

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Diplomski studij naftnog rudarstva

## **Energetsko iskorištavanje šumske biomase u Hrvatskoj**

Diplomski rad

Petar Krhen

N - 2760

Zagreb, 2012.

## **Energetsko iskorištavanje šumske biomase u Hrvatskoj**

Petar Krhen

Diplomski rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za naftno inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### **Sažetak**

Biomasa je obnovljivi izvor energije i jedan je od najstarijih izvora energije. Biomasa nastaje procesom fotosinteze uz pomoć Sunčeve svjetlosti iz organske tvari, te može biti različitog podrijetla i pojavnog oblika. Izgaranjem biomase dolazi do emisija različitih plinova i čestica koje se različitim sustavima pročišćavanja uklanjaju i smanjuju na dozvoljene vrijednosti. Najčešći oblici šumske biomase poput cjepanica, sječke, briketa i peleta nastaju različitim postupcima sjeckanja i mljevenja te se kao takvi suše i prevoze do mjesta primjene. Šumska biomasa primjenjuje se u kućanstvima i manjim kotlovima i pećima, a također i u velikim energetske postrojenjima za proizvodnju električne i toplinske energije. Hrvatska ima veliki potencijal biomase kao i proizvodne kapacitete.

**Ključne riječi:** *obnovljivi izvori energije, šumska biomasa.*

Završni rad sadrži: 58 stranica, 7 tablica, 5 slika i 3 priloga.

Jezik izvornika: Hrvatski

Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta  
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: 1. dr. sc. Damir Rajković  
Ocjenjivači: : 1. dr. sc. Damir Rajković  
2. dr. sc. Igor Dekanić  
3. dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar

Datum obrane: 20.09.2012., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

## **Energetic Exploitation of Biomass in Croatia**

Petar Krhen

Thesis completed in: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Institute of Petroleum Engineering  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### **Abstract**

Biomass is a renewable energy source and one of the oldest energy sources. Biomass is produced through photosynthesis from organic matter by using sunlight, and may be of different origin and manifestations. The combustion of biomass leads to emissions of different gases and particles that are removed by various treatment systems and reduce to allowable values. The most common forms of biomass, such as logs, chips, briquettes and pellets are generated by different procedures, as chopping and grinding, and as such they are dried and transported to the place of application. Forest biomass is used in homes and small boilers and furnaces, and also in large power plants to produce electricity and heat. Croatia has great potential and production capabilities of biomass.

**Keywords:** *renewable energy sources, biomass.*

Thesis contains: 58 pages, 7 tables, 5 figures and 3 enclosures.

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: 1. PhD Damir Rajković  
Reviewers: 1. PhD Damir Rajković  
2. PhD Igor Dekanić  
3. PhD Daria Karasalihović Sedlar

Date of defense: September 20, 2012., Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

## SADRŽAJ

<b>1. Uvod</b>	1
<b>2. Što je biomasa?</b>	3
2.1. Proces nastajanja biomase	4
2.2. Podjela i oblici biomase	5
2.3. Prednosti i nedostaci biomase i utjecaj na okoliš	10
<b>3. Tehnike smanjenja emisije štetnih plinova biomase</b>	13
<b>4. Mogućnosti primjene biomase za energetske potrebe</b>	16
4.1. Proizvodnja šumske biomase	17
4.2. Sušenje biomase	19
<b>5. Transport i skladištenje šumske biomase</b>	21
5.1. Transport šumske biomase	21
5.2. Skladištenje šumske biomase	21
<b>6. Energetsko iskorištavanje šumske biomase</b>	26
6.1. Sustavi za grijanje i pripremu potrošne tople vode na šumsku biomasu u kućanstvima, stambenim, javnim i poslovnim zgradama	28
6.2. Velika energetska postrojenja	34
6.2.1. Kogeneracijska postrojenja na šumsku biomasu	40
6.2.2. Postrojenja sa suizgaranjem biomase	42
6.3. Razlozi zamjene fosilnih goriva biomasom	45
<b>7. Energija u Hrvatskoj</b>	47
<b>8. Poticanje primjene šumske biomase u Hrvatskoj</b>	50
<b>9. Zaključak</b>	52
<b>10. Literatura</b>	53

## Popis tablica

<b>Tablica 1:</b>	Udjeli vlage, ogrjevne vrijednosti, gustoća i energetska gustoća najčešćih oblika šumske biomase (Labudović i sur., 2012.)	9
<b>Tablica 2:</b>	Struktura investicijskih troškova kogeneracijskih postrojenja 2008. g. u € (Lončar i sur., 2009.)	36
<b>Tablica 3:</b>	Rezultati simulacije postrojenja bez i sa rashladnim kondenzatorom (Lončar i sur., 2009.)	39
<b>Tablica 4:</b>	Indikatori profitabilnosti (Lončar i sur., 2009.)	40
<b>Tablica 5:</b>	Proizvodnja primarne energije u Hrvatskoj ( <i>Energija u Hrvatskoj</i> , 2010.)	48
<b>Tablica 6:</b>	Proizvodnja krutih biogoriva u Hrvatskoj 2010. godine ( <i>Energija u Hrvatskoj</i> , 2010.)	49
<b>Tablica 7:</b>	Visina tarifne stavke za isporučenu električnu energiju iz postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije ( <i>Energija u Hrvatskoj</i> , 2010.)	51

## Popis slika

<b>Slika 1:</b>	Cjepanice	7
<b>Slika 2:</b>	Sječka	8
<b>Slika 3:</b>	Briketi	8
<b>Slika 4:</b>	Peleti	9
<b>Slika 5:</b>	Prikaz gubitaka u odvojenoj proizvodnji i kogeneracijskim postrojenjima	34

## Popis grafičkih prikaza

<b>Grafički prikaz 1:</b>	Godišnji etat šuma Republike Hrvatske ( <i>Hrvatske šume</i> )	5
<b>Grafički prikaz 2:</b>	Čimbenici utjecaja na kvalitetu šumske biomase kao goriva (Labudović i sur., 2012.)	16
<b>Grafički prikaz 3:</b>	Udjeli u proizvodnji primarne energije	45

## 1.Uvod

Obnovljivi izvori energije su oni koje priroda stalno obnavlja te su stvoreni iz prirodnih izvora poput sunčeve svjetlosti, vjetra, valova, biomase, geotermalne topline zemlje i sl. Većina obnovljivih izvora energije potječe direktno ili indirektno kao posljedica djelovanja Sunca. Energiju Sunca možemo koristiti izravno za grijanje pomoću solarnih toplinskih kolektora ili pomoću fotonaponskih solarnih ćelija za proizvodnju električne energije. Djelovanje Sunca utječe na zemljinu atmosferu te stvara vjetrove, valove i omogućuje fotosintezu koja je potrebna za rast biomase tj. za rast svih biljaka, te indirektno daje snagu vjetroturbinama, hidroelektranama i biomasi. Mjesec i Sunce u kombinaciji sa Zemljinom rotacijom uzrokuju gibanje mora koje se javlja u obliku plime i oseke čija se energija također može koristiti za proizvodnju električne energije. Geotermalna energija nastaje u Zemljinoj kori kao posljedica radioaktivnog raspadanja minerala i sunčeve energije koja se upija na površini, te se također može koristiti za grijanje i proizvodnju toplinske energije.

