

# Proizvodnja toplinske i električne energije iz kogeneracijskih postrojenja

---

**Hudoletnjak, Mateo**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:463998>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-24**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
Preddiplomski stručni studij elektrotehnike

Završni rad

**PROIZVODNJA TOPLINSKE I ELEKTRIČNE ENERGIJE  
IZ KOGENERACIJSKIH POSTROJENJA**

Rijeka, rujan 2022.

Mateo Hudoletnjak  
00690716169

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij elektrotehnike

Završni rad

**PROIZVODNJA TOPLINSKE I ELEKTRIČNE ENERGIJE  
IZ KOGENERACIJSKIH POSTROJENJA**

Mentor: Prof. dr. sc. Alfredo Višković

Rijeka, rujan 2022.

Mateo Hudoletnjak

00690716169

Rijeka, 16. ožujka 2022.

Zavod: **Zavod za elektroenergetiku**  
Predmet: **Izgradnja i održavanje elektroenergetskih postrojenja**  
Grana: **2.03.01 elektroenergetika**

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Mateo Hudoletnjak (0069071616)**  
Studij: **Preddiplomski stručni studij elektrotehnike**

Zadatak: **Proizvodnja toplinske i električne energije iz kogeneracijskih postrojenja**

### Opis zadatka:

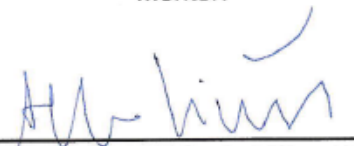
U radu treba razraditi tehnološko rješenje kogeneracije na biomasu s tehničkim karakteristikama (kapacitet, učinkovitost.....) sagledavajući zakonsku regulativu RH te koje zadovoljavaju opskrbu toplinskom i električnom energijom. Referirati se na slične projekte u barem jednoj zemlji Europske unije.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

*Hudoletnjak*

Zadatak uručen pristupniku: 21. ožujka 2022.

Mentor:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. dr. sc. Alfredo Višković

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. dr. sc. Saša Vlahinić

## IZJAVA

Izjavlujem da sam završni rad izradio samostalno, koristeći se vlastitim znanjem, literaturom i provedenim eksperimentima.

Mateo Hudoletnjak

Hudoletnjak

## ZAHVALA

Ovim putem htio bih se zahvaliti svom mentoru prof. dr. sc. Alfredo Višković na vodstvu tijekom pisanja ovog završnog rada, Tehničkom fakultetu na pruženom obrazovanju, svojoj porodici na ukazanoj potpori tijekom obrazovanja. Dodatnu zahvalu htio bih uputiti firmama BE-TO Brinje d.o.o., Leko - biro d.o.o., Šerif export-import d.o.o., Lingum d.o.o., te Projekta d.o.o. koji su mi omogućili pristup svojim internim zapisima i projektima.

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. POSEBNA RAZMATRANJA BIOMASE KAO OBNOVLJIVOG IZVORA ENERGIJE</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1. Energija iz biomase</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2. Drvna i ne drvna biomasa</b> .....	<b>5</b>
<b>2.3. Bioplina i plin iz rasplinjavanja</b> .....	<b>6</b>
<b>2.4. Alkoholna goriva i biodizel</b> .....	<b>6</b>
<b>3. STANDARDI O OBNOVLJIVIM IZVORIMA ENERGIJE PREMA HRVATSKOM ZAKONODAVSTVU I ZAKONODAVSTVU EUROPSKE UNIJE</b> .....	<b>7</b>
<b>3.1. Pravna regulativa i dokumenti Europske unije</b> .....	<b>7</b>
<b>3.2. Pravna regulativa i zakonodavstvo Republike Hrvatske</b> .....	<b>10</b>
<b>4. PROIZVODNJA TOPLINSKE I ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ KOGENERACIJSKIH POSTROJENJA NA BIOMASU</b> .....	<b>13</b>
<b>4.1. Uvodno o temeljnim značajkama kogeneracije</b> .....	<b>13</b>
<b>4.2. Pimjer kogeneracijskog postrojenja na biomasu</b> .....	<b>17</b>
4.2.1. Provjera zaštite SN kabela od preopterećenja .....	<b>29</b>
4.3.2. Proračun mjesta i iznosa najvećeg pada napona u dvostrano napajanom 35 kV kabelu .....	<b>30</b>
<b>4.3. Primjeri dobre prakse kogeneracijskih postrojenja na biomasu na području Europske unije – Austrija, Rumunjska i Finska</b> .....	<b>35</b>
4.3.1. Kogeneracijsko postrojenje na drvenu biomasu u gradu Lienz, Austrija.....	<b>35</b>
4.3.2. Postrojenje područnog grijanja Gresten, Austrija.....	<b>37</b>
4.3.3. Kogeneracijsko postrojenje na drvenu biomasu Holzindustrie Schweighofer Sebes, Rumunjska .....	<b>37</b>
4.3.4. Forssan Energia, kogeneracijsko postrojenje u gradu Forssa, Finska .....	<b>38</b>
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>39</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>41</b>
<b>POPIS OZNAKA I KRATICA</b> .....	<b>45</b>
<b>SAŽETAK</b> .....	<b>46</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>46</b>

## 1. UVOD

Tijekom druge polovice 18. stoljeća počeli su se upotrebljavati parni strojevi koji su svojim daljnjim razvojem postepeno počeli zamjenjivati ljudski rad. Daljnjim razvitkom i proširivanjem mogućnosti uporabe parnog stroja rezultiralo je industrijskom revolucijom koja je kroz 80-ak godina temeljito izmijenila političke, društvene, gospodarske sustave te nam ukazala na „moć“ i mogućnosti uporabe fosilnih goriva. Fosilna goriva su neobnovljive i teško dostupne sirovine koje iziskuju mnogo novaca za pomno projektiranje i izgradnju postrojenja za pribavljanje istih. Iskopavanje fosilnih sirovina veoma je skup, dug i opasan proces po ekologiju i biologiju mora, tla i zraka okopanog prostora, a njihovo korištenje, sagorijevanje, kao produkt ima ugljikov dioksid čija je zastupljenost u zraku posljednjih 30-ak godina eksponentno narasla i time ubrzala prirodni proces globalnog zatopljenja. Pretjeranom industrijalizacijom, korištenjem fosilnih goriva i neodgovornim gospodarenjem prirodnim dobrima promijenila se globalna slika te su razvitak i uporaba obnovljivih izvora energija postali imperativ. Energija biomase, uz solarnu i geotermalnu energiju, energiju vjetra i vode, spada u obnovljive izvore energije. Energijom biomase smatra se sva energija dobivena usitnjavanjem i oksidacijom (gorenjem) organskog materijala. Ova energija, iako se radi o spaljivanju, smatra se obnovljivom jer se izgaranjem bio-materijala u atmosferu vraća jednaka količina ugljikovog dioksida koju je oksidirani materijal ranije asimilirao u svoju masu te se tako postiže ravnoteža između dostupnog i vezanog ugljikovog dioksida u okolišu (atmosferi). Iako, zbog otežane procijene cjelokupnog rasta biomase ovaj izvor spada u sekundarne obnovljive izvore energije, ono i dalje ima veliku gospodarsku važnost u Republici Hrvatskoj. Sa sigurnošću se procjenjuje da se u hrvatskim šumama godišnje akumulira 16 GWh energije što je, ugrubo, ekvivalent energetske potencijalu od 2 milijuna tona nafte [1] te je to bio vjetar u leđa za izgradnju kogeneracijskih postrojenja na biomasu. Zanimljivo je da različiti proizvodi koji se dobiju na taj način mogu biti korišteni na različite načine jer nemaju svi jednak energetske sadržaj. Zajedničkom suradnjom kroz politike obnovljivih izvora energije i sredstava koja su osigurana s ciljem poticanja održivog razvoja države; jasnije se utvrđuju uvjeti koji će uspješno povezati obnovljive izvore energije s rastom i razvojem ruralnih područja, iako nisu sve države uvijek davale dovoljno prednosti projektima koji su se bavili mogućnostima održivog ruralnoj razvoja. Danas se sve više promiče politika razvoja biogospodarstva kroz proaktivno korištenje šumskih i poljoprivrednih površina u ruralnim područjima. Smatra se da se pravilnim korištenjem može pridonijeti smanjenju emisija ispuštanja štetnih stvari. Upravo zato se stavlja naglasak na ulogu lokalne samouprave od koje se zahtijeva da promiče potencijal biomase tako da se stvori prilika poljoprivrednicima da postanu dio procesa njezine dobave kroz aktivno uključivanje ili neposredno sudjelovanje komunalnih poduzeća ili sudjelovanje u osnivanju centara za biomasu. Primjernom



distribuiranog oblika proizvodnje toplinske i električne energije i općenito kroz efikasnost pogona koji se pokreću na biomasu može se postići značajno povećanje korištenja biomase, na primjer kroz osuvremenjivanje upotrebe drveta ili sunca za proizvodnju toplinske i električne energije u ruralnim područjima gdje je veća raspoloživost biomase.

## 2. POSEBNA RAZMATRANJA BIOMASE KAO OBNOVLJIVOG IZVORA ENERGIJE

Biomasa predstavljaju dijelovi proizvoda i otpad, odnosno ostaci iz poljoprivrede. Također definira se i kao šumski otpad i otpad sličnih industrija. S nacionalnog aspekta, u Republici Hrvatskoj korištenje biomase za dobivanje toplinske i električne energije ima dugu tradiciju. Još od 1960. godine biomasa uspješno zadovoljava čak jednu četvrtinu ukupnih potreba. Međutim, pomanjkanje tržišta za energiju koja se dobiva iz biomase te izostanak svijesti o prednostima tog izvora, kako u Republici Hrvatskoj tako i u svijetu primjena biomase ne pokriva onoliko potreba koliko bi s obzirom na svoj potencijal mogla, zbog čega i dalje egzistira kao nedovoljno iskorišten prirodni izvor. [2] Na slici 2.1. prikazani su energetske resursi biomase u Republici Hrvatskoj s obzirom na regionalna područja.

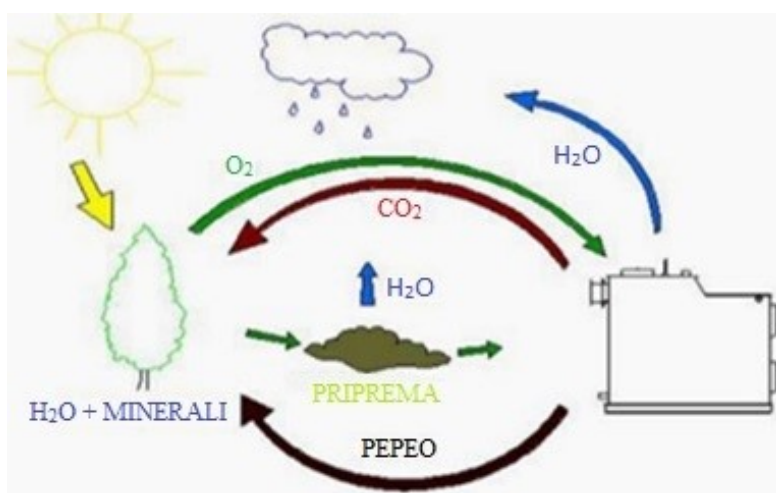


Slika 2.1. Energetske resursi biomase u Republici Hrvatskoj [3]

### 2.1. Energija iz biomase

Drvo se od ranih vijekova koristilo kao osnovni izvor energije, dok se u ruralnim područjima i dan danas koristi kao značajan izvor energije. Kontrolom procesa gorenja i modernom tehnologijom čovjek je razvio moćnu metodu proizvodnje toplinske i električne energije iz materijala koji su naočigled otpaci poput; piljevine, vrtnog otpada i ostataka usjeva. Konkretno, svako paljenje vatre

je zapravo dobivanje energije (toplinske) iz biomase (npr. drvo), no razvojem raznih tehnologija njezino se korištenje proširilo i omogućilo proizvodnju bioplina, biogoriva (ulja, alkoholi) i biodizela. Ovdje se može kao zanimljiv primjer spomenuti djelo Rudolfa Diesela iz 1900. godine koji je predstavio model motora pokrenutog uljem od kikirikija, što ukazuje na činjenicu da se biodizel jednostavno može dobiti od jestivog, a recikliranog otpadnog ulja. [4] Smatra se da je sunčeva energija osnova za nastanak biomase. [5] Javlja se u raznim oblicima. Može biti drvenog podrijetla kao što su na primjer drva, briketi, piljevina, a može biti biljnog ili životinjskog podrijetla kao što su ostaci žitarica, treset, životinjski izmet i sl. Također, biomasa se javlja i u tekućem i plinovitom obliku. Najčešći oblik korištenja biomase je u kotlovima ili termoelektranama koje funkcioniraju po principu mehaničkog rada gdje se u motorima zbiva unutarnje izgaranje. Na slici 2.2. prikazan je kružni tok tvari pri prirodnom procesu izgaranja biomase gdje se aktivnošću mikroorganizama organska masa preobražava u vodu, mineralne tvari, ugljikov dioksid i energiju koja kao takva ponovno postaje dostupna drugim organizmima u hranidbenom lancu. Kada se sagledaju njezine specifičnosti o kojima će se više pričati u nastavku rada, može se reći da je biomasa zapravo jedini obnovljivi izvor energije koji se promatra kao energent koji ima svoje derivate. Također, energija dobivena iz biomase se može i skladištiti, a može se iskoristiti i dalje od mjesta gdje nastaje. Jednako tako omogućuje da se sam proces odvija kontinuirano, što je posebno važno jer takva korist može posebno doprinijeti lokalnoj zajednici.



