

# Termoelektrana na drvnu biomasu

---

**Mišković, Josip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:437462>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-21**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Stručni studij**

**TERMOELEKTRANE NA DRVNU BIOMASU**

**Završni rad**

**Josip Mišković**

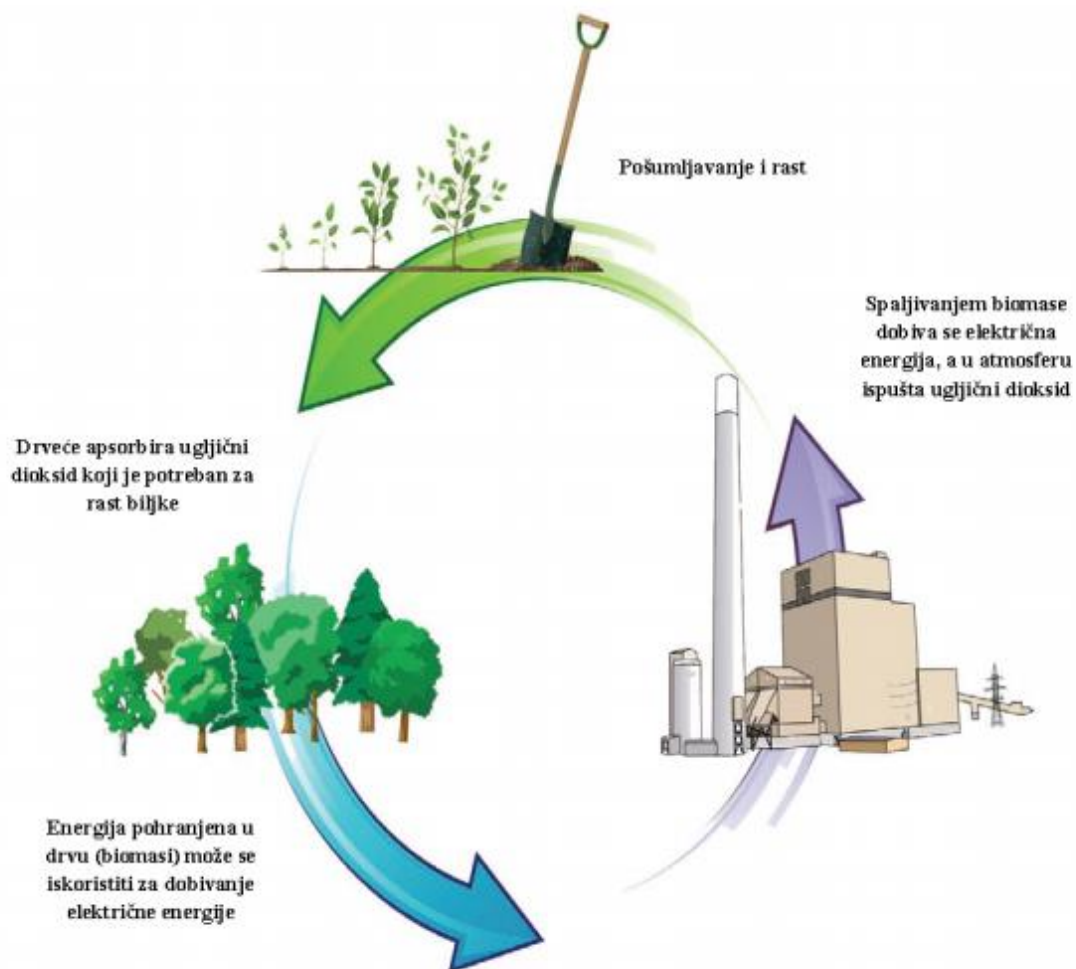
**Osijek, 2017.**

# Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ BIOMASE .....	3
2.1. Kogeneracija.....	3
2.1.1. Parnoturbinska kogeneracija .....	6
2.1.2. Izračun uštede primarne energije u kogeneracijskom postrojenju .....	8
2.2. Primjer kogeneracijskog sustava (ENITECH) .....	10
2.3. Trigeneracija.....	11
3. PROCES RASPLINJAVANJA.....	12
3.1. Modeliranje reaktora za rasplinjavanje.....	14
3.2. Proizvodnja električne energije rasplinjavanjem drvene biomase.....	16
3.2.1. Izračun potrošnje potrebnog goriva za proizvodnju električne energije .....	19
4. GLAVNI DIJELOVI TERMOELEKTRANE .....	20
4.1. Generator pare .....	21
4.2. Ložišta za čvrsta goriva .....	23
4.3. Voda za parne kotlove .....	24
4.4. Parne turbine.....	25
4.5. Kondenzator parne turbine .....	26
5. ZAKLJUČAK .....	28
LITERATURA.....	29
SAŽETAK.....	30
ŽIVOTOPIS .....	31

# 1. UVOD

Čovjek se oduvjek koristio s prirodnim oblicima energije a s obzirom na svojstvo obnovljivosti postoje dvije vrste takve energije obnovljivi i neobnovljivi. Izvor kojemu se svake godine prosječni dotok ponavlja nazivamo ga obnovljivi izvor energije. Jedna od podjela obnovljivih izvora energije je energija biomase. Biomasa je gorivo koje nastaje kao ostatak ili otpadak biljnog, životinjskog porijetla te raznih industrija. Biomasa ima velike potencijale u svrhi proizvodnje električne energije. Prilikom korištenja biomase nastaju razni plinovi koji se mogu koristiti za proizvodnju energije. Najbolja karakteristika biomase je što proizvodi male količine štetnih tvari u odnosu na fosilna goriva. Ona je  $CO_2$  neutralna što znači prilikom rasta proizvodi kisik možda čak i većih količina nego što će zagaditi okoliš prilikom izgaranja.



Slika 1.1. Životni ciklus biomase [1]

Najčešće korištena biomasa je drvena. Ona se može podijeliti na dvije vrste, a to su otpadna biomasa iz drvne industrije i šumska biomasa. Dobivanje energije se vrši na razne načine. Najčešći su korištenjem briketa i peleta, zatim drvena sječka te ogrijevno drvo.

Drvena se biomasa obrađuje kemijski i mehanički kako bi se mogla koristiti za dobivanje toplinske energije. Drvena biomasa u obliku cjepanica i sječke nastaje prilikom sječe drva ili kao ostatci pri piljenju, brušenju u drvanoj industriji, dok briketi i peleti nastaju tek s daljnom obradom ostataka.

Moderna ložišta su u današnje vrijeme uvijek prilagođena primjeni točno određenog oblika drvene biomase neovisno o veličini sustava odnosno postrojenja. Također, moderna postrojenja na biomasu se mogu u potpunosti automatizirati i regulirati.



**Slika 1.2.** Briketi i peleti [2]



**Slika 1.3.** Cjepanice i drvena sječka [2]

## 2. PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ BIOMASE

Korištenje biomase za proizvodnju energije zahtijevat će u budućnosti daljnji razvoj tehnologija koje će omogućiti povećanje stupnja iskoristivosti goriva i sniziti cijenu tako proizvedene energije na ekonomski konkurentnu razinu. Moguće je korištenje biomase i u kotlovima na ugljen, gdje dolazi do istovremenog izgaranja drvene biomase i ugljena. Prilikom izgaranja udio biomase može doseći i do 15 % u ukupnoj količini goriva, što znatno pomaže pri smanjenju emisija stakleničkih plinova. Uz što veći udio biomase postiže se veće smanjenje emisije stakleničkih plinova (udio 15 %, smanjenje 18 %) dok se učinkovitost kreće od 33 % do 37 %.

### 2.1. Kogeneracija

Mogućnost istovremene proizvodnje toplinske i električne energije nazivamo kogeneracijom. Glavna razlika između kogeneracijskih i konvencionalni elektrana je ta što se kod kogeneracije plinovi hlade prije evakuaciji te predaju energiju kružnom mediju, dok kod konvencionalnih plinovi izravno evakuiraju dimnjakom. Kogeneracijska postrojenja mogu postići energetska učinkovitost oko 90 % koja se računa na sljedeći način [3]:

$$PES = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{\eta_{H,k} + \eta_{E,k}}{\eta_{H,r} + \eta_{E,r}}} \right] * 100 \% \quad (2-1)$$

gdje je:

- $\eta_{H,k}$  - toplinska učinkovitost kogeneracije,
- $\eta_{E,k}$  - električna učinkovitost kogeneracije,
- $\eta_{H,r}$  - referentna vrijednost za proizvodnju topline,
- $\eta_{E,r}$  - referentna vrijednost proizvodnju el. energije.

Da bismo postrojenje smatrali visokoučinkovitim mora imati  $PES \geq 10\%$  (Direktiva 2004/8/EC i Aneks III), ako je postrojenje manjih snaga (do 1 MW) onda  $PES \geq 0\%$ .