Tijekom 2011. godine u Europi je instalirano 44.939 MW novih elektrana od čega obnovljivi izvori energije zauzimaju 71,3 % (32.043 MW) novoinstaliranih elektrana. 2011. bila je rekordna godina u ukupno instaliranim elektranama s porastom od 3,9 % na prijašnju godinu, dok je porast obnovljivih izvora energije u odnosu na 2010. godinu porastao za 37,3 %. Od obnovljivih izvora najveći udio imaju vjetroelektrane od kojih je instalirano 9.616 MW u vrijednosti 12,6 milijardi €. U pojedinačnom pregledu ukupne instalirane snage u 2011. godini solarnih fotonaponskih ćelija instalirano je 21.000 MW, plina 9.718,2 MW, a vjetra 9.616 MW, termoelektrana na ugljen 2,2 GW, na naftu 700 MW, hidroelektrana 607 MW, a solarnih elektrana 472 MW. Najviše ugašenih elektrana je nuklearnih i to 6,3 GW, termoelektrana na naftu više od 1 GW, na plin 934 MW, a na ugljen 840 MW te 216 MW vjetroelektrana (*izvor: EWEA, The european wind energy association, Wind in power, 2011 european statistic*).

Svrha ovoga rada je prikazati potencijale i mogućnosti korištenja biomase u svrhu očuvanja okoliša i zamjene fosilnih goriva, te objasniti njezino nastajanje i oblike u kojima se koristi. Ovim radom željelo se pokazati koliko se biomase koristi u Hrvatskoj, te na koji način je moguće njeno korištenje.

Drugo poglavlje je uvod u biomasu u kojem su opisani počeci njezinog korištenja i značaj koji je trajao do početka ere fosilnih goriva, te njen sve veći utjecaj i primjena u novije doba. Objasnjeno je i njeno nastajanje fotosintezom pomoću sunčeve energije te

količine biomase u obliku šuma u Hrvatskoj. Prikazana je podjela biomase i njeni najčešći oblici, a svaki od oblika ukratko je opisan i definiran. Završni dio drugog poglavlja odnosi se na prednosti, nedostatke i utjecaj biomase na okoliš u kojemu su detaljno opisane emisije plinova nastale izgaranjem.

U trećem poglavlju opisana je tehnologija koja se koristi za uklanjanje štetnih emisija i čestica iz dimnih plinova. Ova tehnologija je vrlo važna jer omogućuje korištenje biomase bez štetnog utjecaja na okoliš.

U četvrtom poglavlju rada opisani su najčešći izvori šumske biomase koja se pretvara u energetske iskoristive oblike. Opisane su i tri bitne faze rasta, te načini na koje se proizvodi šumska biomasa. U ovom poglavlju opisani su načini i vrste sušenja šumske biomase.

Peto poglavlje ovoga rada odnosi se na transport i skladištenje šumske biomase. Opisano je na koje se sve načine šumska biomasa može transportirati i na koje udaljenosti. Također je opisano skladištenje svakog oblika šumske biomase posebno kod velikih postrojenja i za korištenje u kućanstvima.

Šesto poglavlje odnosi se na energetske iskorištavanje šumske biomase te su opisane faze i proces izgaranja u ložištu. U ovom poglavlju opisani su najčešći sustavi na biomasu za kućanstva i velika energetska postrojenja, te su za svaki od njih dati savjeti, opisi i karakteristike.

Sedmo poglavlje bavi se energijom u Hrvatskoj. Prikazana je potrošnja i proizvodnja svih oblika energije koji se dobivaju putem biomase. Također je prikazana proizvodnja svih oblika šumske biomase, proizvodni kapaciteti i emisije plinova.

Osmo poglavlje govori o poticanju primjene šumske biomase u Hrvatskoj.

## 2. Što je biomasa?

Kao prvi i najstariji izvor energije koji su ljudi upotrebljavali u prošlosti bila je drvena biomasa koju nisu poznavali pod tim imenom nego u obliku raznih drvnih ostataka koje su skupljali i koristili za grijanje, kuhanje i ostale potrebe. Biomasa, kao što sama riječ kaže, nešto prirodno i biološko. Sve do početka intenzivne primjene fosilnih goriva, čija je upotreba uvelike utjecala na razvoj civilizacije, biomasa je bila primarni i gotovo jedini izvor energije. Nakon intenzivne primjene fosilnih goriva i njihovog negativnog utjecaja na okoliš, biomasa ponovno postaje značajan energent i zanimanje za nju ponovno počinje rasti. Biomasa se u današnje vrijeme sve više spominje kao zamjena za fosilna goriva, gdje god je to moguće, zbog malog štetnog utjecaja na okoliš i pozitivnih strana, što je opisano u poglavlju 2.3. ovoga rada.

Prema članku 3. Zakona o energiji (NN 68/2011, 177/2004, 152/2008 i 127/2010) biomasa je određena kao biorazgradivi dio proizvoda, ostataka i otpadaka od poljoprivrede (uključivo s biljnim i životinjskim tvarima), šumarstva i drvne industrije, kao i biorazgradivi dijelovi komunalnog i industrijskog otpada čije je energetske korištenje dopušteno. Kao gorivo biomasa danas spada u obnovljive izvore energije koji imaju široku primjenu i pridonose zaštiti našega okoliša.

Primarna energije u Hrvatskoj u prošlosti većim dijelom proizvodila se iz ogrjevnog drva i ostataka iz drvne industrije, sve do početka korištenja fosilnih goriva koja preuzimaju ulogu primarnog energenta u toplinskim sustavima i pripremi potrošne tople vode. Zbog porasta cijena fosilnih goriva u kućanstvima, kao toplinski sustavi ponovno se počinju sve više koristiti pomalo zaboravljeni kamini, peći na drva i kaljeve peći. Međutim, zbog nedostataka potpora u Hrvatskoj za male izvore topline iz obnovljivih izvora u sustavima grijanja i pripremu potrošne tople vode za kućanstva, stambene, javne i poslovne zgrade, prednost se još uvijek daje fosilnim gorivima bez obzira na cijenu. Hrvatska ima velike potencijale za iskorištavanje biomase te zbog toga raste i interes za velikim energetske postrojenjima na biomasu. Takvi projekti su tehnički zahtjevni i relativno skupi, a ishodaenje potrebnih dozvola, administrativni postupci i stjecanje statusa povlaštenog proizvođača električne energije složeno pa je ostvaren relativno mali broj takvih projekata. Kao što je već rečeno, Hrvatska ima veliki potencijal za iskorištavanje biomase, no vrlo mali dio te biomase pretvara se u korisni oblik. Većinu biomase koju proizvodimo plasira se na strana tržišta, a vrlo mali dio na domaće tržište.