Slika 2.2 Kruženje ugljika u prirodi

Biomasa kao obnovljivi izvor energije može biti:

- drvena biomasa (ostaci šumarstva, otpadno drvo)
- nedrvna uzgojena biomasa (brzorastuće alge i trave)
- ostaci i otpaci iz poljoprivrede
- životinjski otpad i ostaci. [6]

Izgaranjem biomase dobivamo biogoriva koja dijelimo u tri generacije. U prvu generaciju ubrajamo bioetanol, bioplin i biodizel. Od biljaka sa znatnim postotkom ulja se dobiva biodizel (uljna repica), a od biljaka bogatim šećerom se proizvodi bioetanol (kukuruz, šećerna trska). Preradom biljnog i šumskog otpada dobivaju se biogoriva druge generacije, a u procesu proizvodnje su celulozni etanol, biohidrogen, biometanol, biometilen, HTU dizel, Fischer – Tropschov dizel, drveni plin i dr. Upotreba biogoriva druge generacije bi mogla, za razliku od biogoriva prve generacije, znatno smanjiti emisiju ugljikovog dioksida. Biogoriva treće generacije su proizvedena iz algi koja na temelju raznih laboratorijskih ispitivanja ukazuju na činjenicu da alge mogu proizvesti i do trideset puta više energije po hektaru zemljišta od žitarica kao što je npr. soja. Osim što je financijski i količinski pogodnije rješenje, biogorivo treće generacije je i biorazgradivo što ima pozitivan učinak na okoliš. [7] Najznačajnijim svojstvom biomase ističe se količina energije koja se iz nje može dobiti kroz transformaciju i primjenu. Njezin energetska sadržaj najbolje se prikazuje promatranjem ogrjevnosti uzimajući u obzir gornju (*H<sub>g</sub>*) i donju (*H<sub>d</sub>*) ogrjevnost. [6] Gornja ogrjevna vrijednost je mjerena količina toplinske energije dobivena potpunim izgaranjem jedinične količine goriva, pri čemu je uključena i toplina kondenzacije vodene pare. Donja ogrjevna vrijednost prati isti postupak kao i gornja, ali se ne uključuje toplina kondenzacije vodne pare. Pri opisivanju efikasnosti sustava uzima se donja ogrjevna vrijednost jer ona prikazuje realniju situaciju. [1]

## 2.2. Drvna i ne drvna biomasa

Drvna biomasa ima jednake značajke kao i svako drugo gorivo. To se odnosi na njezin kemijski sastav, ogrjevnost, temperaturu samozapaljenja i izgaranja, te općenito fizikalna svojstva koja imaju utjecaj na ogrjevnost. Specifičnost drvene biomase jest u tome što se na primjer kod primjene u sustavima grijanja za stambene zgrade može koristiti drvo čije izgaranje može biti optimalno, ni prebrzo ni prelagano. Žar može biti dugotrajan. Obično se koristi grab ili bukva. [2]

Ostaci iz poljoprivrede, odnosno poljoprivredna biomasa predstavlja ne drvenu biomasu. Njene sirovine mogu biti ljuške, kukuruzovina, slama, ostaci od rezidbe jabučne kore, i maslina. Na njezine ogrjevnosti jednako utječe i vlaga i pepeo. Pepeo može zauzimati do 20% udjela u ne drvnim ostacima, što svakako uvelike utječe na ogrjevnost. [6] Čestice koje sadržava pepeo zapravo nemaju nikakvu energetska vrijednost. Nedostatak ne drvene biomase leži u ogrjevnoj vrijednosti. Zbog visoke razine vlage može biti nepovoljna. Uglavnom se obrađuje baliranjem, prešanjem i peletiranjem. Osim poljoprivrednih ostataka i drugog otpada važno je istaknuti da

gotovo uvijek postoji mogućnost njezinih izvora kada se različite biljne vrste uzgajaju s istovremenim velikim prinosima. Tipičan primjer je trska, bambus, i konoplja.. Poznata je i činjenica da u Republici Hrvatskoj egzistira i brzorastuće drveće, a pri tome je najviše prinosa od topole i vrbe. Zanimljiv je i podatak da se sve više posvećuje pažnje ne drvnoj masi jer se može primjenjivati kao gorivo umjesto fosilnih goriva. Etanol koji se dobiva iz kukuruza, pšenice ili šećerne repe danas je jedan od najrasprostranjenijih goriva. [8]

### **2.3. Bioplin i plin iz rasplinjavanja**

Anaerobnim truljenjem biomase nastaje bioplin. Pod anaerobnim truljenjem podrazumijeva se bakterijska razgradnja (hidroliza, kisela faza i faza metana). Bioplin sadrži oko 60% metana, 35%  $CO_2$  i 5% smjese amonijaka, vodika, dušika, sumporovodika, vodene pare i kisika. Najčešće se koristi za dobivanje toplinske i električne energije. Proces se odvija kroz izgaranje u plinskim motorima, turbinama i kotlovima. Budući da je temperatura osnovni parametar za funkcioniranje procesa dobivanja energije, procesi se dijele na psihofilni, mezofilni i termofilni. Uslijed vrenja prilikom proizvodnje bioplina odvija se prirodni ciklus te se dobiva visoko kvalitetno biogorivo. Može se dobiti čak i stočno hranivo. [6]

Iz biomase se može proizvoditi plin rasplinjavanjem. Radi se o procesu starom čak više od 180 godina. Kroz izgaranje krute biomase nastaje plin pri čemu je specifično da u rektoru zrak protječe ulaskom odozdo, odozgo ili tako da uđe u sloj gdje se nalazi biomasa. O tome kako će se odvijati rad u generatoru ovisi na koji način će zrak strujati. Uslijed rasplinjavanja biomasa prelazi u oblik gorivih plinova, a sastav samog plina ovisi o nekoliko čimbenika. To su ponajprije temperatura, tlak, klima i vrsta procesa. Smatra se da su postrojenja za rasplinjavanje budućnost široke proizvodnje energije iz biomase. [6] Navedeno ovisi o razvoju tehnologija koje će to omogućiti, ali činjenica je da postoje u mnogim zemljama te se, neki smatraju, očekuje i njihova veća isplativost. [2]

### **2.4. Alkoholna goriva i biodizel**

Šećer, škrob i celuloza osnovne su vrste biomase od kojih se može proizvoditi etanol jer su bogate šećerom. Budući da su bogati glukozom i fruktozom izravna fermentacija je vrlo jednostavna. U proizvodnji etanola zapravo se odvijaju tri faze: priprema, fermentacija i destilacija. U proizvodnji metanola koriste se još i sirovine s visokom celulozom poput drveta, iako je tehnologija u bitnome različita od one koja se koristi za dobivanje etanola. [6] Biodizel je s druge strane metilni ester koji

se dobiva od ulja repice ili nekog drugog recikliranog, ali jestivog ulja. U praksi se može vidjeti i miješanje sa dizelskim gorivom. Poznato je i da se biodizel može proizvoditi od goveđeg ulja ili starog jestivog ulja. Ipak se kao najznačajnija sirovina ističu uljana repica i suncokret. Miješanjem 20% biodizela i 80% fosilnog goriva dobiva se B20, a kada se uzima omjer od 5% biodizela B, a 2% biodizela B2. Mješavine dizela sa njegovim udjelom od 80% koriste se samo s manjim izmjenama i to u pravilu na već postojećim dizelskim motorima. Da bi se koristio u 100% omjeru zahtijevaju se preinake na motoru. [2] Jednako tako treba reći da mu je glavna prednost mogućnost potpune iskoristivosti procesa koji se odvija uz minimalne gubitke i u omjeru 1l ulazne sirovine = 1l biodizela. Glavni nedostatak mu je velika cijena ulaznih sirovina. [9]

### **3. STANDARDI O OBNOVLJIVIM IZVORIMA ENERGIJE PREMA HRVATSKOM ZAKONODAVSTVU I ZAKONODAVSTVU EUROPSKE UNIJE**

Republika Hrvatska ima veliki broj energetske zakona i drugih pravnih propisa kojima se regulira pitanje obnovljivih izvora energije. Kao punopravna članica Europske unije u obvezi je usklađivati svoje zakonodavstvo sa pravnom stečevinom Europske unije. Kako se ona neprestano razvija mora voditi računa da se nacionalno zakonodavstvo kontinuirano usklađuje. Standardi o obnovljivim izvorima energije u pravnim dokumentima i zakonodavstvu Europske unije i Republike Hrvatske s vremenom su prošireni i sve više usmjereni na obnovljive izvore energije i pitanje energetske učinkovitosti.

#### **3.1. Pravna regulativa i dokumenti Europske unije**

U Europskoj uniji je unazad 100-tinjak godina donesen veliki broj direktiva, uredbi, rezolucija pa i odluka vezano za promicanje uporabe obnovljivih izvora energije. Svaki od njih daju smjernice za daljnji razvoj država članica s naglaskom da usklade svoje energetske zakonodavstvo i praksu sa propisanim osnovnim standardima, koji prije svega počivaju na brojnim načelima počev od sigurnosti opskrbe energijom. Neke od njih s vremenom su novijim rješenjima i u novijim direktivama stavljene izvan snage dok su neke i dalje na snazi.

**Direktiva (EU) 2018/2001 Europskog parlamenta i Vijeća od 11. prosinca 2018.** o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora energije kojom je revidirana **Direktiva 2009/28/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. travnja 2009.** o promicanju uporabe energije iz

obnovljivih izvora energije najvažniji je dokument Europske Unije koji promiče energetske politiku s ciljem smanjenja emisija stakleničkih plinova za najmanje 40% ispod razina iz 1990. do 2030. godine. Ovom Direktivom se ukazuje na to da je povećana uporaba obnovljivih izvora energije za dobivanje energije osnova za ispunjenje navedenog cilja. Kroz elemente za razvoj električne energije, grijanja i hlađenja iz obnovljivih izvora energije, državama članicama se ukazuje na obvezu unaprjeđenja svijesti o zaštiti okoliša. Osim toga, Direktivom se ukazuje na to da je uporaba obnovljivih izvora energije važna za održivost energije i pristupačnost njenih cijena, tehnološki i industrijski napredak, zapošljavanje i posebno za ruralni razvoj u ruralnim i udaljenim područjima, te područjima koja su manje naseljena i bez adekvatne industrijalizacije. Direktivom iz 2018. godine kojom je istoimena Direktiva iz 2009. godine revidirana postavljen je cilj da Europska unija održi položaj globalnog predvodnika u odnosu na obnovljive izvore energije. Prema toj Direktivi najmanje 32% energije mora proizlaziti iz obnovljivih izvora energije u njezinoj konačnoj potrošnji u Europskoj uniji za 2030. godinu. [10]

**Direktiva 2009/72/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 13. srpnja 2009.** o zajedničkim pravilima za unutrašnje tržište električne energije i opozivu Direktive 2003/54/EZ i **Direktiva (EU) 2019/944 Europskog Parlamenta i Vijeća od 5. lipnja 2019.** o zajedničkim pravilima za unutarnje tržište električne energije i izmjeni Direktive 2012/27/EU, ukazuju na model tržišta električne energije prema kojemu se treba osigurati porast upotrebe obnovljive energije, a glavni cilj je osiguranje zajedničkih pravila prema kojima bi se uspostavilo unutarnje tržište sa širokom ponudom električne energije koja bi bila dostupna svima. Ukazuju na potrebu poticanja prekograničnih povezivanja i ulaganja u proizvodnju električne energije dugoročno, uzimajući pri tome u obzir konvergenciju cijena. [11] [12]

**Direktiva 2009/73/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 13. srpnja 2009.** o zajedničkim pravilima za unutrašnje tržište prirodnog plina i opozivu Direktive 2003/55/EZ, kao jedan od glavnih ciljeva postavlja određivanje zajedničkih pravila da bi se osiguralo unutarnje tržište te široka ponuda plina uz nenarušavanje tržišnih cijena, što treba predstavljati poticaj za prekogranične spojne plinovode. Direktivom se pozivaju države članice da nametnu obveze poduzećima iz sektora plina da uključuju sigurnost opskrbe, kvalitetu i redovitost cijena isporuke i zaštitu okoliša, uz energetske učinkovitost i uporabu energije iz obnovljivih izvora energije. Pri tome s jedne strane ova direktiva zahtijeva otvoreno tržište električne energije, a s druge postavlja još čvršće zahtjeve u odnosu na ranije direktive vezane za uvođenje energetskog sektora i tzv. univerzalnih usluga za krajnje kupce s obzirom na kategoriju kućanstva s opskrbom kvalitetnom energijom prema usporedivim i za sve jednakim cijenama. [13]

**Direktiva 2005/89/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 18. siječnja 2006.** o mjerama zaštite sigurnosti opskrbe električnom energijom i infrastrukturnim ulaganjima utvrđuje mjere kojima je cilj provedba pravilnog funkcioniranja tržišta energije i osiguravanje proizvodnih kapaciteta, ravnoteže između potražnje energije i opskrbe, te međusobna suradnja država članica radi razvoja tržišta. [14] Ovom se direktivom utvrđuje stabilna i ne diskriminirajuća politika za opskrbu električnom energijom.

**Direktiva 2004/8/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 11. veljače 2004.** o promicanju kogeneracije na temelju potrošnje korisne energije u unutrašnjem tržištu energije koja dopunjuje i izmjenjuje Direktivu 92/42/EEZ ima za svrhu razvoj i promicanje visoke učinkovitosti kogeneracije toplinske i električne energije. Ova direktiva počiva na potrebi uspostave toplinske i rashladne energije na način da se uslijed proizvodnje vodi računa o štednji primarne energije i sprječavanju otpuštanja emisija ugljičnog dioksida u atmosferu. Obvezuje države članice da poštivanjem kriterija direktive analiziraju učinkovitost kogeneracije. Direktiva definira visokoučinkovitu kogeneraciju kao tehnologiju čija je primarna svrha ušteda energije od 10% prema odvojenoj proizvodnji toplinske i električne energije. Samo postrojenja do 1 MWe smatra visokoučinkovitim uz obvezu da štede primarnu energiju. [15]

Važnim u području promicanja energetske osviještenosti i politike raspolaganja obnovljivim izvorima energije pokazale su se i nešto starije direktive poput: Direktive Vijeća 2003/96/EZ od 27. listopada 2003. o restrukturiranju sustava oporezivanja energetske proizvoda i električne energije [16], Direktiva Vijeća 2003/92/EZ od 7. listopada 2003. kojom se izmjenjuje i dopunjuje Direktiva 77/388/EEC u vezi s pravilima u području opskrbe plinom i električnom energijom [17], Direktiva 2003/54/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 26. lipnja 2003. o zajedničkim pravilima za unutrašnje tržište električne energije i opozivu Direktive 96/92/EZ [18], Direktiva 2003/30/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 8. svibnja 2003. o poticanju korištenja biogoriva i drugih obnovljivih goriva za potrebe prijevoza [19].

Osim spomenutih direktiva, pravnu stečevinu Europske unije o energiji čini i čitav niz uredbi. Neke od njih su:

1. Uredba Komisije (EU) br. 312/2014 od 26. ožujka 2014. o uspostavljanju mrežnih pravila o uravnoteženju plina transportnih mreža,
2. Uredba (EZ) 713/2009 Europskog parlamenta i Vijeća od 13. srpnja 2009. o osnivanju Agencije za suradnju energetske regulatora,



3. Uredba (EZ) 714/2009 Europskog parlamenta i Vijeća od 13. srpnja 2009. o uvjetima pristupa mreži za prekogranične razmjene električne energije i opozivu Uredbe (EZ) 1228/2003,
4. Uredba (EZ) 715/2009 Europskog parlamenta i Vijeća od 13. srpnja 2009. o uvjetima pristupa sustavu plinovoda za transport prirodnog plina i opozivu Uredbe (EZ) 1775/2005,
5. Uredba (EZ) 1228/2003 Europskog parlamenta i Vijeća od 26. lipnja 2003. o uvjetima pristupa mreži za prekogranične razmjene električne energije,
6. Uredba Komisije (EU) 2017/2195 od 23. studenoga 2017. o uspostavljanju smjernica za električnu energiju uravnoteženja. [20]

Neki od glavnih legislativnih dokumenata koji su bili osnova za razvitak energetskega sektora u Europskoj uniji i donošenje direktiva i uredbi su:

1. Bijela knjiga o energetskej politici iz 1996. godine
2. Bijela knjiga o obnovljivim izvorima energije iz 1997. godine
3. Zelena knjiga prema europskej strategiji za sigurnost energetske opskrbe iz 2000. godine
4. Zelena knjiga o energetskej učinkovitosti ili kako učiniti više s manje iz 2005. godine
5. Zelena knjiga o europskej strategiji za održivu, konkurentnu i sigurnu opskrbu energijom iz 2006. godine.