Kogeneracijsku učinkovitost računamo na sljedeći način [3]:

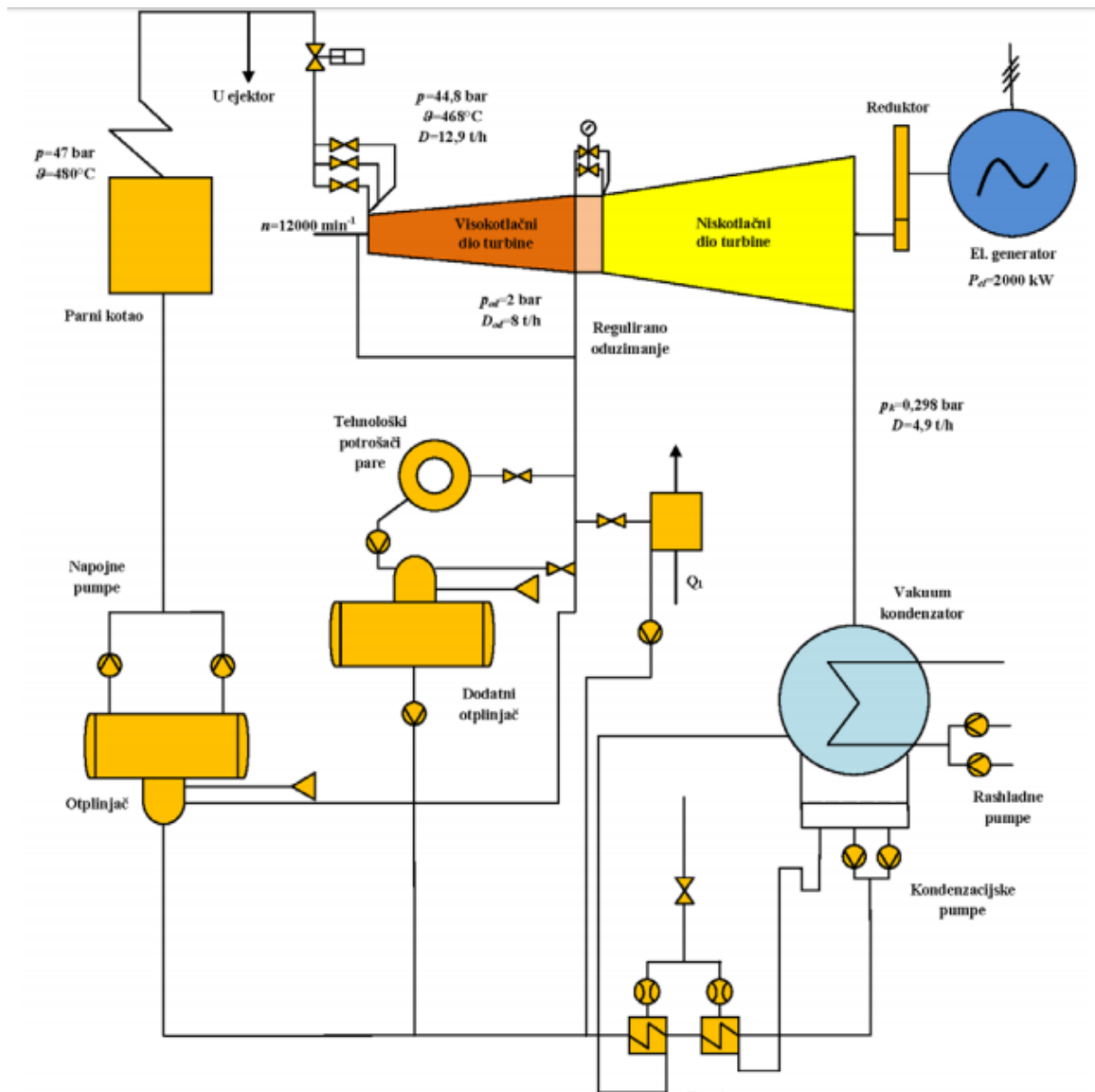
$$\eta_{CHP} = \left[ \frac{E + T}{GOR} \right] * 100 \% \quad (2 - 2)$$

gdje je:

- $\eta_{CHP}$  – učinkovitost kogeneracije,
- $E$  - neto izlazna električna energija,
- $T$  – korisna toplinska energija,
- $GOR$  – ulazna energija goriva.

Kogeneracijsko postrojenje se sastoji od četiri glavna elementa, a to su:

- pogonski stroj
- električni generator
- sustav za regeneraciju topline
- upravljački i mjerni sustav



**Slika 2.1.** Toplinska shema kogeneracijske termoelektrane [1]

Iz parnog kotla para preko sigurnosnog ventila te grupe regulacijskih ventila (pad tlaka od 5 %), struji do turbine te u visokotlačnom dijelu ekspandira do tlaka reguliranog oduzimanja  $p_{od}=2$  bar. Ta se para distribuira tehnološkim potrošačima pare. Preostali dio pare ekspandira u niskotlačnom dijelu turbine do konačnog tlaka  $p_k=0,298$  bar, zatim kondenzira vakuum kondenzatoru te se voda kondenzacijskim pumpama doprema u otplinjač, a iz otplinjača napojnim pumpama u parni kotao.

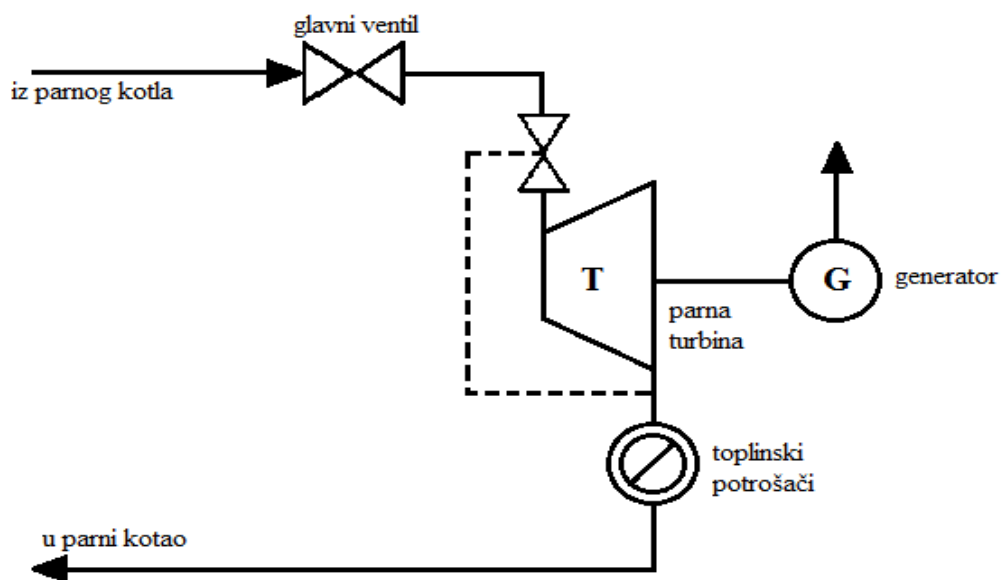


### 2.1.1. Parnoturbinska kogeneracija

Ova kogeneracija se smatra najraširenijom i među najstarijim tehnologijama koje se koriste u današnjici. Instalirana snaga se kreće od 50 kW do nekoliko stotina MW. Za radni medij najčešće koristimo vodenu paru, dok ponekad dolazi u upotrebu i organski. Postoje dvije vrste parnoturbinske kogeneracije:

- s protutlačnom turbinom,
- s oduzimanjem pare (s kondenzatorskom turbinom)

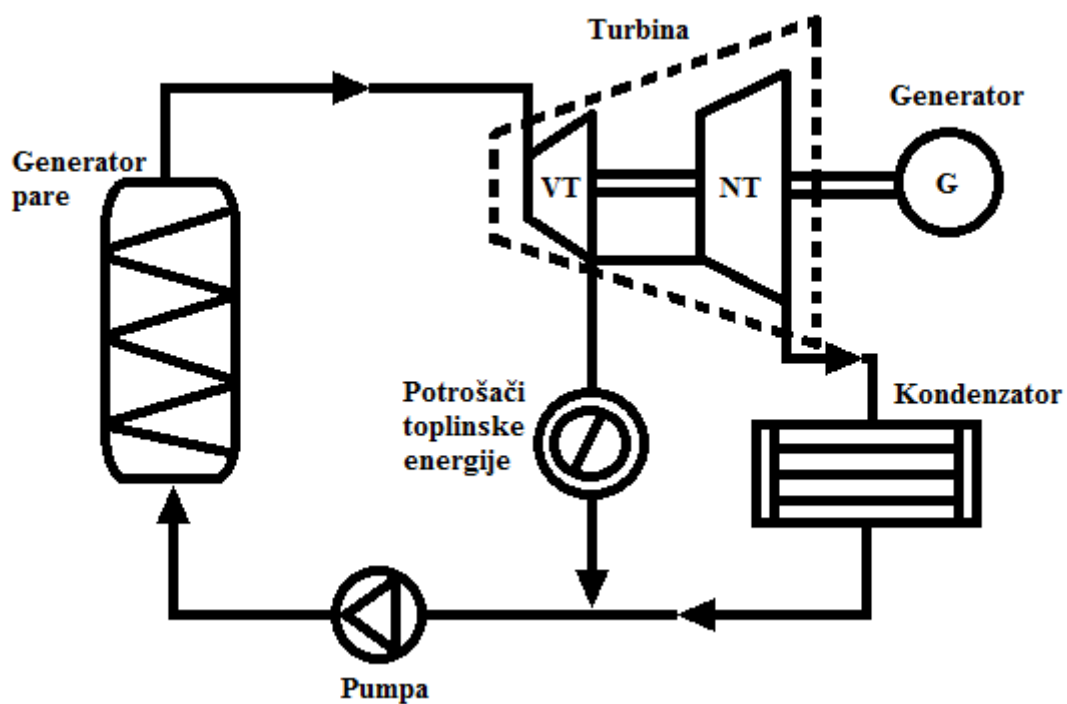
Kod **parnoturbinskih kogeneracija s protutlačnom turbinom** para proizvedena u turbini ekspandira do protutlaka (s odgovarajućom temperaturom), koji je puno viši nego kondenzatorski, te ju odvodi prema razvodniku koji šalje toplinu u toplovodni sustav.



