,284,577.21	368,340.36	438,500.42	0.00	-779,810.26	1,311,607.73	195,334.50	1,116,273.23	513,963.20
10	0.00	1,284,577.21	368,340.36	328,875.32	0.00	-760,090.97	1,221,701.91	184,156.96	1,037,544.95	438,270.20
11	0.00	1,284,577.21	368,340.36	219,250.21	0.00	-740,371.69	1,131,796.09	173,229.70	958,566.39	371,475.97
12	0.00	1,284,577.21	368,340.36	109,625.11	0.00	-720,652.40	1,041,890.26	162,565.22	879,325.04	312,630.59
13	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	152,176.67	799,807.77	260,880.22
14	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	158,260.90	793,723.54	237,518.96
15	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	164,649.34	787,335.10	216,153.44
16	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	196,616.40
17	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	180,382.02
18	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	165,488.09
19	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	151,823.93
20	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	139,288.01
21	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	127,787.17
22	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	117,235.93
23	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	107,555.90
24	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	98,675.14
25	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	90,527.65



Slika 11. Kumulativni tok novca, ekonomski tok novca, scenarij 1

Tablica 10. Financijski tok novca, scenarij 2

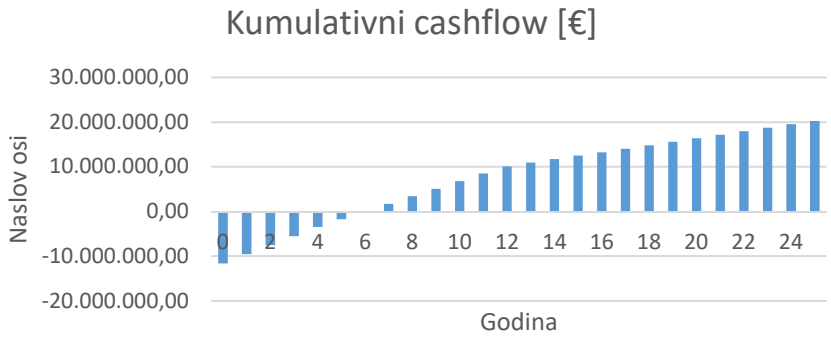
Godina	Investicija [€]	Prihod od topl. energije [€]	Prihod od el. energije [€]	Gate fee (otpad) [€]	Amortizacija [€]	Bruto rashod [€]	Bruto dobit [€]	Porez na dobit [€]	Neto dobit [€]	Sadašnja vrijednost (PV) [€]
0	-3,481,264.65	0.00	0.00	0.00	0.00	-3,481,264.65	0.00	0.00	-3,481,264.65	-3,481,264.65
1	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	2,901,053.88	-935,799.77	2,032,619.07	0.00	1,250,035.40	1,146,821.47
2	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	2,901,053.88	-935,799.77	2,032,619.07	0.00	1,250,035.40	1,052,129.79
3	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	2,901,053.88	-935,799.77	2,032,619.07	0.00	1,250,035.40	965,256.69
4	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	2,901,053.88	-935,799.77	2,032,619.07	0.00	1,250,035.40	885,556.59
5	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	307,367.26	942,668.15	612,669.61
6	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	311,485.30	938,550.10	559,626.76
7	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	315,809.25	934,226.16	511,053.70
8	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	320,349.39	929,686.01	466,578.06
9	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	325,116.54	924,918.86	425,858.34
10	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	330,122.05	919,913.35	388,581.34
11	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	335,377.83	914,657.57	354,459.85
12	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-1,035,799.77	1,932,619.07	322,896.41	827,139.00	294,076.64
13	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	152,176.67	17,224.10	5,618.13
14	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	158,260.90	11,139.87	3,333.57
15	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	164,649.34	4,751.44	1,304.45
16	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	196,616.40
17	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	180,382.02
18	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	165,488.09
19	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	151,823.93
20	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	139,288.01
21	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	127,787.17
22	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	117,235.93
23	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	107,555.90
24	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	98,675.14
25	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	90,527.65



