# Toplovodno postrojenje s pogonom na biomasu

**Buden, Silvijo**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University North / Sveučilište Sjever**

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:023331

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

*Repository / Repozitorij:*

University North Digital Repository

Sveučilište Sjever

# Toplovodno postrojenje s pogonom na biomasu

Silvijo Buden, 0050/336

Varaždin, prosinac 2017. godine

Sveučilište Sjever

**Proizvodno strojarstvo**

# Toplovodno postrojenje s pogonom na biomasu

**Student:**

Silvijo Buden, 0050/336

**Mentor:**

prof. dr. sc. Ante Čikić

Varaždin, prosinac 2017. godine

**Sveučilište Sjever**
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3, HR–42000 Varaždin

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL: Odjel za strojarstvo

PRISTUPNIK: Silvijo Buden | MATIČNI BROJ: 0050/336

DATUM: 29.5.2017. | KOLEGIJ: Obnovljivi izvori energije

NASLOV RADA: Toplovodno postrojenje s pogonom na biomasu

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU: Thermal power plant with a biomass drive

MENTOR: prof.dr.sc. Ante Čikić | ZVANJE: izv. profesor

ČLANOVI POVJERENSTVA:

1. prof.dr.sc. Živko Kondić, red.prof.
2. prof.dr.sc. Ante Čikić, izv.prof.
3. Damir Mađerić, dipl.ing., viši predavač
4. Božidar Hršak, mag.ing.mech., viši predavač
5.

## Zadatak završnog rada

BROJ: 214/PS/2017

OPIS:

Za grijanje stambenog naselja potrebno je projektirati toplovodno postrojenje s pogonom na biomasu – sječku toplinske snage 1,0 MW. Maksimalni temperaturni režim rada ogrjevnog medija – tople vode je 90/70°C, a statički tlak otvorenog sustava grijanja u hladnom stanju iznosi 1,8 bar.
Potrebno je: odabrati odgovarajući toplovodni kotao s pogonom na biomasu – sječku sa pripadajućom opremom, izraditi funkcionalnu shemu toplovodnog postrojenja s razvodom reguliranog ogrjevnog medija za četiri grupe potrošača, proračunati i dimenzionirati cjevovode, opremu i pogonske uređaju za odgovarajuće termotehničke i hidrauličke parametre, odrediti maksimalnu satnu i godišnju potrošnju biomase – sječke na temelju maksimalne i ukupne potrošnje toplinske energije tijekom jedne sezone grijanja (160 dana) za odabrano mikroklimatsko područje u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Unutarnja temperatura zraka u grijanim prostorima iznosi 22°C. Također je potrebno proračunati skladište biomase i veličinu dnevnog spremnika biomase. Analizirati polumjer dobave i različitu vlažnost sječke te njihov utjecaj na potrošnju i troškove pogonskog goriva. Usporediti troškove biomase – sječke s drugim vrstama pogonskih goriva.
Uz analitičke i pisane sadržaje, grafički (crteži slike, dijagrami) ilustrirati rezultate i tehničko rješenje prikazati u pogodnim projekcijama stručne prakse. Dati odgovarajući komentar i zaključak.
Ostale fizikalne parametre, tehničke karakteristike i podatke koristiti iz stručne prakse i literature.

REPUBLIKA HRVATSKA
SVEUČILIŠTE SJEVER

ZADATAK URUČEN: 14.06.2017 | POTPIS MENTORA

# Zahvala

Zahvaljujem svim prijateljima i kolegama koji su mi svojim znanjem i dobrom voljom pomogli tijekom studija.

Posebno zahvaljujem svom mentoru prof. dr. sc. Anti Čikiću na ukazanom povjerenju i smjernicama tijekom izrade rada.

Na kraju, posebno zahvaljujem svojoj obitelji na razumijevanju i pruženoj potpori tijekom cjelokupnog studiranja.

# Sažetak

Biomasa je obnovljivi izvor energije biološkog porijekla, a pojavljuje se u mnogo različitih oblika. Može se pojaviti u obliku ogrjevnog drva, grana i drvnog otpada iz šumarstva, piljevine, kore i drvnih ostataka iz drvne industrije, isto tako u obliku slame, kukuruzovine, ostataka pri rezidbi vinove loze i maslina, stabljika suncokreta, koštica višanja i kore od jabuka iz poljoprivrede, životinjskog izmeta i ostataka iz stočarstva, komunalnog i industrijskog otpada. Između različitih vrsta biomase drvna ima najširu primjenu.

U ovom radu bit će objašnjeno što je to šumska biomasa, oblici šumske biomase, njezina primjena, skladištenje, priprema za korištenje i korištenje šumske biomase kao pogonskog goriva za toplovodno postrojenje. Jedan od oblika šumske biomase je i sječka koja će biti detaljnije objašnjena. Pomoću funkcionalne sheme predočit će se svi potrebni elementi toplovodnog postrojenja i objasniti njihova funkcija.

# Popis korištenih kratica

| Oznaka | Jedinica | Opis |
|---|---|---|
| $W$ | % | vlažnost |
| $m$ | kg | masa vlažnog drva |
| $m_V$ | kg | masa vode (vlage) u drvu |
| $m_0$ | kg | masa suhog drva |
| $U$ | % | mokri udio |
| $H_d$ | kJ/kg | donja ogrjevna vrijednost drva |
| $c$ | kg/kg | maseni udio ugljika u sastavu drva |
| $h$ | kg/kg | maseni udio vodika u sastavu drva |
| $w$ | kg/kg | maseni udio vode u sastavu drva |
| $s$ | kg/kg | maseni udio sumpora u sastavu drva |
| $o$ | | maseni udio kisika u sastavu drva |
| $m_{DP}$ | g/s | maseni protok dimnih plinova |
| $f$ | | proračunski faktor |
| $\Phi_{IT,N}$ | kW | nazivni toplinski učin izvora topline (kotla, peći, kamina) |
| $\lambda_{d,max}$ | | najveća hidraulička vitkost dimnjaka |
| $r$ | | hrapavost unutarnje stijenke dimnjaka |
| $V_{biom}$ | | potrebni volumen šumske biomase za pokrivanje punog opterećenja kotla, m nasipnih |
| $\Phi_k$ | kW | toplinski učin kotla |
| $t_d$ | | broj dana u godini kada postrojenje radi s punim opterećenjem |
| $t_h$ | | broj sati u danima kada postrojenje radi s punim opterećenjem |
| $H_d$ | kW h/m | donja ogrjevna vrijednost goriva |
| $\rho_{nas}$ | kg/m | nasipna gustoća šumske biomase |
| $\eta_k$ | % | stupanj djelovanja kotla |
| l | m | duljina dionice cjevovoda |
| w | m/s | brzina protoka vode |
| $\rho_{ws}$ | kg/m$^3$ | srednja gustoća vode |
| $D_u$ | m | unutarnji promjer cijevi |
| $\lambda$ | | koeficijent otpora trenja |
| $\xi$ | | koeficijent lokalnog trenja |

| | | |
|---|---|---|
| $\mu$ | Pa·s | dinamička viskoznost |

# Sadržaj

**1. Uvod ..... 1**

1.1 Općenito o biomasi ..... 2

1.2 Fotosinteza ..... 4

**2. Šumska biomasa ..... 6**

2.1 Oblici šumske biomase ..... 6

2.2 Sječka ..... 6

2.3 Proizvodnja i pretvorba šumske biomase ..... 8

2.4 Energetske značajke šumske biomase ..... 9

2.5 Sušenje šumske biomase ..... 11

2.6 Skladištenje biomase ..... 12

2.7 Izgaranje šumske biomase ..... 13

**3. Toplovodni sustav grijanja ..... 15**

3.1 Općenito ..... 15

3.1 Shema toplovodnog postrojenja ..... 16

3.2 Kotao na sječku ..... 16

3.3 Osnovna sigurnosna i regulacijsko-nadzorna oprema ..... 18

3.4 Cirkulacijske pumpe ..... 22

3.5 Sustav za odvod dimnih plinova ..... 23

3.6 Volumen skladišta za sječku ..... 25

3.7 Opskrba šumskom biomasom ..... 26

3.8 Potrošnja sječke i usitnjenog drvnog otpada ..... 27

3.9 Trošak ulaganja u energetsko postrojenje na šumsku biomasu učina 1MW ..... 27

**4. Termotehnička instalacija ..... 28**

4.1 Dimenzioniranje cjevovoda ..... 28

4.2 Dimenzioniranje i izbor cirkulacijskih pumpi ..... 29

4.3 Dimenzioniranje otvorene ekspanzijske posude ..... 30

4.4 Ekspanzijski cjevovodi ..... 31

4.5 Dimenzioniranje i izbor sigurnosnog opružnog ventila ..... 31

**5. Zaključak ..... 32**

**Literatura ..... 33**

# 1. Uvod

Energetsko iskorištavanje šumske ili drvne biomase stoljećima je bilo primarni i gotovo jedini izvor energije. Njezina primjena značajno se smanjila pojavom fosilnih goriva i električne energije. Tijekom vremena shvatilo se da fosilna goriva neće trajati vječno te se ponovno počela skretati pozornost na primjenu obnovljivih izvora energije. Prije svega 50-ak godina šumskom biomasom pokrivalo se čak 25% ukupnih potreba za energijom u Hrvatskoj, ali se taj postotak smanjio zbog uporabe fosilnih goriva. Niska ekološka svijest stanovništva jedan je od osnovnih problema malog postotka uporabe šumske ili drvne biomase kao izvora energije za grijanje vlastitih domova. Hrvatska ima golemi potencijal za energetsko iskorištavanje šumske biomase jer je oko 42% kopnene površine Hrvatske prekriveno šumama. Problem je što u Hrvatskoj ne postoje nikakve potpore za iskorištavanje biomase u sustavima grijanja i pripreme potrošnje tople vode u obiteljskim kućama, poslovnim i stambenim zgradama, industrijskim pogonima i slično. Čak se i žestoki protivnici korištenja biomase slažu s činjenicom da je to široko i jednostavno dostupan izvor energije. Biomasa postoji u određenom obliku gdje god pogledamo i samim time i potencijalna proizvodnja energije moguća je gotovo bilo gdje.

## 1.1 Općenito o biomasi

**Biomasa** je, prema članku 3. Zakona o energiji (NN 68/2001, 177/2004, 76/2007, 152/2008 i 127/2010), određena kao biorazgradivi dio proizvoda, ostataka i otpadaka iz poljoprivrede (uključivo s biljnim i životinjskim tvarima), šumarstva i drvne industrije, kao i biorazgradivi dijelovi komunalnog i industrijskog otpada čije je energetsko korištenje dopušteno. Dakle, radi se o gorivu uglavnom prirodnog porijekla koje je u cijelosti obnovljivo jer se, nakon što se potroši, nadoknađuje (također uglavnom) prirodnim procesima.