**Slika 2.2.** Shema parnoturbinske kogeneracije s protutlačnom turbinom [3]

Potreba za toplinskom i električnom energijom nije u svakom trenutku jednaka pa se višak pare izbacuje.

**Parnoturbinska kogeneracija s oduzimanjem** pare može biti regulirana ili nerugulirana. Para turbine s reguliranim oduzimanjem se sastoji od visokotlačnog djela i niskotlačnog djela koji se nalaze na zajedničkom vratilu ali odvojenih kućišta kao što možemo vidjeti na slici 2.3. Sva para koja dolazi iz kotla ekspandira u visokotlačnom djelu, nakon toga dio se odvodi potrošačima, a ostatak odlazi u niskotlačnu turbinu gdje ekspandira. Između visokotlačne i niskotlačne turbine ima ventil koji regulira ekspanziju paru do kondenzatorskog tlaka. Promjenom pare na niskotlačnom djelu turbine mijenjat će se para i na visokotlačnom djelu što znači da će se mijenjati i tlak pare koji je namjenjen potrošačima.



Slika 2.3. Shema parnoturbinske kogeneracije s reguliranim oduzimanjem [3]

**Tablica 2.1.** Značajke parnoturbinskih kogeneracija (manjih snaga).

Električna snaga generatora ( $kW_e$ )	Električna učinkovitost kogeneracije $\eta_{E,kogen}$ (%)	Iskoristiva toplinska snaga ( $kW_t$ )	Gorivo
do 1000	15-18	do 5000	biomasa, ugljen
1000-2500	17-22	5000-10000	biomasa, ugljen
2500-5000	21-28	10000-20000	biomasa, ugljen

### 2.1.2. Izračun uštede primarne energije u kogeneracijskom postrojenju

Za proizvodnju 23,24 GWh električne energije postrojenje troši 15550 t drvene sječke, a za proizvodnju 44,80 GWh toplinske energije troši 12343 t. Postrojenje nastoji umjesto odvojene proizvodnje energije dobivati energiju iz jednog kogeneracijskog postrojenja kojemu je učinkovitost  $\eta_{CHP}=82,85$  %, treba odrediti uštedu primarne energije. Poznata nam je ogrijevna vrijednost suhog drveta ( $NOV_0$ ) 18,5 MJ/kg i vlažnost drvene sječke (M) 15 %.

Prvo računamo  $\eta_{H,ref}$  i  $\eta_{E,ref}$ . Kako bi se mogla odrediti primarna potrošnja za odvojenu proizvodnju toplinske energije potrebno je izračunati neto ogrijevnu vrijednost pri vlažnosti od 15 % ( $NOV_{15}$ ) na mokroj osnovi.

$$NOV_{15} = \frac{NOV_0(100-M)-2,44*M}{100} = \frac{18,5*(100-15)-2,44*15}{100} = 15,36 \frac{MJ}{kg} = 4,27 kWh/kg$$

$$GOR_T = m_{d.s.T} * NOV_{15} = 12343 * 10^3 * 4,27 = 52,7 * 10^6 kWh = 52,7 GWh$$

$$GOR_E = m_{d.s.E} * NOV_{15} = 15550 * 10^3 * 4,27 = 66,40 * 10^6 kWh = 66,40 GWh$$

Učinkovitost odvojene proizvodnje toplinske energije  $\eta_{H,ref}$  iznosi:

$$\eta_{H,ref} = \frac{T}{GOR_T} = \frac{44,80}{52,7} = 0,85$$

Učinkovitost odvojene proizvodnje električne energije  $\eta_{E,ref}$  iznosi:

$$\eta_{E,ref} = \frac{E}{GOR_E} = \frac{23,24}{66,40} = 0,35$$

Ukupna potrošnja energije promatranog postrojenja jednaka je zbroju potrošnje električne E i toplinske T energije.

$$E+T=23,24+44,80=68,04 \text{ GWh}$$

Potrebna godišnja primarna energija kogeneracijskog postrojenja odnosno goriva iznosi:

$$GOR = \frac{E + T}{\eta_{CHP}} = \frac{23,24 + 44,80}{0,8285} = 82,12 \text{ GWh}$$

Toplinska učinkovitost kogeneracije  $\eta_{H,kogen}$  iznosi:

$$\eta_{H,kogen} = \frac{T}{GOR} = \frac{44,80}{82,12} = 0,5455$$

Električna učinkovitost kogeneracije  $\eta_{E,kogen}$  iznosi:

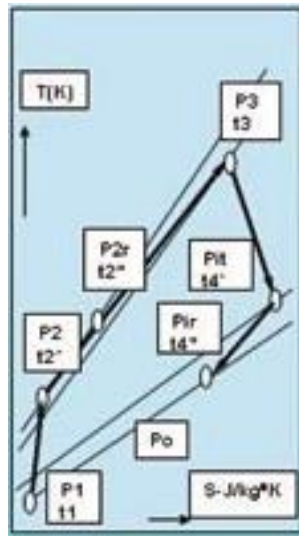
$$\eta_{E,kogen} = \frac{E}{GOR} = \frac{23,24}{82,12} = 0,283$$

Ušteda primarne energije kogeneracijskog postrojenja PES iznosi:

$$PES = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{\eta_{H,kogen}}{\eta_{H,ref}} + \frac{\eta_{E,kogen}}{\eta_{E,ref}}} \right] = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{0,5455}{0,85} + \frac{0,283}{0,35}} \right] = 0,3105 \rightarrow PES=31,05 \%$$

## 2.2. Primjer kogeneracijskog sustava (ENITECH)

Ovaj sustav se temelji na klasičnom otvorenom plinsko turbinskom procesu.



**Slika 2.4.** Otvoreni plinsko turbinski proces [4]

Vidimo da kompresija zraka iz okoline ( $P1 \gg P2$ ) koja se zagrijava u regeneratorskom sa ispušnom toplinom iz turbine ( $t2' \gg t2''$ ) odlazi u komoru izgaranja za plin, gdje se stvaraju plinovi izgaranja ( $t2'' \gg t3$ ). Nakon što plinovi u turbini ekspanziraju ( $P3 \gg Pit$ ) oni oslobode energiju za pogon el. generatora. Prilikom izlaska ispušnih plinova iz turbine oni se hlade u regeneratorskom ( $t4' \gg t4''$ ) gdje se zagrijava zrak iz kompresora i povećava se stupanj korisnosti. Za korištenje energije biomase u plinskoj turbini potrebno je izgraditi vanjske instalacije za izgaranje biomase čija energija odlazi u turbinu.

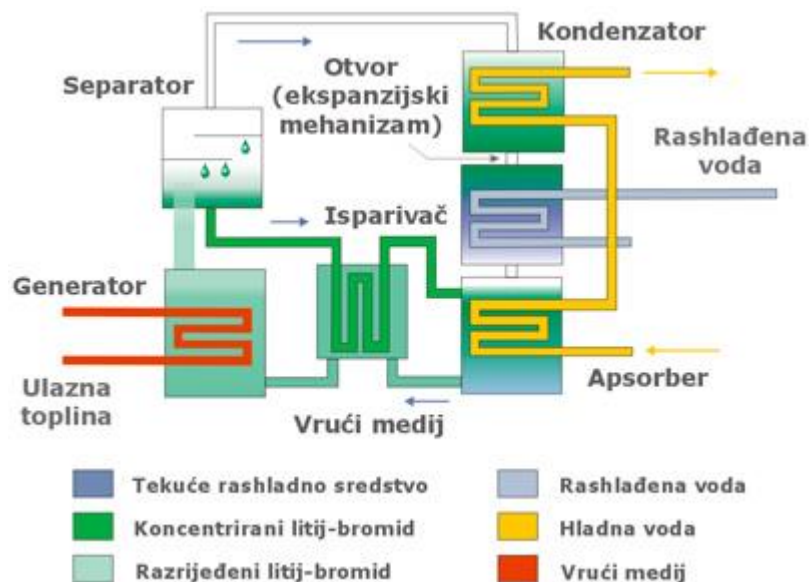
Prilikom direktnog izgaranja biomase na turbinu se dograđuje vanjsko ložište iz kojeg plinovi izgaranja odlaze u turbinu, ti plinovi u sebi sadrže pepeo koji stvara naslage i koroziju lopatica. Kako bismo to izbjegli koristi se indirektni način izgaranja biomase, biomasu koristimo za zagrijavanje zraka pri ulasku u turbinu, takav način rada nam osigurava da u turbinu ulazi čisti zrak. Prilikom korištenja indirektnog načina rada možemo koristiti i druga pogonska goriva kao što su ugljen, plinovita i otpadna tekuća goriva. Prilikom korištenja zraka kao radnog medija turbine omogućava se rad bez pogonskih troškova radnog medija (nema pripreme vode, rad bez otpadnih voda). Sustav ENITECH ima još neke značajne prednosti pred ostalim kogeneracijskim sustavima: viša temperatura ispušnog medija, veća el. efikasnost, uz znatno niže investicijske vrijednosti.

### 2.3. Trigeneracija

U kogeneracijskim postrojenjima uz korištenje električne energije poznato je da se koristi i otpadna toplina pogonskih strojeva što rezultira većim stupnjem iskorištavanja energetskeg potencijala primarnog energenta.