Slika 12. Kumulativni tok novca, financijski tok novca, scenarij 2

Tablica 11. Ekonomski tok novca, scenarij 2

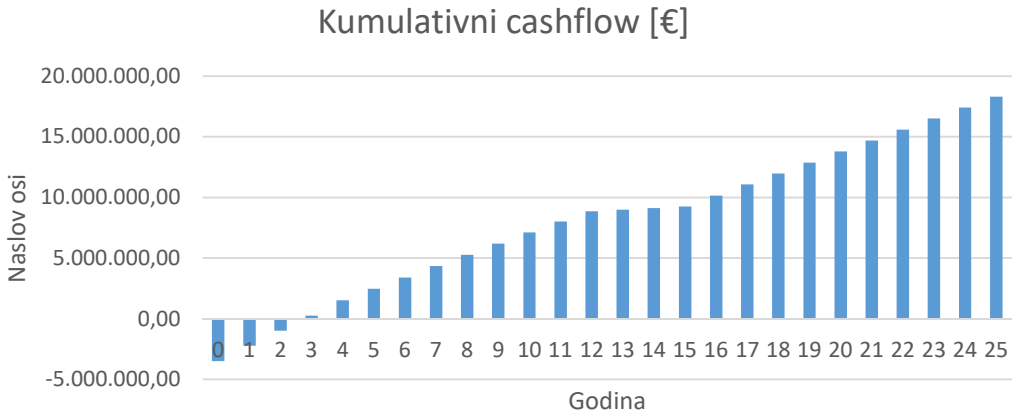
Godina	Investicija [€]	Prihod od topl. Energije [€]	Prihod od el. Energije [€]	Gate fee (otpad) [kn]	Amortizacija [kn]	Bruto rashod [€]	Bruto dobit [€]	Porez na dobit [€]	Neto dobit [€]	Sadašnja vrijednost (PV) [€]
0	-11,604,215.50	0.00	0.00	0.00	0.00	-11,604,215.50	0.00	0.00	-11,604,215.50	-11,604,215.50
1	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	2,901,053.88	-935,799.77	2,032,619.07	0.00	2,032,619.07	1,864,788.14
2	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	2,901,053.88	-935,799.77	2,032,619.07	0.00	2,032,619.07	1,710,814.80
3	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	2,901,053.88	-935,799.77	2,032,619.07	0.00	2,032,619.07	1,569,554.87
4	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	2,901,053.88	-935,799.77	2,032,619.07	0.00	2,032,619.07	1,439,958.59
5	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	307,367.26	1,725,251.81	1,121,295.30
6	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	311,485.30	1,721,133.77	1,026,255.83
7	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	315,809.25	1,716,809.82	939,153.76
8	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	320,349.39	1,712,269.68	859,330.41
9	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	325,116.54	1,707,502.53	786,181.60
10	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	330,122.05	1,702,497.02	719,153.14
11	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	335,377.83	1,697,241.24	657,736.73
12	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-1,035,799.77	1,932,619.07	322,896.41	1,609,722.66	572,312.30
13	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	152,176.67	799,807.77	260,880.22
14	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	158,260.90	793,723.54	237,518.96
15	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	164,649.34	787,335.10	216,153.44
16	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	196,616.40
17	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	180,382.02
18	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	165,488.09
19	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	151,823.93
20	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	139,288.01
21	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	127,787.17
22	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	117,235.93
23	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	107,555.90
24	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	98,675.14
25	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-700,933.12	951,984.44	171,357.20	780,627.24	90,527.65