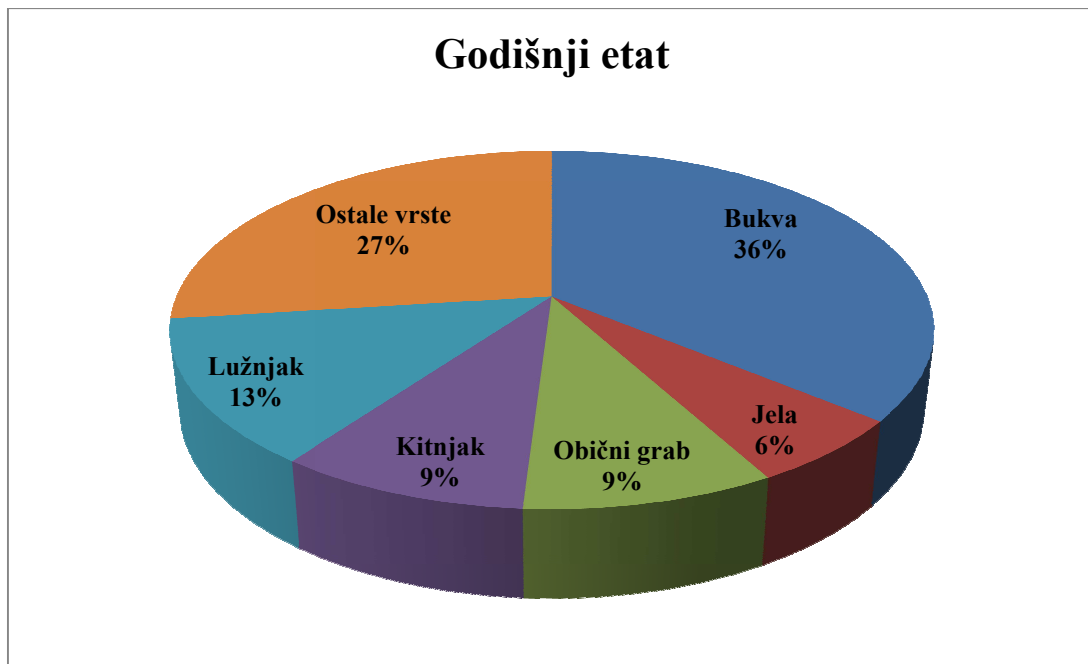


## 2.1. Proces nastajanja biomase

Fotosinteza je prirodni proces koji se, pod utjecajem Sunčeve svjetlosti, odvija u biljkama te od ugljičnog dioksida iz atmosfere i vode nastaju organski spojevi uz oslobađanje kisika. Energija biomase zapravo je energija Sunčevog zračenja pretvorena u kemijsku energiju koja je sadržana u biljkama. Fotosinteza je složen proces i čini ju više reakcija od kojih se jedan dio odvija uz prisutnost svjetlosti, a drugi se može odvijati u tami. Fotosinteza se odvija uz prisustvo vidljivog dijela sunčeve svjetlosti, koji iznosi oko 43% upadnog Sunčevog zračenja, te klorofila koji se nalazi u lišću biljaka čija je zadaća da apsorbira Sunčevu energiju i kao fotokatalizator pretvori CO<sub>2</sub> i vodu u organske spojeve. U biljkama se odvija i suprotan proces fotorespiracije koji se još može nazvati disanjem biljaka. Fotorespiracija je proces koji se odvija u biljkama kada nema Sunčeve svjetlosti radi održavanja fizioloških procesa. Prema podacima iz literature ( Labudović, B. 2012., Osnove primjene biomase), godišnje se na Zemlji procesom fotosinteze proizvede oko  $2 \times 10^{11}$  t organske tvari, odnosno energetski ekvivalent  $3 \times 10^{21}$  J, što je nekoliko puta više od današnjih potreba za energijom cijeloga svijeta, ali samo se mali dio te organske tvari može pretvoriti u energiju.

Prema podacima Hrvatskih šuma ukupna površina šuma i šumskih zemljišta u Republici Hrvatskoj iznosi 2 688 687 ha što je 47% kopnene površine države. Od toga je 2 106 917 ha u vlasništvu RH, dok je 581 770 ha u vlasništvu privatnih šumoposjednika. Godišnji prirast drvene zalihe u RH iznosi 10,5 milijuna m<sup>3</sup>, od čega je 8 milijuna m<sup>3</sup> u šumama kojima gospodare Hrvatske šume, a 2,1 milijun m<sup>3</sup> u šumoposjedničkim šumama. Godišnje se u šumama kojima gospodare Hrvatske šume iskoristi manje od prirasta, čime se osigurava budućnost održivog gospodarenja. Etat je sječiva drvena masa koja označava količinu drvene mase koju je dopušteno iskorištavati u gospodarske svrhe. Svake godine donose se godišnji planovi (godišnji etat), a istovremeno se vodi briga o prirastu, koji je posljednjih godina u pravilu veći od etata. Godišnji etat u šumama kojim gospodare Hrvatske šume iznosi u prosjeku 5,8 milijuna m<sup>3</sup>

(Izvor: [portal.hrsume.hr/index.php/hr/ume/opcenito/sumeuhrv](http://portal.hrsume.hr/index.php/hr/ume/opcenito/sumeuhrv)).



**Grafički prikaz 1:** Godišnji etat šuma Republike Hrvatske  
(portal.hrsume.hr/index.php/hr/ume/opcenito/sumeuhrv)

## 2.2. Podjela i oblici biomase

Biomasa se prema Labudoviću i sur. (Osnove primjene biomase, 2012.) može podijeliti na dva osnovna načina:

### 1. Prema porijeklu:

#### a) šumska ili drvena biomasa

- ostaci ili otpaci iz šumarstva i drvoprerađivačke industrije
- proizvodi ciljanog uzgoja (brzorastuće drveće, tzv. energetske nasadi)

#### b) nedrvna biomasa

- proizvodi ciljanog uzgoja (brzorastuće alge i trave)
- ostaci i otpaci iz poljoprivrede

#### c) biomasa životinjskog porijekla:

- životinjski otpaci i ostaci

### 2. Prema konačnom pojavnom obliku:

- kruta biomasa
- tekuća biogoriva
- bioplin.

Biomasa se najčešće izravno koristi, bez prethodne pretvorbe u druge oblike, i služi kao gorivo u ložištima raznih veličina i izvedbi kao što su kamini, peći i kotlovi. Također se izravno koristi u velikim energetske postrojenjima za proizvodnju električne energije, toplinske energije i u kogeneracijskim postrojenjima.

Šumska ili drvena biomasa je ona koja potječe iz šumarstva i drvoprerađivačke industrije, bez obzira na to radi li se otpacima ili ostacima iz šuma. Pod šumsku biomasu spadaju: drvo, grane, kora, lišće, korijen drveća, drvenasti grmovi i energetske nasadi. Energetske nasadi su nasadi brzorastućeg drveća koji su zasađeni u svrhu iskorištavanja za energetske potrebe te su posve obnovljivi i uglavnom neutralni s obzirom na zahtjeve za ravnotežom stakleničkih plinova. Šumska biomasa je ujedno i jedan od najvećih obnovljivih izvora energije. Suvremena ložišta za šumsku biomasu, bez obzira radi li se o sustavima grijanja i pripremu potrošne tople vode ili o velikim energetske postrojenjima, prilagođena su primjeni točno određenog uporabnog oblika.

U današnje vrijeme šumska biomasa se pojavljuje u četiri osnovna uporabna oblika:

- kao cjepanice
- kao sječka
- kao briketi
- kao peleti.

**Cjepanice** su komadi drvene biomase koji nastaju rezanjem i cijepanjem drvene mase bez daljnje obrade osim sušenja. Duljina cjepanice iznosi do 1 m te se rezanjem i cijepanjem drvene sirovine smanjuju na duljine od 25, 33 ili 50 cm, ovisno o dimenzijama ložišta u kojima će se koristiti. Rezanje i cijepanje može se izvoditi ručno, što je i danas vrlo često, ali i u automatskim postrojenjima, no u oba slučaja radi se o energetske najučinkovitijim postupcima pripreme i obrade šumske biomase. Kod cjepanica je vrlo važno da budu od zdravog i suhog drveta, glavnu ulogu ima udio vlage koji ne smije iznositi više od 20%. Ukoliko je udio vlage veći, cjepanice se suše na vanjskom zraku do dvije godine. Kada su svi uvjeti zadovoljeni izgaranje se odvija s udjelom pepela manjim od 0,5%, a energija koja se dobije izgaranjem 3 kg cjepanica ekvivalentna je onoj iz 1 litre loživog ulja. Prednosti ovakvog oblika šumske biomase su relativno mala cijena i stupanj iskorištavanja od 70% pa čak i do 90%. Koriste se u ložištima s ručnim punjenjem te su najstariji, najčešći i najjednostavniji uporabni oblik šumske biomase. Ovakav oblik šumske

biomase pruža najmanju udobnost primjene te se zbog toga najčešće koristi u kućanstvima kao sustav grijanja ili u kotlovima za centralno grijanje.