Kombiniranjem kogeneracijskog procesa s apsorpcijskim (rashladnim) uređajem omogućuje se pored električne i toplinske energije korištenje i rashladne energije a taj proces nazivamo trigeneracija. Time se pored veće funkcionalnosti postiže i veća ekonomičnost takvog postrojenja. Konceptom trigeneracije moguće je dostići ukupnu efikasnost procesa i do 75 %. Takva postrojenja koriste se tamo gdje se traži veća potreba za električnom, toplinskom i rashladnom energijom kao npr. bolnice, domovi za umirovljenike, rekreacijski centri s bazenima, hoteli, trgovački centri i razna industrijska postrojenja [2].

Kao pokretač za apsorpcijske rashladne uređaje koristimo toplu vodu ili zagrijani ispušni plin iz kogeneracijskog postrojenja. Na taj način se može više od 80 % toplinske energije pretvoriti u rashladnu vodu koja se zatim dovodi do potrošača.

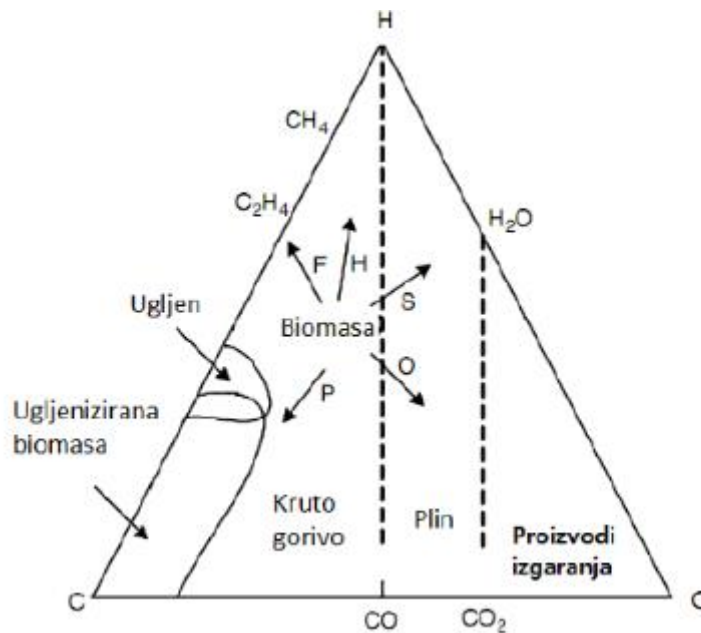


Slika 2.5. Shema trigeneracije [5]

### 3. PROCES RASPLINJAVANJA

Kemijski proces pretvorbe tekuće ili čvrste tvari u plin nazivamo rasplinjavanjem. Uz pomoć ovog procesa dobivamo generatorski plin koji sadrži  $H_2$ ,  $CH_4$  i  $CO$ . Njegova prednost je učinkovitija i lakša regulacija snage, povećanje energetske učinkovitosti i korištenje goriva s ekološko prihvatljivim emisijama.

Ako uslijed rasplinjavanja dodamo vodik primarnom energentu nastaje plin ugljikovodik. Rasplinjavanje se sastoji od: djelomičnog izgaranja plinova, toplinske razgradnje organske tvari ili pirolize, sušenja, para i ugljena iz biomase i rasplinjavanja ostataka. Za proces rasplinjavanje potreban je medij (kisik, zrak ili para). Najčešći medij koji koristimo za rasplinjavanje je kisik, bilo da se uzima iz zraka ili se koristi u čistoj formi. Kemijski sastav i ogrjevna moć plina značajno ovise o količini rasplinjavajućih reagensa i primarnom energentu.



Slika 3.1. Proces rasplinjavanja, trostruki dijagram (C-H-O) [6]

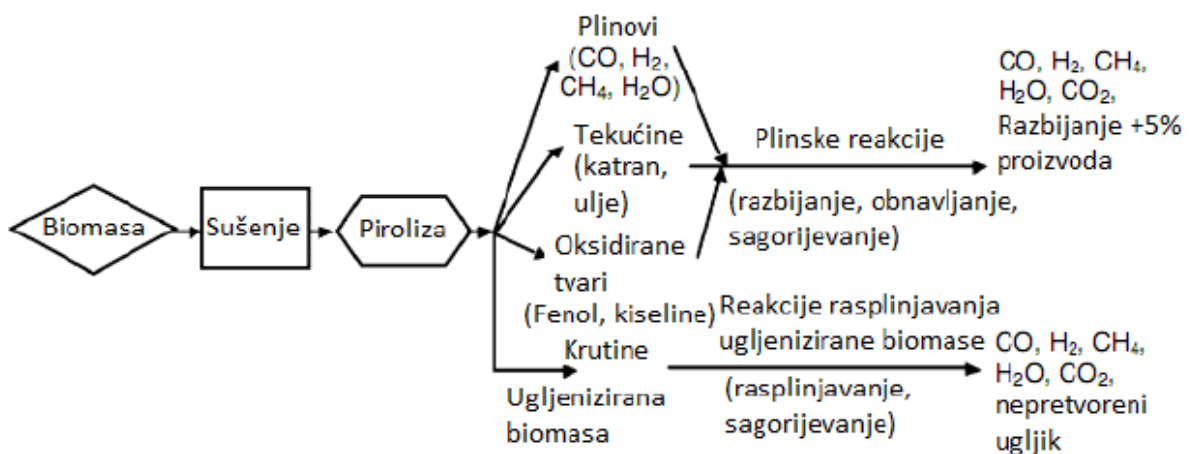
Pri rasplinjavanju kisik se uzima za medij, pretvorba se kreće prema vrhu O (kisik).

Pojavljaju se nusproizvod  $\text{CO}_2$  za velike količine kisika i  $\text{CO}$  za male količine kisika. Umjesto generatorskog plina zna nastati dimni plin koji nastaje ako se količina kisik ne podešava stehiometrijski. Kretanjem kisika prema vrhu slika 3.1. udio vodika se smanjuje, a udio spojeva ugljika  $\text{CO}$  i  $\text{CO}_2$  se povećava. Kada se koristi para kao medij, nastaje generatorski plin. Izbor medija značajno utječe na ogrjevnu moć izraženu u  $\text{MJ/m}^3$  koja se dobiva izgaranjem generatorskog plina.

Iz tablice 3.1. se vidi da uz pomoć kisika kao radnog medija dobivamo najveću ogrjevnu moć. Prilikom upotrebe zraka umjesto kisika kao radnog medija, povećava se dušik u generatorskom plinu zato dolazi do smanjenja ogrjevne moći.

**Tablica 3.1.** Različite ogrjevne moći za različiti reagens.

Reagens	Ogrjevna moć [ $\text{MJ/m}^3$ ]
Zrak	4-7
Para	10-18
Kisik	12-28



**Slika 3.2.** Smjerovi rasplinjavanja [6]



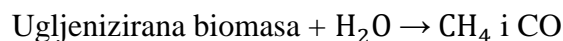
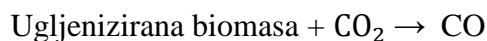
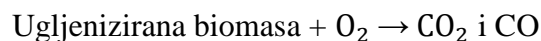
Proces rasplinjavanja biomase uobičajeno započinje s zagrijavanjem, pirolizom i sušenjem. Uz pomoć kemijske reakcije između radnog medija i pirolize biomase dobivamo željeni generatorski plin. Iz egzotermičkih reakcija pri izgaranju biomase dobiva se toplinska energija nužna za sušenje, zagrijavanje i pirolizu biomase.

**Tablica 3.2.** Količina vlage za različite vrste biomase.

Biomasa	Kukuruzna stabljika	Pšenična slama	Rižina slama	Rižina ljuska	Stočni izmet	Kora drveta	Piljevina	Ostaci hrane	RDF peleti
Vlažnost [%]	40-60	8-20	50-80	7-10	88	30-60	25-55	70	25-35

Sušenjem uklanjamo vlagu iz biomase u suprotnom treba minimalno 2260 kJ dobivene energije po kilogramu biomase za isparavanje vlage. Prilikom temperatura iznad 100 °C nastaje nepovratno izdvajanje vode iz biomase te uz daljnji porast temperature vode ona u potpunosti isparava (do 200 °C).