Slika 13. Kumulativni tok novca, ekonomski tok novca, scenarij 2

Tablica 12. Financijski tok novca, scenarij 3

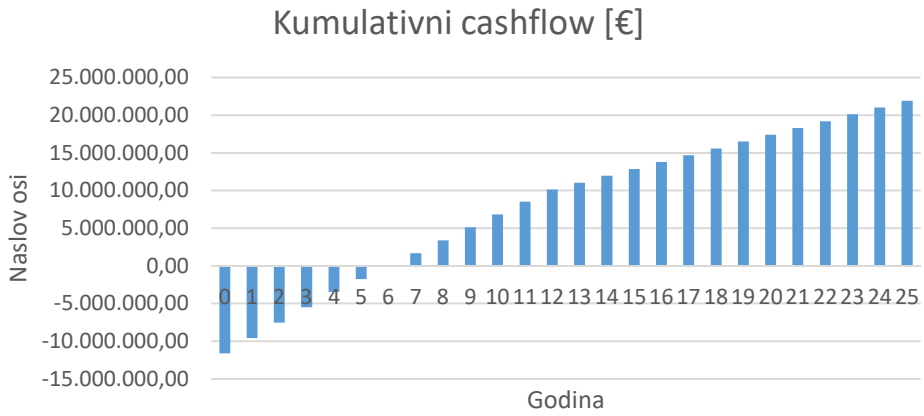
Godina	Investicija [€]	Prihod od topl. energije [€]	Prihod od el. energije [€]	Gate fee (otpad) [€]	Amortizacija [€]	Bruto rashod [€]	Bruto dobit [€]	Porez na dobit [€]	Neto dobit [€]	Sadašnja vrijednost (PV) [€]
0	-3,481,264.65	0.00	0.00	0.00	0.00	-3,481,264.65	0.00	0.00	-3,481,264.65	-3,481,264.65
1	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	2,901,053.88	-935,799.77	2,032,619.07	0.00	1,250,035.40	1,146,821.47
2	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	2,901,053.88	-935,799.77	2,032,619.07	0.00	1,250,035.40	1,052,129.79
3	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	2,901,053.88	-935,799.77	2,032,619.07	0.00	1,250,035.40	965,256.69
4	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	2,901,053.88	-935,799.77	2,032,619.07	0.00	1,250,035.40	885,556.59
5	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	307,367.26	942,668.15	612,669.61
6	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	311,485.30	938,550.10	559,626.76
7	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	315,809.25	934,226.16	511,053.70
8	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	320,349.39	929,686.01	466,578.06
9	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	325,116.54	924,918.86	425,858.34
10	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	330,122.05	919,913.35	388,581.34
11	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	335,377.83	914,657.57	354,459.85
12	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-1,035,799.77	1,932,619.07	322,896.41	827,139.00	294,076.64
13	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	179,564.73	141,991.91	46,314.73
14	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	185,648.96	135,907.68	40,669.89
15	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	192,037.40	129,519.24	35,557.96
16	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	198,745.26	905,395.05	228,041.64
17	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	198,745.26	905,395.05	209,212.51
18	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	198,745.26	905,395.05	191,938.08
19	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	198,745.26	905,395.05	176,089.98
20	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	198,745.26	905,395.05	161,550.44
21	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	198,745.26	905,395.05	148,211.42
22	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	198,745.26	905,395.05	135,973.78
23	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	198,745.26	905,395.05	124,746.58
24	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	198,745.26	905,395.05	114,446.41
25	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	198,745.26	905,395.05	104,996.70



Slika 14. Kumulativni tok novca, financijski tok novca, scenarij 3

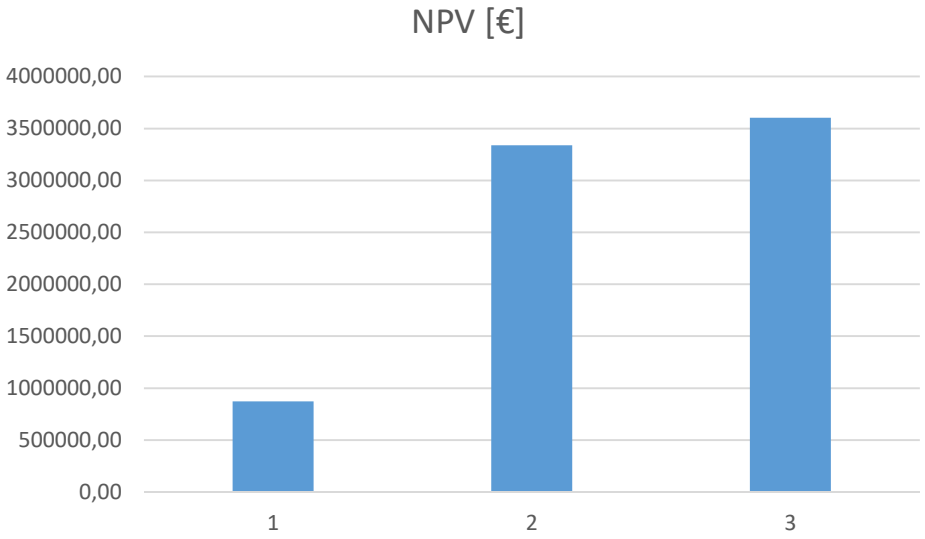
Tablica 13. Ekonomski tok novca, scenarij 3