**Slika 1:** Cjepanice

**Sječka** su komadići drvene biomase raznih dimenzija i oblika koji nastaju sječenjem i usitnjavanjem drvene sirovine. Duljina komadića sječke iznosi od 1-10 cm, a razlikujemo tri kategorije:

- fina sječka do 3 cm
- srednja sječka do 5 cm
- krupna sječka do 10 cm

Drvena sječka proizvodi se sječenjem i usitnjavanjem grana, kore i drugih ostataka iz procesa u šumarstvu i drvoprerađivačkoj industriji pri čemu se koriste samo strojni postupci usitnjavanja. Pri proizvodnji sječke koristi se vrlo mala količina energije, svega 0,5% energije koja se može dobiti njenim izgaranjem, no energija potrebna za proizvodnju sječke ovisi o udjelu vlage u sirovini. Osušena i tvrda sječka zahtjeva 18% više energije od vlažne, zbog toga je važno da sirovina pristigla iz šuma i drvoprerađivačkih industrija odmah ide u proizvodnju. Za korištenje sječke u ložištima kotlova i automatiziranim ložištima vrlo je važno da udio vlage bude manji od 20% i da veličina sječke bude podjednaka. Kupovna sječka dolazi sa udjelom vlage oko 40% jer tijekom obrade, prijevoza i skladištenja dolazi do njenog ovlaživanja pa je prije upotrebe potrebno njeno sušenje. Sječka pruža veću udobnost pri korištenju od cjepanica pa je moguće korištenje u automatiziranim kotlovima te se najčešće koristi u ložištima s toplinskim učinkom većim od 50 kW pa sve do više MW.



**Slika 2:** Sječka

**Briketi** su geometrijski pravilni komadi prešane usitnjene drvene sirovine, u pravilu valjkastog oblika. Po obliku, dimenzijama i načinu uporabe slični su cjepanicama, ali imaju mnogo veći energetske potencijal i mnogo bolje izgaraju. Duljina briketa iznosi od 60–150 mm, a promjer 50–100 mm. Proizvode se prešanjem suhog usitjenog drvnog otpada i bez dodavanja vezivnih sredstava. U sirovini ne smije biti kore, a udio vlage trebao bi biti najviše 10%. Ogrjevna vrijednost briketa iznosi 18,5 MJ/kg, a energija koja se dobije izgaranjem 2 kg briketa ekvivalentna je onoj iz jedne litre loživog ulja.



**Slika 3:** Briketi

**Peleti** su geometrijski pravilni komadići prešane usitnjene drvene sirovine, u pravilu valjkastog oblika, a može se reći da se radi o vrlo malim briketima. Uobičajene dimenzije briketa su 5–45 mm duljine i 6–8 mm promjera koje se koriste u manjim postrojenjima, dok se za veća postrojenja koriste peleti promjera 10–12 mm. Uobičajena gustoća peleta iznosi 650 kg/m<sup>3</sup>. Peleti se proizvode prešanjem, pod tlakom do 1000 bar, piljevine i strugotina osušenog drveta velike ogrjevne vrijednosti kao što su hrast, bukva, jasen, grab, topola, lipa i dr. Da bi se dobio 1 m<sup>3</sup> peleta potrebno je 6–8 m<sup>3</sup> sirovine koju je potrebno

prije osušiti jer maksimalni udio vlage u peletima ne smije iznositi više od 8%. Pri proizvodnji peleta radi boljeg vezivanja i prešanja, ali i poboljšanja energetske i uporabne značajke sve češće se dodaje kukuruzni škrob u najvišem iznosu do 2%. Peleti se koriste u raznim ložištima raznih dimenzija, od kotlova za centralno grijanje i pripremu potrošne tople vode u obiteljskim kućama pa sve do stambenih, javnih, poslovnih zgrada i velikih industrijskih energana i termoenergetskih postrojenja.

Od svih oblika krutih biogoriva ogrjevno drvo je zbog svoje cijene još uvijek najzastupljeniji energent u kućanstvima, unatoč svojoj neučinkovitosti i manjoj udobnosti primjene. Drugi po redu najzastupljeniji oblik je drveni ostatak iz prerade drva.



**Slika 4:** Peleti

**Tablica 1:** Udjeli vlage, ogrjevne vrijednosti, gustoća i energetska gustoća najčešćih oblika šumske biomase (Labudović, B. 2012.)

OBLIK BIOMASE	PARAMETRI				
	Udio vlage %	Gornja ogrjevna vrijednost MJ/kg	Donja ogrjevna vrijednost MJ/kg	Gustoća Kg/m <sup>3</sup>	Energetska gustoća MJ/m <sup>3</sup>
Peleti	10	19,8	16,4	600	9840
Prosušena sječka od tvrdog drveta	30	19,8	12,2	320	3900
Sječka od tvrdog drveta	50	19,8	8,0	450	3600
Prosušena sječka od mekog drveta	30	19,8	12,2	250	3050
Sječka od mekog drveta	50	19,8	8,0	350	2800
Kora	50	20,2	8,2	320	2620
Piljevina	50	19,8	8,0	240	1920

### 2.3. Prednosti i nedostaci biomase i utjecaj na okoliš

Biomasa se u današnje vrijeme sve više spominje kao zamjena za fosilna goriva zbog mnogo manjih štetnih emisija koje nastaju pri izgaranju. Emisije koje nastaju prilikom izgaranja šumske biomase ili drvene biomase imaju važan utjecaj na okoliš, stoga treba realno sagledati situaciju. Izgaranjem šumske biomase i fosilnih goriva emitiraju se plinovi koji se uopće ne razlikuju jer u oba slučaja nastaju velike količine ugljičnog dioksida i brojnih drugih štetnih tvari. No, biomasa je neutralna u odnosu na ugljični dioksid koji nastaje njenim izgaranjem, jer se računa da je opterećenje atmosfere s CO<sub>2</sub> pri korištenju biomase kao goriva zanemarivo zbog toga što je količina emitiranog CO<sub>2</sub> prilikom izgaranja jednaka količini apsorbiranog CO<sub>2</sub> tijekom rasta biljke. Ukoliko su sječa i prirast drvene biomase u jednakom odnosu, biomasu se može smatrati CO<sub>2</sub> neutralnom. Dakle, može se reći da se primjenom biomase umjesto fosilnih goriva ugljik zapravo vraća u zemlju, a ne odlazi u atmosferu gdje kao CO<sub>2</sub> stvara efekt staklenika i uzrokuje klimatske promjene. Izgaranjem šumske biomase nastaju emisije još nekih štetnih tvari koje nisu neutralne.

Emisije koje nastaju izgaranjem šumske biomase mogu se podijeliti u dvije skupine:

1. emisije pri potpunom izgaranju
2. emisije pri nepotpunom izgaranju

#### 1) Emisije pri potpunom izgaranju šumske biomase

##### **Ugljični dioksid CO<sub>2</sub>**

Pri potpunom izgaranju šumske biomase nastaje ugljični dioksid (CO<sub>2</sub>) kao posljedica izgaranja organskih spojeva i on je glavni produkt izgaranja bilo kojeg goriva. Do emisije CO<sub>2</sub> dolazi uvijek, bez obzira na način odvijanja procesa, i one se utjecanjem na proces izgaranja u ložištu ne mogu smanjiti.