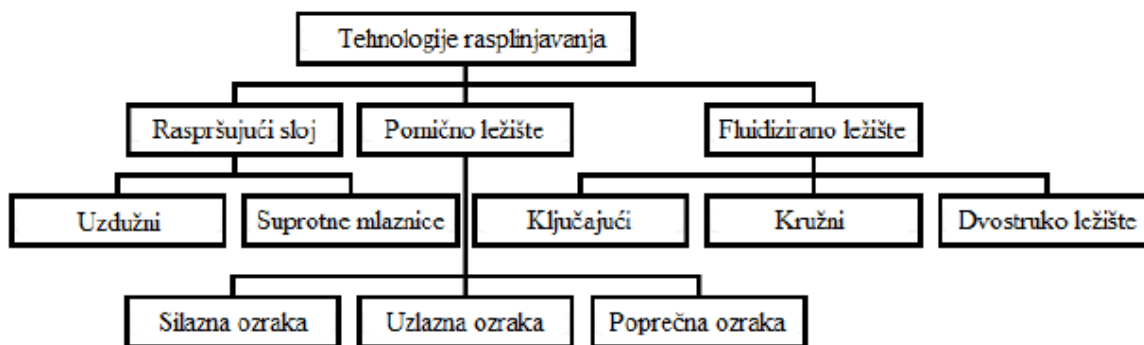
Za vrijeme spore pirolize, plin ide prema vrhu C (ugljik), pri tome nastaje više ugljenizirane biomase. Za vrijeme brze pirolize, plin se kreće prema C-H osi koja je nasuprotna vrha kisika. Kisik se polagano smanjuje a povećava se ugljikovodik. Slijedeće kemijske jednadžbe prikazuju kemijske reakcije:



### 3.1. Modeliranje reaktora za rasplinjavanje

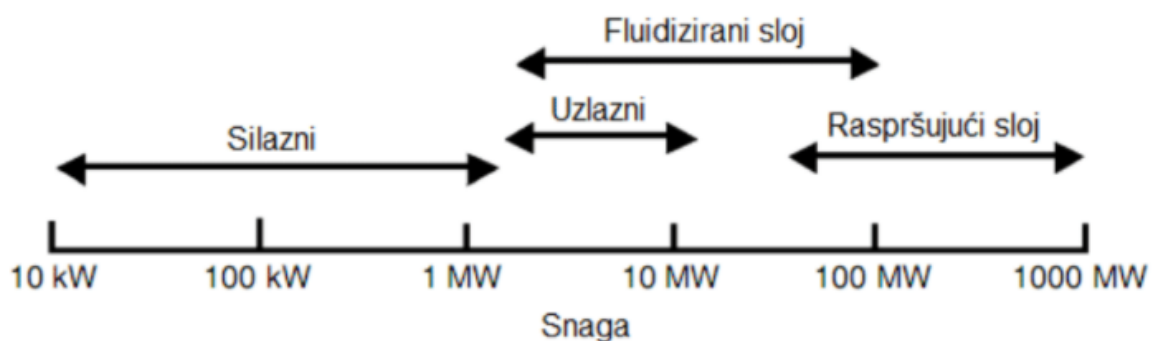
Elektrana sa ugrađenom plinifikacijom osim reaktora za rasplinjavanje sadrži i sustav za opskrbu reaktora biomasom i sustav za obradu biomase te sustav za čišćenje plina i sustav za uklanjanje pepela i krutih ostataka.

Reaktor za rasplinjavanje se sistematizira prema vezi između plina i primarnog energenta i prema radnom mediju za rasplinjavanje.



Slika 3.3. Različite tehnologije rasplinjavanja [7]

Potrebno je naglasiti da svaki reaktor za rasplinjavanje radi isključivo za uzak radni kapacitet. Na sljedećoj slici prikazane su vrste slojeva i za koje snage se koriste. Manje snage su do 10 MW, srednje snage od 5 MW do 100 MW i velike snage preko 50 MW.



Slika 3.4. Tipovi reaktora za različite snage rasplinjavanja [6]

Ako je zrak radni medij reaktora za rasplinjavanje, masa potrebnog zraka  $m_a$  za rasplinjavanje jedinice mase goriva računa se :

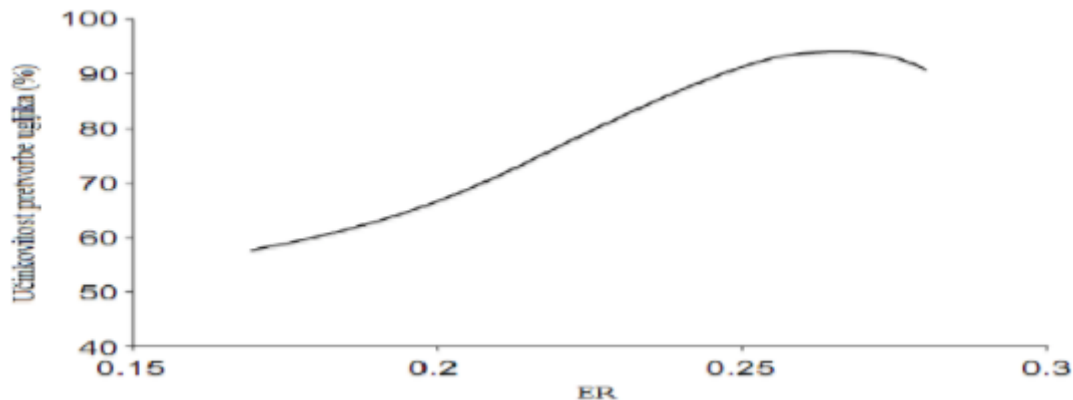
$$m_a = m_{th} * ER \quad [3-1]$$

gdje je  $m_{th}$  jedinica mase goriva a ER omjer korištenog radnog medija i stehiometrijske vrijednosti radnog medija. Ako se u račun uzme maseni protok potrebnog goriva:

$$ER(< 1,0)_{\text{rasplinjavanje}} = \frac{\text{korištena količina zraka}}{\text{stehiometrijska količina zraka}} = EA(> 1,0)_{\text{izgaranja}} \quad [3-2]$$

EA je koeficijent prelička zraka, a ER određuje svojstva reaktora za rasplinjavanje: za vrijeme pirolize taj parametar je nula, a za vrijeme rasplinjavanja biomase kreće se

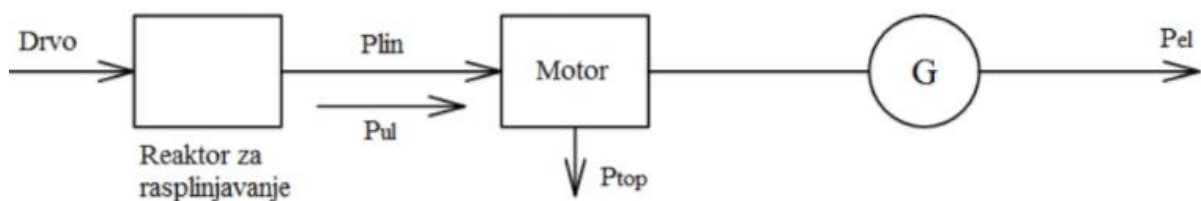
od 0,2 do 0,3. Vrijednost ER značajno ovisi o kvaliteti generatorskoga plina i mora biti manji od 1,0 radi sigurnosti rasplinjavanja (bez izgaranja) i veći od 0,2 da ne dolazi do nepotpunog rasplinjavanja, kojemu je posljedica gomilanje ugljenizirane biomase i niska ogrjevna moć plina. Obično je ER između 0,2 i 0,4.



**Slika 3.4.** Učinkovitost rasplinjavanja u ovisnosti o ER, reaktor s fluidiziranim slojem [7]

### 3.2. Proizvodnja električne energije rasplinjavanjem drvene biomase

Plin bogat metanom nastaje kao krajnji proizvod pri rasplinjavanju drvene biomase, kojega koristimo za proizvodnju električne energije preko plinskog motora. Prilikom izgaranja plina u motoru, na vratilu dobivamo okretni moment. Vratilo je spojeno s generatorom što omogućava vrtnju rotora na generatora i nastaje okretno magnetsko polje. Polje presijeca namot statota generatora i dolazi do proizvodnje el. energije.



**Slika 3.5.** Primjer sustava za proizvodnju električne energije rasplinjavanjem drvene biomase

[6]

Slijedi primjer kada su poznati podaci generatora, motora i količina ogrjevnice moći plina za proizvodnju 1,415 MWe energije, potrebno je izračunati masu drva potrebnu za proizvodnju iste količine el. energije. Pri rasplinjavanju koristimo drvo koje se sastoji od 41,7 % kisika, 50,6 % ugljika, 6,0 % vodika, 1,4 % pepela i 0,3 % dušika, a gornja ogrjevna moć mu je 24 MJ/kg. Ova vrijednost ogrjevnice moći vrijedi samo za suho drvo, drvo prilikom rasplinjavanja nije nikada suho pa je potrebno izračunati pravu ogrjevnicu moć uz poznatu vlažnost drva.

Donju ogrjevnicu moć računamo na sljedeći način:

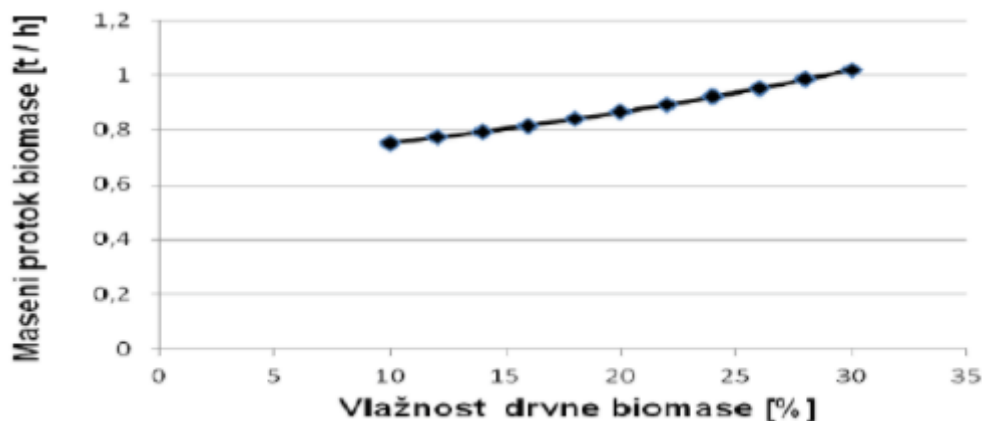
$$H_{dbm} = H_{gbm} * \left(1 - \frac{w}{100}\right) - 20300 * \frac{h}{100} - 2260 * \frac{w}{100} \quad [3-3]$$

gdje je  $w$  vlažnost(%),  $h$  udio vodika(%). Nakon određivanja ogrjevnice moći drva, prelazimo na izračunavanje potrebne mase goriva za proizvodnju volumnog protoka izlaznog plina  $355 \frac{m^3}{h}$  te donje ogrjevnice moći  $9,5 \text{ kWh/m}^3$ . Te vrijednosti plina su nam potrebne za proizvodnju 1,415 MW el. energije.