Godina	Investicija [€]	Prihod od topl. Energije [€]	Prihod od el. Energije [€]	Gate fee (otpad) [kn]	Amortizacija [kn]	Bruto rashod [€]	Bruto dobit [€]	Porez na dobit [€]	Neto dobit [€]	Sadašnja vrijednost (PV) [€]
0	-11,604,215.50	0.00	0.00	0.00	0.00	-11,604,215.50	0.00	0.00	-11,604,215.50	-11,604,215.50
1	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	2,901,053.88	-935,799.77	2,032,619.07	0.00	2,032,619.07	1,864,788.14
2	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	2,901,053.88	-935,799.77	2,032,619.07	0.00	2,032,619.07	1,710,814.80
3	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	2,901,053.88	-935,799.77	2,032,619.07	0.00	2,032,619.07	1,569,554.87
4	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	2,901,053.88	-935,799.77	2,032,619.07	0.00	2,032,619.07	1,439,958.59
5	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	307,367.26	1,725,251.81	1,121,295.30
6	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	311,485.30	1,721,133.77	1,026,255.83
7	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	315,809.25	1,716,809.82	939,153.76
8	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	320,349.39	1,712,269.68	859,330.41
9	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	325,116.54	1,707,502.53	786,181.60
10	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	330,122.05	1,702,497.02	719,153.14
11	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-935,799.77	2,032,619.07	335,377.83	1,697,241.24	657,736.73
12	0.00	1,284,577.21	368,340.36	1,315,501.28	0.00	-1,035,799.77	1,932,619.07	322,896.41	1,609,722.66	572,312.30
13	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	179,564.73	924,575.58	301,576.81
14	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	185,648.96	918,491.35	274,855.29
15	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	192,037.40	912,102.91	250,406.95
16	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	198,745.26	905,395.05	228,041.64
17	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	198,745.26	905,395.05	209,212.51
18	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	198,745.26	905,395.05	191,938.08
19	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	198,745.26	905,395.05	176,089.98
20	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	198,745.26	905,395.05	161,550.44
21	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	198,745.26	905,395.05	148,211.42
22	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	198,745.26	905,395.05	135,973.78
23	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	198,745.26	905,395.05	124,746.58
24	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	198,745.26	905,395.05	114,446.41
25	0.00	1,284,577.21	368,340.36	0.00	0.00	-548,777.26	1,104,140.31	198,745.26	905,395.05	104,996.70

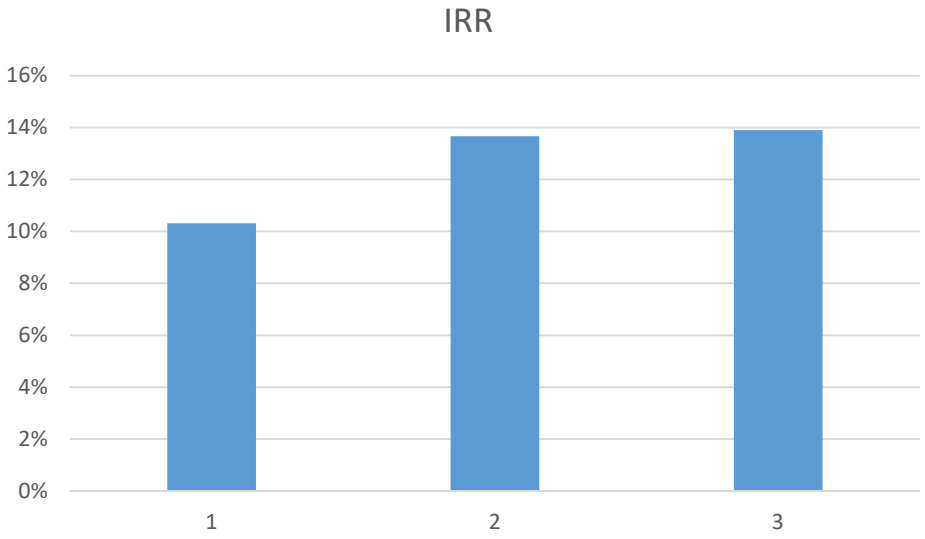


Slika 15. Kumulativni tok novca, ekonomski tok novca, scenarij 3

Usporedbe NPV-a i IRR-a za sva 3 scenarija prikazane su na slici 10., odnosno slici 11. Dakle, zaključuje se da je scenarij 1 ekonomski najneisplativiji. Razlog tomu je to što se koristi najmanje otpada, a otpad je, kako je već spomenuto, gorivo koje se ne plaća, već se za njega novac dobiva.