Također treba spomenuti i Akcijske planove o energetskej učinkovitosti, te Prijedloge europske energetske politike 2007., 2011. i 2014. godine koji počivaju na promicanju korištenja obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti kroz smanjenje stakleničkih plinova, povećanje udjela obnovljivih izvora energije i biogoriva u prometu. Jednako tako Europska komisija je predložila i provedbu zasebne kampanje za promociju obnovljivih izvora energije, a u kojoj se posebno ukazuje na važnost primjene adekvatnih tehnologija. U sklopu toga je objavila i Priopćenje o alternativnim gorivima za korištenje u cestovnom prometu i skupu mjera za poticanje korištenja biogoriva, a nastavno je nastala i Direktiva o promociji upotrebe biogoriva u prometu, 2003/30/EC, usvojena 8. svibnja 2003. [21]

### **3.2. Pravna regulativa i zakonodavstvo Republike Hrvatske**

U Republici Hrvatskoj je trenutno na snazi veći broj zakona koji reguliraju energetske sektor. To je dodatno ojačano i ulaskom u Europsku uniju i obvezom da se hrvatsko nacionalno zakonodavstvo uskladi sa pravnom stečevinom Europske unije.

Najvažniji hrvatski energetske zakoni koji su trenutno na snazi su:

1. Zakon o energiji,

2. Zakon o tržištu električne energije,
3. Zakon o tržištu plina,
4. Zakon o terminalu za ukapljeni prirodni plin,
5. Zakon o tržištu toplinske energije,
6. Zakon o tržištu nafte i naftnih derivata,
7. Zakon o biogorivima za prijevoz,
8. Zakon o regulaciji energetske djelatnosti,
9. Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji,
10. Zakon o energetske učinkovitosti
11. Zakon o uspostavi infrastrukture za alternativna goriva.

**Zakon o energiji** („Narodne novine“, br. 120/12, 14/14, 102/15, 68/18) je temeljni zakon u Republici Hrvatskoj koji definira strateški plan energetske razvitka. Tim se zakonom utvrđuje politika i plan energetske razvitka Republike Hrvatske s posebno izraženim stajalištem prema obnovljivim izvorima energije i kogeneraciji za koje se smatra da je njihovo korištenje u interesu države. [22]

**Zakon o tržištu električne energije** („Narodne novine“ br. 22/13, 102/15, 68/18, 52/19) uređuje mjere pouzdanije proizvodnje, distribucije i opskrbe električnom energijom. Utvrđuje pravila u odnosu na kupce i organizaciju te funkcioniranje sektora električne energije s posebnim naglaskom na opće usluge i prava kupaca električne energije, pristup mreži i prekogranični prijenos električne energije. [23]

**Zakon o tržištu toplinske energije** („Narodne novine“ br. 80/13, 14/14) uređuje mjere kojima se promiče sigurna opskrba toplinskom energijom, kao i toplinski sustavi za grijanje i hlađenje. Jednako tako propisuje standarde za distribuciju toplinske energije i izgradnju toplinske mreže. Ukazuje na važnost očuvanja sigurne i pouzdane proizvodnje i opskrbe toplinskom energijom u svim toplinskim sustavima. [24]

**Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji** („Narodne novine“ br. 100/15, 111/18) također je vrlo važan kada je u pitanju planiranje i poticanje potrošnje obnovljivih izvora energije umjesto neobnovljivih. Zakon to pitanje uređuje s naglaskom na proizvodna postrojenja koja koriste takve izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju. Uređuje pitanje izgradnje postrojenja koja će proizvoditi električnu energiju iz obnovljivih izvora nacionalne i međunarodne energetske standarde. Ovaj zakon jasno nameće obvezu pridržavanja

standarda o izgradnji proizvodnih postrojenja i stjecanju statusa tzv. povlaštenog proizvođača električne energije u odnosu na sva ona postrojenja koja koriste bilo koje oblike obnovljivih izvora energije i/ili visokoučinkovitu kogeneraciju. [25]

**Zakon o energetskej učinkovitosti** („Narodne novine“ br. 127/14, 116/18, 25/20, 41/21) uređuje pitanja učinkovitog korištenja energije, kao i pitanja donošenja planova ne samo na lokalnoj i regionalnoj razini, već promatrajući s cjelokupnog nacionalnog aspekta. [26] Sveobuhvatnim sagledavanjem njegovih odredaba proizlazi da je donesen s ciljem općenitog poboljšanja energetske učinkovitosti u Republici Hrvatskoj. Zakonom se uređuje i obveza energetske regulatornih tijela i operatora na obvezu promicanja strategije uštede energije i primjenu mjera energetske učinkovitosti.

Što se tiče ostalih energetskej propisa u Republici Hrvatskoj posebnu pažnju treba obratiti i na **Strategiju energetskej razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu** („Narodne novine“ br. 25/20). [27] Usvajanjem ove Strategije, kojom je na neki način revidirana ranija istoimena strategija za razdoblje do 2020. godine, korištenje kogeneracije i obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj je dobilo veliku deklarativnu potporu osnaženu sa naprijed navedenim zakonodavnim okvirom. Cilj je prikazati temeljne odrednice na kojima će počivati razvoj hrvatskej energetskej sektora. Postavljen je cilj da se do 2030. godine smanje emisije stakleničkih plinova za 7% u sustavu izvan trgovanja emisijskim jedinicama u odnosu na 2005. godinu, dok se do 2050. godine očekuje ostvarenje smanjenja emisija stakleničkih plinova s putanjom koja se nalazi u nisko-ugljičnom prostoru NU1 i NU2, pri čemu je naglasak na NU2. [27]

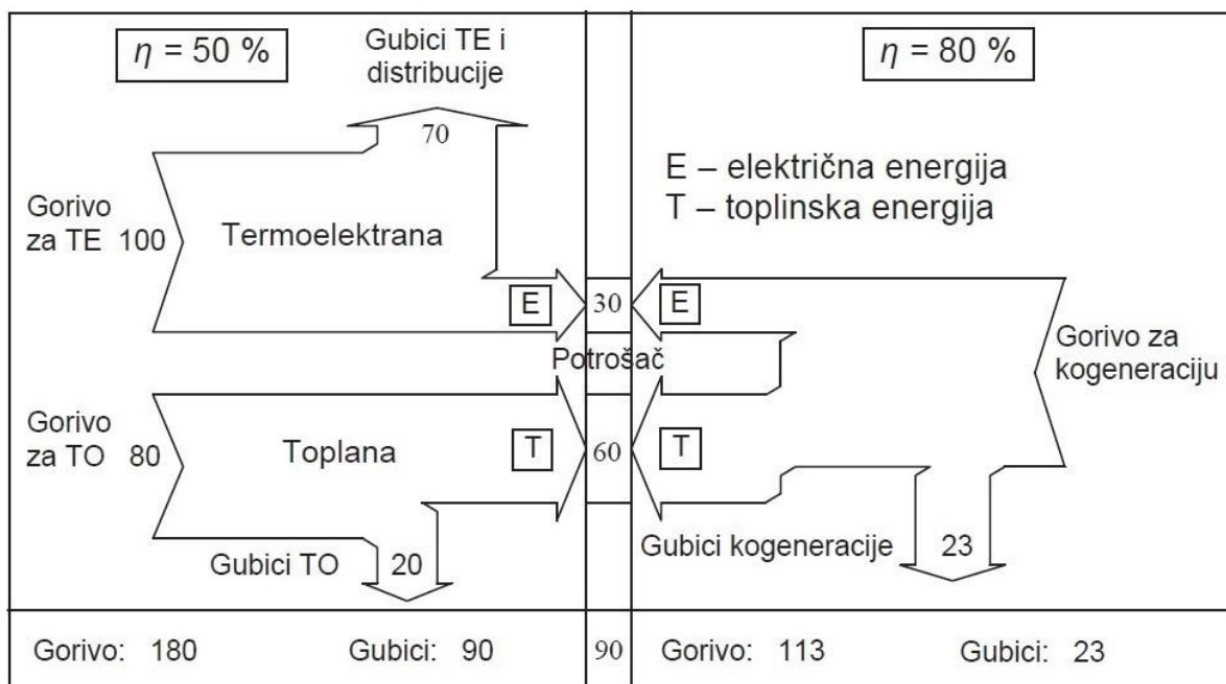
Osim navedene strategije važnim se ukazuju i Uredba o kriterijima za stjecanje statusa ugroženih kupaca energije iz umreženih sustava („Narodne novine“ br. 95/15), Uredba o poticanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitej kogeneracije („Narodne novine“ br. 116/18), Pravilnik o sustavu obveze energetskej učinkovitosti („Narodne novine“ br. 41/18), Pravilnik o sustavu za praćenje, mjerenje i verifikaciju ušteda energije („Narodne novine“ br. 33/20) i Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije („Narodne novine“ br. 133/13, 151/13, 20/14, 107/14, 100/15). [21] [28]

## **4. PROIZVODNJA TOPLINSKE I ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ KOGENERACIJSKIH POSTROJENJA NA BIOMASU**

Potencijal biomase iskorištava se za proizvodnju toplinske i električne energije u kogeneracijskim postrojenjima, a proizvodnja može biti vrlo učinkovita posebno za ruralne teritorijalne jedinice. Ako se na primjer koristi bioplin u kogeneracijskim postrojenjima, proces se odvija tako da se on najprije suši kako bi se očistio, a zatim se ugrije do određene temperature. Prije dolaska do motora prolazi kroz spremnik u kojemu se nalazi aktivni ugljen jer se najprije mora odstraniti sumpor iz bioplina. U pravilu, svaki energent, bilo da se radi o bioplinu ili nekoj drugoj vrsti biomase mora najprije proći čišćenje da bi uopće mogao doći do motora i krenuti u proces proizvodnje energije. U praksi se često koriste kogeneracijska postrojenja izvedbom termoelektrane blokovskog tipa koje imaju motore na izgaranje. Motori (plinski-dizel motor, plinski Otto motor) su povezani s generatorom. Dobivena toplinska energija može se koristiti prvenstveno za grijanje. Može čak poslužiti i za daljnju proizvodnju električne energije. Električna energija najčešće se predaje dalje u distribucijsku mrežu. Korištenje biomase za pogon kogeneracijskih postrojenja omogućuje i zbrinjavanje prirodnog otpada. Izgradnja takvih postrojenja zahtijeva poštivanje određenih zakonitosti i uzimanje u obzir različitih čimbenika da bi se uopće mogla utvrditi isplativost. Prema nekim istraživanjima trošak proizvodnje električne energije iz bioplinskog kogeneracijskog postrojenja isplativo je ako investicijska strana posjeduje odgovarajući dio sirovina biomase za proizvodnju, čak i onda kada bi se sve sirovine mogle nabaviti, ali isključivo po povoljnim cijenama. [29]

### **4.1. Uvodno o temeljnim značajkama kogeneracije**

Intenzivni razvoj kogeneracijskih postrojenja zadnjih 200 godina omogućio je pojavu nove opreme zbog koje su danas u praksi primjenjiva kogeneracijska postrojenja za različite sustave. [30] Kogeneraciju treba shvatiti kao tehnologiju za istovremenu proizvodnju toplinske i električne energije. Koristi se na svim mjestima gdje postoji potreba istovremene opskrbe toplinskom i električnom energijom. Osim za područje industrije pogodna je za sustave daljinskog grijanja, pa tako i za potrebe ruralnih teritorijalnih jedinica. Prednost takvog sustava za proizvodnju energije je vidljiva u odnosu na uštedu energije. Za istu količinu konvencionalnih oblika energije u odnosu na ostala, kogeneracijsko postrojenje može isporučiti čak više od 40% toplinske i električne energije nego sustav odvojene opskrbe (ilustrirano na slici 4.1.) [31]



Slika 4.1. Usporedba energetske učinkovitosti kogeneracije i odvojene proizvodnje [32]

Kogeneracijska postrojenja mogu biti veličine od nekoliko kW pa do više stotina MW. U pravilu se malim kogeneracijskim postrojenjima smatraju ona čija snaga ne prelazi 1 MWe, a mikrokogeneracijama se smatraju ona čija je snaga do 50 kWe. [31]

Svako kogeneracijsko postrojenje ima sljedeće osnovne cjeline:

1. kogeneracijski proces u pogonskom energetskom agregatu
2. uređaj za dobavu i pripremu goriva
3. postrojenje za proizvodnju električne energije
4. sustav za korištenje otpadne topline
5. sustav ispušnih (dimnih) plinova
6. upravljački i kontrolni sustav. [30]

Na korištenje kogeneracijskog sustava mogu utjecati sljedeći čimbenici:

1. energetska kapacitet postrojenja,
2. učinkovitost postrojenja
3. kvaliteta odnosno energetski nivo proizvedene toplinske energije,
4. odnos proizvodnje električne i toplinske energije. [30]

Što se tiče priključka na distribucijsku mrežu, kogeneracijsko postrojenje u pravilu radi po principu usporednog rada s električnom distributivnom mrežom. Istovremeno se podmiruju vlastite potrebe

i potrebe vanjske mreže na koje uglavnom odlaze viškovi iz proizvodnje energije. To nije jedini način jer kogeneracijsko postrojenje može naravno raditi i kao odvojeno za proizvodnju toplinske i električne energije za neki konkretan kompleks. Čak su moguće i kombinacije tako da se koristi paralelni pogon s istovremenom mogućnošću korištenja odvojenog pogona. [30]

U literaturi se ističe koncepcija kogeneracijskih sustava s obzirom na pogonske agregate. Prema tome se razlikuju:

1. kogeneracija na bazi parnih turbina,
2. kogeneracija na bazi plinskih turbina,
3. kogeneracija na bazi motora s unutarnjim izgaranjem
4. kogeneracija na bazi kombiniranog ciklusa
5. kogeneracija na bazi gorivih ćelija.