Maseni protok biomase određene vlažnosti računa se prema:

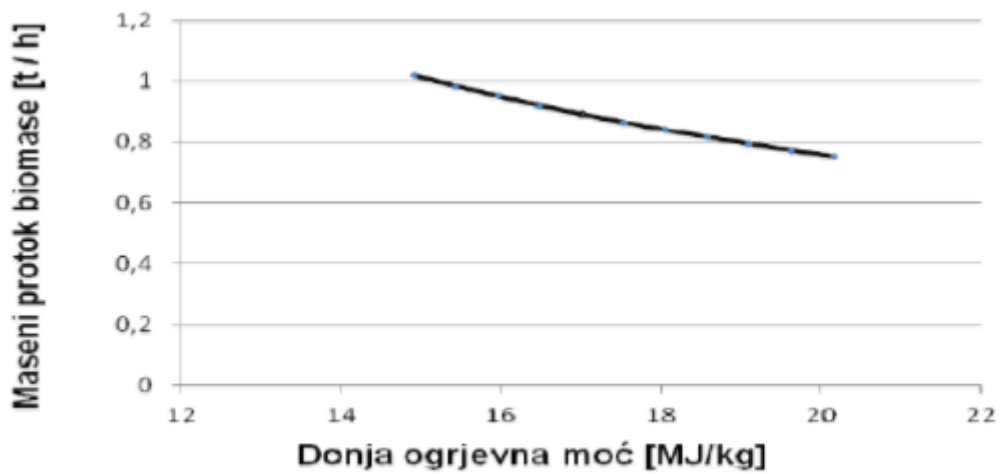
$$M_{bm} = \frac{Q}{H_{dbm} * \eta_{gef}} \quad [3-4]$$

Gdje je  $\eta_{gef}$  učinkovitost, a  $Q$  snaga reaktora za rasplinjavanje na izlazu.



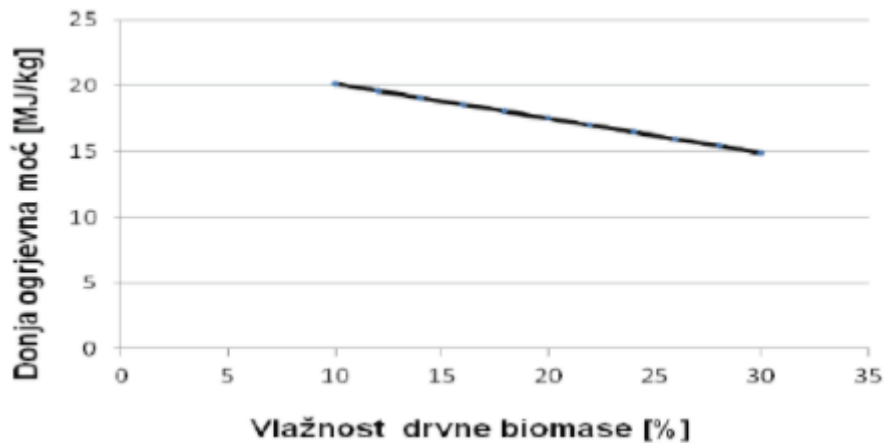
Slika 3.6. Ovisnost masenog protoka potrebne biomase za rasplinjavanje o vlažnosti [7]

Povećanjem vlažnosti drva povećavaju se i zahtjevi za drvenu biomase koju koristimo kao gorivo. Prilikom najmanje vlažnosti, najmanja je i potrošnja drvene biomase.



**Slika 3.7.** Ovisnost masenog protoka potrebne biomase o donjoj ogrjevnoj moći [7]

Masa goriva potrebna za rasplinjavanje ovisi o ogrjevnoj moći drvene biomase. Ako koristimo drvenu biomasu najveće ogrjevne vrijednosti, masa potrebna za rasplinjavanje biti će najmanja.



**Slika 3.8.** Ovisnost donje ogrjevne moći drvene biomase o vlažnosti [7]

Porasom vlažnosti drvene biomase smanjuje se donja ogrjevna moć drva. Osim vlažnosti potrebno je poznavati i postotak vodika u drvnoj biomasu (6 %).

### 3.2.1. Izračun potrošnje potrebnog goriva za proizvodnju električne energije

Poznati su nam podaci iz primjera 2.1.2. izračun uštede primarne energije u kogeneracijskom postrojenju, potrebno je izračunati količinu goriva koju moramo potrošiti da bismo proizveli 1 GWh električne energije. Udio vodika u drvnj sječi (h) je 6 %.

Potrebno je izračunati donju ogrijevnu moć ( $H_{dbm}$ ), zato što gorivo koje koristimo u procesu rasplinjavanja nije nikada apsolutno suho.

$$H_{dbm} = NOV_0 * (1 - \frac{M}{100}) - 20300 * \frac{h}{100} - 2260 * \frac{M}{100}$$

$$H_{dbm} = 18,5 * (1 - \frac{15}{100}) - 20300 * \frac{6}{100} - 2260 * \frac{15}{100}$$

$$H_{dbm} = 15,72 \text{ MJ/kg} = 4,37 \text{ kWh/kg}$$

Količina goriva koja je potrebna za 1 GWh el. energije iznosi:

$$M_{bm} = \frac{E}{H_{dbm} * \eta_{chp}}$$

$$M_{bm} = \frac{1000}{4,37 * 0,8285} = 276,20 \text{ m}^3/\text{h}$$

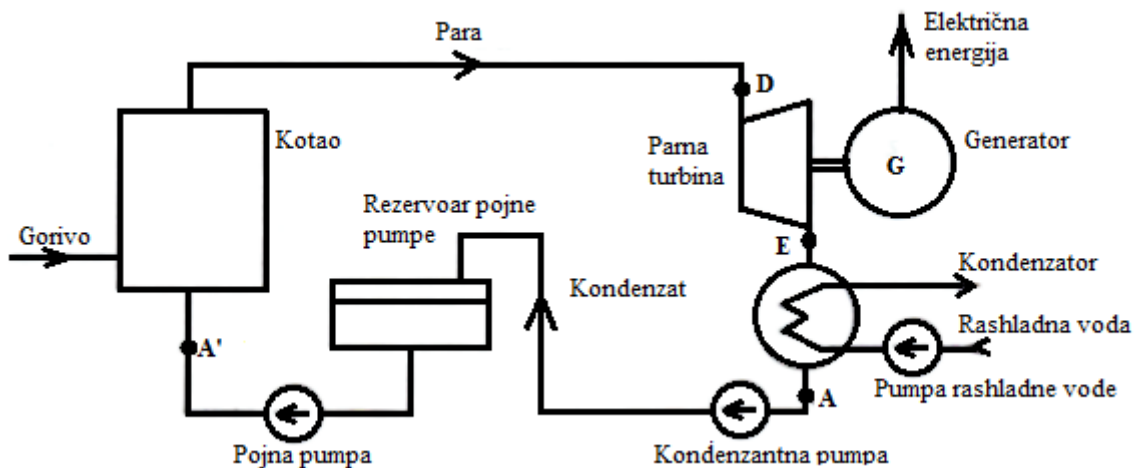
## 4. GLAVNI DIJELOVI TERMoeLEKTRANE

U pogonskoj zgradi su smješteni svi glavni dijelovi termoelektrane:

- spremnici biomase
- kotlovi, turboagregati
- priprema vode (zagrijači, isparivači, otplinjači, rezervoari pojne vode) i pumpe za napajanje
- rasklopno postrojenje vlastitog potroška
- toplinska i električna komanda

Način istovara i transporta ovisi o načinu dopreme goriva, o vrsti goriva i o svojstvima goriva.

Voda u parnoj termoelektrani prolazi kroz zatvoreni proces, prvo se isparava u kotlu pa nakon ekspanzije u turbini kondenzira u kondenzator i na kraju odlazi u kotao gdje ponovo isparava.



Slika 4.1. Shematski prikaz procesa u parnoj termoelektrani [3]

#### 4.1. Generator pare

Generator pare (parni kotao) je dio energetskog i toplinskog postrojenja za proizvodnju vodene pare određene temperature i tlaka, a služi kao radni fluid za pogon parnih turbina.

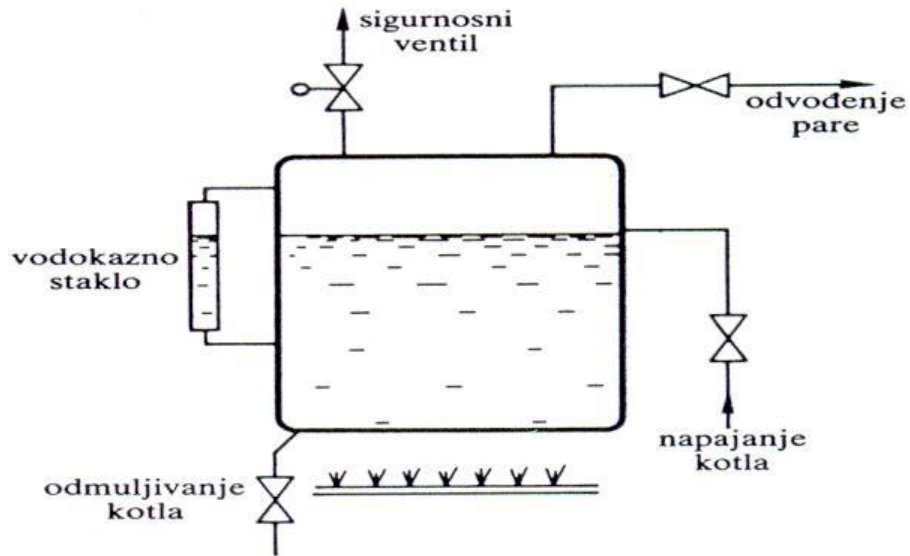
Parni kotao je izmjenjivač topline koji je u samom početku bio zagrijana posuda napunjena vodom, pa zbog toga dobiva naziv parni kotao. Danas se koristi ispravniji naziv generator pare.