##### **Dušikovi oksidi NO<sub>x</sub>**

Izgaranjem dušika iz goriva i manjim dijelom zraka za izgaranja nastaju dušikovi oksidi NO<sub>x</sub>. U dušikove okside spadaju dušikov suboksid (N<sub>2</sub>O) i dušikov monoksid (NO) koji se kasnije u atmosferi pretvara u dušikov dioksid (NO<sub>2</sub>). Štetnost dušikovih oksida je u tome što utječu na nastajanje ozona (O<sub>3</sub>) koji štetno djeluje na zdravlje ljudi i drugih živih organizama, a posebno biljaka. Dušikov suboksid (N<sub>2</sub>O) ima puno veću vrijednost

potencijala globalnog zagrijavanja od CO<sub>2</sub> jer doprinosi razaranju ozonskog omotača. Udio dušikovih oksida u biomasi je relativno nizak, a najviše ga ima u iglicama crnogoričnog drveta (1-2%). S obzirom na način nastajanja razlikujemo termičke dušikove okside koji nastaju oksidacijom atmosferskog dušika pri temperaturama višim od 900°C i dušikove okside iz goriva. 85% oksida nastalih u postrojenjima na biomasu su termički oksidi.

### **Sumporni oksidi SO<sub>x</sub>**

Sumporni oksidi nastaju kao posljedica izgaranja raznih sumpornih spojeva koji su redovito prisutni u šumskoj biomasi, no u vrlo malim količinama. Izgaranjem šumske biomase nastaju male ili zanemarive količine sumpornih oksida, te se zbog toga u postrojenja koja koriste šumsku biomasu ne ugrađuje sustav za uklanjanje sumpornih oksida. Sumporni oksidi štetno djeluju na zdravlje ljudi i drugih živih organizama te su uzrok nastajanja kiselih kiša. U energetske postrojenjima utjecaj sumpora najveći je u korozijskim procesima kotlova i dimovodnih sustava.

### **Klorovodici**

Klorovodici nastaju kao posljedica izgaranja raznih klornih spojeva kojih u šumskoj biomasi ima vrlo malo pa su njihove emisije vrlo male.

### **Čestice**

Potpunim izgaranjem šumske biomase nastaju čestice letećeg pepela i aerosoli ili inhalabilne čestice. Ove čestice su najveći ekološki problem pri izgaranju šumske biomase, a posebno u ložištima malog učinka jer se ne koristi nikakav sustav ni mjere za njihovo uklanjanje. Čestice koje nastaju opasne su za ljudsko zdravlje i u najmanjim koncentracijama. Aerosoli su štetnije od letećeg pepela zbog toga što sadrže lakohlapljive elemente i teške metale kao što su bakar, olovo, kadmij, živa, arsen i krom. Glavna mjera za smanjenje emisije čestica je filtriranje dimnih plinova koje se provodi jedino kod ložišta većeg učinka.

## **2) Emisije pri nepotpunom izgaranju šumske biomase**

### **Ugljični monoksid**

Nastaje kao posljedica nepotpunog izgaranja organskih spojeva pa su vrijednosti njegove emisije pokazatelj kvalitete procesa izgaranja. Najčešće nastaje kao posljedica nedovoljne količine kisika u ložištu, nedovoljnog miješanja goriva i zraka, preniske temperature te



prekratkog vremena zadržavanja gorive smjese u ložištu. Da bi se spriječilo nastajanje emisija ugljičnog monoksida mora se pripaziti na sve gore navedene utjecaje njegovog nastajanja.

### **Dioksini i furani**

Nastaju nepotpunim izgaranjem šumske biomase koja u svom sastavu ima veći udio klora, tj. klornih spojeva. U ovu skupinu spadaju poliklorirani dioksini i furani koji su vrlo toksični za ljude i žive organizme, a njihovo nastajanje i količine emisija ovise o brojnim nepovoljnim čimbenicima u ložištu. Emisije ovih tvari iz čiste neotpadne šumske biomase su vrlo male i ispod graničnih vrijednosti opasnosti za ljudsko zdravlje, za razliku od otpadne biomase, kao što su željeznički pragovi, staro pokućstvo i slično, koja vrlo često mogu sadržavati klorne spojeve koji su u njih dospjeli tijekom izrade.

### **Čestice**

Nepotpunim izgaranjem nastaju i čestice čađe, čisti ugljik te kondenzirani teži ugljikovodici u kapljivom stanju (katran).

U Republici Hrvatskoj sve granične vrijednosti emisija štetnih plinova koje nastaju izgaranje bilo kojeg goriva pa i šumske biomase određene su Uredbom o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zraku iz stacionarnih izvora (NN 21/2007 i 150/2008).

Glavna prednost u korištenju biomase kao izvora energije njeni su obilni potencijali kao što su otpadni materijali u poljoprivrednoj i prehrambenoj industriji, a ne samo u tu svrhu zasađeni energetske nasadi. No postoje brojne biljne vrste koje se mogu uzgajati u svrhu energetske iskorištavanja koje daju veliki prinos biomase po hektaru kao što su kineska trska, koja daje 17 tona biomase po hektaru, pa sve do zelenih algi, koje daju 50 tona biomase po hektaru. Utjecaj na okoliš takvih energetske nasada koji su uzgojeni za svrhu energetske iskorištavanja najviše utječu na kvalitetu voda i tla, životinjskih staništa, kružnog procesa ugljičnog dioksida i biološku raznolikost. Takvi nasadi iznimno povoljno djeluju na zadržavanje tla i sprečavanje erozije, što je njihova najveća prednost, omogućavaju poboljšanje kvalitete tla zbog nastanka humusa i održavanje stalnog korijenskog sustava.

Preradom biomase moguća je i proizvodnja biogoriva. Fermentacija biomase u alkohol zasad je najrazvijenija metoda kemijske pretvorbe biomase. Takav se postupak najopsežnije razvija u Brazilu, gdje se godišnje dobiva oko milijun tona etanola za pogon vozila, a očekuje se da će se ta proizvodnja i povećati. Etanol se može miješati s benzinom i takva se mješavina može upotrebljavati u benzinskim motorima. Spaljivanjem biomase stvaraju se i drugi zagađujući plinovi te otpadne vode čija je reciklaža isplativa samo u velikim postrojenjima dok je u manjima to neisplativo. Nedostatak biomase je vrlo skupo prikupljanje, transport i skladištenje gdje pri neadekvatnom skladištenju može doći do samozapaljenja biomase. Povećanjem potrošnje biomase dolazi i do povećanja same potražnje pa zbog toga dolazi do prekomjerna sječe šuma, uništavanja ekosustava i bioraznolikosti. Kod poljoprivredne proizvodnje biomase upotrebljavaju se umjetna gnojiva koja zagađuju podzemne vode, a upotrebom pesticida dolazi do zagađenja okoliša.

### **3. Tehnike smanjenja emisija štetnih plinova biomase**

Izgaranjem šumske biomase dolazi do emisija štetnih plinova i čestica. Kod velikih energetske postrojenja upotrebom tehnologije i sustava za pročišćavanje dimnih plinova moguće je emisije štetnih plinova smanjiti na dozvoljene vrijednosti i time omogućiti korištenje šumske biomase bez velikog utjecaja na okoliš.