Postoje i druge tehnologije, kao što su stapni parni motori, ali one se rijetko koriste, posebno u komercijalnom pogonu. [30]

Motori koji funkcioniraju po principu unutarnjeg izgaranja ili plinske turbine s malom snagom obično se koriste kada je u pitanju opskrba električne energije u malim količinama. U slučaju da potražnja prelazi 3 MWe pretežno se koriste plinske turbine. Kod industrijskih kogeneracija koje su veće snage koriste se parne turbine, ali vrlo rijetko. Uglavnom rade prema kombiniranom ciklusu. Na slikama 4.2. i 4.3. prikazane su osnovne karakteristike kogeneracijskih procesa, te karakteristike s obzirom na kvalitetu energije i kapacitet postrojenja. [30]

Vrsta agregata	Gorivo	Kapacitet [MWe]	Učinkovitost		Temperaturna razina	Najčešća primjena
			Električna	Ukupna		
Parna turbina	bilo koje	500 kW <sub>e</sub> -500 MW <sub>e</sub>	7-20 %	60-80 %	120 - 400°C	korištenje biomase (područno grijanje i industrija)
Plinska turbina	plinovito i tekuće	250 kW <sub>e</sub> -50MW <sub>e</sub>	25-42 %	60-87 %	120 - 500°C	industrija, područno grijanje

Slika 4.2. Osnovne karakteristike kogeneracijskih procesa s obzirom – parna i plinska turbina [30]

Vrsta agregata	Gorivo	Kapacitet [MWe]	Učinkovitost		Temperaturna razina	Najčešća primjena
			Električna	Ukupna		
Kombinirani ciklus	plinovito i tekuće	3MW <sub>e</sub> -300 MW <sub>e</sub>	35-60 %	70-90 %	120 - 400°C	industrija (procesna), područno grijanje
Plinski i Diesel motor	plinovito i tekuće	3kW <sub>e</sub> -20MW <sub>e</sub>	25-45 %	65-92 %	80 - 120°C	GVK sustavi, prehrambena i tekstilna industrija, staklenici
Goriva ćelija	plinovito i tekuće	3kW <sub>e</sub> -3MW <sub>e</sub>	~37-50 %	~85-90 %	80 - 100°C	GVK sustavi
Stirling motor	bilo koje	3kW <sub>e</sub> -1,5 MW <sub>e</sub>	~40 %	65-85 %	80 - 120°C	GVK sustavi

Slika 4.3. Osnovne karakteristike kogeneracijskih procesa - kombinirani ciklus, plinski i diesel motor, gorivu ćeliju, stirling motor [30]

Ako postoji potreba za toplinskom energijom koriste se motori koji funkcioniraju po principu unutarnjeg izgaranja. Negdje se zahtijeva da to bude u obliku pare, negdje kao vrela voda. Kod plinskih turbina s motorom koji djeluje po navedenom principu ispušni plinovi se mogu direktno koristiti, obično u svrhu sušenja i sličnih procesa. [30]

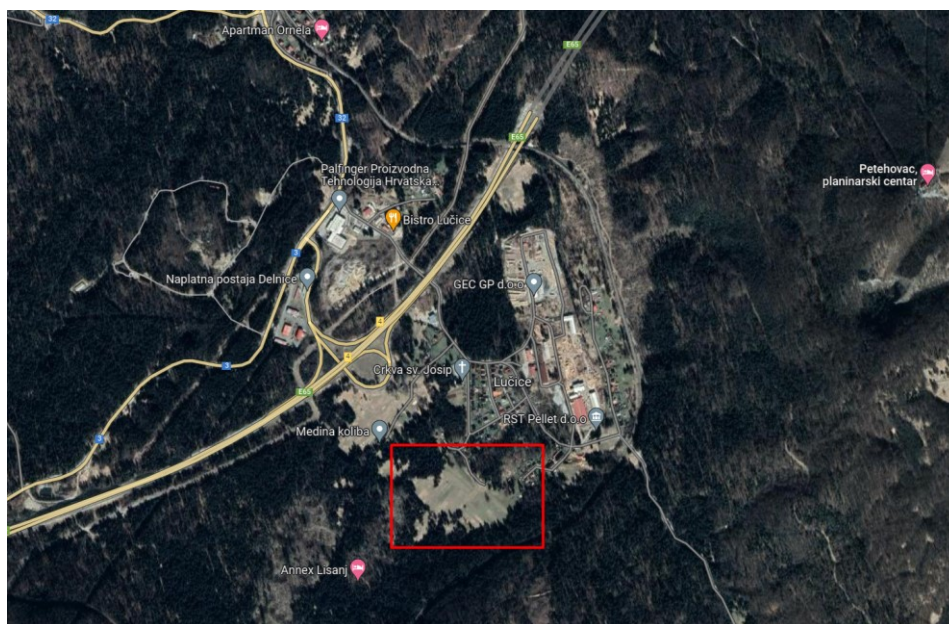
Suvremeni sustavi bioenergana imaju vrhunska tehnološka dostignuća kada je u pitanju pretvorba energije iskorištavanjem drveta, naročito u kogeneraciji i za grijanje obiteljskih kuća. Aktualna mjerenja o takvim postrojenjima ukazuju da su štetne emisije iz njih znatno ispod propisanih ograničenja. Korištenje biomase u postrojenju za grijanje do snage 1000 kW (1 MW) smatra se malim toplinskim sustavima. Takva su postrojenja manja, a i kod njih su vidljive i neke razlike od sustava područnog grijanja. U zemljama Europske unije uglavnom prevladavaju automatizirana postrojenja na drvenu masu i slamu. U sustavima područnog grijanja gdje se koristi biomasa kao osnovni izvor pogona kogeneracija toplinski sustavi su snage od 1 do 10 MWt s upotrebom drvne mase ili slame različitog podrijetla. Kotlovi na biomasu su u pravilu dimocijevni do 25 MW ili vodocijevni koji rade za veće industrije i postrojenja snage od 2 do 50 MW. U niskotlačnim kotlovima je proizvodnja topline iz biomase najraširenija u manjim pogonima. Takva se postrojenja i kotlovi izvode kao vrelovodni, toplovodni i niskotlačni parni. U visokotlačnim kotlovima se toplina iz biomase izvodi s pomoću većih pogona radi zadovoljenja potreba grijanja viših parametara. Postoje i parni kotlovi koji rade s parnom turbinom. Kapacitetu se kreću između 10 i 50 t/h. [30]

Uredbom o poticanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitih kogeneracija („Narodne novine“ br. 100/15, 123/16, 131/17 i 111/18, 60/20) definirana se mala kogeneracijska jedinica i mikrokogeneracijska jedinica. Prema članku 3. uredbe mala kogeneracijska jedinica je ona čiji instalirani kapacitet ne prelazi 1 MWe, a mikro ona čiji je najveći kapacitet manji od 50 kWe. Klasifikacija kogeneracijskih postrojenja i elektrana na biomasu je nadalje definirana u članku 4. Kogeneracijska postrojenja koja koriste otpad i druge obnovljive izvore energije su mikro snage do 50 kW, mala snage od 50 kW do 500 kW, postrojenja snage veće od 500 kW do 2 MW, te ona čija snaga prelazi 2 MW. Elektrane na biomasu nadalje su također klasificirane prema instaliranoj snazi i to do uključivo 50 kW, veće od 50 kW do uključivo 500 kW, veće od 500 kW do uključivo 2 MW, veće od 2 MW do uključivo 5 MW i veće od 5 MW.

Već je prethodno u radu navedeno da su mala kogeneracijska postrojenja na biomasu zapravo najoptimalniji izbor kada je u pitanju opskrba toplinskom i električnom energijom u ruralnim područjima, naročito manjih mjesta i gradova. Najpovoljnije je rješenje kada je sam tehnološki proces postrojenja, na primjer tehnološki otpad, izvor goriva, pa se tako rješava i pitanje zbrinjavanja otpada i pitanje proizvodnje energije. Može se reći da izgradnja kogeneracijskog postrojenja ispunjava svoju svrhu na nekom području samo onda kada uistinu i postoji potrošnja proizvedene topline.

#### 4.2. Pimjer kogeneracijskog postrojenja na biomasu

Za kogeneracijsko postrojenje na biomasu potrebna je velika količina goriva, u ovom slučaju to je drvo i njegovi ostaci poput piljevine i kore. Zbog velikog obujma i količine goriva potrebnog za rad, za postrojenje je važan veliki prostor kako bi se gorivo moglo skladištiti, na slici 4.4. je prikazan takav prostor.



*Slika 4.4. Potencijalno mjesto za izgradnju postrojenja u Delnicama*

Naime, riječ je skupu privatnih i gradskih čestica koje bi bile pogodne za izgradnju kogeneracijskog postrojenja na biomasu. Ovaj prostor je smješten u Delnicama a nalazi se u neposrednoj blizini autoceste E65 i postrojenja koja se bave preradom drva (RST Pellet d.o.o. i GEC GP d.o.o.). Ovaj položaj postrojenja je povoljan jer je minimiziran problem izgradnje prometnica za pristup postrojenju, te bi se moglo koristiti otpadnu piljevinu iz spomenutih drvoprerađivačkih postrojenja kao dodatno gorivo. Postrojenje bi trebalo proizvoditi 5 MW



električne energije i 10 MW toplinske. Električna energija bi se isporučivala u distribucijsku mrežu HEP-a na temelju ugovora o otkupu električne energije, dok bi se toplinska energija koristila za pogon sušara u drvoprerađivačkim postrojenjima.

Postrojenje čine sljedeći objekti:

1. Zgrada kogeneracijskog postrojenja
2. Zrakom hlađen kondenzator
3. Elektrostatski filter
4. Ventilator dimnih plinova
5. Dimnjak
6. Dizel agregat
7. Neutralizacijski bazen
8. Dnevni spremnik biomase
9. Pristupna prometnica
10. Uređaj za pročišćavanje sanitarne kanalizacije
11. Upojni bunar za pročišćenu sanitarnu kanalizaciju

Postrojenjem se upravlja centraliziranim upravljačkim sustavom (engl. Distributed control system – DCS). Upravljački sustav DCS ujedinjuje više podređenih upravljačkih cjelina kao što su:

- kotlovsko postrojenje,
- turboagregatsko postrojenje,
- kondenzatorsko postrojenje,
- postrojenje kemijske pripreme vode,
- toplinska stanica,
- postrojenja energane

### **Gorivo i opskrba gorivom**

Kao gorivo u kotlu bi se koristila drvena biomasa koju čine:

- drvena sječka 65%,
- kora drveta 25%,
- piljevina 10%.

Voda u biomasi koje se doprema kamionima je 30-50%, a kao referentna vrijednost se uzima 35-45% vlage. Za donju ogrjevnu vrijednost ( $H_d$ ) goriva pri sadržaju vlage od 30% uzeta je vrijednost od 12 MJ/kg (3,3 kWh/kg).

Kogeneracijsko postrojenje bi trebalo raditi bez prekida dan i noć, oko 8000 sati na godinu.

Procijenjena potrošnja biomase:

- po satu: 9,5 t
- po danu: 228 t
- godišnje: 76000 t

Transport drvene biomase u ložište kotla odvija se automatski sustavom trakastih i pužnih transporterera. Drvna biomasa namijenjena za loženje kotla se istovaruje direktno iz kamiona ili se odvozi utovarivačem u dnevni spremnik koji je zidovima i krovom zaštićen od vremenskih uvjeta. Na dnu dnevnog spremnika nalaze se hidraulični gurači koji biomasu guraju na trakasti transporter koji transportira biomasu iz dnevnog spremnika u dozator te potom u kotao. Na transporteru se nalazi vaga koja je spojena na DCS sustav i ona služi za mjerenje potrošnje biomase u kotlu. Pred kotlom se nalazi međuspremnik goriva (dozator) kapaciteta  $10\text{m}^3$  koji je opremljen sa 4 pužna dozatora koji raspoređuju biomasu u 2 kanala za ubacivanje u kotao. Spremnik je opremljen za minimalnu i maksimalnu količinu biomase. Tako se osigurava kontinuirano ubacivanje goriva u kotao.



*Slika 4.5. Primjer pužnog sustava do kotlovnice*

## Parni kotao

Drvena biomasa koja je namijenjena za loženje se ubacuje u kotao kroz otvore na prednjem zidu. Gorivo se lagano dodaje na vibrirajuću rešetku koja ima 3 zone te je nagnuta na stranu odvoda pepela. Rešetka je napravljena u membranskoj izvedbi, na traci membrane se nalaze otvori za dovod primarnog zraka koji se upuhuje ispod rešetke. Vibracije rešetke osiguravaju siguran transport goriva koje dogorijeva i transport prema sustavu za odvod pepela. Rešetka je spojena na isparavački sustav prirodne cirkulacije kotla i na taj se način hladi vodom. Pomoću primarnog zraka koji se dovodi sa donje strane rešetke u primarnom dijelu ložišta obavlja se isplinjavanje i izgaranje ugljika. Dimni plinovi nastali izgaranjem goriva dolaze u drugi dio ložišta gdje se vrši dogorijevanje plinova i eventualno neizgorelih čestica. Isplinjavanje goriva, njegovo izgaranje i dogorijevanje plinova čine prvi prolaz kotla. Dimni plinovi prelaze u konvektivni dio kotla (drugi prolaz) u kojem vrše pregrijavanje vodene pare pomoću dva pregrijačka paketa između kojih je smješten hladnjak pare koji služi za regulaciju temperature pare na izlazu iz kotla. Za hlađenje pare koristi se voda koja se sapnicama ubrizgava u struju pare.

U trećem prolazu parnog kotla dimni plinovi zagrijavaju snopove grijača napojne vode. Snopovi grijača napojne vode sastoje se od orebrenih cijevi radi kompaktnije izvedbe. Napojna voda se crpkama odvodi iz napojnog spremnika do grijača vode gdje se zagrijava na 220°C.