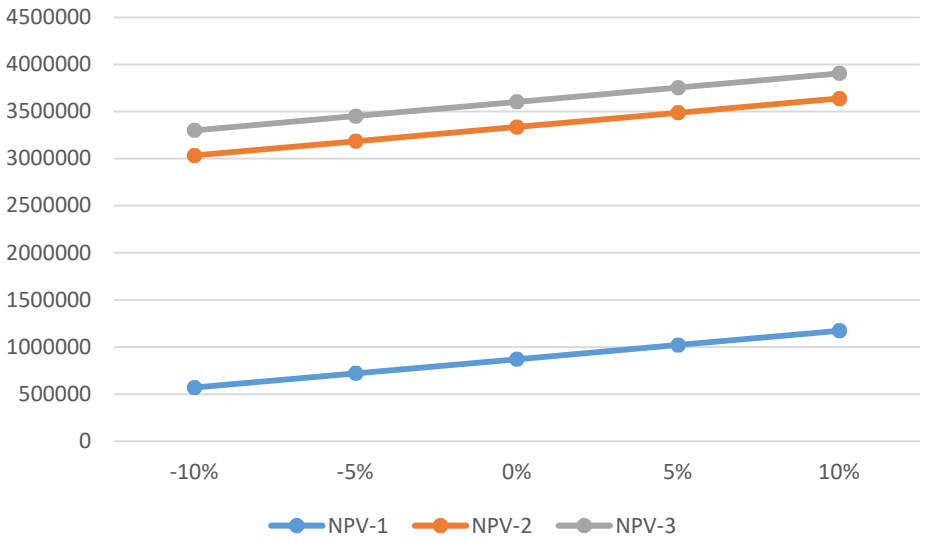


Slika 16. NPV za različite scenarije



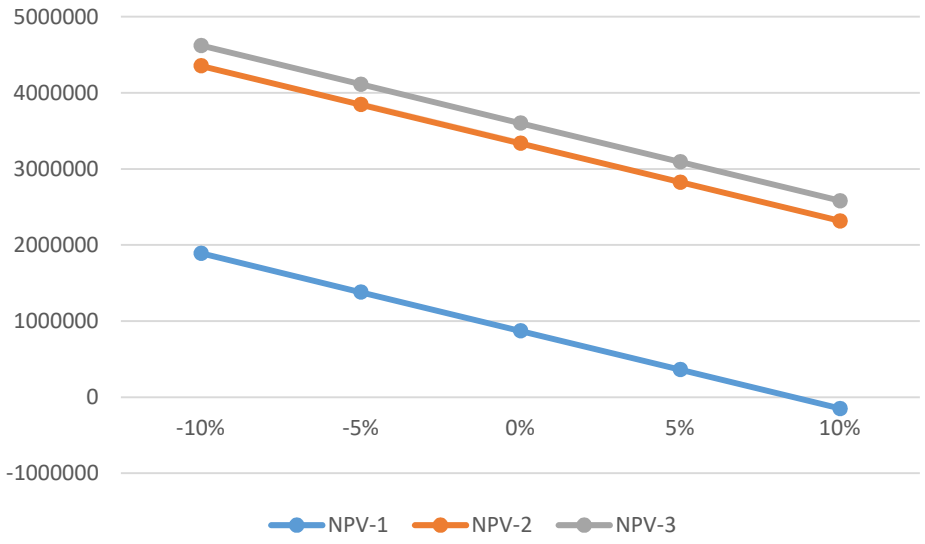
Slika 17. IRR za različite scenarije

Na slici 10. prikazan je utjecaj promjene prodajne cijene električne energije na NPV, za slučajeve da je 10% ili 5% niža i slučajeve da je 5% ili 10% viša. Zanimljivo je uočiti da tek povećanje cijene od 10% dovodi scenarij 2 na razinu profitabilnosti scenarija 3.



Slika 18. Utjecaj promjene cijene el. energije na NPV

Na slici 11. prikazan je utjecaj promjene cijene investicije na NPV, za slučajeve da je 10% ili 5% niža te za slučajeve da je 5% ili 10% viša. Zanimljivo je uočiti da, ukoliko se cijena investicije povisi za 10%, scenarij 1 nije isplativ, ali i da čak i uz smanjenje investicije od 10% nije profitabilniji ni od scenarija 2 ni od scenarija 3 u početnim uvjetima.