**Ugljični dioksid (CO<sub>2</sub>)** neizbježan je produkt izgaranja biomase i uzročnik efekta staklenika. Postoje tri glavne tehnologije smanjenja emisije CO<sub>2</sub> u procesima izgaranja:

- odvajanje i skladištenje CO<sub>2</sub> nakon izgaranja (CCS – carbon capture and storage)
- odvajanje ugljika prije izgaranja
- izgaranje u struji kisika

Skladištenje CO<sub>2</sub> može se ostvariti utiskivanjem u duboke geološke formacije koje su najčešće iscrpljene plinske i naftne formacije. Utiskivanjem CO<sub>2</sub> u geološke formacije povećava se iscrpak naftnih bušotina, ali nastaju troškovi transporta i utiskivanja u formaciju te ograničeni kapaciteti raspoloživih lokacija.

Skladištenje CO<sub>2</sub> moguće je ostvariti utiskivanjem u dubinu oceana, gdje se CO<sub>2</sub> transportira brodovima i utiskuje u morsku vodu na dubinama većim od 1000 m. Prednost ovakvog skladištenja je praktički neiscrpan kapacitet skladišta. Nedostaci su veliki troškovi transporta i utiskivanja, te mogući utjecaj CO<sub>2</sub> na smanjenje pH vrijednosti vode i utjecaj na žive organizme.

Skladištenje CO<sub>2</sub> moguće je u slojevima stabilnih metalnih karbonata u kojima CO<sub>2</sub> egzotermno reagira s metalnim oksidima i čini stabilne karbonate. Ovakav proces je vrlo spor, ali ga se može ubrzati povećanjem temperature i tlaka što čini postupak vrlo skupim.

**Sumporne okside (SO<sub>x</sub>)** moguće je iz dimnih plinova izdvojiti pomoću tri procesa:

- mokrim procesom
- suhim procesom
- proces s alkalnim skrubiranjem

Mokri proces se temelji na apsorpciji SO<sub>2</sub> u vodenoj suspenziji vapna, a sastoji se od kolona za protustrujno ovlaživanje dimnih plinova i uređaja za regeneraciju i recirkulaciju vodene suspenzije apsorbirajućih kemikalija. Ovakav proces učinkovito odvaja SO<sub>2</sub> i ostale lebdeće čestice. Nedostaci ovakvog procesa su taloženje kamenca i sklonost začepljivanju uz značajan pad tlaka dimnih plinova i veće investicijske i pogonske troškove.

Suhi proces u principu je sličan mokrome procesu. Vodena suspenzija CaO ili MgO raspršuje se pomoću centrifugalnih raspršivača. Ovakav proces puno je jednostavniji uz manje investicijske troškove, a nedostatak je manja učinkovitost u odnosu na mokri proces.

U procesu s alkalnim skrubiranjem kao sredstvo za apsoriranje SO<sub>2</sub> koristi se otopina natrijeve lužine, natrijeva sulfata i amonijaka. Kao produkt kemijske reakcije u ovome procesu nastaje elementarni sumpor, a problemi sa stvaranjem taloga i začepljivanje strujnih prolaza izbjegnuti su.

**Dušikove okside (NO<sub>x</sub>)** moguće je smanjiti:

- promjenom vrste goriva
- promjenom procesa izgaranja
- obradom dimnih plinova

Promjena vrste goriva često je vrlo ograničena u primjeni kao način smanjenja emisija NO<sub>x</sub>.

Promjena procesa izgaranja odnosi se na različite načine dovođenja zraka za izgaranje u ložište i time smanjenja emisije NO<sub>x</sub> zbog boljeg izgaranja.

Obrada dimnih plinova zbog smanjenja čestica NO<sub>x</sub> često se kombinira s odsumporavanjem. U ovome procesu najčešće se koristi selektivna katalitička redukcija NO<sub>x</sub> s dodavanjem amonijaka uz efikasnost od 70–90%.

**Čvrste čestice** iz dimnih plinova moguće je ukloniti pomoću:

- mehaničkih odvajača (ciklona)
- kolektori (skruberi)
- vrećastim filterima
- elektrostatskim filterima

Mehanički odvajači ili cikloni koriste se kao najjednostavniji način čišćenja plinova taloženjem čestica pod djelovanjem sile teže i pod djelovanjem centrifugalne sile struje zraka.

Kolektori ili skruberi mogu biti različitih tipova ali princip im je uvijek isti. Sastoje se od mokrih filtera na kojima se skupljaju čestice.

Vrećasti filtri su jednostavne izvedbe od polimernog ili tekstilnog gusto tkanog platna obješenog u zatvorenoj konstrukciji kroz koju prolaze dimni plinovi, a čestice ostaju na platnu.

Elektrostatički odvajači čestica sastoje se od dvije elektrode (+ i -) koje ioniziraju čestice i odvajaju ih u visokonaponskom električnom polju. Učinkovitost ovakvih odvajača je 99%.

**Izgaranje u ložištima s fluidiziranim slojem** njačešći je način izgaranja šumske biomase u enegetskim postrojenjima za proizvodnju toplinske i električne energije. Za fluidizirani sloj može se reći da je to nestacionarno stanje u kojemu se čvrste čestice nalaze pod djelovanjem hidrodinamskih sila u strujnom toku plinova. Izgaranje u fluidiziranom sloju odvija se na temperaturama 800-900°C u kojemu se male emisije NO<sub>x</sub> i velike količine SO<sub>x</sub> iz dimnih plinova odvajaju dodavanjem CaO ili MgO u ložište. Neke od prednosti ovakvoga procesa su: efikasnost odvajanja SO<sub>x</sub> od 90%, male emisije NO<sub>x</sub>, dobra efikasnost izgaranja, visoki koeficijent prelaska topline i jednostavno dodavanje goriva. Dok su nedostaci veća početna investicija, veći troškovi održavanja i trošenje materijala zbog djelovanja erozije uzrokovane fluidiziranim slojem.

#### 4. Mogućnosti primjene biomase za energetske potrebe

Proizvodnja energije iz šumske biomase sastoji se od niza međuovisnih faza, od njezine proizvodnje i opskrbe, preko pretvorbe u gorivo, do izgaranja i odlaganja pepela koji se koristi u poljoprivredi i pošumljavanju. Najčešći izvori šumske biomase koja se pretvara u energetske iskoristive oblike su:

- ostaci iz šuma (grane, krošnje, panjevina, ostaci od sječe stabala itd.)
- ostaci iz drvoprerađivačke industrije (kora, piljevina, blanjevina, sječka)
- energetske nasadi (brzorastući šibik, vrbe, topole)
- drveni ostaci s odlagališta otpada.

U proizvodnom ciklusu šumske biomase postoje tri faze koje su vrlo bitne. Rast biomase je prva faza i ona određuje kemijske značajke biomase i njen prinos. Razni vanjski čimbenici utječu na rast šumske biomase kao što su klima, vrsta tla, pesticidi, način uzgoja, vrsta gnojiva itd. Druga faza proizvodnje šumske biomase je opskrba. Opskrba biomase se odnosi na njenu sječu koja ovisi o prijevozu, pretovaru, spremanju, sušenju, načinu sječe. Kvaliteta biomase ovisi prvenstveno o načinu rukovanja, skladištenja i loženja te je zbog toga vrlo bitna kontrola šumske biomase. Treća faza je energetska faza. U energetskoj fazi biomasa je u obliku goriva na koje utječu fizičke značajke biomase, udio vlage, polutanti, gljivice, spore itd. Biomasa se može dobavljati iz različitih izvora pa može imati vrlo različitu kvalitetu na koju utječu svi ovi čimbenici po različitim fazama.