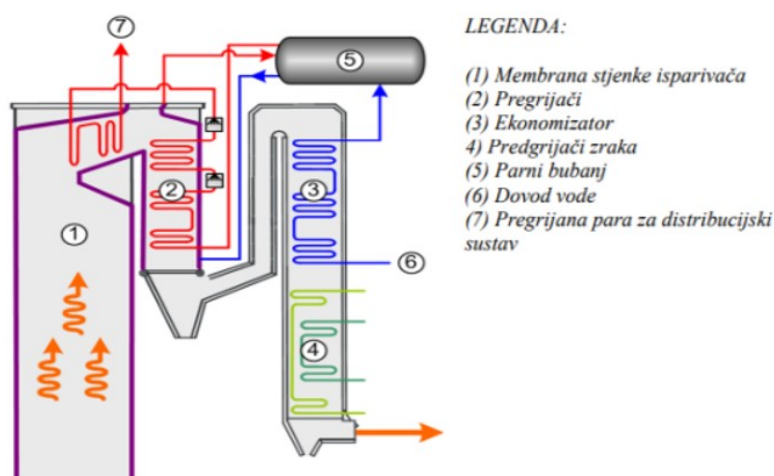
Tako zagrijana voda se odvodi u bubanj kotla koji je opremljen sljedećim:

- ulaznim otvorima dimenzija 320 x 420 mm koji su smješteni na sferičnim dancima,
- sigurnosnim uređajima za zaštitu od prekoračenja tlaka,
- uređajima za kontrolu razine,
- pregradnih limova (unutar bubnja kotla),
- demisteri (unutar bubnja kotla),
- cijevi za dovod vode u bubanj kotla,
- radnim priključcima za cijevi

Tehničke karakteristike kotla:

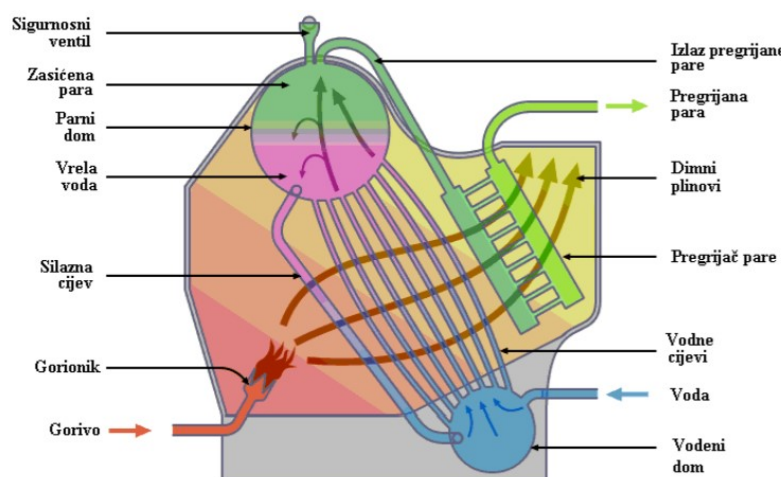
Nazivna toplinska snaga:	25,7 MW
Nazivni toplinski kapacitet:	28,5 t/h
Maksimalni toplinski kapacitet:	30 t/h
Tlak pregrijane pare na izlazu iz kotla:	72 bar
Temperatura pregrijane pare na izlazu iz kotla:	480 °C
Temperatura napojne vode na ulazu u kotao:	105 °C

Stupanj djelovanja kotla (pri $H_d = 12 \text{ MJ/kg}$ ):	89%
Raspon regulacije temperature pregrijane pare:	60-100%
Tlačna kategorija kotla prema PED 2014/68/EU:	IV



Slika 4.6. Sustav stvaranja pare

**Parni bubnjevi** koji se nalaze u kotlovima su u pravilu standardni. Riječ je spremniku vode koji se nalazi na vrhu vodova. Vodena para se pohranjuje u bubnju i djeluje kao separator faza za smjesu vode i pare. U parnom bubnju se nakupljaju zasićene pare i topla voda čemu doprinosi razlika u gustoći hladne i vruće vode. Iz gornjeg dijela bubnja odvaja se para i priprema za daljnji postupak obrade. Kada se kasnije zasićena para zagrijava dolazi do proizvodnje pregrijane pare i ona tako postaje glavni pokretač parne turbine. Nakon što izađe s vrha tornja odlazi u peć putem pregrijača. [33] U unutrašnjem dijelu bubnja tada se kapljice vode odvajaju od pare, a zasićena voda koja se nalazi na dnu parnog valjka odlazi kroz donju cijev. Parni bubanj ilustriran je na slici 4.7.



Slika 4.7. Parni bubanj

**Pregrijač pare** služi pretvaranju zasićene u pregrijanu paru. Postoji nekoliko vrsta, jedni rade po principu zračenja, dok su drugi više konvencijski. U konkretnom slučaju koristi se pregrijač koji je odvojen od kotla. Da bi se zadovoljili propisani standardi za odlaganje korozije i smanjenje stvaranja štetnih tvari, posebno između cijevi, razmak se mora izračunati posebno za svaki pregrijač. To je važno jer se na taj način sprječava ometanje prolaska topline i rada samog pregrijača. [33]



*Slika 4.8. Pregrijači pare [33]*

U konkretnom primjeru temperatura pregrijane pare je između 420 °C i 570 °C. Kod većih postrojenja ona može biti i preko 60 °C . Pozitivna strana pregrijača je ta što omogućuje manju potrošnju goriva i vode. Međutim, negativna strana je što su troškovi održavanja u slučaju nepravilnog rukovanja veliki. Oni mogu biti opasni posebno kada bi došlo do puknuća cijevi što može čak dovesti i do eksplozije. Da bi se to spriječilo ova kogeneracija opremila ih je puhačima čađe tako da se cijevi kontinuirano samostalno čiste kako ne bi došlo do štete. [33]

### **Parni turboagregat**

Parni turboagregat se sastoji od:

- kondenzacijske parne turbine,
- trofaznog sinkronog generatora,
- reduktora,
- redukcijnsko rashladne stanice s 72 na 3 bara,
- niskotlačnog sustava za podmazivanje,
- visokotlačnog sustava ulja za pogon izvršnih članova regulacije,
- sustava regulacije i upravljanja,
- internih cjevovoda i armature.

Parna turbina je izrađena kao više stupanjska reakcijska turbina s jednim reguliranim oduzimanjem pare. Sapnište je učvršćeno u kućište turbine. Parna turbina je smještena na postolje zajedno s generatorom i reduktorom koje je postavljeno na opruge na temeljnoj ploči kako bi se spriječile vibracije na temelje zgrade. Reduktor se ugrađuje između turbine i generatora kako bi se dobila brzina vrtnje  $1500 \text{ min}^{-1}$  i frekvencija 50 Hz. Generator je trofazni sinkroni, a hladi se zrakom koji se dovodi izvana pomoću zračnih kanala. Parni turboagregat je opremljen vlastitim upravljačkim ormarima pomoću kojih se ostvaruje upravljanje i automatsko puštanje u pogon. U ormarima su ugrađeni i sustavi zaštite turbine i generatora, sustav regulacije napona i struje i sustav napajanja potrošača električne energije. Kako bi se omogućio siguran rad parne turbine potreban je i sustav odvoda kondenzata. Svi odvodi kondenzata spajaju se u sakupljač koji se nalazi ispod turbine. Odvodnjavanja se nalaze na svim mjestima gdje se može stvarati kondenzat tokom rada turbine:

- između ventila svježe pare i visokotlačnog parorazvodnog ventila,
- u ulaznom kućištu iza regulacijskog ventila,
- na najnižoj točki kućišta turbine,
- iza regulacijskog ventila na dovodu pare u sustav.

Tehničke karakteristike parne turbine:

Tlak pregrijane pare:	70 bar
Temperatura pregrijane pare:	478 °C
Protok pregrijane pare:	28,5 t/h
Potrošnja električne energije:	15 kW
Maksimalna buka na udaljenosti od 1m:	90 dB(A)
Nazivna proizvodnja električne energije:	5,7 MW
Broj okretaja turbine:	12000 o/min

Tehničke karakteristike generatora:

Tip:	Trofazni sinkroni
Nominalna snaga:	7000 kVA
Napon generatora:	6300 V
Faktor snage $\cos\phi$ :	0,8-1
Brzina vrtnje:	1500 o/min
Frekvencija:	50 Hz
Broj polova:	4
Hlađenje:	Zračno

Kogeneracija ima i **hitni zamjenski generator**, njegova je svrha preuzimanje rada u slučaju nužde i napajanja kritične opreme do osposobljavanja glavnog generatora. Rezervna jedinica se sastoji od generatora, motora i druge nužne opreme poput pumpe, ulja za podmazivanje, filtera za gorivo i rashladne tekućine.



*Slika 4.9. Izgled generatora ugrađenog u kogeneracijsko postrojenje [33]*

### **Dimnjak**

Visina dimnjaka je 30 m, te prema Pravilniku o gradnji i postavljanju zrakoplovnih prepreka (NN 100/2019) mora biti propisno označen naizmjenično kontrastnim trakama.

### **Elektrostatski filter**

Dimni plinovi prije elektrostatskog filtera

Dimni plin iz parnog kotla prestrujava u kanal zagrijača vode. Ispod zagrijača se nalazi multiciklon koji odvaja krupne čestice pepela, koje se sustavom povrata vraćaju u ložište. U slučaju da sustav povrata ne radi, pepeo se preko lančanog transportera transportira u kontejner.

Dimni plinovi u elektrostatskom filteru

Dimni plinovi iz kotla preko nape dolaze u elektrostatski filter gdje se vrši završno pročišćavanje dimnih plinova, sadržaj čestica u plinovima se smanjuje na manje od  $20 \text{ mg/m}^3$ . Plinovi prolaze horizontalno kroz električno polje koje se sastoji od visokonaponskih elektroda i taložnih elektroda. Taložne elektrode su uzemljene preko kućišta filtera, a visokonaponske su priključene na VN transformator koji proizvodi istosmjerni napon 45-65 kV te stvara jako električno polje. Zbog djelovanja polja dolazi do izbijanja elektrona koji putuju prema uzemljenoj taložnoj

elektrodi. Na tom putu elektroni ioniziraju čestice prašine dimnog plina čime njihov naboj postaje negativan. Tako negativno nabijene čestice privlače taložne elektrode, gdje prijanjaju i prenose svoj naboj. Taložne elektrode su izvedene sa žljebovima koji sprječavaju da struja dimnih plinova prilikom otresanja ne povuče nataložene čestice. Elektrode se moraju povremeno otresti kako bi nataložena prašina pala s njih. Otresanje se vrši mehanički pomoću čekića koji udara po nakovanju elektrode. Donji dio filtera oblikovan je u obliku kade za sakupljanje prašine odakle se pomoću pužnog transportera prašina odvodi u kontejner.

Dimni plinovi poslije pročišćavanja u elektrostatskom filteru

Iza elektrostatskog filtera postavljen je odsisni ventilator koji pročišćene dimne plinove izbacuje u atmosferu putem dimnjaka. Uz ventilator je ugrađen prigušivač buke kako bi se ona smanjila.

### **Sustav odvoda pepela iz kotla**

Odvod pepela iz ložišta

Pepeo koji nastaje prilikom izgaranja goriva u ložištu kotla pada u vodom hlađeni pužni transporter koji transportira pepeo na lančani transporter te se on odvodi u kontejner izvan kotlovnice.

Odvod pepela iz elektrostatskog filtera

Leteći pepeo koji se odvaja u elektrostatskom filteru transportira se u kontejner koj je postavljen ispod elektrostatskog filtera.

### **Utjecaj postrojenja na okoliš**

Utjecaj na zrak

Pravni akti Republike Hrvatske na kojima se temelji analiza utjecaja na zrak su:

- Zakon o zaštiti zraka (NN 178/2004)
- Uredba o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zrak iz stacionarnih izvora (NN 21/2007)
- Uredba o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zraku (NN 133/2005)
- Pravilnik o praćenju emisija onečišćujućih tvari u zraku iz stacionarnih izvora (NN 129/2012).

### **Emisija u atmosferu**

Budući da je gorivo drvna biomasa, glavni problem nisu teški materijali i sumpor kao kod fosilnih goriva nego eliminacija prašine iz dimnih plinova koja se regulira u elektrostatskom filteru. Emisije neće prelaziti vrijednosti dopuštene od ECE Regulacije, prema trenutnom stanju zakonske



regulative, elektrane do 50 MW smiju emitirati čestice do 150 mg/m<sup>3</sup>. U većini zemalja EU ta emisija ide do 20-30 mg/m<sup>3</sup>, i to se postiže u elektrostatskom filteru.

### **Buka**

Oprema koja proizvodi najveću buku (90 dB) biti će smještena u zatvorenom prostoru unutar zgrade kogeneracijskog postrojenja, glavni izvor buke je parni turboagregat stoga će se prostor u kojem je on smješten obložiti panelima za apsorpcije buke. Tako će se razina buke unutar postrojenja smanjiti na 75 dB.

### **Otpadne vode**

Otpadne vode iz kogeneracijskog postrojenja sastoje se od oborinskih voda, voda dobivenih procesom odmuljivanja i odsoljavanja parnog kotla, voda iz sanitarnog čvora dijela elektrane u kojem boravi osoblje, otpadnih voda iz kemijske pripreme kotlovske napojne vode. U sustavu kotlovske postrojenja nalazi se samo demineralizirana voda te nema kemijski štetnih tvari.

Proces odmuljivanja parnog kotla obavlja se u okviru kemijske pripreme napojne vode gdje se iz ulazne vode gradskog vodovoda izdvajaju nečistoće koje bi se taložile u kotlu i smanjivale njegovu iskoristivost. Sve nečistoće se sakupljaju u ugrađenom filteru koji se nakon određenog vremena mijenja.

### **Kruti otpad**

Prije početka rada postrojenja potrebno je sklopiti ugovor s ovlaštenom tvrtkom za zbrinjavanje otpada. Čelične kontejnere pune pepela će odvoziti tvrtka ovlaštena za zbrinjavanje otpada na za to predviđene deponije te će ih nakon pražnjenja vratiti na lokaciju postrojenja. Izgaranjem drvene biomase pri proizvodnji nazivne količine pare proizvodi se pepeo u iznosu od 1,5 do 2% u odnosu na količinu drvene biomase.

Prema Uredbi o kategorijama, vrstama i klasifikaciji otpada s katalogom otpada i listom opasnog materijala (NN 50/05), navedeni pepeo se razvrstava u neopasni otpad i može se odlagati na komunalna odlagališta.

Procijenjena količina pepela:

Količina nastalog pepela na sat:	190 kg/h
Količina nastalog pepela na dan:	4560 kg/dan
Godišnja količina nastalog pepela:	1520 t/god.

## Vijek uporabe građevine

Uz pravilno i redovno održavanje životni vijek kogeneracijskog postrojenja na drvenu biomasu iznosi najmanje 20 godina. Održavanje građevine mora biti takvo da se tijekom održavanja očuvaju tehnička svojstva građevine i ispunjavaju zahtjevi određeni projektom građevine, kao i drugi bitni zahtjevi koje građevina mora ispunjavati u skladu s posebnim propisima.

Održavanje građevine obuhvaća:

- Vizualni pregled glavne i pomoćne opreme kada je postrojenje u radu (svakodnevno ili prema uputama za rad proizvođača)
- Redovno čišćenje građevine
- Ispitivanje funkcionalnosti opreme postrojenja prema uputama za rad i održavanje proizvođača (svakodnevno ili prema uputama za rad proizvođača)
- Godišnji remont
- Vizualni pregled stanja antikorozivne zaštite cjevovoda i čeličnih dijelova u sklopu redovnog održavanja građevine
- Glavni pregled stanja antikorozivne zaštite cjevovoda i čeličnih dijelova (svakih 5 godina)
- Vizualni pregled stanja toplinske izolacije cjevovoda i opreme u sklopu redovnog održavanja

Godišnja potrošnja električne energije za grad Delnice iznosi približno 33.000.000 kWh. [34]

Postrojenje može proizvesti 40.000.000 kWh električne energije tokom 8000 radnih sati godišnje, što premašuje ukupnu potrošnju grada.