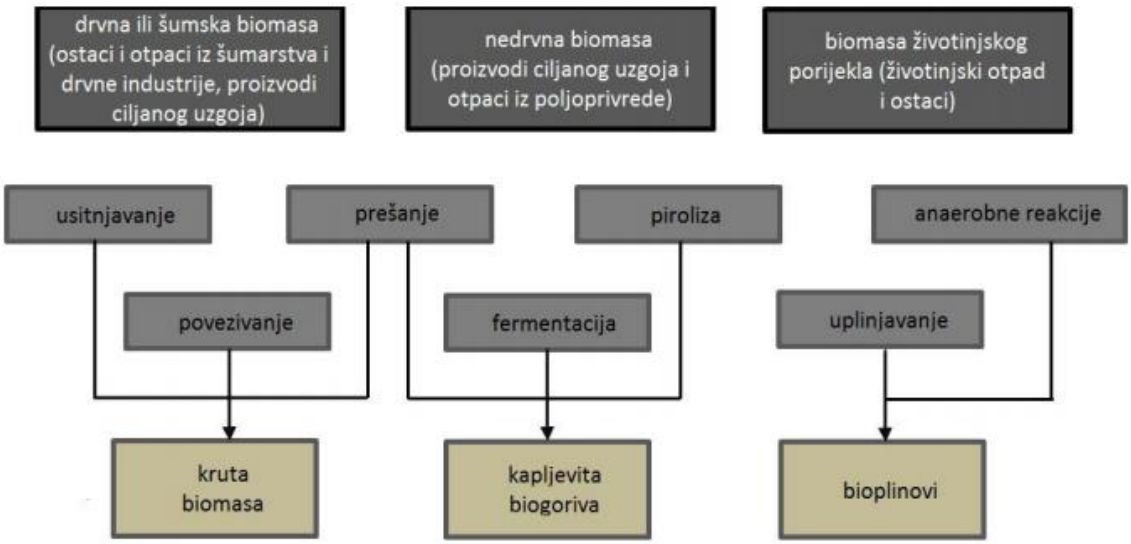
Biomasa se može podijeliti na dva osnovna načina [1]:

1. prema porijeklu:
   a) šumska ili drvna biomasa:
      - ostaci i otpaci iz šumarstva i drvoprerađivačke industrije
      - proizvodi ciljanog uzgoja (brzorastuće drveće, odnosno tzv. energetski nasadi)

   b) nedrvna biomasa:
      - proizvodi ciljanog uzgoja (brzorastuće alge i trave)
      - ostaci i otpaci iz poljoprivrede

   c) biomasa životinjskog porijekla:
      - životinjski otpad i ostaci
2. prema konačnom pojavnom obliku:
      - kruta biomasa
      - bioplinovi
      - kapljevita biogoriva (alkohol, biodizel).

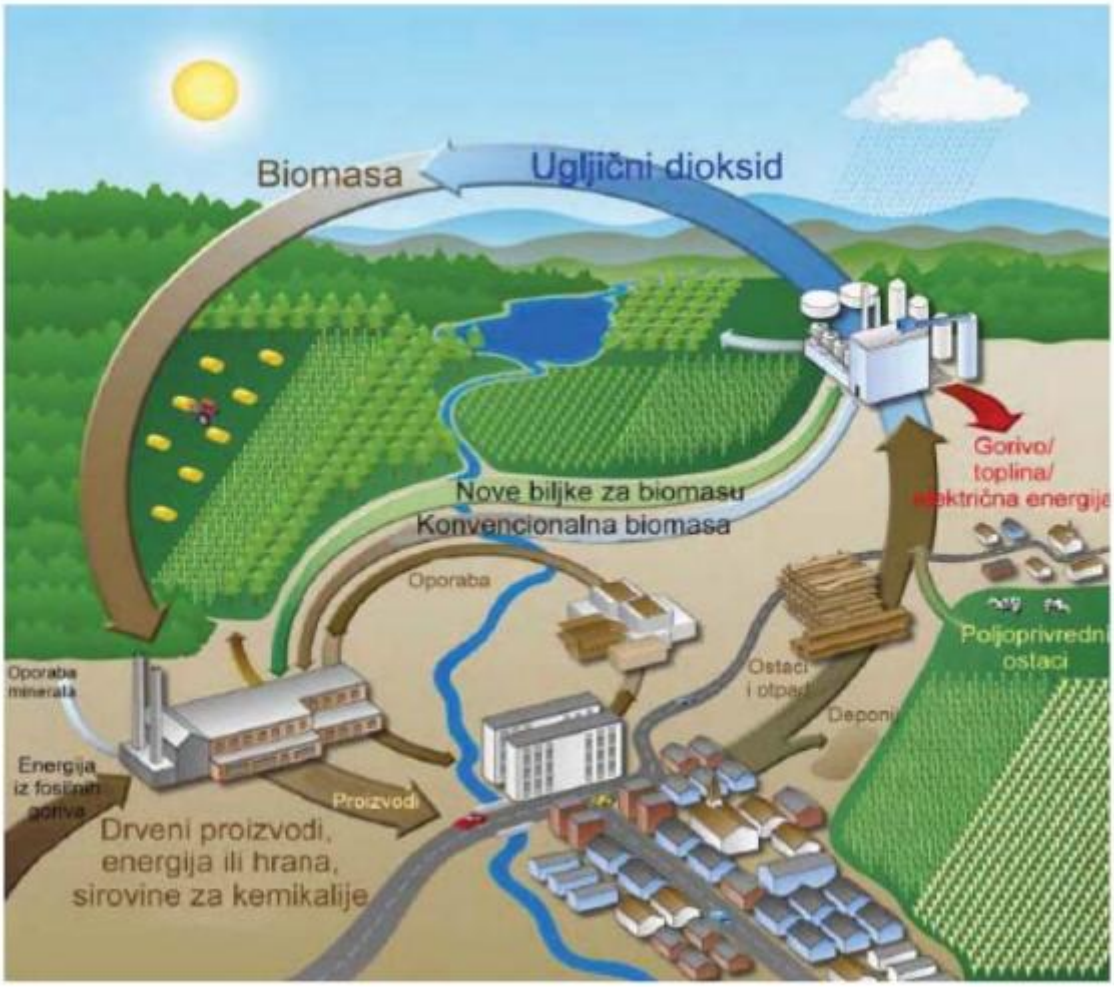
Biomasa se najčešće koristi izravno, tj. nije potrebna pretvorba biomase u drugi oblik. Izravno se koristi kao gorivo u ložištima raznih izvedbi i dimenzija, od peći i kotlovima za grijanje, kamina i sve do velikih energetskih postrojenja poput elektrana, toplana, energana i drugih. Izgaranjem biomase dobiva se toplinska i sve češće električna energija. Osim izravno, biomasa se može koristiti i posredno. Posredno korištenje biomase podrazumijeva pretvorbu biomase raznim biokemijskim procesima. Takvim biokemijskim procesima dobivaju se plinovita i tekuća goriva kao što su bioplin, alkohol i biogoriva čijim se izgaranjem dobiva toplinska i električna energija ili mehanički rad u motorima s unutarnjim izgaranjem.




*Slika 1.1 Podjela biomase prema porijeklu i konačnim pojavnim oblicima [2]*

Biomasa se koristi u energetske svrhe još od prapovijesti i to ponajviše kao gorivo za proizvodnju toplinske energije. U početku se koristila samo za pripremu hrane i grijanje nastambi, a kasnije i za pogon strojeva, vozila i slično. Biomasa je bila primarni i tada jedini poznati izvor energije zbog čega je njezina potrošnja bila iznimno velika, a iskoristivost vrlo neučinkovita. Osim drva koristili su se i drugi oblici biomase poput sijena, životinjskog izmeta i oklaska kukuruza. Tijekom industrijske revolucije uporaba biomase značajno se smanjila zbog intenzivne uporabe fosilnih goriva (ugljen, nafta i prirodni plin), ali zbog tzv. prve energetske krize njezin značaj opet počinje rasti. U današnje vrijeme biomasa se spominje kao zamjena za fosilna goriva gdje god je to moguće, zbog mnogo manje emisije štetnih plinova koji nastaju tijekom izgaranja.

Glavna je prednost biomase u odnosu na fosilna goriva njena obnovljivost. Računa se da je opterećenje atmosfere s $CO_2$ pri korištenju biomase kao goriva zanemarivo, budući da je količina emitiranog $CO_2$ prilikom izgaranja jednaka količini apsorbiranog $CO_2$ tijekom rasta biljke. Na prvi pogled biomasa i fosilna goriva ne razlikuju se jer se spaljivanjem uvijek oslobađa $CO_2$ . Međutim, ako se biomasa proizvodi održivo, rast šumske sastojine i druge biljne zajednice vezat će $CO_2$ iz atmosfere i pohranjivati ga u biljnu strukturu. Spaljivanjem biomase ugljik će se oslobađati u atmosferu da bi se opet asimilirao s novom generacijom biljaka. Tako korištenjem biomase umjesto fosilnih goriva, ugljik pohranjen u fosilnim gorivima ostaje u tlu, a ne oslobađa se u atmosferu kao $CO_2$ pa je ukupna bilanca jednaka nuli, odnosno biomasa se može smatrati $CO_2$ -neutralnim gorivom [3].




*Slika 1.2 Ciklus ugljičnog dioksida, nastajanje i primjena biomase [1]*

## 1.2 Fotosinteza

**Fotosinteza** je prirodni proces koji se odvija u biljkama pri čemu pod utjecajem Sunčeve svjetlosti od ugljičnog dioksida iz atmosfere i vode nastaju organski spojevi, a oslobađa se kisik. Energija biomase zapravo je energija Sunčevog zračenja koja je pretvorena u kemijsku energiju koja je sadržana u biljkama.

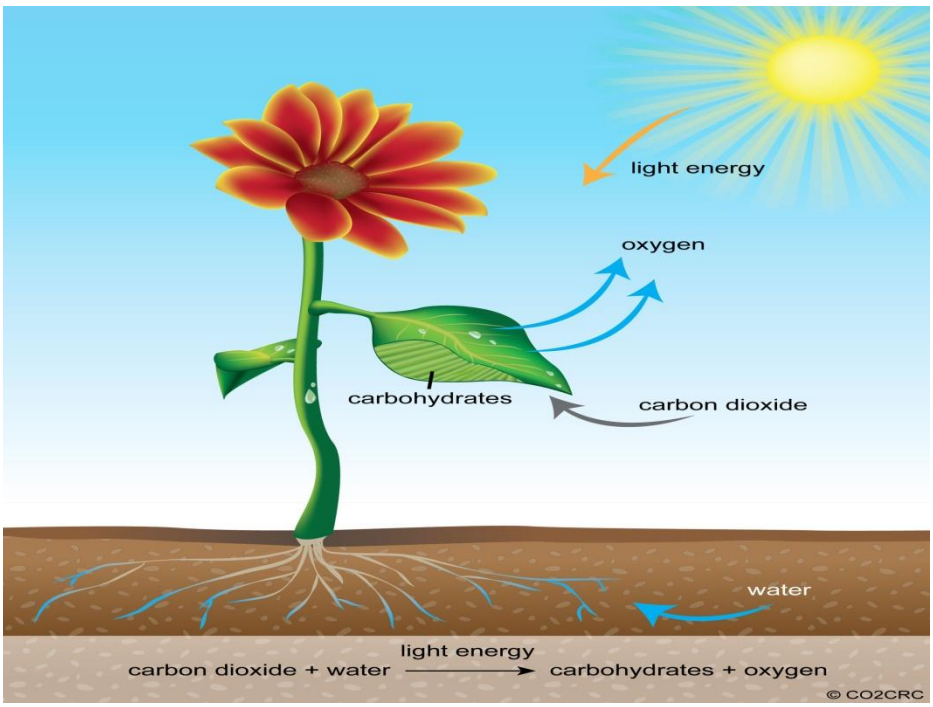
Proces fotosinteze jednostavnije se može prikazati izrazom [1]:

$$CO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{svjetlost}} \langle CH_2O \rangle + O_2 \qquad (1)$$

pri čemu je:

$\langle CH_2O \rangle$ – simbolička oznaka za organske spojeve (šećere i dr.) koji nastaju fotosintezom.

Proces fotosinteze čini više reakcija. Jedan dio tih reakcija odvija se uz prisutnost svjetla, a drugi se može odvijati i u tami. Osim svjetlosti, za proces fotosinteze potreban je i klorofil, tvar koja se nalazi u lišću biljaka, a čija je svrha apsorpcija Sunčeve energije i djelovanje kao fotokatalizator pri pretvorbi $CO_2$ i vode u organske spojeve.