Slika 19. Utjecaj promjene cijene invesicije

6. ZAKLJUČAK

Prelazak s fosilnih goriva na obnovljive izvore energije neizbježan je. Osim velikih elektrana koje su već u punom razvoju, treba se posvetiti i manjim kogeneracijskim postrojenjima u manjim gradovima i naseljima te lokalnim izvorima goriva. Centralizacija izvora grijanja, a posebice u mjestima u kojima nema ni dovoda plina, uglavnom je isplativa, kao što je i pokazano u ovom radu. Također je i velika prednost ovakvih sustava energetska neovisnost o drugim državama, kao što je npr. slučaj u Hrvatskoj koja uvozi oko polovice prirodnog plina te izbjegavanje eventualnih nepredviđenih promjena cijena goriva. Budućnost fosilnih goriva nesigurna je, u nekim državama već postoje i porezi na njihovo korištenje. U toj tranziciji značajnu bi ulogu trebali igrati i otpad i drvna biomasa.

Otpad je neophodan nusprodukt svakog naseljenog mjesta, a osim toga u većini se zemalja još uvijek plaća zbrinjavanje otpada, dakle nema troškova vezanih uz nabavu goriva. Dokle god se ne uvedu stroži zakoni u vezi recikliranja, postoje ogromni potencijali otpada kao goriva za proizvodnju korisne energije. Ipak, Europska Unija ima jasne planove o potpunoj reciklaži otpada u budućnosti te poticaji za korištenje otpada možda neće uvijek biti prisutni. Čak i u jednom manjem mjestu poput Vrbovca, s manje od 15,000 stanovnika, kogeneracijsko postrojenje na otpad isplativo je, kao što je pokazano u ovom radu. Isto tako se vidi i da su 2 scenarija koja su koristila više otpada u odnosu na biomasu profitabilnija iako mu je ogrjevna vrijednost , dakle poželjno je koristiti otpad dok se još ne provodi odvojeno prikupljanje istoga.

Od već postojećih šuma preko šuma koje bi se zasadile na neiskorištenim zemljištima do poljoprivrednih ostataka, biomasa je gorivo s najvećim potencijalom. Za razliku od nekih drugih obnovljivih izvora energije, biomasa predstavlja stabilan i konstantan izvor, prisutan na većini lokacija, bez obzira na klimu i teren. Šumski i poljoprivredni ostaci najočitiji su primjer neiskorištene energije. KKO još je isplativija zbog svoje velike upravljivosti. Pokazano je da scenarij s KKO ispada malo profitabilniji od scenarija u kojem se prikupljaju šumski ostaci. Za razliku od rasporeda šuma i poljoprivrednih površina na koje se ne može utjecati, lokaciju, oblik i gustoću farme KKO može se optimizirati, dakle mogla bi se npr. još i smanjiti udaljenost od postrojenja ako lokacija to dopušta. Isto valja naglasiti kako se kod KKO iskorištava značajno veći udio drveta što se vidi iz činjenice da se s farme 20 puta manje površine dobilo gotovo 4

puta više energetskog potencijala u odnosu na već postojeće šume. Indirektna su prednost i radna mjesta koja jedna takva farma otvara.

S obzirom da se će se otpad u bliskoj budućnosti u velikim količinama početi reciklirati, bitna je stavka i da su ove 2 vrste goriva kompatibilne, odnosno da je prelazak s jedne na drugu moguć i financijski isplativ jer je jedini dio postrojenja koji treba promijeniti pročišćivač dimnih plinova. Iako iz slika 10., 12. i 14. vidimo da kumulativni tok novca postaje pozitivan u 7. godini životnog vijeka postrojenja, dakle već tada se pokriva inicijalna investicija. Posebice je tu zanimljiv scenarij 1 jer predstavlja najizgledniji način prelaska s jedne vrste goriva na drugu, a također je pokazan kao financijski isplativ.

7. LITERATURA

[1] Boris Ćosić, Zoran Stanić, Neven Duić: TECHNICAL POTENTIAL AND GEOGRAPHIC DISTRIBUTION OF BIOMASS FOR ENERGY USE: A CASE STUDY OF CROATIA, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu

[2] Danish Energy Agency: Techonolgy Data; Generation of Electricity and District heating, 2016.