Postrojenje proizvodi 10 MW toplinske energije koja se koristi za izmjenjivače topline i to:

- |   |        |
|---|--------|
| • Toplinski izmjenjivač za sušaru biomase:              | 4,5 MW |
| • Toplinski izmjenjivač u hali za otpremu pepela:       | 0,2 MW |
| • Toplinski izmjenjivač komore za termičku obradu drva: | 4,5 MW |
| • Toplinski izmjenjivač u proizvodnoj hali – pilana:    | 0,4 MW |
| Ukupno:   | 9,6 MW |

## Priključenje na distribucijsku mrežu

U ovoj projektiranoj elektrani predviđa se ugradnja elektroenergetskih postrojenja nužnih za rad energane (generator sa zaštitama, 35 kV postrojenje, suhi energetske transformatori) kao i za priključak na elektroenergetski sustav HEP ODS-a, električne instalacije opće potrošnje (rasvjeta, utičnice i sl.), vlastite potrošnje zajedno s energetske transformatorom, upravljačkim sustavima

(elektroinstalacije kotla, parno-turbinskog postrojenja, elektrofilter i sl.), instalacije slabe struje (telekomunikacije, računalna mreža i sl.) te sustav za rano otkrivanje požara.

Građevina će se priključiti na elektroenergetski sustav prema uvjetima distributera, u postrojenju (rasklopište HEP-a) na zasebnoj katastarskoj čestici, tj. u postojećoj transformatorskoj stanici TS 110/35 kV Delnice. U tu svrhu predviđa se polaganje priključnog kabela od pozicije rasklopišta do pozicije elektrane.

Tehnički parametri priključka na distribucijski sustav su sljedeći:

- Mjesto priključka energane na mrežu kao proizvođača i potrošača: postojeće SN 35 kV postrojenje rasklopišta TS 110/35 kV Delnice u nadležnosti HEP-a,
- Način priključka građevine: podzemno, kabelima NA2XS2Y 20,6/36 (41,5) kV 3x(1x150/25RM),
- Nazivna (priključna) snaga energane:
  - Proizvodnja električne energije: 5000 kW,
  - Vlastita potrošnja električne energije: 50 kW (zakup dodatnih kW po potrebi).
- Podaci o generatoru:
  - Izvedba: sinkroni generator,
  - Nazivna snaga: 7000 kVA
  - Nazivni napon: 6,3 kV
- Podaci o blok transformatoru:
  - Izvedba: suhi
  - Mjesto ugradnje: unutar građevine postrojenja
  - Nazivna snaga: 7000 kVA
  - Nazivni prijenosni omjer: 35/6,3 kV
- Podaci o transformatoru vlastite potrošnje:
  - Izvedba: suhi
  - Mjesto ugradnje: unutar građevine postrojenja
  - Nazivna snaga: 1250 kVA
  - Nazivni prijenosni omjer: 35/0,4 kV
- Podaci o generatorskom prekidaču, mjesto sinkronizacije energane na mrežu:
  - Nazivni napon: 35 kV
  - Nazivna struja: 800 A
  - Nazivna struja KS-a: 16 kA

Na građevini se izvodi radi zaštite od atmosferskog pražnjenja vanjska instalacija zaštite od djelovanja munje prema važećem tehničkom propisu. Ugrađuje se sustav vatrodjave kojim je osigurano rano otkrivanje požara i dima, pravovremena evakuacija i lokalno gašenje požara, te automatska dojava nadležnoj vatrogasnoj postrojbi.

#### 4.2.1. Provjera zaštite SN kabela od preopterećenja

Veza SN postrojenje - rasklopište

Nazivna tj. maksimalna struja energane na 35 kV, pri  $\cos\varphi = 0,85$ :

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi} = \frac{5000}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 0,85} = 97,03 \text{ A} \quad (4.1)$$

Veza se izvodi kabelom EAXeCWB 20,8/36 (42) kV 3x(1x150/25RM) za koji je dopuštena trajna struja opterećenja 335 A. [35]

Veza generator – blok transformator

Nazivna struja generatora na 6,3 kV:

$$I_{nG} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{6700}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 615 \text{ A} \quad (4.2)$$

Veza se izvodi kabelom SIWO-KUL B10 3x(1x185 mm<sup>2</sup>) za koji je dopuštena trajna struja opterećenja 850 A, pri temperaturi okoline 30° [36]

Veza blok transformator – SN postrojenje

Nazivna struja blok transformatora na 35 kV:

$$I_{nTB} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{7000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 115,47 \text{ A} \quad (4.3)$$

Veza se izvodi kabelom EAXeCWB 20,8/36 (42) kV 3x(1x150/25RM) za koji je dopuštena trajna struja opterećenja 335 A. [35]

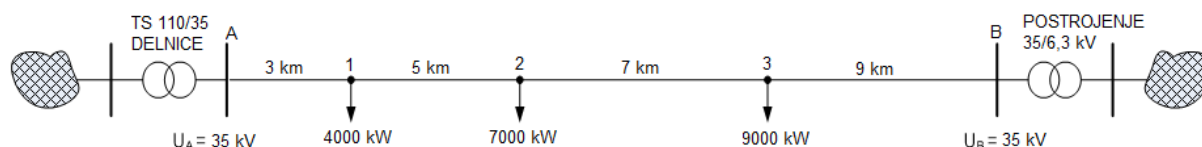
Veza transformator vlastite potrošnje – SN postrojenje

Nazivna struja transformatora vlastite potrošnje na 35 kV:

$$I_{nTM} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1250}{\sqrt{3} \cdot 35} = 20,62 \text{ A} \quad (4.4)$$

Veza se izvodi kabelom EAXeCWB 20,8/36 (42) kV 3x(1x95/16RM) za koji je dopuštena trajna struja opterećenja 270 A. [35]

#### 4.3.2. Proračun mjesta i iznosa najvećeg pada napona u dvostrano napajanom 35 kV kabelu



Slika 4.10. Prikaz dvostrano napajanog 35 kV kabela

U ovom proračunu pretpostavljamo da je radni otpor kabela  $R_k = 0,2 \Omega/\text{km}$ , reaktancija kabela  $X_k = 0,1 \Omega/\text{km}$ , te da je faktor snage 0,8 za sve zadane terete.

$$\cos \varphi = 0,8 \rightarrow \varphi = 36,87^\circ \quad (4.5)$$

Iz slike 4.10. je vidljivo kako su u točkama 1, 2 i 3 radne snage potrošača  $P_1 = 4000 \text{ kW}$ ,  $P_2 = 7000 \text{ kW}$ ,  $P_3 = 9000 \text{ kW}$ . Te se može iščitati kako su duljine vodova 3 km, 5 km, 7 km i 9 km

Jalove snage potrošača računamo prema formuli:

$$Q = P \cdot \tan \varphi \quad (4.6)$$

I koje slijedi da su jalove snage potrošača spojenih na kabel  $Q_1 = 3000 \text{ kW}$ ,  $Q_2 = 5250 \text{ kW}$ ,  $Q_3 = 6750 \text{ kW}$ .

Ukupna duljina voda:

$$l_{uk} = l = \sum_i l_i = 3 + 5 + 7 + 9 = 24 \text{ km} \quad (4.7)$$

Ukupna snaga trošila:

$$P_{uk} = P = \sum_i P_i = 4000 + 7000 + 9000 = 20000 \text{ kW} \quad (4.8)$$

$$Q_{uk} = Q = \sum_i Q_i = 3000 + 5250 + 6750 = 15000 \text{ kW} \quad (4.9)$$

Uz pretpostavku jednakih napona pojnih točkaka ( $U_A = U_B$ ) računamo:

- Radnu snagu točke A računamo prema formuli:

$$P'_A = \frac{\sum_i P_i * l_{Bi}}{l_{uk}} \quad (4.10)$$

Uvrštavanjem vrijednosti u prethodni izraz dobijemo da je  $P'_A = 11541,7$  kW.

- Radnu snagu točke B računamo prema formuli:

$$P'_B = \frac{\sum_i P_i * l_{Ai}}{l_{uk}} \quad (4.11)$$

Uvrštavanjem vrijednosti u prethodni izraz dobijemo da je  $P'_B = 8458,3$  kW.

Ili prema formuli:

$$P'_B = P - P'_A = 20000 - 11541,7 = 8458,3 \text{ kW} \quad (4.12)$$

- Jalovu snagu točke A računamo prema formuli:

$$Q'_A = \frac{\sum_i Q_i * l_{Bi}}{l_{uk}} \quad (4.13)$$

Uvrštavanjem vrijednosti u prethodni izraz dobijemo da je  $Q'_A = 8656,25$  kVAr.

- Jalovu snagu točke B računamo prema formuli:

$$Q'_B = \frac{\sum_i Q_i * l_{Ai}}{l_{uk}} \quad (4.14)$$

Uvrštavanjem vrijednosti u prethodni izraz dobijemo da je  $Q'_B = 6343,75$  kVAr.

Ili prema formuli:

$$Q'_B = Q - Q_A = 15000 - 8656,25 = 6343,75 \text{ kVAr} \quad (4.15)$$

Snage izjednačenja, stvarne radne i jalove snaga iz pojmih točaka računamo uz uvjet  $U_A \neq U_B$ .

- Radnu snagu izjednačenja računamo prema formuli:

$$P_{iz} = \frac{U_n}{R_1} * \frac{U_A - U_B}{l_{uk}} = \frac{35000 * (35100 - 35000)}{0,2 * 24} = 729,17 \text{ kW} \quad (4.16)$$

- Stvarnu radnu snagu točke A i B računamo prema formulama:

$$P_A = P'_A + P_{iz} = 11541,7 + 729,17 = 12270,87 \text{ kW} \quad (4.17)$$

$$P_B = P'_B - P_{iz} = 8458,3 - 729,17 = 7729,13 \text{ kW} \quad (4.18)$$

- Jalovu snagu izjednačenja računamo prema formuli:

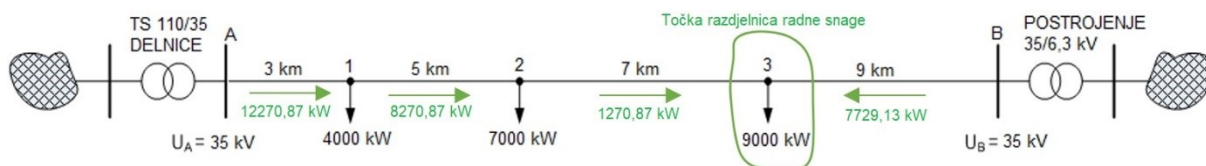
$$Q_{iz} = \frac{U_n}{X_1} * \frac{U_A - U_B}{l_{uk}} = \frac{35000 * (35100 - 35000)}{0,1 * 24} = 1458,3 \text{ kVAr} \quad (4.19)$$

- Stvarnu jalovu snagu točke A i B računamo prema formulama:

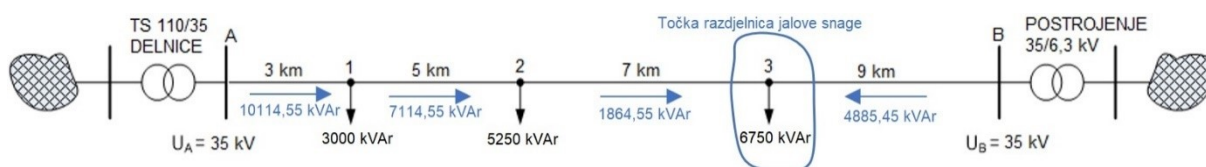
$$Q_A = Q'_A + Q_{iz} = 8656,25 + 1458,3 = 10114,55 \text{ kVAr} \quad (4.20)$$

$$Q_B = Q'_B - Q_{iz} = 6343,75 - 1458,3 = 4885,45 \text{ kVAr} \quad (4.21)$$

Točke razdjelnice radne i jalove snage prikazane su na slikama 4.11. i 4.12.



Slika 4.11. Prikaz točke razdjelnice radne snage



Slika 4.12. Prikaz točke razdjelnice jalove snage

Pad napona računamo prema:

$$\Delta U_3 = \frac{R_1}{U_n} \sum_{i=1}^n P'_i * l_i + \frac{X_1}{U_n} \sum_{i=1}^n Q'_i * l_i \quad (4.22)$$

Uvrštavanjem vrijednosti u prethodni izraz dobijemo da pad napona iznosi  $\Delta U_3 = 523,12 \text{ V}$ .

Napon u točki 3 računamo prema formuli:

$$U_3 = U_n - \Delta U_3 = 35000 - 523,12 = 34476,12 \text{ V} \quad (4.23)$$

$$\Delta u_{3r} = \frac{\Delta U_3}{U_n} * 100\% = \frac{523,12}{35000} * 100\% = 1,49\% \quad (4.24)$$

## Financiranje

Ovakav investicijski projekt namijenjen je ulaganju u dugotrajnu imovinu i trajna obrtna sredstva. Potrebna financijska ulaganja za izgradnju elektrane na biomasu sastoje se od projektiranja lokacije, nabave opreme, opremanja objekata, izgradnje elektrane, priključenja na elektroenergetsku mrežu te cjelokupnu organizaciju počevši od projektiranja, izgradnje i puštanja postrojenja u pogon.

Ukupna finacijska ulaganja dijele se u dvije kategorije:

1. Troškovi opreme i rada - ulaganje u dugotrajna sredstva
2. Ulaganje u obrtna sredstva

Ukupna investicija ovakvog postrojenja iznosi 24.500.000 € od čega je 19.000.000 € financiranje putem kredita uz sljedeće uvjete:

- Glavnica: 143.450.000,00 HRK
- Rok otplate je 10 godina uz početak od 1 godine
- Kamatna stopa iznosi 2,5%

Plan oplate kredita je prikazan u Tablici 1.

Iznos kredita: 143.450.000 HRK

*Tablica 4.1. Prikaz plana vraćanja kredita*

Stavka/ Godine	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Glavnica	0	3.565 .625	14.486 .747	14.852 .325	15.227 .129	15.611 .391	16.005 .349	16.409 .250	16.823 .343	17.247 .886	13.220 .956
Kamata	62.1 34	896.5 63	3.362. 001	2.996. 423	2.621. 619	2.237. 358	1.843. 399	1.439. 498	1.025. 405	600.86 2	165.60 5
Anuitet	303. 753	4.462 .198	17.848 .748	17.848 .748	17.848 .748	17.848 .748	17.848 .748	17.848 .748	17.848 .748	17.848 .748	13.386 .561

### **Prodaja električne energije**

Uvjeti prodaje električne energije propisani su energetske zakonodavstvom iz kojeg proizlazi da novo kogeneracijsko postrojenje kao proizvođač obnovljive energije može steći status povlaštenog proizvođača električne energije s pravom na poticaj. Također postoji obveza otkupa cjelokupne količine električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora po povlaštenoj otkupnoj cijeni koja je znatno viša od otkupne cijene električne energije dobivene iz tradicionalnih izvora. Da bi primili ovu naknadu, proizvođač mora biti registriran kao povlašteni proizvođač. Povlašteni proizvođač je energetske subjekt koji u pojedinačnom proizvodnom objektu istovremeno proizvodi električnu i toplinsku energiju, koristi otpad ili obnovljive izvore energije na ekonomski isplativ način usklađen sa zaštitom okoliša. Hrvatski sustav poticajnih mjera temelji se na feed-in tarifama za prethodno potpisane ugovore. Proizvodnja energije iz obnovljivih izvora dolazi s fiksnom tarifom zajamčenom na 14 godina. Za konkretni projekt mjerodavan je Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 133/2013). Tarifnim sustavom utvrđeni su iznosi fiksnih tarifnih stavki i varijabilnog dijela tarifnih stavki za električnu energiju. Ovim tarifnim sustavom uvodi se korektivni koeficijent za postizanje ukupne godišnje učinkovitosti postrojenja za proizvodnju biomase u pretvorbi primarne energije u isporučenu električnu energiju i proizvedenu toplinu.