*Slika 1.3 Prikaz procesa fotosinteze [4]*

Poput fotosinteze, u biljkama se odvija i suprotan proces fotorespiracije [1]:

$$\langle CH_2O \rangle + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O, \Delta Q = 470 \text{ J} \quad (2)$$

Energija dobivena fotorespiracijom („disanjem“ biljaka) koristi se za održavanje fizioloških procesa u biljkama kada nema Sunčeve svjetlosti ili ako je biljci tijekom dana potrebno više energije. Može se reći da je za redukciju 1 mol $CO_2$ u procesu fotosinteze potrebno oko 470 kJ energije. Važno je spomenuti da samo dio Sunčevog spektra (43%) može uzrokovati fotosintezu i da biljka apsorbira oko 80% Sunčeve energije te je zbog toga najveća teoretska učinkovitost procesa fotosinteze do 10%. Ako se pretpostavi da se za proces fotorespiracije potroši oko 30% proizvoda nastalih fotosintezom, gornja granica učinkovitosti procesa fotosinteze je 7%, dok je srednja učinkovitost svega 0,1 - 0,2%. Godišnje se na Zemlji procesom fotosinteze proizvede oko $2 \cdot 10^{11}$ tona organske tvari, što je nekoliko puta više od današnjih potreba za energijom cijeloga svijeta, ali se samo mali dio te organske tvari može pretvoriti u energiju.

# 2. Šumska biomasa

## 2.1 Oblici šumske biomase

**Šumska ili drvna biomasa** je ona koja potječe iz šumarstva i drvnoprerađivačke industrije, bez obzira na to radi li se o otpadu ili ostacima iz šuma, tj. o drvu, granju, lišću, kori, korijenju drveća ili o proizvodima ciljanog uzgoja (brzorastuće drveće). Dakle, šumska biomasa dobiva se iz prirodnih ili novopodignutih šuma, tj. energetskih nasada. Ona je ujedno i jedna od najvećih prirodnih izvora energije jer se procjenjuje da danas u svijetu ima više od 4 milijarde hektara šumske površine te da se otprilike 4 milijuna hektara šuma podiže svake godine. Znači riječ je o posve obnovljivom izvoru energije koji je uglavnom neutralan s obzirom na zahtjeve za ravnotežom stakleničkih plinova koji su glavni uzročnik klimatskih promjena.

Šumska biomasa iskorištava se u četiri osnovna uporabna oblika:

1) kao cjepanice
2) kao sječka
3) kao briketi
4) kao peleti

Suvremena ložišta za šumsku biomasu prilagođena su primjeni točno određenog uporabnog oblika šumske biomase, bez obzira radi li se o izvorima topline sustava grijanja i pripreme potrošne tople vode ili velikim energetskim postrojenjima. Cjepanice se uglavnom koriste u kaminima, pećima na drva i slično, pri čemu je udobnost značajno smanjena. Kod sječke, briketa i peleta moguće je automatsko dovođenje do ložišta kako bi se olakšala primjena. Iako je takva primjena uvelike olakšana, ipak treba voditi računa o geometriji i udjelu vlage u gorivu kako nebi došlo do oštećenja dijelova izvora topline ili smanjenja stupnja djelovanja goriva.

## 2.2 Sječka

**Sječka** su komadići drvne biomase raznih dimenzija i oblika koji nastaju sječenjem i usitnjavanjem drvne sirovine. Najčešće se koriste u ložištima s toplinskim učinkom većim od 50 kW pa sve do više MW, što znači i u kotlovima za centralno grijanje obiteljskih kuća, stambenih, javnih i poslovnih zgrada, domova i ugostiteljskih objekata, hotela, ali i industrijskim energanama i termoenergetskim postrojenjima.

Duljina komadića sječke iznosi 1 - 10 cm, dok o širini, odnosno promjeru ovisi njezina trgovačka kategorija. Sječka se proizvodi sječenjem i usitnjavanjem granja, kore i drugih ostataka iz procesa u šumarstvu i drvnoprerađivačkoj industriji gdje se koriste isključivo strojni

postupci, tj. sjeckalice. Potrošnja energije kod proizvodnje sječke iznosi 2 - 5 kW h/t sječke, što je manje od 0,5% energije koja se može dobiti njezinim izgaranjem.

Sječka se dijeli u tri kategorije:

- fina sječka promjera do 3 cm,
- srednja sječka  do 5 cm
- krupna sječka do 10 cm.



*Slika 2.1 Sječka [4]*

Potrebna energija za proizvodnju sječke značajno ovisi o udjelu vlage u sirovini pa tvrda i osušena sirovina zahtijeva čak 18% više energije za obradu nego vlažna. Kako bi se sječka mogla upotrebljavati u ložištima važno je da ima što manji udio vlage i da su komadići sječke što ravnomjernije dimenzije kako bi se moglo osigurati djelovanje automatiziranih ložišta bez pojave smetnji. Važno je napomenuti da kupovna sječka uglavnom ima udio vlage oko 40%. Razlog tome je što kod obrade, prijevoza i skladištenja dolazi do njezinog ovlaživanja te je zbog toga nakon kupnje takve sječke potrebno njezino sušenje u trajanju od više tjedana kako bi se postigao udio vlage od 20%. U sječki nikako ne smije biti nedrvnih dijelova, metalnih ostataka i sličnih nečistoća. Također, na sirovini za proizvodnju sječke ne smije biti ostataka boje i sličnih kemijskih tvari. Ako su svi ti uvjeti zadovoljeni, dolazi do izgaranja sječke bez pojave štetnih emisija i udio pepela je manji od 0,5%.

## 2.3 Proizvodnja i pretvorba šumske biomase

Sirovina za šumsku ili drvnu biomasu najčešće su grmlje, šumski ostaci (vrhovi stabala i grane), stabljike i kora promjera do 50 cm, pilanski (okrajci i ploče) i ostaci pokućstva s odlagališta otpada. Kod sječe stabala, skupljanju i usitnjavanju šumske biomase koriste se strojevi različitih veličina i snaga, što ovisi o terenu i proizvodnom kapacitetu strojeva, vrsti i veličini drva i ostale opreme. Bitno je voditi računa o troškovima nastalim tijekom skupljanja biomase.

Integrirani sustav sječe stabala i skupljanja šumskih ostataka čini se najpogodnijim za proizvodnju i isporuku donekle jednolične biomase po prihvatljivoj cijeni. Takav sustav podrazumijeva sljedeće aktivnosti:

- sječu stabala
- odvajanje isječenih stabala od panja na šumsku cestu
- čišćenje stabala od grana i grančica koje čine šumski ostatak
- komadanje i usitnjavanje šumskog ostatka.

Pretvorba biomase iz različitih izvora (šuma, pilana, drvnoprerađivačke industrije) u gorivo za cilj ima sljedeće:

- snižavanje troškova investiranja i održavanja ložišta korištenjem homogenog goriva pogodnog za automatizirano ložište
- snižavanje troškova spremanja, prijevoza i rukovanja gorivom povećavanjem njegove energetske gustoće
- smanjenje nečistoća u gorivu (kamenja, zemlje, pijeska, metalnih, staklenih i plastičnih komadića) kako bi pogon ložišta bio neometan. [1]

Biomasu je moguće dobavljati iz različitih izvora što dovodi do različite kvalitete biomase, zbog čega pri potpisivanju ugovora o opskrbi biomasom s dobavljačem treba definirati vrstu i veličinu biomase, udio vlage i pepela i ostale parametre. Prilikom isporuke i prihvata biomase prvo se obavlja vizualna provjera kod koje se provjerava sadrži li biomasa nedrvni otpad (kamenje, zemlju, pijesak), a zatim slijedi ispitivanje kvalitete.

Cijena biomase ovisi o nekoliko parametara: gornjoj ogrjevoj vrijednosti, udjelu vlage, gustoći, metodi računanja donje ogrjevne vrijednosti i stupnju iskoristivosti kotla. Nikako se ne preporučuje plaćanje biomase samo na temelju volumena ili mase bez prethodnog ispitivanja kvalitete.

## 2.4 Energetske značajke šumske biomase

**Ogrjevna vrijednost** određuje se mjerenjem u kalorimetru, pri čemu zrak i gorivo moraju doći u prostor za izgaranje s istom temperaturom, a nastali produkti izgaranja moraju biti ohlađeni na istu temperaturu. U nastalim produktima izgaranja vlaga se može pojaviti u obliku vodene pare ili u kapljevitom obliku, s time da se specifične entalpije vode u kapljevitom i parovitom stanju razlikuju za toplinu isparavanja, prema tome razlikuju se i donja i gornja ogrjevna vrijednost.

**Gornja ogrjevna vrijednost** ($H_g$, $H_s$, $H_o$) je količina topline koja nastaje potpunim izgaranjem jedinične količine nekog goriva, pri čemu se dimni plinovi ohlade na temperaturu 25 °C, a vlaga (voda) iz njih izlučuje se kao kondenzat.

**Donja ogrjevna vrijednost** ($H_d$, $H_i$ , $H_u$) je količina topline koja nastaje potpunim izgaranjem jedinične količine nekog goriva, pri čemu se dimni plinovi ohlade na temperaturu 25°C, ali vlaga u njima ostaje u parovitom stanju pa toplina kondenzacije vodene pare ostaje neiskorištena.

Najveći utjecaj na ogrjevnu vrijednost šumske biomase ima udio vlage, a zatim kemijski sastav, zdravost i gustoća drva. Također je važno radi li se o drvu listače ili četinjače, odnosno mekom ili tvrdom drvu.

**Mokrina** je omjer udjela mase vode i ukupne mase mokrog drva [1]:

$$W = \frac{m_V}{m} \cdot 100\% = \frac{m_V}{m_0 + m_V} \cdot 100\% \,, \tag{2}$$

pri čemu su:

$W$ – vlažnost, [%]

$m$ – masa vlažnog drva, [kg]

$m_V$ – masa vode (vlage) u drvu, [kg]

$m_0$ – masa suhog drva. [kg]

**Mokri udio ili udio vlage u drvu** je omjer udjela mase vode (vlage) i mase suhog drva [1]:

$$U = \frac{m_V}{m_0} \cdot 100\% = \frac{W}{1 - W} \,, \tag{4}$$

pri čemu je:

$U$ – mokri udio, [%]

| Oblik biomase | Parametri | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | udio vlage U, % | gornja ogrjevna vrijednost $H_g$, MJ/kg | donja ogrjevna vrijednost Hd, MJ/kg | gustoća ρ, kg/m$^3$ | energetska gustoća, MJ/m$^3$ |
| Peleti | 10 | 19,8 | 16,4 | 600 | 9840 |
| Prosušena sječka od tvrdog drva | 30 | 19,8 | 12,2 | 320 | 3900 |
| Sječka tvrdog drva | 50 | 19,8 | 8,0 | 450 | 3600 |
| Prosušena sječka od mekog drva | 30 | 19,8 | 12,2 | 250 | 3050 |
| Sječka od mekog drva | 50 | 19,8 | 8,0 | 350 | 2800 |
| Kora | 50 | 20,2 | 8,2 | 320 | 2620 |
| Piljevina | 50 | 19,8 | 8,0 | 240 | 1920 |

*Tablica 2.1 Udjeli vlage, ogrjevne vrijednosti, gustoća i energetska gustoća najčešćih oblika šumske biomase [1]*

Ogrjevna vrijednost drva mijenja se promjenom udjela vlage u drvu. Ako je udio vlage veći ogrjevna vrijednost je manja, a ako je udio vlage manji ogrjevna vrijednost je veća.