Tri su glavna parametra koja se pokušavaju normirati:

- Kapacitet parnog kotla u (kg/s ili kg/h),
- Tlak parnog kotla u (Pa ili bar),
- Temperatura pregrijane pare u ( $^{\circ}\text{C}$  ili K).

Još je bitna i značajka korisnost parnog kotla  $\eta_{gp}$ .

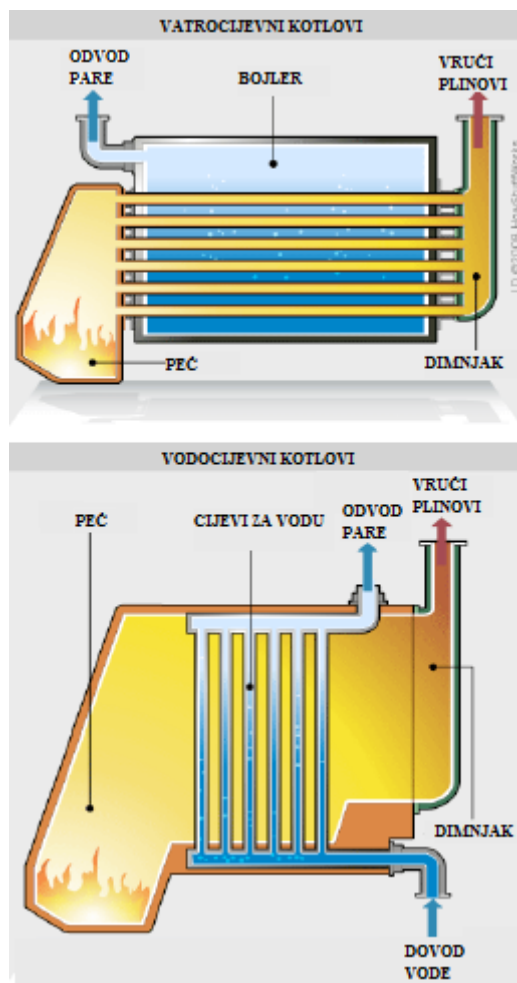




**Slika 4.2.** Shema parnog kotla [8]

Osnovne skupine dijelova i opreme parnoga kotla:

- Ložišta - prostori za izgaranje goriva (dobivanje dimnih plinova)
- Ogrjevne površine generatora pare – isparivači (vrši se isparavanje vode)
- Tlačni djelovi generatora pare – mjesto gdje je radni fluid pod tlakom
- Priključci za cijevi i ventili
- Nosiva čelična konstrukcija
- Vatrostalni ozid i toplinska izolacija – sprječava ulazak vanjskog zraka u ložište



Slika 4.3. Različite izvedbe parnih kotlova [9]

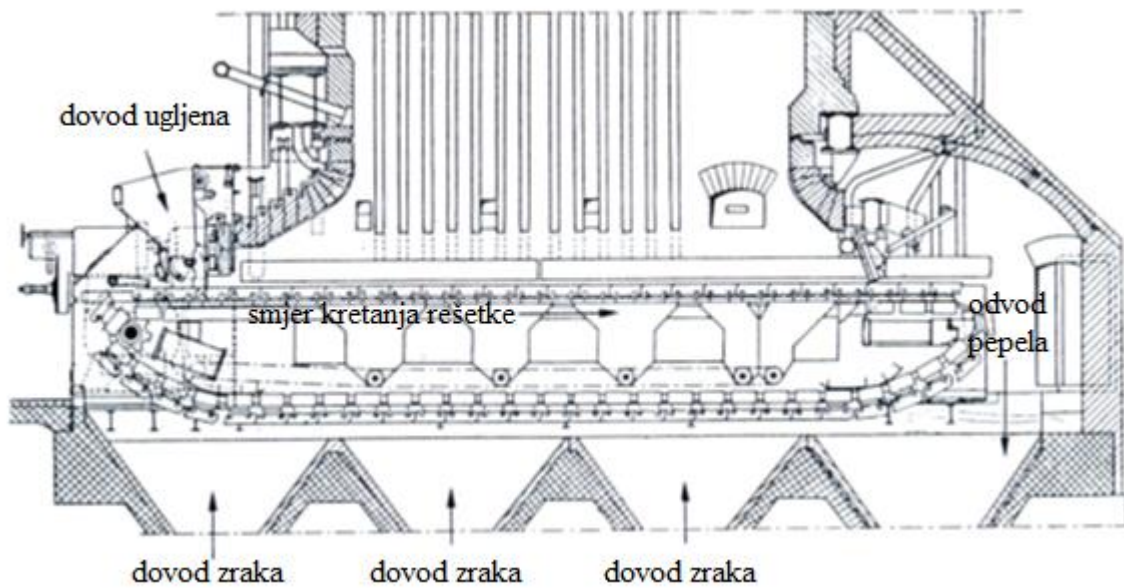
## 4.2. Ložišta za čvrsta goriva

Postoje dva načina izgaranja čvrstog goriva u ložištu:

- u sloju na rešetki ili
- raspršeno u prostoru (ugljena prašina).

Izgaranje čvrstog goriva na rešetki je starija tehnologija, jedna od razlika ovih dviju tehnologija je priprema biomase za izgaranje. Ova tehnologija je pogodnija za kruta goriva i za manje elektrane. Kontrolu i regulaciju ostvarujemo uz pomoć zraka kojeg upuhujemo kroz rešetke za poboljšanje izgaranja biomase.

Druga vrsta izgaranja je nova tehnologija, samim time postižu se puno bolji rezultati. Nema potrebe za odabirom goriva sličnih kvaliteta ili da se mora paziti na udio vlažnosti dali je visok ili nizak. Glavni nedostatak je cijena koja je u odnosu na prvu tehnologiju puno veća.



**Slika 4.4.** Lančana rešetka (najčešći tip mehaničkih rešetki) [10]

### 4.3. Voda za parne kotlove

Sirovu prirodnu vodu nikada ne upotrebljavati izravno u parnim kotlovima jer sadrži plinove, mehaničke nečistoće i otopljene soli. Voda koja se dovodi u kotao i koja se nalazi u njemu, mora imati takva svojstva da proizvodi "čistu" paru, ako taj uvjet nije zadovoljen dolazi do nastajanja kamenca i korizije što se nastoji izbjeći.

Svojstva koja mora zadovoljavati napojna voda:

- bistra i bezbojna
- kemijski neutralna ili slabo lužnata
- bez korozije željeznih stijenki
- električne vodljivosti do 0,05 S/cm,
- ograničene tvrdoće

## 4.4. Parne turbine

Parna turbina je rotacijski toplinski stroj u kojemu dolazi do promjena energija, prva nastaje u statoru a posljedica je ekspanzije visokog tlaka pare i temperature (unutarnja u kinetičku), a druga se odvija u rotoru (kinetička u mehaničku).

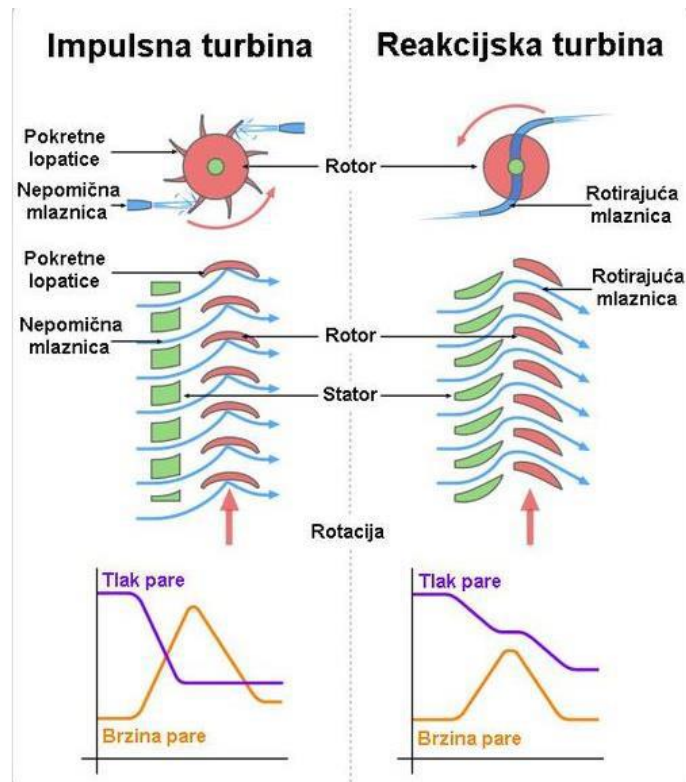
U današnje vrijeme turbine se razlikuju na puno načina jedan od njih je i snaga turbine. Postoje turbine od 10-ak kW do nekoliko 1000-ća MW. Svaka turbina ima svoj stupanj npr. ona koja ima samo jedan stupanj naziva se jednostupanjska. Turbina koja ima više stupnjeva ima veću iskoristivost.