Cijena električne energije

Visina tarifnih stavki definirana ovim tarifnim sustavom sastoji se od dva dijela:

- **fiksni dio** temeljen na opravdanim troškovima poslovanja, izgradnje, rekonstrukcije i održavanja postrojenja koja koriste OIE i kogeneracijska postrojenja.
- **varijabilni dio** koji se temelji na ostvarenju ukupne godišnje učinkovitosti proizvodnog postrojenja u pretvorbi primarne energije goriva u isporučenu električnu energiju i proizvedenu toplinu.

Iznos fiksnih tarifnih stavki ( $C$ ) za isporučenu električnu energiju iz postrojenja na biomasu instalirane snage veće od 2 MW je 1.20 HRK/kWh.

Također, za elektrane na biomasu uvedena je korekcija poticajne cijene ( $C_k$ ) koja se za tekuću godinu utvrđuje prema ukupnoj godišnjoj učinkovitosti ostvarenoj u prethodnoj godini prema izrazu:

$$C_k = C \times k \quad (4.26)$$

Gdje je:

$C_k$  - korekcijska poticajna cijena,

$C$  - poticajna cijena,

$k$  - korektivni koeficijent.

Korektivni koeficijent za postizanje ukupne godišnje učinkovitosti proizvodnog postrojenja u pretvorbi energije primarnog goriva u isporučenu električnu energiju i proizvedenu korisnu toplinu:

1. za proizvodna postrojenja koja postižu ukupnu godišnju učinkovitost manju od 45%, korektivni koeficijent  $k$  je 0,9
2. za proizvodna postrojenja koja postižu ukupnu godišnju učinkovitost veću od 45% i manju od 50% korektivni koeficijent  $k$  je 1
3. za proizvodne pogone koji postižu ukupnu godišnju učinkovitost veću od 50%, korektivni koeficijent  $k$  iznosi 1,2.

U slučaju PCC Karlovac koji sadrži slične karakteristike kao ovaj primjer, godišnja učinkovitost bila bi veća od 50%, a prodajna cijena za isporučenu električnu energiju bila bi  $1,20 \times 1,2 = 1,44$  kn/kWh. [37]

### **4.3. Primjeri dobre prakse kogeneracijskih postrojenja na biomasu na području Europske unije – Austrija, Rumunjska i Finska**

Kogeneracijski sustavi na biomasu su danas rasprostranjeni gotovo u čitavom svijetu, a standardi za njihovu izgradnju i učinkovitost ovise od države do države. U nastavku će se dati pregled specifičnosti kogeneracijskih postrojenja na biomasu u Austriji, Rumunjskoj i Finskoj, a koja se uglavnom koriste za opskrbljivanje postojećih centraliziranih sustava za grijanje. Ekonomski parametri su prikazani uz pomoć dostupne literature.

#### **4.3.1. Kogeneracijsko postrojenje na drvenu biomasu u gradu Lienz, Austrija**

Kogeneracijsko postrojenje Lienz nalazi se u gradu Lienzu u Austriji. Postrojenje djeluje još od 2003. godine pod upravom od strane Stadtwärme Lienz Produktions-und Vertriebs-GmbH. [38] Vrlo ubrzo je otvoreno i drugo postrojenje Lienz II zbog velike zainteresiranosti zajednice, što nam dokazuje da je koncepcija rada jako dobro osmišljena te da je poslovanje pokazalo uspješne rezultate u proizvodnji energije. U sklopu postrojenja instaliran je i sustav solarnih kolektora površina čak 630 m<sup>2</sup> što je samo dodatno povećalo interes zajednice za daljnjim napretkom. [38]

Tehničke karakteristike postrojenja prikazane su na slici 4.13. Od značajnijih mogu se izdvojiti podaci o ukupno instaliranom toplinskom kapacitetu od 44,5 MWt, kao i električni kapacitet od 2,5 MWe. Ukupno proizvedena električna energije iznosi 11 GWh/god., dok toplinska iznosi 74 GWh/god. Vidljivo je da je kapacitet ovog postrojenja poprilično velik. Čak 882 potrošača su spojena na ovaj sustav. Investicijski troškovi prelaze 40 milijuna eura. [38]

Parametar	Jedinica	Iznos
<b>Kogeneracijsko postrojenje:</b>		
Snaga dovedena gorivom	[kW <sub>NCV</sub> ]	6,897
Električna snaga	[kW <sub>el</sub> ]	1,100
Toplinska snaga	[kW <sub>th</sub> ]	4,969
Sati rada pri punom opterećenju	[h/a]	5,000
Godišnja električna učinkovitost	[%]	14.5
Godišnja ukupna učinkovitost	[%]	88.0
Proizvodnja električne energije	[kWh <sub>el</sub> /a]	5,500,000
Proizvodnja toplinske energije	[kWh <sub>th</sub> /a]	27,879,310
Energija dovedena gorivom	[kWh <sub>NCV</sub> /a]	37,931,034
Energija goriva za proizvodnju topline	[kWh <sub>NCV</sub> /a]	31,681,034
Energija goriva - dodatna za suproizvodnju	[kWh <sub>NCV</sub> /a]	6,250,000
<b>Toplovodni kotao na biomasu:</b>		
Energija dovedena gorivom	[kWh <sub>NCV</sub> /a]	36,164,106
Nominalni kapacitet	[kW]	7,000
Proizvodnja toplinske energije	[kWh/a]	31,824,413
Specifična potrošnja električne energije	[kWh <sub>el</sub> /MWh <sub>th</sub> ]	13.0
Potrošnja električne energije	[kWh/a]	413,717
<b>Vršni kotao:</b>		
Nominalni kapacitet	[kW]	18,000
Proizvodnja toplinske energije	[kWh <sub>th</sub> /a]	2,487,655
<b>Cijelo kogeneracijsko postrojenje:</b>		
Energija dovedena gorivom	[kWh <sub>NCV</sub> /a]	74,095,141
Ukupna proizvodnja električne energije	[kWh <sub>el</sub> /a]	5,500,000
Ukupna proizvodnja toplinske energije	[kWh <sub>th</sub> /a]	62,191,379
Distribucijski gubitci	[%]	13.0
Prodana toplinska energija	[kWh <sub>th</sub> /a]	54,106,500

Slika 4.13. Tehničke karakteristike Lienz I [38]

Bitno je navesti da ovo kogeneracijsko postrojenje koristi šumsku i industrijsku drvenu sječku za proizvodnju toplinske energije. Uglavnom se koristi piljevina i kora drveća. Prema pronađenim podacima za ovo postrojenje svakog dana se u istome usitni 25000 m<sup>3</sup> drveta. Za postrojenje Lienz I investicijski troškovi prelaze 24 milijuna eura, a za Lienz II 16 milijuna eura. [38]

Instalirana toplinska snaga postrojenja Lienz I procijenjena je na 4,96 MWt, a električna na 1,1 MWe. Ukupna godišnja učinkovitost iznosi 88%, od čega se 14,5% odnosi na električnu, a 73,5% na toplinsku učinkovitost. Procjenjuje se da kogeneracija godišnje na razini 5000 sati potroši 34485 MWh toplinske energije u obliku pogonskog goriva. Kotao na biomasu u postrojenju ima toplinsku snagu 7 MWt, a vršni kotao 18 MWt. Ukupni investicijski troškovi iznose 8.989.858,00 EUR, troškovi ulaznih sirovina iznose 979.233,00 EUR godišnje, pri čemu se samo 1.248.422,00 EUR godišnje postrojenje ulaže u operativne troškove. [38]

#### 4.3.2. Postrojenje područnog grijanja Gresten, Austrija

Postrojenje područnog grijanja Gresten nalazi se u Austriji i primjer je ruralnog centraliziranog toplinskog sustava. Djeluje od 1996. godine. Funkcionira tako što se snabdijeva toplinskom energijom koja dolazi iz dvaju kotlova koji koriste drvenu biomasu kao izvor za proizvodnju energije (1,5 i 3,5 MWt). Rezervni kotao je na lož ulje (1,5 MWt). Toplinska energija proizlazi i iz viška topline proizvedene u kogeneracijskom postrojenju drugog poduzeća – Cycle Energy, koja ima uvjete dobave do 5 MW toplinske energije u sam sustav. [38]

Dva kotla postrojenja pogone se na biomasu, koristi se 2000 t drvene sječke na godišnjoj razini. Opskrbljuju toplinsku distribucijsku mrežu u rasponu 10 km. Osim toga pokrivaju i industrijsku mrežu u rasponu 300 m. [38]

Što se tiče investicijskih troškova, iz pronađenih podataka za ovo postrojenje proizlazi da su također u pitanju višemilijunski iznosi i to preko 5 milijuna eura. Međutim, postrojenje koristi subvencijske mjere, tako da se gotovo jedna četvrtina navedenog iznosa subvencionira iz potpora. [38]

Investicijski troškovi obuhvaćaju troškove građevine, distribucijske mreže i opreme. Troškovi za građevine iznose 835.000,00 EUR, a 3.565.000,00 EUR troši se za distribucijsku mrežu, dok 864.000,00 EUR odlazi na financiranje opreme, naročito kotlova kogeneracije. [38]

Dostupni podaci ukazuju na to da se ukupna cijena toplinske energije sastoji od same cijene toplinske energije, fiksne cijene priključka i troška mjerne opreme, a koje su podložne čestim godišnjim promjenama ovisno o indeksu cijene nafte i drveta, pa i potrošačkih cijena. Cijena toplinske energije je određena od 0,049 EUR/kWh, dok je cijena priključka 30 EUR po instaliranom kW u jednoj godini. Trošak mjerne opreme je 85 EUR/godišnje, pri čemu treba napomenuti da su sve ove cijene iskazane bez poreza. [38]

#### 4.3.3. Kogeneracijsko postrojenje na drvenu biomasu Holzindustrie Schweighofer Sebes, Rumunjska

Kogeneracijsko postrojenje na drvenu biomasu Holzindustrie Schweighofer Sebes, Rumunjska djeluje od 2010. godine. Predstavlja najveće kogeneracijsko postrojenje na području čitave Rumunjske. [39] [38] Nalazi se u sklopu pogona drvene industrije, što je iskorišteno za povlačenje drvene biomase koju koristi kao osnovni izvor za pogon i proizvodnju toplinske i električne energije.

Prema dostupnim podacima ukupna snaga kogeneracijskog postrojenja je 43,5 MW, od čega na proizvodnju toplinske energije ukupno otpada 32,6 MWt, a na proizvodnju električne energije 10,9 MWe. [38]

Unutar kogeneracijskog postrojenja nalaze se dva parno-turbinska postrojenja. Jedno je nazivne snage 11 MW, a drugo 32,5 MW. Što se tiče korištenja biomase kao obnovljivog izvora energije uglavnom se koristi drvena sječka, grane, kora drveta te drugi drveni otpad. [38] Dio toplinske energije iz postrojenja koristi se za potrebe drvne industrije, a dio služi za opskrbu potrošača na tom području. [39] [38]

U kogeneracijsko postrojenje se ulaže preko 30 milijuna EUR. Dio investicija financira se iz Fonda za okoliš, oko 15%. Ulaže se i privatni kapital koji iznosi većinu ukupnih investicija, oko 85%. [39] [38]

#### 4.3.4. Forssan Energia, kogeneracijsko postrojenje u gradu Forssa, Finska

Ovo kogeneracijsko postrojenje postoji više od 20 godina. Od 1996. godine opskrbljuje toplinskom i električnom energijom grad Forssa u Finskoj. Prema raspoloživim podacima, godine 1999. proizvedeno je 4102 GWh električne i 147,1 GWh toplinske energije. [40]

Za pogon se koristi drvena masa. Princip je takav da izgara u barbutažnom fluidiziranom sloju pa se razvija maksimalna toplinska snaga i proizvodi vodena para. U protutlačnoj turbini vodena para postaje mehaničkom energijom od 17,2 MW. Za ovo kogeneracijsko postrojenje procjenjuje se 91% ukupne toplinske učinkovitosti, te od 24% električne učinkovitosti. [40]

Investicije su preko 17 milijuna EUR. Prema kalkulacijama toplinska snaga ovog postrojenja iznosi 48 MWt, a električna 17,2 MWe. Tako promatrajući dolazi se do zaključka da investicije mogu biti i od 994 EUR/kWe. Ministarstvo trgovine i industrije Finske izdvojilo je 1,7 milijuna EUR u te svrhe, pa se postrojenje dijelom financira i iz državnih subvencija. Treba isto tako reći da samo troškovi održavanja ovog postrojenja godišnje iznose gotovo 70.000,00 EUR. [40]

## 5. ZAKLJUČAK

Sveobuhvatnim sagledavanjem značajki obnovljivih izvora energije, njihova utjecaja na ruralni razvoj, tehničkih rješenja kogeneracije te zakonske regulacije, dolazi se do zaključka da korištenje obnovljivih izvora energije, posebno biomase koja se pokazala kao veliki potencijal ne samo u Hrvatskoj, već i svijetu, doprinosi razvoju kogeneracijskog sustava za proizvodnju toplinske i električne energije. U radu su izneseni i stavovi nekih autora da biomasa i njezin otpad nisu onoliko iskorišteni koliko bi trebali, međutim vidljivo je da se u Hrvatskoj i ostalim zemljama svijeta nastoji sve više koristiti organska goriva za pogone elektrana.

Korištenjem obnovljivih izvora energije smanjuje se emisija stakleničkih plinova i doprinosi zbrinjavanju organskog otpada. Iz prikazanih primjera rada kogeneracijskog postrojenja može se zaključiti da izgradnja kogeneracijskog postrojenja i nije baš tako jednostavna. Potrebno je imati u vidu veliki broj čimbenika kako bi se uopće moglo utvrditi da li je to isplativo ili ne. Prema prikazanim analizama u odnosu na trošak proizvodnje toplinske i električne energije u kogeneracijskim postrojenjima na biomasu za ruralne teritorijalne jedinice, vidljivo je da je jedan od uvjeta za proizvodnju posjedovanje potrebnih sirovina za proizvodnju, a posebno se promatra konačna isplativost. Kogeneracijsko postrojenje na biomasu može biti isplativo čak i u slučaju da se ne posjeduju potrebne sirovine, ako bi ih investitor mogao nabaviti po povoljnijim cijenama. Mala kogeneracijska postrojenja na biomasu prema u radu spomenutim standardima predstavljaju najoptimalniji izbor kada je u pitanju opskrba toplinskom i električnom energijom u ruralnim jedinicama, posebno za manja mjesta i gradove, ali samo kada uistinu i postoji potrošnja proizvedene topline jer samo tako izgradnja kogeneracijskog postrojenja može ispunjavati svoju svrhu.