Ta ovisnost određena je empirijskim jednadžbama [1]:

- za listače:

$$H_d = 2500 \cdot \left(6{,}833 - \frac{W}{1+W}\right) \tag{5}$$

- za četinjače:

$$H_d = 2500 \cdot \left(7{,}333 - \frac{W}{1+W}\right), \tag{6}$$

pri čemu je:

$H_d$ - donja ogrjevna vrijednost drva, [kJ/kg].

Kemijski sastav drva podrazumijeva udio određenih osnovnih gradivnih tvari poput sumpora, ugljika, vode, vodika i kisika dok se udio raznih alkalijskih i metalnih udjela mogu zanemariti. Ogrjevna vrijednost drva može se odrediti poznavajući njegov kemijski sastav pomoću jednadžbe [1]:

$$H_d = 33{,}9 \cdot c + 117{,}0 \cdot \left(h - \frac{o}{8} + 10{,}5 \cdot s - 2{,}5 \cdot w\right) \tag{7}$$

pri čemu su:

$H_d$ – donja ogrjevna vrijednost drva, [MJ/kg]

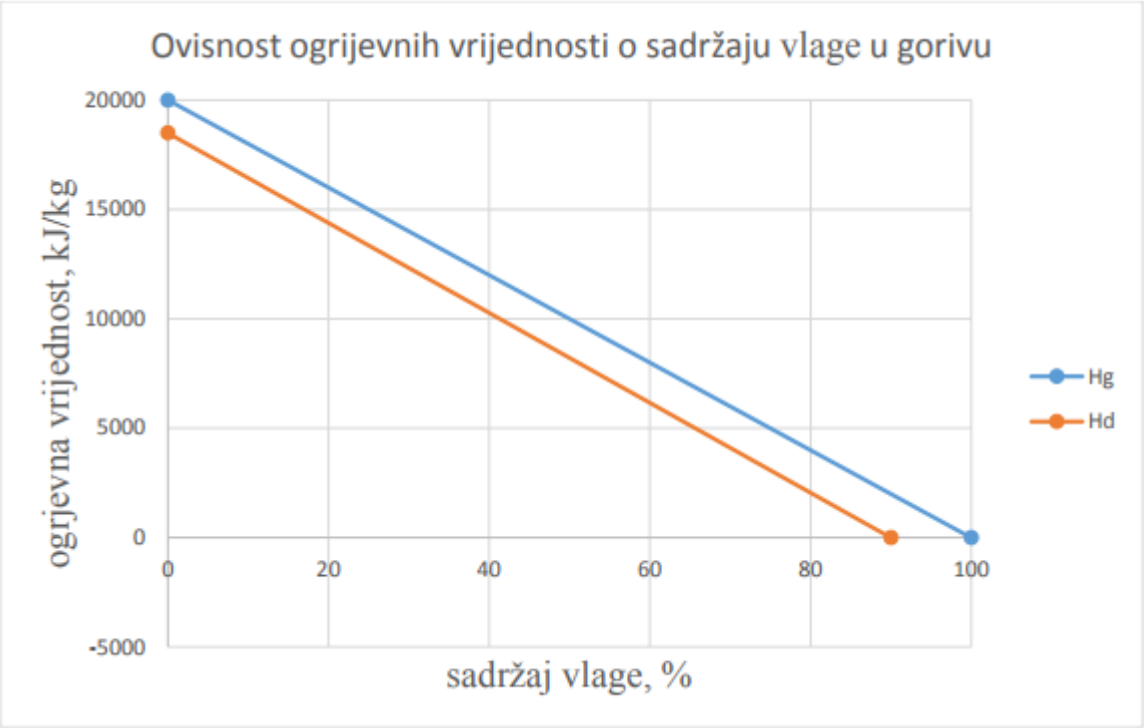
$c$ – maseni udio ugljika u sastavu drva, ≈ 0,496 [kg/kg]

$h$ – maseni udio vodika u sastavu drva, ≈ 0,063 [kg/kg]

$o$ – maseni udio kisika u sastavu drva, ≈ 0,441 [kg/kg]

$s$ – maseni udio sumpora u sastavu drva,

$w$ – maseni udio vode u sastavu drva.




*Slika 2.2 Ovisnost ogrijevnih vrijednosti o sadržaju vlage u gorivu [5]*

Primjenom šumske biomase od određene vrste drva važno je znati dobiva li se brzo ili sporo izgaranje te dobije li se izgaranjem veliki ili mali plamen. Ukoliko je potreban plamen visoke temperature koji kratko traje, koriste se topola, joha ili breza. Ako se radi o umjerenom izgaranju koje umjereno dugo traje, koristi se bukva ili grab. Bukva i grab pružaju žar koji dugo traje te se zbog toga najčešće koriste za grijanje stambenih zgrada.

Ukoliko usporedimo energetsku vrijednost loživog ulja i drva dobije se da je energetska vrijednost 1 kg loživog ulja približno jednaka energetskoj vrijednosti 3 kg drva [6].

## 2.5 Sušenje šumske biomase

**Sušenje biomase** provodi se radi smanjenja sadržaja vlage u biomasi. Smanjenjem sadržaja vlage u biomasi ona postaje pogodna za skladištenje i uporabu. Ako biomasa tijekom izgaranja ne sadrži istu količinu vlage, potrebna su složenija i skuplja ložišta. Također, ako biomasa sadrži previše vlage ne postiže se učinkovito izgaranje. Biomasa se može sušiti na nekoliko načina:

- sušenjem na otvorenom
- sušenjem u skladištu
- kontinuiranim sušenjem

- sušenjem u tračnim sušarama
- sušenjem u sušarama s bubnjem
- sušenjem u cijevnim sušarama i
- sušenjem u sušarama s predgrijanom parom.

## 2.6 Skladištenje biomase

**Skladištenje šumske ili drvne biomase** provodi se uvijek kada postoji vremenska razlika između proizvodnje i uporabe u ložištu. Biomasa se skladišti neposredno pokraj ložišta kako bi se osigurao nesmetan rad. Razlikujemo dnevna i dugotrajna skladišta. Dnevno skladište služi za opskrbu energetskog postrojenja točno određen dan, dok se biomasa iz dugotrajnih skladišta dostavlja u dnevna najčešće utovarivačima ili kranovima. Najednostavniji način skladištenja biomase je gomilanjem. Tijekom postupka gomilanja, zbog biološke i biokemijske degradacije i oksidacije nagomilane biomase, može doći do samozapaljenja. Osim samozapaljenja, loše skladištenje može dovesti i do pojave gljivica i bakterija, gubitaka na suhoj masi i promjene udjela vlage. Sve te pojave ovise o veličini drvnih čestica, obliku drvne mase, udjelu vlage, načinu spremanja i ventilaciji skladišta.

Ako se skladišti svježa sječka ili kora temperatura u gomili u prvim danima raste do 60 °C, ali ako su veličine drvnih čestica veće od 20 cm porast temperature se ne događa. Sječka se skladišti na 6 različitih načina:

- u bunkeru s izravnim pristupom za vozila
- u bunkeru bez izravnog pristupa za vozila
- u bunkeru s predsušenjem
- u bunkeru s dodatnim prijenosnim mehanizmom
- u vanjskom podzemnom bunkeru
- u vanjskom nadzemnom bunkeru.

Sječka se najčešće dovodi do ložišta pomoću pužnog prijenosnika.



*Slika 2.3 Prikaz skladištenja sječke s izravnim pristupom za vozilo*

## 2.7 Izgaranje šumske biomase

**Izgaranje šumske biomase** je proces oksidacije gorivih sastojaka pri čemu se oslobađa pohranjena kemijska energija koja se pretvara u toplinsku energiju. Bitno je ostvariti što učinkovitije izgaranje kako bi se oslobodila maksimalna moguća toplinska energija iz biomase. Razlikujemo potpuno i nepotpuno izgaranje. Do potpunog izgaranja dolazi kada svi izgorivi sastojci goriva (ugljik, sumpor i vodik) potpuno oksidiraju u ugljični dioksid, vodu i sumporni dioksid. Kod nepotpunog izgaranja ugljik, sumpor i vodik samo djelomično oksidiraju što znači da još uvijek sadrže izgorive elemente. Nepotpuno izgaranje nastaje zbog nedostatka zraka u ložištu ili loše cirkulacije tog zraka. Takvo izgaranje nastoji se izbjeći jer se dobiva manja toplinska energija nego potpunim izgaranjem.

Izgaranje šumske biomase odvija se kroz šest faza:

1) zagrijavanje biomase
2) sušenje biomase
3) pirolitička razgradnja biomase
4) rasplinjavanje odvlaženih gorivih tvari
5) rasplinjavanje čvrstih ugljikovih spojeva
6) oksidacija zapaljivih plinova nastalih rasplinjavanjem

Prve tri faze procesa izgaranja su entotermne, što znači da je potrebno dovoditi toplinu izvana. Na temperaturama od 230 °C započinju egzotermne reakcije (oslobađa se toplina). Da bi došlo do zapaljenja drva, uz prisutnost vanjskog izvora zapaljenja, potreba je temperatura viša od 300 °C, a za samozapaljenje temperatura viša od 400 °C.

Četvrta faza odvija se na temperaturama od 230 do 500 °C . Već na 230 °C uz prisutnost zraka dolazi do izgaranja gorivih tvari u kojima nema više vlage. Ova faza odvija se u ložištu gdje se nalazi sloj biomase kojem se dovodi zrak (kisik) koji odmah reagira s plinovitim produktima rasplinjavanja pri čemu se oslobađa toplina koja služi za paljenje ugljena i katrana.

Peta faza odvija se na temperaturama od 500 do 700 °C. Uz prisutnost $CO_2$, vodene pare i kisika nastaje ugljikov monoksid (CO). Osim topline u ovoj se fazi prvi put oslobađa svjetlost (plamen).

Šesta odnosno posljednja faza odvija se na temperaturama od 700 do 1400 °C. Do izgaranja dolazi u reakcijskoj zoni ložišta, u kojoj se već nalaze svi produkti prethodnih reakcija u plinovitom stanju i u koju se dovodi sekundarni zrak kako bi došlo do čistog i potpunog izgaranja.

Za odvijanje ovih šest faza potrebne su neke osnovne tehničke pretpostavke. Pretpostavke su da u ložištu uvijek mora postojati višak kisika za izgaranje, razmjerno visoka temperatura i da se mora ostvariti dobro miješanje i dovoljno dugo zadržavanje (u reakcijskoj zoni ložišta) nastale smjese zapaljivih plinova nastalih rasplinjavanjem i dovedenog zraka za izgaranje.

Odvijanje spomenutih faza ovisi također o raspoloživoj slobodnoj površini gorive tvari na kojoj se odvijaju reakcije termičke razgradnje i oksidacije. Što je slobodna površina veća, reakcije se odvijaju brže. Ako je dimenzija biomase veća, izgaranje će biti znatno sporije jer se ne može istovremeno obuhvatiti cijela čestica nego izgaranje počinje od površine prema unutrašnjosti. Upravo zbog toga biomasa se usitnjava kako bi došlo do povećanja slobodne površine i da bi se dovođenje biomase do ložišta moglo automatizirati.

# 3. Toplovodni sustav grijanja

## 3.1 Općenito

**Sustavi grijanja i pripreme potrošne tople vode** koji koriste šumsku ili drvnu biomasu mogu biti izvedeni na dva načina:

- kao centralni sustav
- kao individualni sustav

Kod centralnog sustava izvor topline (kotao) nalazi se na jednom mjestu u zgradi i tada je najčešće moguća priprema potrošne tople vode. Kod individualnog sustava izvor topline (peć, kamin) nalazi se u prostoriji koju treba grijati i tada nije moguća priprema potrošne tople vode.