**Grafički prikaz 2:** Čimbenici utjecaja na kvalitetu šumske biomase kao goriva (prema Labudović, B. 2012.)

#### 4.1. Proizvodnja šumske biomase

Pri sječi stabala, skupljanju i usitnjavanju šumske biomase koriste se strojevi različitih snaga i veličina. Snaga i veličina strojeva ovise o vrsti i veličini drveta, terenu na kojem se koriste, proizvodnom kapacitetu strojeva i ostale opreme uz koje se javlja i širok raspon troškova za skupljanje biomase. Integrirani sustav sječe stabala i skupljanje šumskih ostataka čini se najpogodniji za proizvodnju i isporuku donekle jednolične biomase po prihvatljivoj cijeni. Šumska biomasa se pojavljuje u različitim oblicima i veličinama, a nastaje:

- sjeckanjem na veličinu 5 – 50 mm
- komadanjem na veličinu 50 – 250 mm
- mljevenjem na veličinu 0 – 80 mm.

Sjeckanje biomase je postupak koji se najčešće izvodi pomoću sjeckalica s diskom ili bubnjem. Sjeckalice s diskom sastoje se od rotirajućeg diska i noževa pomoću kojih se može dobiti sječka različitih veličina ovisno o postavljanju noževa i nakovnja. Iz sjeckalica sa diskom dobiva se sječka jednake veličine bez obzira na debljinu drveta. Sjeckalice s bubnjem sastoje se od rotirajućeg bubnja s noževima postavljenim u žljebove na zakrivljenoj površini. Sječka dobivena ovim načinom sjeckanja ima manje jednake komade.

Komadanje biomase je postupak koji se izvodi pomoću spiralnih rezača na vodoravnom vratilu. Nagib spirale je jednak po cijeloj duljini stroja, ali je njezin promjer promjenjiv, pa kako se vratilo okreće spiralni se nož pokreće i komada drvo. Komadanjem drveta troši se manje energije, ali raspon dimenzija komada koji nastaju veći je nego kod sjeckanja.

Mljevenje biomase je postupak kojim se proizvode drvene čestice dimenzija manjih od 5 mm. Za mljevenje biomase koriste se mlinovi za fino mljevenje ili mlinovi čekićari. Mlin za fino mljevenje sastoji se od brojnih noževa koji su postavljeni u bubanj dok se sirovina centrifugalno potiskuje kroz rešetkasti prsten. Veličina čestica određena je veličinom rupa rešetke. Mlin čekićar sastoji se od brzohodnog rotora s pomično postavljenim alatima za mljevenje koje pokreće sila od vrha čekića i kaveza. Takvi mlinovi su vrlo čvrsti i u odnosu na sjeckalice manje osjetljivi na metalne komadiće u biomasi (zaostale čavle).

Baliranje je postupak prešanja šumskih ostataka u bale prije prijevoza, a cilj baliranja je snižavanje troškova prijevoza koji mogu biti i 50% niži od troškova neizrezanog drveta ili 10% niži od prijevoza drvene sječke. Promjer bala je 1,2 m, a visina 1,2 m, takva bala ima masu oko 600 kg kod udjela vlage u biomasi od 45%.

Peletiranje i briketiranje su postupci prešanja finih drvnih čestica poput piljevine i blanjevine u veće oblike radi dobivanja jednolične biomase s većom gustoćom.

Proizvodnja peleta i briketa sastoji se od pet različitih procesa:

1. sušenje
2. mljevenje
3. kondicioniranje
4. peletiranje
5. hlađenje

Sušenje drvene sirovine vrlo je važno zbog stabilnosti prešanja koje ovisi o trenju uskog grla preše i ulazne sirovine. Udio vlage u ulaznoj sirovini mora biti od 8% do 12%. Ako je sirovina presuha površina drvene čestice pougljeni, a vezivo može izgorjeti, a ako je drvena sirovina prevlažna vlaga kod prešanja ne može izaći pa dolazi do povećanja volumena peleta i smanjenja mehaničke čvrstoće.

Sljedeći korak je mljevenje kojim se biomasa usitnjava, smanjuje i ujednačuje ovisno o željenom promjeru peleta.

Kondicioniranje peleta izvodi se laganim dodavanjem pare, pri čemu se drvene čestice pokrivaju tankim slojem tekućine radi postizanja što bolje adhezije.

Peletiranje je ključni korak u proizvodnji peleta i pri tome se koristi preša na osnovi rotirajuće ili vodoravne matrice s kapacitetima 100 kg/h pa do 10 t/h.

Hlađenje je završni korak u proizvodnji jer se temperatura peleta povisuje tijekom kompakcije pa se pažljivim hlađenjem osigurava njihova čvrstoća.

Proizvodnja briketa se izvodi pomoću briketirki gdje je za dobivanje čvrstog briketa potrebna određena količina vlage od 12% do 14%, nepromjenjivi protutlak u briketirki i odgovarajuće hlađenje.

## 4.2. Sušenje biomase

Udio vlage u drvetu je omjer udjela mase vode i mase suhog drveta. Ogrjevna vrijednost drveta ovisi o mokrini, a mijenja se s njezinom promjenom. Što je mokrina veća, ogrjevna vrijednost je manja i obrnuto. Sušenje biomase ne provodi se samo radi smanjenja vlage u drvetu radi povećanja ogrjevne vrijednosti nego i zbog drugih razloga. Prvi razlog je već spomenut, a to je ogrjevna vrijednost biomase čija se učinkovitost izgaranja povećava sa smanjenjem udjela vlage. Zbog toga sadržaj vlage pri izgaranju uvijek treba biti isti, a ako odstupa potrebna su složenija i skuplja ložišta. Drugi razlog je dugotrajno skladištenje biomase s većim sadržajem vlage koja stvara probleme oko gubitka suhe mase i ubrzanog stvaranja gljivica zbog biološkog raspadanja. Prilikom ovakvoga skladištenja biomase poželjno je da udio vlage u biomasi namijenjene za korištenje u sustavima grijanja kućanstava bude do 30%, a kod primjene u pećima od 10% do 30%. Sušenje biomase nije jeftin postupak, ali značajno utječe na njezinu kvalitetu i cijenu pa bi proces trebao biti što jednostavniji.

Postoje različiti procesi sušenja biomase a to su:

1. Sušenje na otvorenom
2. Sušenje u skladištu
3. Kontinuirano sušenje
  - Tračne sušare
  - Sušare s bubnjem
  - Cijevne sušare
  - Sušare s pregrijanom parom

### 1. Sušenje na otvorenom

Sušenje na otvorenom je najjednostavniji način sušenja gdje se svježe drvo učinkovito može osušiti tako da se neizrezano ostavi na otvorenom tijekom ljetnih mjeseci gdje se udio vlage može smanjiti s 50% na 30%. Glavna mana ovakvog sušenja na otvorenom su nepredvidive vremenske prilike. Sušenjem na otvorenom moguće je sušiti i nagomilanu sječku i koru. Temperatura nagomilane sječke ili kore povisuje se zbog biološke degradacije, a toplina koju stvaraju mikroorganizmi prenosi se na zrak koji struji kroz nagomilanu masu i sa sobom odnosi isparenu vodu. Zbog toga se biomase u sredini



suši, a isparena voda se kondenzira na gornjem i hladnijem dijelu. U slučaju kiše gomila ponovno postaje vlažna.

## 2. Sušenje u skladištu

Sušenje u skladištu odvija se prirodnom ili prisilnom ventilacijom i može biti učinkovito i ekonomično ako je na raspolaganju jeftin izvor energije. Primjer takvog izvora energije je Sunce pomoću kojeg preko solarnih kolektora možemo zagrijavati i sušiti biomasu.