U Republici Hrvatskoj je prepoznat veliki potencijal obnovljivih izvora energije koji mogu biti izvor proizvodnje energije za industrije, poljoprivredna gospodarstva, stambene objekte i šire, a naročito za objekte u ruralnim područjima koji još uvijek nisu spojeni na energetska mrežu zbog procjena ekonomske neučinkovitosti. Karakteristika distribucijske mreže u ruralnim područjima je pretežno slabija potrošnja nego u urbanim područjima, iako to nije pravilo. Iz provedenih istraživanja vidljivo je da se uobičajeno i ne očekuju u budućnosti problemi u radu kogeneracijskih postrojenja na biomasu naročito u odnosu na pokazatelje kvalitete električne ili toplinske energije.

Na tehnički i gospodarski uspjeh kogeneracijskog postrojenja na biomasu za proizvodnju energije za ruralne teritorijalne jedinice utječe činjenica u kojoj mjeri se provode aktivne mjere razvoja

ruralnih područja i koliko se potiče povećanje takvih postrojenja kojima bi se mogli zadovoljiti svi postavljeni standardi energetske politike. Navedeno zahtijeva dugoročnu perspektivu poboljšanja energetske učinkovitosti, povećanja korištenja biomase i drugih obnovljivih izvora energije i održivog gospodarenja otpadom.

## LITERATURA

- [1] Omer, S.; Kopljar, A.; Hodžić, A.: „Biomasa kao gorivo“, Univerzitet u Bihaću, Bihać 2020.
- [2] Tepeš, V.: „Tehničko rješenje kogeneracijskog sustava“, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2009.
- [3] „Energetski resursi biomase u Hrvatskoj“, s Interneta, <http://www.eniteh.hr>, 1. rujna 2021.
- [4] Kutleša, P.: „Energija iz biomase“, s Interneta, <http://bioteka.hr/modules/okolis/article.php?storyid=4>, 1. rujna 2021.
- [5] Hrboka, L.: „Elektrane na biomasu“, diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2014.
- [6] Labudović, B.: „Obnovljivi izvori energije“, Energetika marketing, Zagreb, 2002.
- [7] Rudela, N.: „Biogoriva“, završni rad, Veleučilište u Šibeniku, Prometni odjel, Šibenik, 2015.
- [8] Sesar, M.: „Analiza energetskog potencijala biomase u Osječko-baranjskoj županiji“, završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Osijek, 2018.
- [9] Milačić, J.: „Ekstrakcija glicerola iz biodizela sintetiziranog iz otpadnih ulja“, završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2016.
- [10] Direktiva (EU) 2018/2001 Europskog parlamenta i Vijeća od 11. prosinca 2018. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora energije, s Interneta, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>, 29. kolovoza 2021.
- [11] Direktiva 2009/72/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 13. srpnja 2009. o zajedničkim pravilima za unutrašnje tržište električne energije i opozivu Direktive 2003/54/EZ, s Interneta, [https://files.hrote.hr/files/PDF/Dokumenti/Dokumenti%20EU/Directive\\_2009\\_72\\_EC.pdf](https://files.hrote.hr/files/PDF/Dokumenti/Dokumenti%20EU/Directive_2009_72_EC.pdf), 23. kolovoza 2021.
- [12] Direktiva (EU) 2019/944 Europskog Parlamenta i Vijeća od 5. lipnja 2019. o zajedničkim pravilima za unutarnje tržište električne energije i izmjeni Direktive 2012/27/EU, s Interneta, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0944&from=EN>, 20. kolovoza 2021.
- [13] Direktiva 2009/73/EZ Europskog parlamenta u Vijeća od 13. srpnja 2009. godine, o zajedničkim pravilima za unutrašnje tržište prirodnog plina i opozivu Direktive 2003/55/EZ, S Interneta, [https://files.hrote.hr/files/PDF/Dokumenti/Dokumenti%20EU/Directive\\_2009\\_73\\_EC.pdf](https://files.hrote.hr/files/PDF/Dokumenti/Dokumenti%20EU/Directive_2009_73_EC.pdf), 28. kolovoza 2021.
- [14] Direktiva 2005/89/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 18. siječnja 2006. godine, s Interneta, [https://www.ferk.ba/\\_hr/images/stories/05\\_09/eu\\_rules/2005\\_89.pdf](https://www.ferk.ba/_hr/images/stories/05_09/eu_rules/2005_89.pdf), 1. rujna 2021.



- [15] Direktiva 2004/8/EZ Europskog parlamenta i vijeća od 11. veljače 2004. godine o promicanju kogeneracije na temelju potrošnje korisne energije u unutrašnjem tržištu energije koja dopunjuje i izmjenjuje Direktivu 92/42/EEZ, s Interneta, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004L0008&from=CS>, 1. rujna 2021.
- [16] Direktive Vijeća 2003/96/EZ od 27. listopada 2003. godine o restrukturiranju sustava oporezivanja energetske proizvoda i električne energije, s Interneta, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=celex%3A32003L0096>, 1. rujna 2021.
- [17] Direktiva Vijeća 2003/92/EZ od 7. listopada 2003. godine kojom se izmjenjuje i dopunjuje Direktiva 77/388/EEC u vezi s pravilima u području opskrbe plinom i električnom energijom, s Interneta, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX%3A32009L0162>, 1. rujna 2021.
- [18] Direktiva 2003/54/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 26. lipnja 2003. godine o zajedničkim pravilima za unutrašnje tržište električne energije i opozivu Direktive 96/92/EZ, s Interneta, <http://www.derk.ba/DocumentsPDFs/EU-DIR-2003-54-BS.pdf>, 1. rujna 2021.
- [19] Direktiva 2003/30/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 8. svibnja 2003. godine o poticanju korištenja biogoriva i drugih obnovljivih goriva za potrebe prijevoza, s Interneta, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX%3A32009L0028>, 1. rujna 2021.
- [20] Hrvatski operator tržišta energije d.o.o.: „Dokumenti EU“, s Interneta, <https://www.hrote.hr/dokumenti-eu>, 1. rujna 2021.
- [21] Grad Zagreb, Gradski ured za energetiku, zaštitu okoliša i održivi razvoj: „Informativna brošura za promicanje obnovljivih izvora energije namijenjena građanima, malom i srednjem poduzetništvu i obrtništvu“, s Interneta, [https://eko.zagreb.hr/UserDocsImages/arhiva/dokumenti/brosure/info\\_brosura.pdf](https://eko.zagreb.hr/UserDocsImages/arhiva/dokumenti/brosure/info_brosura.pdf), 1. rujna 2021.
- [22] Zakon o energiji („Narodne novine“, br. 120/12, 14/14, 102/15, 68/18), s Interneta, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018\\_07\\_68\\_1397.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_07_68_1397.html), 1. rujna 2021.
- [23] Zakon o tržištu električne energije („Narodne novine“ br. 22/13, 102/15, 68/18, 52/19), s Interneta, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019\\_05\\_52\\_994.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_05_52_994.html), 1. rujna 2021.
- [24] Zakon o tržištu toplinske energije („Narodne novine“ br. 80/13, 14/14), s Interneta, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013\\_06\\_80\\_1655.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_06_80_1655.html), 1. rujna 2021.
- [25] Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji („Narodne novine“ br. 100/15, 111/18), s Interneta, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018\\_12\\_111\\_2151.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_12_111_2151.html), 1. rujna 2021.
- [26] Zakon o energetskej učinkovitosti („Narodne novine“ br. 127/14, 116/18, 25/20, 41/21), s Interneta, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021\\_04\\_41\\_811.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_04_41_811.html), 1. rujna 2021.

- [27] Strategija energetskega razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu („Narodne novine“ br. 25/20), s Interneta, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020\\_03\\_25\\_602.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_03_25_602.html), 1. rujna 2021.
- [28] Hrvatska energetska regulatorna agencija: „Energetski zakoni“, s Interneta, <https://www.hera.hr/hr/html/zakoni.html>, 1. rujna 2021.
- [29] Jankić, S.: „Tehno-ekonomska analiza bioplinskih postrojenja u ruralnim područjima“, diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Osijek, 2018.
- [30] „Program korištenja potencijala za učinkovitost u grijanju i hlađenju za razdoblje 2016.-2030.“, s Interneta, [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/croatia\\_report\\_eed\\_art\\_141update\\_hr.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/croatia_report_eed_art_141update_hr.pdf), 28. kolovoza 2021.
- [31] Primorac, R.: „Korištenje biomase za proizvodnju električne energije“, diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Osijek, 2016.
- [32] Šljivac, D.; Šimić, Z.: „Obnovljivi izvori energije“, s Interneta, <http://oie.mingorp.hr/UserDocsImages/OIE%20Tekst.pdf>, 20. kolovoza 2021.
- [33] Varga, K.: „Kogeneracija u Babinoj Gredi“, završni rad, Međimursko veleučilište u Čakovcu, Čakovec, 2019.
- [34] Grad Delnice, „Izješće o stanju u prostoru grada Delnic za razdoblje od 2018. do 2022. godine“, s Interneta, [https://www.delnice.hr/DOKUMENTI\\_ODLUKE/sluzbene\\_novine/2019\\_sn05\\_web/GV%20182.2.%20ISUP%20Grada%20Delnica\\_2018-2022\\_FINAL.pdf](https://www.delnice.hr/DOKUMENTI_ODLUKE/sluzbene_novine/2019_sn05_web/GV%20182.2.%20ISUP%20Grada%20Delnica_2018-2022_FINAL.pdf), 28.8.2022.
- [35] ELKA katalog „Energetski srednjenaponski kabeli s XLPE izolacijom za napone 36 kV“, s Interneta, <http://elka.hr/wp-content/uploads/2017/03/Energetski-srednjenaponski-kabeli-do-36-kV-Power-cables-up-to-36-kV.pdf>, 19. kolovoz 2022.
- [36] Nexans katalog „SIWO-KUL High voltage cables“, s Interneta, <https://www.cablejoints.co.uk/upload/SIWO-KUL-High-Voltage-Power-Cables---Offshore-Topside-Cables.pdf>, 19. kolovoz 2022.
- [37] Interni zapisi tvrtke BE-TO Brinje d.o.o., Leko - biro d.o.o., Šerif export-import d.o.o., Lingum d.o.o
- [38] „PromoBio projekt; Fact sheets“, s Interneta, [http://www.promobio.eu/tiedostot/tiedotteet/Fact%20sheet\\_admont\\_be2020\\_final1.pdf](http://www.promobio.eu/tiedostot/tiedotteet/Fact%20sheet_admont_be2020_final1.pdf), 1. rujna 2021.

[39] Tomić, T.: „Analiza isplativosti centraliziranog toplinskog sustava na biomasu i komunalni otpad u Zagrebu“, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2014.

[40] Kirjavainen, M. i dr.: „Small-scale biomass CHP technologies - situation in Finland, Denmark and Sweden – OPRT Report 12“, VTT Proccessec for European Commission; Espoo, Finska; 2004.

## POPIS OZNAKA I KRATICA

Veličina, oznaka, kratica	Opis
<i>Hd</i>	Donja ogrjevnost
<i>Hg</i>	Gornja ogrjevnost
<i>kW</i>	Kilovat – snaga/količina utrošene energije
<i>MW</i>	Megavat – snaga/količina utrošene energije
<b>CO<sub>2</sub></b>	Ugljikov oksid
<b>EUR</b>	Euro
<b>HRK</b>	Hrvatska kuna

### Popis slika:

Slika 2.1. Energetski resursi biomase u Republici Hrvatskoj [3].....	3
Slika 2.2. Kruženje ugljika u prirodi .....	4
Slika 4.1. Usporedba energetske učinkovitosti kogeneracije i odvojene proizvodnje [32] .....	14
Slika 4.2. Osnovne karakteristike kogeneracijskih procesa s obzirom – parna i plinska turbina [30] .....	15
Slika 4.3. Osnovne karakteristike kogeneracijskih procesa - kombinirani ciklus, plinski i diesel motor, gorivu ćeliju, stirling motor [30] .....	15
Slika 4.4. Potencijalno mjesto za izgradnju postrojenja u Delnicama .....	17
Slika 4.5. Primjer pužnog sustava do kotlovnice .....	19
Slika 4.6. Sustav stvaranja pare.....	21
Slika 4.7. Parni bubanj .....	21
Slika 4.8. Pregrijači pare [33].....	22
Slika 4.9. Izgled generatora ugrađenog u kogeneracijsko postrojenje [33] .....	24
Slika 4.10. Prikaz dvostrano napajanog 35 kV kabela .....	30
Slika 4.11. Prikaz točke razdjelnice radne snage .....	32
Slika 4.12. Prikaz točke razdjelnice jalove snage .....	32
Slika 4.13. Tehničke karakteristike Lienz I [38].....	36

### Popis tablica:

Tablica 1.: Prikaz plan a vraćanja kredita .....	33
--	----

## **SAŽETAK**

Korištenje biomase u kogeneracijskim postrojenjima pruža mogućnost za većom iskoristivošću energenta gdje postoji mogućnost za proizvodnju jeftinije toplinske i električne energije naspram cijene koja je prisutna u postojećoj toplinskoj i električnoj mreži. To je ujedno i glavni razlog zbog čega se danas grade takva postrojenja, a često je i predmet rasprava kada je u pitanju proizvodnja toplinske i električne energije u ruralnim područjima u slučajevima kada može doći do ispada distribucijske mreže i gubitaka u slučaju zaustavljanja proizvodnog procesa. Smatra se da obnovljiva energija može biti ključan pokretač razvoja u ruralnim teritorijalnim jedinicama. U radu su prikazane neke osnovne značajke obnovljivih izvora energije, te je prikazan tehnički opis i rješenje kogeneracijskog sustava na biomasu.

Ključne riječi: energija, biomasa, kogeneracija, ruralna područja

## **ABSTRACT**

The use of biomass in cogeneration plants provides an opportunity for higher energy efficiency where there is a possibility to produce cheaper heat and electricity compared to the price that is present in the existing heat and electricity network. This is also the main reason why such plants are being built today, and it is often the subject of discussions when it comes to the production of heat and electricity in rural areas in cases where there may be a breakdown of the distribution network and losses if the production process stops. It is believed that renewable energy can be a key driver of development in rural territorial units. The paper presents some basic features of renewable energy sources, as well as technical description and solution of the biomass cogeneration system.

Key words: energy, biomass, cogeneration, rural areas