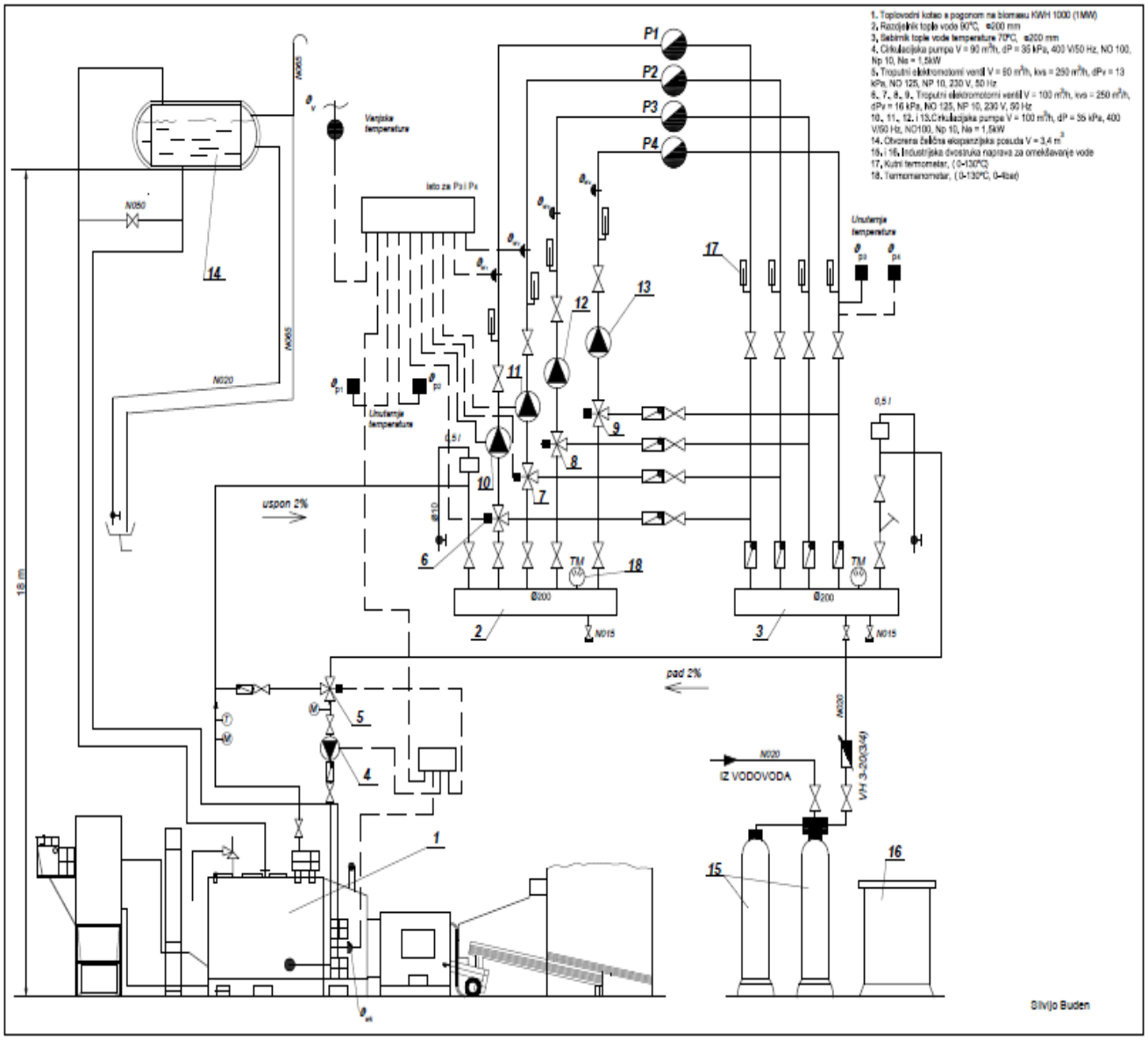
**Toplinski učinak izvora topline** je veličina na temelju koje se dimenzioniraju, projektiraju i izvode sustavi grijanja. Određuje se prema potrebama zgrade za toplinom za grijanje i prema toplinskim gubitcima zgrade. Pri tome izvor topline mora pokrivati sveukupne potrebe zgrade za toplinom.

**Toplinsko opterećenje zgrade ili prostorije** određuje se proračunom prema HRN EN 12 831. Pri tome se najprije određuju projektni toplinski gubitci, a kasnije na temelju toga određuje se projektno toplinsko opterećenje prostorije.

**Projektno toplinsko opterećenje zgrade** jednako je zbroju projektnih transmisijskih i ventilacijskih toplinskih gubitaka i dodatnog učina za ponovno zagrijavanje svih prostorija koje se griju.

**Dnevne potrebe za toplinom** su vrijednosti prema kojima se određuje udio učina izvora topline potreban za pripremu potrošne tople vode.

## 3.1 Shema toplovodnog postrojenja




*Slika 3.1 Shema toplovodnog postrojenja na šumsku biomasu snage 1MW*

## 3.2 Kotao na sječku

**Kotao na sječku** je izvor topline za sustave centralnog grijanja ili toplinarske sustave koji kao gorivo isključivo koristi drvnu sječku i izveden je kao kompaktan uređaj koji je opremljen priključcima na sustav potrošnje topline i sustav odvoda dimnih plinova. Takvi kotlovi namijenjeni su za sustave centralnog grijanja i pripreme potrošne tople vode većih stambenih, javnih ili poslovnih zgrada, industrijskih ili obrtničkih pogona, ugostiteljskih objekata i slično.



*Slika 3.2 Toplovodni kotao KWH-1000 [7]*

Kotlovi tipa KWH namijenjeni su za rad u instalacijama centralnog grijanja s prinudnim kruženjem grijaćeg medija u otvorenom sistemu te rade kao izmjenjivači topline za plinifikatore AZSD (sistem za spaljivanje usitnjenog drvnog ostatka). Vrlo niska razina onečišćenja u atmosferi te odlična ispravnost i stabilnost parametara nužnih za rad svrstava sisteme AZSD + KWH među najbolje u svojoj klasi. Proizvođač kotlova je tvrtka HAMECH iz Poljske.

Osnovna je vrsta goriva za kotlove tipa KWH sa sistemom za spaljivanje AZSD usitnjeno drvo granulacije do 30 mm koje sagorijeva u plinifikatoru, čija je vlažnost 30-50% i kalorična vrijednost 8-13 MJ/kg. Loženje na piljevinu ili usitnjeni drvni ostatak - sječku promjera do 3 cm. Moguće je kombinirano loženje i krupnim drvnim ostatkom direktnim ubacivanjem u peć [7].

| | | |
|---|---|---|
| Nazivna snaga | 1000 | kW |
| Nazivna snaga s Automatskim sistemom za spaljivanje drvnog otpada AZSD | 1000(1) | kW |
| Opseg regulacije topljinskoj snage | 30 - 100 | % |
| Zagrijavana površina kotla | 78 | $m^2$ |
| Dopušten statički pritisak | 0.3 | MPa |
| Max. temp. vode na izlasku iz kotla | 95 | °C |
| Obavezan niz iza kotla | >56 | Pa |
| Srednja temperatura plinova na izlazu z kotla | 240 | °C |
| Potrošnja osnovnog goriva sa nazivnom snagom sa AZSD | 375.6(1) | kg/h |
| Toplinska iskoristivost uz rad sa nazivnom snagom sa korištenjem AZSD | >=81.9 | % |
| Težina kotla s izolacijom | 6250 | kg |
| Ukupna količina vode u kotlu | 4300 | l |
| Dužina (A) | 3690 | mm |
| Visina (B) | 2190 | mm |
| Širina (C) | 1990 | mm |
| Komora izgaranja – dužina (D)(2) | 1455 | mm |
| Izmjenivač - dužina (E)(2) | 1720 | mm |

*Tablica 3.1 Karakteristika toplovodnog kotla KWH-1000 [7]*

## 3.3 Osnovna sigurnosna i regulacijsko-nadzorna oprema

**Sigurnosna i regulacijsko-nadzorna oprema** sustava centralnog grijanja uključuje sve elemente kojima se onemogućuje prekoračenje najvećih dopuštenih vrijednosti radne temperature i tlaka te kojima se ostvaruje njegov siguran, pouzdan i učinkovit rad. Za ugradnju i primjenu sigurnosne i regulacijsko-nadzorne opreme vrijede smjernice iz HRN EN 12 828.

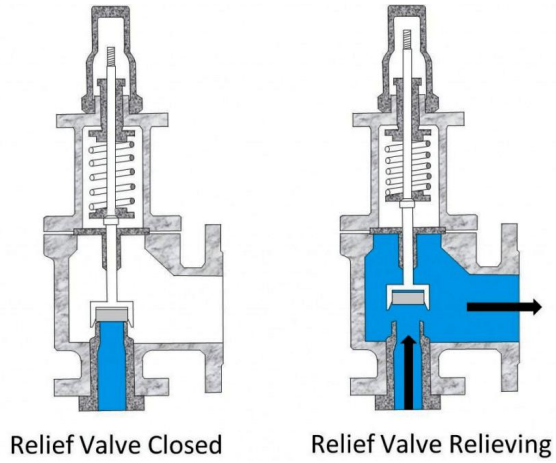
**Sigurnosna oprema** sastoji se od:

1) elemenata za zaštitu od prekoračenja najvišeg dopuštenog radnog tlaka:
   - sigurnosni ventil
   - graničnik tlaka
2) elemenata za zaštitu od prekoračenja najviše dopuštene radne temperature:
   - graničnik temperature
3) elemenata za zaštitu od smanjenja količine vode u sustavu:
   - osigurač količine vode
4) ekspanzijske posude.

Sigurnosna oprema se projektira, izvodi i ugrađuje s obzirom na izvedbu sustava grijanja, energent koji se koristi, način i regulaciju izvora topline i cijelog sustave te nazivni toplinski učin

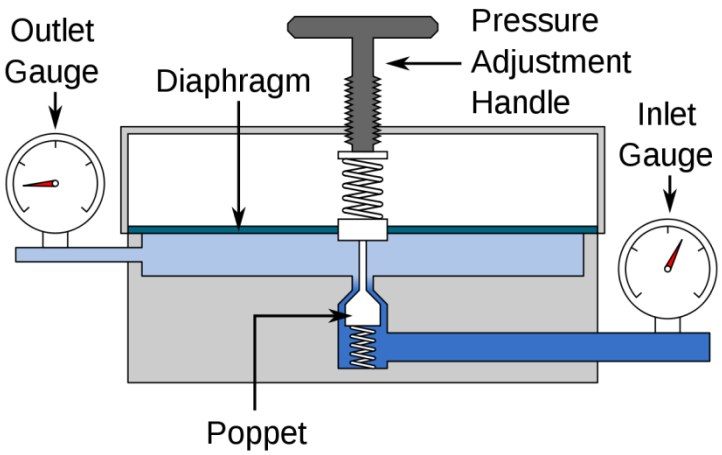
izvora topline. Neovisno o tome je li sigurnosna oprema naknadno ugrađena ili tvornički predugrađena, obavezan je dio sustava grijanja.

**Sigurnosni ventil** služi za zaštitu svih dijelova sustava grijanja od prekoračenja najvišeg dopuštenog radnog tlaka. U slučaju prekoračenja najvišeg dopuštenog radnog tlaka ovaj ventil ispušta određenu količinu ogrjevnog medija u okolicu. Do otvaranja i ispuštanja medija treba doći pri tlaku koji nije veći od najvišeg projektnog tlaka, pri čemu se mora spriječiti prekoračenje najveće vrijednosti radnog tlaka za više od 10%. Sigurnosni ventil može biti predugrađen u izvoru topline ili se može naknadno ugraditi u polazni vod, u neposrednoj blizini izvora topline. Ako se naknadno ugrađuje pad tlaka u spojnom vodu s polaznim vodom ne smije biti veći od 3%, a u ispusnom vodu veći od 10% njegovog nazivnog tlaka. Ugrađuje se u sustave grijanja s izvorom topline većim od 300 kW.