Većinom se primjenjuju aksijalne turbine (para struji paralelno s osovinom), a slabije radijalne (para struji okomito na os).

S obzirom na način rada turbine se dijele na:

- akcijske (impulsne) i
- reakcijske.

Kod akcijskih turbina ekspanzija tlaka se odvija u statorskim lopaticama, dok se u rotorskim lopaticama mijenja samo smjer bez promjene tlaka. Pri djelovanju impulsa pare na lopatice rotora ostvaruje se vrtnja rotora i odvođene korisne snage, para na izlazu ima nižu kinetičku energiju. Kod reakcijskih turbina ekspanzija se odvija i u rotoru i u statoru, prema tome toku pare se mijenja i smjer i tlak.



Slika 4.5. Akcijska i reakcijska turbina [11]

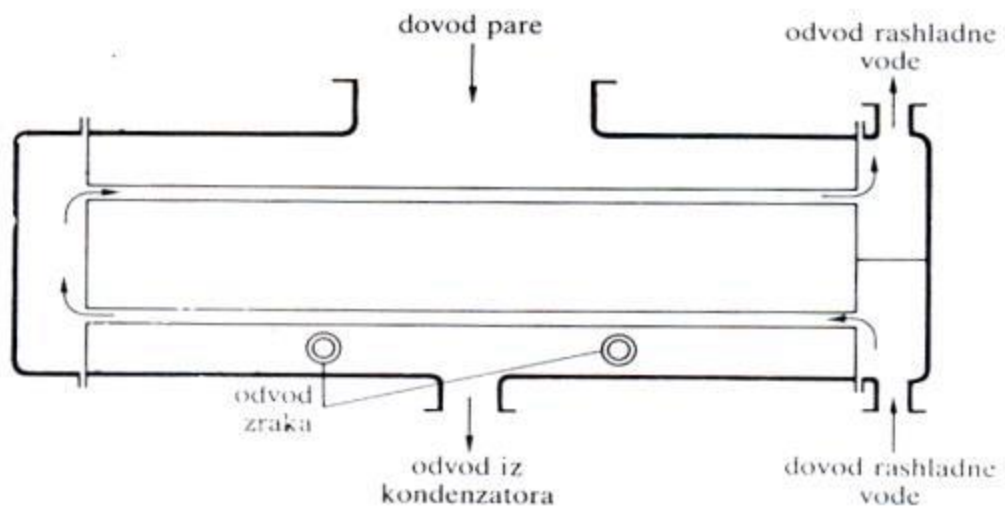
Regulacija broja okretaja je značajna. Pri puštanju turbine u pogon mora se paziti na promjenu broja okretaja jer svaka nagla promjena bi mogla dovesti do oštećenja turbine. Bez pravilne regulacije opterećenja, broj okretaja se povećava i dolazi do razaranja turbine. Turbine su spojene direktno na generatore el. energije što znači da između njih mora biti sinkronizacija.

#### 4.5. Kondenzator parne turbine

Kondenzator je ustvari izmjenjivač topline, odnosno vraća paru u njezin prvobitni oblik (vodu). Tlak unutar kondenzatora je mali. Kondenzator pri rashlađivanju pare mora koristiti neki drugi medij (vodu) kojemu će se ta toplina predati, zbog toga se termoelektrane često grade blizu rijeka. Naravno neke termoelektrane su ujedno i toplane pa toplinu koriste za grijanje.

Izvedbe kondenzatora:

- površinski kondenzator – u današnje vrijeme redovno je u uporabi, kondenzat i para odijeljeni su od rashladne vode
- postoji još i kondenzator s miješanjem, u kojemu se para i voda mješaju



**Slika 4.6.** Skica kondenzatora [12]

## 5. ZAKLJUČAK

U ovome radu je opisana jedna od novijih tehnologija za proizvodnju električne energije, a da je pri tome smanjen utjecaj na stakleničke plinove. Biomasa je vrsta obnovljivih izvora energije. Uz pravilnu upotrebu biomase u termoelektranama možemo proizvesti velike količine električne energije a da pri tome ne zagađujemo okoliš kao što bismo ga zagađili s nekim od fosilnih goriva. Drvna biomasa je trenutno najrasprostranjeniji izvor goriva ali nije najučinkovitiji, zbog toga što nam drva sječka može biti mokra što onda smanjuje ogrjevnu vrijednost odnosno ne možemo iskoristiti njezin puni potencijal. Za termoelektranu su nam potrebne velike količine vode pa moram paziti gdje gradimo termoelektrane da ne bismo ostali bez potrebnih sredstava ili da budemo ne pristupačni pa da ostanemo bez pogonskog goriva u našem slučaju biomase. U bližoj budućnosti očekujemo još veću proizvodnju elektrana na obnovljive izvore energije te napredniju tehnologiju pomoću koje ćemo smanjiti utjecaj na okoliš, a pridonijeti na proizvodnji potrebne električne energije.

## LITERATURA

- [1] Parna turbina kogeneracijske termoelektrane na biomasu [http://repozitorij.fsb.hr/2224/1/22\\_02\\_2013\\_Tessa\\_Uroic\\_zavrzni\\_konacno.pdf](http://repozitorij.fsb.hr/2224/1/22_02_2013_Tessa_Uroic_zavrzni_konacno.pdf) [pristupljeno: 11.9.2017.]
- [2] Energija biomase, <https://www.scribd.com/doc/121710302/Energija-biomase> [pristupljeno: 19.9.2017.]
- [3] Damir Šljivac, Danijel Topić, Tehnologije obnovljivih izvora energije, Osijek, 2016.
- [4] Nove inovativne tehnologije, <http://www.eniteh.hr/princip.html> [pristupljeno: 21.9.2017.]
- [5] Trigeneracija, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Trigeneracija> [pristupljeno: 19.9.2017.]
- [6] Energetska učinkovitost rasplinjavanja drvene biomase u proizvodnji električne energije, [https://www.researchgate.net/publication/235915085\\_Energetska\\_ucinkovitost\\_rasplinjavanja\\_drvne\\_biomase\\_u\\_proizvodnji\\_elektricne\\_energije](https://www.researchgate.net/publication/235915085_Energetska_ucinkovitost_rasplinjavanja_drvne_biomase_u_proizvodnji_elektricne_energije) [pristupljeno: 5.9.2017.]
- [7] Skup o prirodnom plinu toplini i vodi, <http://plin.sfsb.hr/PLIN2012-Zbornik-radova.pdf> [pristupljeno: 30.8.2017.]
- [8] Termoelektrane, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Termoelektrane> [pristupljeno: 12.9.2017.]
- [9] Parni kotlovi, <http://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/steam2.htm> [pristupljeno: 30.9.2017.]
- [10] EiEES 2015 2016\_3poglavlje, <https://loomen.carnet.hr/> [pristupljeno: 25.9.2017.]
- [11] Parne turbine, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Parna\\_turbina#Podjela\\_parnih\\_turbina](https://hr.wikipedia.org/wiki/Parna_turbina#Podjela_parnih_turbina) [pristupljeno: 25.9.2017.]
- [12] Parni kondenzator, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Parni\\_kondenzator](https://hr.wikipedia.org/wiki/Parni_kondenzator) [pristupljeno: 30.9.2017.]
- [13] Rasplinjavanje, <https://www.wikipedia.org/> [pristupljeno: 5.9.2017.]
- [14] Biodizel, <http://biodiesel.org/> [pristupljeno: 6.9.2017.]



## **SAŽETAK**

Potreba za električnom energijom je sve veća što nas tjera na izgradnju elektrana, međutim s druge strane povećava se i emisija stakleničkih plinova što se pokušava izbjeći, zbog toga elektrane na fosilna goriva nam nisu pogodna za izgradnju nego trebamo potaknuti proizvodnju elektrana na obnovljive izvore. Termoelektrane na biomasu su elektrane koje koriste obnovljivi izvor energije. Biomasa pri izgaranju zagađuje okoliš ali tehnologija je toliko napredovala da smo ta zagađenja smanjili na minimum tako da su ona skoro pa zanemariva. U budućnosti se očekuje napredovanje tehnologije koja će nam pomoći unaprijediti elektrane i naravno još smanjiti zagađenje okoliša.

Ključne riječi: biomasa, termoelektrane, zagađenje okoliša

### **Power plants on wood biomass**

#### **ABSTRACT**

The need for electrical energy is increasing, which in turn makes us build more power plants, but on the other hand, the emission of greenhouse gasses is also increasing, which we are trying to avoid, because power plants that run on fossil fuels are not suitable for construction, so we need to encourage the construction of power plants that run on renewable sources. Thermal power plants that run on biomass are power plants that use renewable energy sources. While combusting, the biomass is polluting the environment, but the technology has advanced so far, that we have reduced the pollution to the minimum, so that it is almost negligible. In the future there is an expectation that the advancement of technology will help us improve the power plants and reduce the pollution even more.

Keywords: biomass, power plants, environmental pollution

## **ŽIVOTOPIS**

Josip Mišković rođen je 26. veljače 1996. godine u Sl. Brodu. Osnovnu školu završava u Babinoj Gredi. Pohađao je srednju tehničku školu u Županji, smjer Elektrotehnika. Nakon završetka srednje škole 2014. godine, upisuje 1. godinu na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku, smjer Elektroenergetika.