[3] Daniel Rolph Schneider, Dražen Lončar, Željko Bogdan: Cost Analisys of Waste-to-Energy Plant, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu

[4] https://hr.wikipedia.org/wiki/Parna_turbina, 17.2.2021.

[5] Termoenergetska postrojenja, predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zavod za energetska postrojenja, energetiku i ekologiju, Katedra za energetska postrojenja i energetiku

[6] https://en.wikipedia.org/wiki/Combined_cycle_power_plant, 17.2.2021.

[7] Roger Sallent Cuadrado : Return temperature influence of a district heating network on the CHP plant production costs, 2009.

[8] http://enerpedia.net/index.php/ENERGETSKA_TR%C5%BDI%C5%A0TA, Tablica 1., 17.2.2021.

[9] https://www.hrote.hr/, 17.2.2021.

[10] http://enerpedia.net/index.php/ENERGETSKA_TR%C5%BDI%C5%A0TA, Slika 2., 17.2.2021.

[11] https://www.hera.hr/hr/html/propisi_tenergija.html, 17.2.2021.

[12] Intelligent Energy – Europe, 1. Wood biomass as a fuel

[13] Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu: Regionalizacija poljoprivredne proizvodnje u Zagrebačkoj županiji, 2004.

[14] https://en.wikipedia.org/wiki/Short_rotation_coppice, 17.2.2021.

[15] Đ. Kovačić, D. Kralik, S. Rupčić, D. Jovičić, Spajić, and M. Tišmac: Soybean Straw, Corn Stover and Sunflower Stalk as Possible Substrates for Biogas Production in Croatia: A Review

[16] https://en.wikipedia.org/wiki/Municipal_solid_waste, 17.2.2021.

[17] US Department of Energy: Methodology for Allocating Municipal Solid Waste to Biogenic and Non-Biogenic Energy, 2007.

[18] Delaware Solid Waste Authority : Waste-to-Energy Compared to Fossil Fuels for Equal Amounts of Energy, 2006

[19] Beychok, Milton R.: A data base for dioxin and furan emissions from refuse incinerators, 1987

[20] U.S. Environmental Protection Agency: Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories, 2018.

[21] Chueng Yin, Shuangshuang Li: Advanced grate firing for greater environmental impacts and efficiency for decentralized biomass/waste combustion, 2017.

[22] Daniel Rolph Schneider, Dražen Lončar, Željko Bogdan: Cost Analisys of Waste-to-Energy Plant, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu

[23] Tihomir Tomić, Antun Pfeifer, Dominik Franjo Dominković, Daniel Rolph Schneider, Neven Duić, Allan Schroeder Pedersen: Waste to energy plant operation under the influence of market and legislation condition changes

[24] Roger Sallent Cuadrado : Return temperature influence of a district heating network on the CHP plant production costs, 2009.

[25] Ministarvstvo graditeljstva i prosotornog uređenja: Nacrt Dugoročne strategije za poticanje ulaganja u obnovu nacionalnog fonda zgrada Republike Hrvatske, 2017.

[26] https://www.sumari.hr/biblio/pdf/vrbovec60.pdf, 17.2.2021.

[27] https://korak.com.hr/korak-021-ozujak-2008-gustoca-drva/, 17.2.2021.

[28] https://h2tools.org/hyarc/calculator-tools/lower-and-higher-heating-values-fuels, 17.2.2021.

[29] https://www.wood-database.com/white-willow/

[30] Antun Pfeifer, Dominik Franjo Dominković, Boris Ćosić, Neven Duić: Economic feasibility of CHP facilities fuelled by biomass from unused agriculture land: Case of Croatia

[31] Komunalac Vrbovec d.o.o.: Godišnje izvješće o provedbi plana gospodarenja otpadom za 2019. godinu, 2019.

[32] Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu: Plan gospodarenja otpadom grada Bjelovara 2018.-2023. godine, 2017.

[33] https://www.virtualni-ured.net/racunovodstvo/item/321-stope-amortizacije-otpisa-dugotrajne-imovine.html, 17.2.2021.

[34] https://www.porezna-uprava.hr/obrtnici/Stranice/Porez-na-dobit.aspx, 17.2.2021.

[35] https://eeb.org/waste-no-more-introducing-europes-new-waste-laws/, 17.2.2021.