*Slika 3.3 Otvoren i zatvoren sigurnosni ventil [8]*

**Graničnik tlaka** služi za zaštitu sustava grijanja od prekoračenja najviše vrijednosti tlaka. U slučaju prekoračenja tlaka ili prestanka napajanja sustava graničnik tlaka pomoćnom energijom automatski prekida  izmjenu topline ili dovod goriva do izvora i sprječava automatsko ponovno uključivanje sustava. Djelovanje graničnika tlaka treba biti usklađeno s radom sigurnosnog ventila. Također, može biti predugrađen u izvoru topline ili se ugrađuje naknadno, u neposrednoj blizini izvora.




*Slika 3.4 Graničik tlaka [9]*

**Graničnik temperature** služi za zaštitu sustava grijanja od prekoračenja najveće dopuštene radne temperature. Djeluje tako da u vremenu nakon što se počinje smanjivati izdavanje topline u ložištu ili izmjenjivaču topline, ne smije doći do povišenja temperature za više od 10 °C. Obavezno se ugrađuje u sve sustave grijanja. Može biti predugrađen ili naknadno ugrađen u polazni vod. Sustavi grijanja na šumsku biomasu moraju biti opremljeni cijevnim razvodom koji se može zatvoriti ili koji se u slučaju nadtemperature može otvoriti kako bi se spriječilo pregrijavanje.



*Slika 3.5 Graničnik temperature [10]*

**Osigurač količine vode** služi za zaštitu sustava grijanja od nedostatka ogrjevnog medija. U slučaju neočekivanog smanjenja količine ogrjevnog medija u sustavu osigurač količine vode zaustavlja daljnju izmjenu topline čime ga štiti od prekoračenja temperature. Ugrađuje se u sve sustave grijanja, osim one kod kojih su izvor topline električni kotlovi ili kod kojih je izveden kao sekundarni izmjenjivač topline.

**Ekspanzijska posuda** služi za preuzimanje toplinskih rastezanja ogrjevnog medija u sustavu grijanja. Ugrađuje se u sve sustave grijanja, bez obzira na izvedbu. Otvorene

ekspanzijske posude su one koje se koriste u sustavima čiji je razvod otvoren prema atmosferskom tlaku. Sadrže odzračne i preljevne vodove koji se mogu zatvoriti i koji su napravljeni da omoguće sigurno odvođenje cjelokupnog protoka ogrjevnog medija koji je određen njihovom veličinom. Postavljaju se na najviše mjesto u sustavu grijanja i dizajnirane su tako da mogu preuzeti cjelokupne promjene volumena ogrjevnog medija pri njezinom zagrijavanju i hlađenju. Posuda, preljevni i odzračni vodovi moraju biti postavljeni tako da su zaštićeni od smrzavanja. Pregled ekspanzijske posude radi se najmanje jednog godišnje u sklopu redovitog održavanja sustava grijanja. Taj pregled sastoji se od nekoliko postupaka. Prvi postupak je vanjski pregled posude kako bi se utvrdila vidljiva oštećenja plašta posude, pojave korozije i slično. Drugi postupak je pregled membrane i nepropusnosti plinskog ventila. Posljednji postupak je provjera tlaka. Ako se pronađu neke neispravnosti ili oštećenja ekspanzijske posude može doći do smetnji u sustavu grijanja. Najčešće neispravnosti su gubitak vode iz sustava, pojava zraka u sustavu i nepravilan rad cirkulacijske crpke.

**Sigurnosni polazni i povratni vodovi** služe za povezivanje izvora topline i otvorene ekspanzijske posude u otvorenim sustavima centralnog grijanja. Spojeni su na donji dio otvorene ekspanzijske posude i na povratni vod sustava grijanja.

**Nadzorno-regulacijska oprema** sastoji se od:

- elemenata za nadzor pogonskih parametara (tlak, temperatura i količina vode)
- elemenata za regulaciju radne temperature i/ili dovoda goriva
- elemenata za regulaciju radnog tlaka.

**Manometar** služi za pokazivanje ranog tlaka u sustavu. Obavezno se ugrađuje u sve sustave grijanja, a može ih biti i više u sustavu. Najviša vrijednost na skali manometra mora biti za najmanje 50% veća od najvišeg dopuštenog radnog tlaka.




*Slika 3.6 Manometar [11]*

**Termometar** služi za pokazivanje radne temperature ogrjevnog medija (vode) u sustavu. Obavezno se ugrađuje u sve sustave grijanja i u sustavu ih može biti više. Najviša vrijednost na skali mora biti za najmanje 20% veća od najviše dopuštene radne temperature.

**Regulator temperature** služi za prilagođavanje rada izvora topline stvarnim potrebama zgrade za toplinom. Obavezno se ugrađuje u sve sustave grijanja. Najviša namještena vrijednost pri tome ne smije biti veća od najviše dopuštene radne temperature izvora topline.

**Pokazivač razine vode** služi za pokazivanje količine ogrjevnog medija u sustavu grijanja, na temelju čega se zaključuje treba li ga dopuniti. Također omogućava prepoznavanje određenih pogonskih smetnji (propuštanje medija i slično).

## 3.4 Cirkulacijske pumpe

**Crpke** ili **pumpe** su uređaji koji služe za prijenos fluida s niže na višu razinu i s nižeg tlaka na viši tlak.

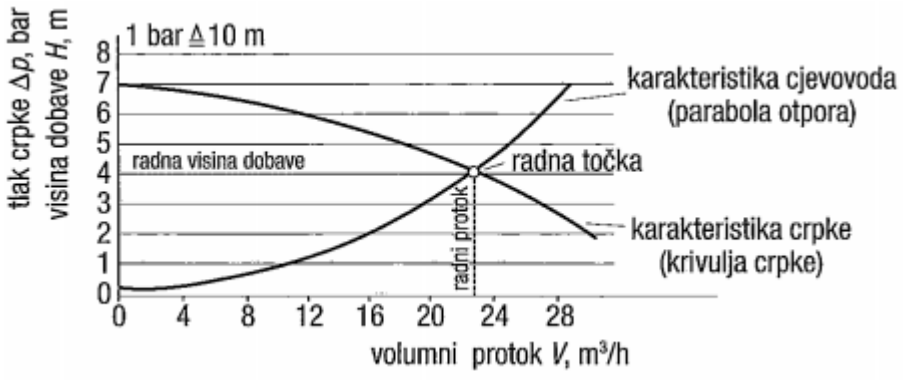
**Cirkulacijske pumpe** služe za ostvarivanje odgovarajuće dobave ogrjevnog medija od izvora topline do ogrjevnih tijela kroz cijevni razvod, pri čemu se trebaju pokriti svi padovi tlaka do kojih dolazi pri strujanju medija kroz sve dijelove sustava. Rad cirkulacijskih crpki u sustavu grijanja prikazuje se dijagramom pomoću krivulja karakteristika koja pokazuje ovisnost tlaka crpke, odnosno visine dobave o volumnom protoku. Radna točka crpke sjecište je krivulja karakteristika crpke i cjevovoda u dijagramu. U njoj postoji ravnoteža visine dobave koja se ostvaruje crpkom i padova tlaka u instalaciji. Osnovne značajke crpke su visina dobave, dobiveni protok, broj okretaja i snaga i stupanj djelovanja.

**Visina dobave** pokazuje koliki tlak crpka može postići, a jednaka je razlici tlakova na ulazu i izlazu iz nje. Također je jednaka zbroju razlika geodetskih visina, razlike početnog i krajnjeg tlaka, pada tlaka zbog promjene brzine strujanja i gubitka u cijevnom razvodu.

**Protok** pokazuje koju količinu medija crpka može prenositi, a jednak je omjeru ukupnog toplinskog učina izvora topline, umnoška specifičnog toplinskog kapaciteta i razlike temperature polaznog i povratnog voda.

**Broj okretaja** određen je izvedbom crpke, pri čijoj promjeni dolazi do proporcionalnih promjena svih ostalih veličina koje opisuju crpku poput volumena protoka, visine dobave i snage. Važno je napomenuti da se regulacijom broja okretaja pumpe omogućava točno prilagođavanje trenutačnim potrebama u sustavu.

**Snaga i stupanj djelovanja** pokazuju kolika je potrošnja pogonske električne energije crpke, te koliko su učinkoviti procesi pretvorbe energije koji se u njoj zbivaju.




*Slika 3.7 Dijagram za određivanje radne točke crpke [1]*

Ugradnja crpke u sustav grijanja moguća je na dva načina:

- u polazni vod (za izvor topline s malim otporima strujanju)
- u povratni vod (za izvore topline s velikim otporima strujanju).

Mjesto ugradnje crpke ima velik utjecaj na tlak u sustavu grijanja te se zbog sprječavanja pojave mjehurića zraka i smanjenja šumova njezin ulazni priključak postavlja što bliže ekspanzijskoj posudi. Odabir crpke provodi se na osnovi najnepovoljnije vrijednosti što proizlazi iz dimenzioniranja i protoka crpke koji je određen prema toplinskom učinu izvora topline.

## 3.5 Sustav za odvod dimnih plinova

**Sustav za odvod dimnih plinova** je skup dijelova građevine te građevinskih i drugih elemenata koji služe za sigurno odvođenje dimnih plinova koji nastaju izgaranjem goriva u ložištu izvora topline sustava grijanja u okolicu. Osnovni dijelovi sustava za odvod dimnih plinova su:

- dimovodni nastavak (dio ložišta koji služi za spajanje s dimovodnom cijevi)
- dimovodna cijev (služi za spajanje dimovodnog nastavka i priključka na dimnjak)
- priključak na dimnjak (služi za spajanje dimovodne cijevi s dimnjakom)
- dimnjak
- dijelovi namijenjeni za održavanje, regulaciju i ostvarenje sigurnog pogona.

**Dimnjak** je osnovni dio sustava za odvod dimnih plinova (nastalih u ložištu) koji je okomitog ili približno okomitog oblika, a postojan je na zapaljenje čađe i služi za sigurno i neometano odvođenje dimnih plinova u okolicu. Pri izvođenju dimnjaka trebaju se ostvariti neki zahtjevi:

1) **Požarna sigurnost** osigurava nemogućnost zagrijavanja vanjskih stijenki dimnjaka na temperaturu višu od 100 °C, a površina susjednih dijelova koji su izrađeni od zapaljivog

materijala na više od 85 °C. Također, mora onemogućiti zapaljenje čađe koja se može nakupljati na unutarnjim stijenkama i u slučaju požara dijelovi vanjskih stijenki moraju ostati stabilni najmanje 90 minuta.

2) **Nepropusnost za dimne plinove i okolni zrak** obuhvaća izvođenje dimnjaka tako da se pri razlici tlaka od 40 Pa prema okolici i temperaturi 20 °C ostvari najveća dopuštena vrijednost propusnosti njegovih stijenki od 0,003 $m^3/cm^2$ unutarnje površine dimnjaka.

3) **Otpornost na temperaturna naprezanja** obuhvaća stalno ostvarenje postojanosti na naprezanja nastala zbog povišene temperature dimnih plinova i izgaranja čađe u dimnjaku.

4) **Dimnjaci za ložišta na šumsku ili drvnu biomasu** moraju zadovoljiti još neke posebne uvjete poput:

- temperaturnu otpornost do 400 °C
- temperaturnu postojanost na zapaljenje čađe do 1200 °C
- postojanost na vlagu
- glatkoću unutarnjih stijenki, bez pojave napuklina
- jednolik promjer po cijeloj visini

Najčešći materijal za izradu dimnjaka na koji se spajaju ložišta na šumsku biomasu koriste nehrđajući čelici i keramika.

5) **Visina dimnjaka** određuje se iz uvjeta osiguranja optimalnog podtlaka za siguran rad ložišta i uvjeta za sprječavanje onečišćenja okoliša. Kod određivanja visine dimnjaka treba uzeti u obzir nekoliko vrijednost. Te vrijednosti su visina i oblik krova zgrade, nagib i udaljenost vrha dimnjaka od vrha krova, postojanje nadgradnji na krovu u neposrednoj blizini vrha dimnjaka, utjecaji okolnog reljefa, objekata i vegetacije. Najmanja djelotvorna visina dimnjaka iznosi 4 metra.

6) **Dimovodna cijev** služi za povezivanje dimovodnog nastavka ložišta s dimnjakom. Izvodi se tako da bude što kraća i ravnija kako bi se mogla lakše čistiti. Izrađuje se od negorivih materijala, postojnog oblika i sa zaštitom od korozije. S vanjske strane stavlja se sloj toplinske izolacije debljine 5 centimetara koji služi za smanjenje toplinskih gubitaka i sigurnost odvođenja dimnih plinova. Najveća duljina dimovodne cijevi kod ložišta na šumsku biomasu iznosi 2 metra. Na dimovodnu cijev mora biti postavljen otvor za mjerenje emisije dimnih plinova.

**Maseni protok dimnih plinova** određuje se jednadžbom [1]:

$$m_{DP} = f \cdot \Phi_{IT,N}\,, \tag{8}$$

$$m_{DP} = 1{,}1 \cdot 1000 = 1100\ g/s$$

pri čemu su:

$m_{DP}$ – maseni protok dimnih plinova, [g/s]

$f$ – proračunski faktor (tablica 3.3)

$\Phi_{IT,N}$ – nazivni toplinski učin izvora topline (kotla, peći, kamina), [kW].

| vrsta izvora topline | gorivo | proračunski faktor $f$ |
|---|---|---|
| kotlovi s pretlačnim plamenikom | ekstralako loživo ulje | 0,45 |
| | prirodni plin | 0,48 |
| | ukapljeni naftni plin | 0,45 |
| kotlovi s atmosferskim plamenikom | prirodni plin | 0,81 |
| | ukapljeni naftni plin | 0,85 |
| kotlovi na šumsku biomasu | | 1,1 |

*Tablica 3.3 Proračunski faktor u jednadžbi za određivanje masenog protoka dimnih plinova, ovisno o vrsti ložišta i gorivu [1]*

**Najveća hidraulička vitkost dimnjaka** određuje se jednadžbom [1]:

$$\lambda_{d,max} = 212{,}5 - 12\,500 \cdot r \tag{9}$$

$$\lambda_{d,max} = 212{,}5 - 12\,500 \cdot 0{,}001 = 200$$

pri čemu su:

$\lambda_{d,max}$ – najveća hidraulička vitkost dimnjaka

$r$ – hrapavost unutarnje stijenke dimnjaka (tablica 3.4).

| materijal | hrapavost stijenke r,m |
|---|---|
| šamot, opeka, beton, zidani elementi, agregat | 0,002 |
| zidani kanali | 0,005 |
| betonski elementi | 0,003 |
| metalni elementi | 0,001 |
| staklo, polimerni materijali | 0,001 (0,0005) |

*Tablica 3.4 Vrijednosti hrapavosti stijenke za različite materijale elemenata dimnjaka [1]*

## 3.6 Volumen skladišta za sječku

**Volumen skladišta** za sječku određuje se na temelju toplinskog učina postrojenja pri čemu se u obzir uzima vrijeme njegova rada na punom opterećenju. Dobiva se preračunavanjem vrijednosti potrebnog volumena šumske biomase koji se uglavnom izražava u nasipnim metrima.

**Nasipni metar (nm)** je jedinica koja označava volumen prostora u koji se smješta rasuta šumska biomasa, tj. drvna sirovina.

Potrebni volumen biomase određuje se jednadžbom [1]:

$$V_{biom} = \frac{\Phi_k \cdot t_d \cdot t_h}{H_d \cdot \rho_{nas} \cdot \eta_k} \cdot 100\,, \tag{10}$$

$$V_{biom} = \frac{1000 \cdot 14 \cdot 12}{4 \cdot 250 \cdot 0{,}82} \cdot 100 = 204{,}89\ nm$$

pri čemu su:

$V_{biom}$ - potrebni volumen šumske biomase za pokrivanje punog opterećenja kotla, m nasipnih

$\Phi_k$ – toplinski učin kotla, [kW]

$t_d$ – broj dana u godini kada postrojenje radi s punim opterećenjem, 14 dana (najčešće)

$t_h$ – broj sati u danima kada postrojenje radi s punim opterećenjem, =24 [h/d] (za opskrbu jedne ili više zgrada ili tehnoloških procesa, najčešće), = 12 [h/d] (za toplinske sustave, najčešće)

$H_d$ – donja ogrjevna vrijednost goriva, 4 [kW h/m] nasipnom (za sječku)

$\rho_{nas}$ – nasipna gustoća šumske biomase, 250 [kg/m] nasipnom (za sječku)

$\eta_k$ – stupanj djelovanja kotla, [%].

Ako se uzme u obzir da je toplinski učin kotla 1000 kW, broj dana u godini kada postrojenje radi s punim opterećenjem 14 dana, broj sati u danu kada postrojenje radi s punim opterećenjem 12 h/d, donja ogrjevna vrijednost goriva 4 kW h/m nasipnom, nasipna gustoća šumske biomase 250 kg/m nasipnom i stupanj djelovanja kotla 82% dobije se da je potreban volumen šumske biomase (sječke) za pokrivanje punog opterećenja kotla 204,89 metara nasipnih.

Premda postrojenje ne radi pod punim opterećenjem tijekom cijele godine, dobije se da je dnevna potrošnja **6,33 m$^3$**, odnosno godišnja potrošnja približno **2311,5 m$^3$**. U tom slučaju, ako se skladište sječke i biomase opskrbljuje tjednom zalihom, ono mora biti u mogućnosti uskladištiti 44,31 m$^3$ sječke i biomase, odnosno približno 16,41 tonu.

## 3.7 Opskrba šumskom biomasom

Osiguranje opskrbe potrebnim količinama šumske biomase u određenom razdoblju osnovni je čimbenik sigurnog i pouzdanog rada postrojenja. Važno je spomenuti da, ako nije moguća pouzdana i sigurna opskrba šumskom biomasom, nije moguće ostvariti energetsko postrojenje na šumsku biomasu ma koliko ono bilo tehnički izvedivo, isplativo i ekonomično. Kod razmatranja osiguranja opskrbom šumskom biomasom treba uzeti u obzir:

- raspoloživost potrebnih količina biomase tijekom cijele sezone grijanja u okolici postrojenja

- vrstu biomase koja je na raspolaganju i njezina svojstva
- stanje biomase pri isporuci: neobrađena ili obrađena
- način isporuke: cestovnim vozilima ili željeznicom
- duljinu opskrbnih puteva, odnosno udaljenost s koje se biomasa isporučuje
- mogućnost pristupa vozilom za opskrbu do skladišta biomase i rukovanja njome.

Šumska biomasa može potjecati iz više izvora, a ti izvori su šumarstvo, drvnoprerađivačka industrija, energetski nasadi, veleprodaja i maloprodaja drvom i drvnim proizvodima, tvrtke koje se bave oporabom otpada i komunalne i tvrtke koje se bave održavanjem parkova, nasada, prometnica.

## 3.8 Potrošnja sječke i usitnjenog drvnog otpada

Najveća potrošnja sječke i biomase očekuje se kod početnog zagrijavanja hladne vode u toplifikacijskom sustavu pri niskim vanjskim temperaturama zraka. U ovom slučaju maksimalno opterećenje iznosi 1000 kW. Maksimalna potrošnja pogonskog goriva donje ogrjevne vrijednosti $H_d$ = 3200 W/kg, prosječne gustoće ρ = 370 kg/m$^3$ i vlažnosti $u \approx$ 25 - 30% iznosi približno 8,5 t/dan. Kako bi se održala potrebna radna temperatura vode u toplifikacijskom sustavu u zimskom periodu prosječno će se trošiti oko 3500 - 4500 kg/dan biomase prosječne vlažnosti i ogrjevne vrijednosti. Utrošena količina sječke i biomase varirat će ovisno o uvjetima rada postrojenja, mikroklimatskim prilikama, raspoloživom gorivu i slično. U slučaju nepovoljnih vremenskih prilika (osobito zimi) potrošnja pogonskog goriva bit će za oko 10 - 15 % veća.

**Godišnja potrošnja** sječke i biomase prosječne donje ogrjevne vrijednosti $H_d$ = 3200 Wh/kg i stupnja iskoristivosti $\eta$ = 0,82 iznosi približno 855 tona godišnje, odnosno 2311,5 m$^3$ godišnje, ako je prosječna gustoća biomase 370 kg/m$^3$ (vlažnosti 25 - 35%). Prema tome dobije se dnevna potrošnja od 2,34 tone, odnosno 6,33 m$^3$ dnevno.

## 3.9 Trošak ulaganja u energetsko postrojenje na šumsku biomasu učina 1MW

Ako se radi o kotlu (sa zgradom) učina 1 MW udjeli troškova ulaganja (u %) sastoje se od:

- strojarske opreme i radova 55%
- građevinske opreme i radova 30%
- elektrotehničke opreme i radova 5%
- ostalih troškova 10%.

Na temelju tih podataka procjenjuje se da su ukupni troškovi kotla (sa zgradom) učina 1 MW 300 000 eura.

# 4. Termotehnička instalacija

## 4.1 Dimenzioniranje cjevovoda

Dimenzioniranje cjevovoda provedeno je na osnovi hidrodinamičkih zakonitosti otvorenog toplovodnog sustava s narinutim statičkim tlakom većim od ostvarenog radnog dinamičkog predtlaka i/ili podtlaka u instalaciji za svaki zatvoreni cirkulacijski krug ogrjevnog medija.

Pad tlaka u pojedinoj dionici toplovodnog sustava grijanja za pojedinog potrošača je:

- prvog potrošača, $\Delta p_u \approx 0{,}25\ bar$
- drugog potrošača, $\Delta p_u \approx 0{,}3\ bar$
- trećeg potrošača, $\Delta p_u \approx 0{,}22\ bar$
- četvrtog potrošača, $\Delta p_u \approx 0{,}36\ bar$.

Odnos između odane topline i protočne količine vode utvrđuje relacija:

$$V = \frac{Q}{\Delta\vartheta_w \cdot c_{pw,s} \cdot \rho_{ws}} \tag{11}$$

$$V = \frac{1000}{293 \cdot 4{,}187 \cdot 971{,}82} = 8{,}39 \cdot 10^{-4}\ m^3/h$$



*Slika 4.1. Prikaz cjevovoda*

Brzina strujanja ogrjevnog medija iznosi w = 0,9 m/s.

## 4.2 Dimenzioniranje i izbor cirkulacijskih pumpi

Sve cirkulacijske pumpe odabrane su na način da tijekom rada njena radna točka bude u najpovoljnijem području rada i stupnja djelovanja.

Određivanje protoka:

$$V_1 = \frac{200}{293 \cdot 4{,}187 \cdot 971{,}82} = 1{,}68 \cdot 10^{-4}\ m^3/h$$

$$V_2 = \frac{300}{293 \cdot 4{,}187 \cdot 971{,}82} = 2{,}52 \cdot 10^{-4}\ m^3/h$$

$$V_3 = \frac{100}{293 \cdot 4{,}187 \cdot 971{,}82} = 8{,}39 \cdot 10^{-5}\ m^3/h$$

$$V_4 = \frac{400}{293 \cdot 4{,}187 \cdot 971{,}82} = 3{,}36 \cdot 10^{-4}\ m^3/h$$

Linearni otpori:

$$\Delta p = \frac{\lambda \cdot l}{d_u} \cdot \frac{w^2 \cdot \rho_{ws}}{2} + \sum \xi \cdot \frac{w^2 \cdot \rho_{ws}}{2} \qquad (12)$$

$$\Delta p_1 = \frac{0{,}67 \cdot 16}{0{,}05} \cdot \frac{0{,}9^2 \cdot 971{,}82}{2} + 0{,}25 \cdot \frac{0{,}9^2 \cdot 971{,}82}{2} = 84\,483{,}47\ Pa$$

$$\Delta p_2 = \frac{0{,}67 \cdot 18}{0{,}05} \cdot \frac{0{,}9^2 \cdot 971{,}82}{2} + 0{,}25 \cdot \frac{0{,}9^2 \cdot 971{,}82}{2} = 95\,031{,}61\ Pa$$

$$\Delta p_3 = \frac{0{,}67 \cdot 14}{0{,}05} \cdot \frac{0{,}9^2 \cdot 971{,}82}{2} + 0{,}25 \cdot \frac{0{,}9^2 \cdot 971{,}82}{2} = 73\,935{,}34 Pa$$

$$\Delta p_4 = \frac{0{,}67 \cdot 20}{0{,}05} \cdot \frac{0{,}9^2 \cdot 971{,}82}{2} + 0{,}25 \cdot \frac{0{,}9^2 \cdot 971{,}82}{2} = 105\,579{,}74\ Pa$$

Ukupan linearni otpor u svim cjevovodima iznosi 359 030,16 Pa.

Pojedinačni (lokalni) otpori :

$$\sum Z = \sum \xi \cdot \frac{w^2 \cdot \rho_{ws}}{2} \tag{13}$$

$$Z = 0{,}25 \cdot \frac{0{,}9^2 \cdot 971{,}82}{2} = 98{,}40\ Pa$$

$$\sum Z = 4 \cdot 98{,}40 = 393{,}59\ Pa$$

Ukupan lokalni otpor u cjevovodu iznosi 393,59 Pa.

Toplinsko opterećenje pojedinog potrošača iznosi:

$$Q = V \cdot \rho_{ws} \cdot C_{pw} \cdot \Delta\vartheta \tag{14}$$

$$Q_1 = 1{,}68 \cdot 10^{-4} \cdot 971{,}82 \cdot 4{,}187 \cdot 293 = 200\ kW$$

$$Q_2 = 2{,}52 \cdot 10^{-4} \cdot 971{,}82 \cdot 4{,}187 \cdot 293 = 300\ kW$$

$$Q_3 = 8{,}39 \cdot 10^{-5} \cdot 971{,}82 \cdot 4{,}187 \cdot 293 = 100\ kW$$

$$Q_4 = 3{,}36 \cdot 10^{-4} \cdot 971{,}82 \cdot 4{,}187 \cdot 293 = 400\ kW$$

Kako bi se odredio režim strujanja računa se bezdimenzionalna veličina pod nazivom Reynoldsov broj po formuli:

$$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\mu} \tag{15}$$

$$Re = \frac{0{,}9 \cdot 0{,}05 \cdot 971{,}82}{354{,}35 \cdot 10^{-6}} = 123\ 414{,}42$$

Iz dobivene vrijednosti vidi se da je riječ o turbulentnom strujanju fluida.

## 4.3 Dimenzioniranje otvorene ekspanzijske posude

Ukupna količina vode u toplovodnom sustavu iznosi približno 163 $m^3$. Koeficijent toplinske dilatacije vode iznosi:

- $k_1$ = 0,028 kod temperature vode 80°C
- $k_2$ = 0,022 kod temperature vode 70°C
- $k_3$ = 0,017 kod temperature vode 60°C

Volumen ekspanzijske posude $V_{eksp.posuda} = V \cdot k_m$ =3,4 $m^3$, (Ø1,35 m · 2,6 m) sa svim spojnim i priključnim elementima.

## 4.4 Ekspanzijski cjevovodi

Sigurnosni razvodni vod izračuna se pomoću formule:

$$d_r = 15 + 1{,}39\sqrt{Q} \tag{16}$$

$$d_r = 15 + 1{,}39\sqrt{1000} = 58{,}96$$

Sigurnosni povratni vod izračuna se pomoću formule:

$$d_p = 15 + 0{,}93\sqrt{Q} \tag{17}$$

$$d_p = 15 + 1{,}39\sqrt{1000} = 44{,}41$$

## 4.5 Dimenzioniranje i izbor sigurnosnog opružnog ventila

Na dimenzioniranje razdjelnika i sabirnika utječu:

- satna protočna količina vode $V_w$, $m_w$,
- srednja gustoća ogrjevnog medija $\rho_s = f[\vartheta_{w1}, \vartheta_{w2}]$,
- brzine strujanja ogrjevnog medija i brzina stabilizacije u razdjelniku, sabirniku.

# 5. Zaključak

U današnje vrijeme, kada se sve više pažnje posvećuje obnovljivim izvorima energije, čije je zagađenje okoliša i emisija ugljičnog dioksida zanemarivo, trebalo bi više pažnje posvetiti toplovodnim sustavima grijanja na biomasu. Nastale emisije ugljičnog dioksida izgaranjem šumske biomase smatraju se zanemarivim jer se podjednake količine apsorbiraju rastom biljke. Prednost korištenja sječke i šumske biomase u sustavu grijanja je njezina sposobnost automatizacije te je potrebno samo povremeno punjenje skladišta što ne zahtijeva velike količine rada. Sječka i biomasa skladišti se gomilanjem u prostoriji neposredno do ložišta ili u prostoriji uz prostoriju gdje se nalazi ložište kako bi se omogućilo automatsko dovođenje do ložišta.

Problem kod korištenja sječke i šumske biomase predstavlja udio vlage u biomasi. Vlaga znatno utječe na ogrjevnu vrijednost, udio pepela i emisiju ugljičnog dioksida. Zbog toga je potrebno sušenje šumske biomase kako bi se povećala ogrjevna vrijednost i smanjile štetne emisije.

Sustavi toplovodnog grijanja na šumsku biomasu u posljednjih nekoliko godina počeli su se mnogo znatnije koristiti nego u prošlosti, ne samo za grijanje kuća i stanova, nego i u velikim energetskim postrojenjima.

U Varaždinu _____ Potpis:_____

# Literatura


[1] B. Labudović: Osnove primjene biomase, Energetika marketing, Zagreb, 2012.

[2] K. Sabo: Primjena drvenih peleta u zagrijavanju objekata, Diplomski rad, Međimursko veleučilište u Čakovcu, Čakovec, 2016.

[3] http://www.fradragoljevar.com/Biomasa.pdf (20.7.2017.)

[4] https://www.google.hr/search?tbm=isch&q=photosynthesis&spell=1&sa=X&ved=0ahUKEwjyuY30r5rVAhXDvBoKHW3XCDkQvwUILCgA&biw=1350&bih=635&dpr=1%23imgrc=KThsr1xrkWKJnM:#imgrc=KThsr1xrkWKJnM: (21.7.2017.)

[5] http://repozitorij.fsb.hr/3032/1/Diplomski_rad_Igor_Cigic_0035165678.pdf (22.7.2017)

[6] http://www.regea.org/assets/files/objavilismo2012/D32_Biofuel_hanbook_REGEA.pdf (24.7.2017)

[7] http://www.simpol.hr/index.php/joomlaorg/kotlovnice/87-toplovodni-kotao-kwh-1000 (26.7.2017)

[8] https://www.google.hr/search?hl=hr&authuser=0&biw=1350&bih=635&site=imghp&tbm=isch&sa=1&q=safety+valve&oq=safety+valve&gs_l=psy-ab.3..0i19k1l4.2912.2912.0.4149.1.1.0.0.0.0.137.137.0j1.1.0....0...1.1.64.psy-ab..0.1.135.2kNbvj0osT8#imgrc=rfTJo658j31EVM: (26.7.2017)

[9] https://www.google.hr/search?biw=1350&bih=586&tbm=isch&sa=1&q=grani%C4%8Dnik+tlaka&oq=grani%C4%8Dnik+tlaka&gs_l=psy-ab.3...15672.18168.0.18313.15.13.0.0.0.0.235.1430.0j8j1.9.0....0...1.1.64.psy-ab..6.7.1068...0j0i67k1j0i24k1.Gheyd3CltH4#imgrc=fVDYGcmKY7gOeM: (26.7.2017)

[10] https://www.google.hr/search?q=temperature+limiter&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj-0KaOz6fVAhUCPBQKHXQ0ClkQ_AUICigB&biw=1350&bih=586#imgrc=HmUmDmB2UpgLhM: (26.7.2017)

[11] https://www.google.hr/search?biw=1350&bih=635&tbm=isch&sa=1&q=manometar&oq=manometar&gs_l=psy-ab.3..0l4.3489.2278458.0.2278672.10.10.0.0.0.0.206.961.0j6j1.7.0....0...1.1.64.psy-ab..3.7.960...0i19k1j0i30i19k1j0i67k1.AXW3MxET8_0#imgrc=B_XoIJBnykm0-M: (26.7.2017)

# Popis slika

Slika 1.1 Podjela biomase prema porijeklu i konačnim pojavnim oblicima [2].....3
Slika 1.2 Ciklus ugljičnog dioksida, nastajanje i primjena biomase [1].....4
Slika 1.3 Prikaz procesa fotosinteze [4] .....5
Slika 2.1 Sječka [4].....7
Slika 2.2 Ovisnost ogrijevnih vrijednosti o sadržaju vlage u gorivu [5] .....11
Slika 2.3 Prikaz skladištenja sječke s izravnim pristupom za vozilo .....13
Slika 3.1 Shema toplovodnog postrojenja na šumsku biomasu snage 1MW .....16
Slika 3.2 Toplovodni kotao KWH-1000 [7].....17
Slika 3.3 Otvoren i zatvoren sigurnosni ventil [8].....19
Slika 3.4 Graničik tlaka [9].....20
Slika 3.5 Graničnik temperature [10] .....20
Slika 3.6 Manometar [11].....21
Slika 3.7 Dijagram za određivanje radne točke crpke [1] .....23
Slika 4.1. Prikaz cjevovoda .....28

# Popis tablica

Tablica 2.1 Udjeli vlage, ogrjevne vrijednosti, gustoća i energetska gustoća najčešćih oblika šumske biomase [1] .....10
Tablica 3.1 Karakteristika toplovodnog kotla KWH-1000 [7].....18
Tablica 3.3 Proračunski faktor u jednadžbi za određivanje masenog protoka dimnih plinova, ovisno o vrsti ložišta i gorivu [1].....25
Tablica 3.4 Vrijednosti hrapavosti stijenke za različite materijale elemenata dimnjaka [1].....25

Sveučilište
Sjever

**IZJAVA O AUTORSTVU**
**I**
**SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU**

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, SILVIJO BUDEN pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor završnog rada pod naslovom
TOPLOVODNO POSTROJENJE S POGONOM NA BIOMASU te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:
Silvijo Buden

Silvijo Buden
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnost i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, SILVIJO BUDEN neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom završnog rada pod naslovom TOPLOVODNO POSTROJENJE S POGONOM NA BIOMASU čiji sam autor.

Student:
Silvijo Buden

Silvijo Buden
(vlastoručni potpis)