## 3. Kontinuirano sušenje

Kontinuirano sušenje se upotrebljava za kondicioniranje piljevine ili drvne sječke pri proizvodnji peleta ili briketa. Kontinuirano sušenje može se izvoditi u sušarama različitih izvedbi.

Jedan od takvih načina su tračne sušare koje rade pri nižim temperaturama, od 90 do 110°C, i na taj način se izbjegavaju problemi neugodnih mirisa i emisija organskih čestica iz biomase. Zrak za sušenje u ovakvim postrojenjima zagrijava se termičkim uljem, toplom vodom ili otpadnom toplinom iz dimnih plinova.

Sušare s bubnjem rade pri temperaturama do 600°C pa tijekom sušenja dolazi do ispuštanja drvnih i organskih čestica, te zbog toga moraju imati sustav za pročišćavanje dimnih plinova. Pri ovakvom načinu sušenja leteći pepeo ostaje u osušenoj piljevini čime se povećava sadržaj pepela u peletima i stvara dodatno onečišćenje teškim metalima.

Kod cijevnih sušara nema izravnog kontakta između pare za sušenje i piljevine što omogućava lagano sušenje pri temperaturi od 90°C bez neugodnih mirisa i emisija organskih čestica. Kao medij za sušenje koriste se para, topla voda ili termičko ulje.

Sušare s pregrijanom parom koriste kao medija za sušenje pregrijanu paru u zatvorenom sustavu s temperaturama sušenja od 115 do 140°C. Kao i kod cijevnih sušara nema izravnog kontakta između medija za sušenje i piljevine.

## **5. Transport i skladištenje šumske biomase**

U usporedbi s fosilnim gorivima, šumska biomasa ima značajno manju energetska gustoću, što znači da su troškovi njezinog prijevoza viši. Zbog toga bi putovi njezinog prijevoza trebali biti što kraći kako bi troškovi bili što manji. Za prijevoz biomase, ovisno o udaljenosti i njezinom obliku, koriste se traktori s prikolicama, kamioni, vlakovi i brodovi.

### **5.1. Transport šumske biomase**

Za prijevoz biomase na manje udaljenosti, do 10 km, koriste se traktori s prikolicama, dok se na srednje i veće udaljenosti koriste kamioni. S obzirom na oblik šumske biomase, za prijevoz trupaca koriste se šleperi s otvorenim prikolicama, za prijevoz drvene sječke kamioni sa zatvorenim prikolicama, za prijevoz peleta kiperi, šleperi, a u nekim slučajevima i kamionske cisterne. Biomasa namijenjena za korištenje u toplanama i kogeneracijskim postrojenjima prevozi se kamionima na udaljenosti od 20 do 120 km. Kamioni sa zamjenjivim kontejnerima mogu biti zamjena za kamione kipere za sječku. Najveća prednost kontejnera je mobilnost pa se često koriste kao međuspremnicima, a posebice na šumskim cestama, no nedostatak je smanjeni kapacitet prijevoza zbog ograničene nosivosti. Za prijevoz trupaca, bala i drvnih ostataka na veće udaljenosti prevozi se željeznicom, a za različite oblike biomase koriste se i različiti vagoni. Za prijevoz biomase brodovima odlučujući faktor je količina biomase, te se najviše prevoze peleti, ali može se prevoziti i drvna sječka i balirana biomasa.

### **5.2. Skladištenje šumske biomase**

Skladištenje šumske biomase je postupak odlaganja na neko određeno vrijeme koji se provodi uvijek kada postoji vremenska razlika između njezine proizvodnje, isporuke i primjene u ložištu. Najčešće se skladišti u neposrednoj blizini ložišta u kojem se koristi, kako bi se osigurao njegov nesmetani rad. Biomasa ima relativno malu gustoću pa je oblik i način skladištenja vrlo važan kako bi troškovi ostali u prihvatljivim granicama.

## Skladištenje šumske biomase za korištenje u velikim energetske postrojenjima

Kod velikih energetske postrojenja skladištenje biomase može biti dugotrajno ili dnevno, gdje kod dnevnog skladištenja služi za opskrbu gorivom točno određenog dana.

**Gomilanje biomase** je najjednostavniji način dugotrajnog skladištenja za koji se najčešće koriste utovarivači. Prilikom ovakvog skladištenja biomase najveći utjecaj i opasnosti ima biološka i biokemijska degradacija, a u nekim slučajevima i oksidacija, koja dovodi do stvaranja topline u gomili što može dovesti do samozapaljenja, gubitka na suhoj masi, promjene u udjelu vlage i opasnosti za zdravlje zbog pojave gljivica i bakterija. Nekoliko je osnovnih preporuka za sigurno i učinkovito skladištenje biomase na gomili koje se zasnivaju na provedenim ispitivanjima različitih načina skladištenja.

Ako je u skladištu svježa sječka ili kora, temperatura u gomili u prvim danima uobičajeno raste do 60°C, no kada su dimenzije drvnih čestica u gomili veće od 20 cm, više nema porasta temperature. Do samozapaljenja uobičajeno dolazi u nagomilanoj kori, no ono se može izbjeći kada visina gomile ne prelazi 8 m i trajanje skladištenja je kraće od pet mjeseci. Nagomilana masa ne bi smjela biti jako zbijena jer to može dovesti do povećanja udjela vlage na pojedinim mjestima, što također može dovesti do samozapaljenja. Kontrola nagomilane biomase, s obzirom na rizik od samozagrijavanja ili samozapaljenja, može se provesti kombiniranim mjerenjem temperature i udjela plinova, ali pri tome mjerenje temperature valja rasporediti kroz gomilu jer samozagrijavanje može krenuti od bilo kojeg dijela biomase u gomili. Mjerenjem udjela plinova može se uočiti stvaranje ugljičnog dioksida već u ranoj fazi, dok se ugljični monoksid može uočiti tek kasnije kada izravna prijetnja od samozapaljenja već postoji i potrebna je brza intervencija. Ako se skladišti svježe isječeno drvo ili kora na gomili, gubici suhe mase mjesečno iznose i do 5%, a najveći su u početku skladištenja i pretežno ovise o udjelu vlage i veličini biomase. Sprema li se svježa biomasa u zatvorenom prostoru, udio vlage se može smanjiti ako se omogući prirodni prolaz topline kroz gomilu. U tom slučaju zidovi skladišta trebali bi propuštati zrak da slobodno cirkulira. Prirodni prolaz toploga zraka kroz nagomilanu biomasu je vrlo važan jer se na taj način izbjegava samozapaljenje, posebno kore i piljevine. Gomilanje suhe biomase na otvorenom treba izbjegavati s obzirom na padaline koje izazivaju povećanje vlage u biomasi i stvaraju otpadne vode, posebno kod uskladištene kore. Gomilanje piljevine također nije preporučljivo na otvorenom zbog toga što dolazi do stvaranja prašine, a posebno nije preporučljivo u naseljenim područjima.

**Kratkotrajno skladištenje** biomase služi za njezinu pohranu prije dovođenja u ložište, a prostori za kratkotrajno skladištenje direktno su povezani s ložištem. Rasuta

biomasa poput kore ili sječke najčešće se skladišti u bunkerima, dok se piljevina i fina drvena biomasa najčešće skladište u silosima kako bi se spriječila emisija prašine u okolicu.

### Skladištenje šumske biomase za korištenje u kućanstvima

#### **Skladištenje cjepanica**

Skladištenje cjepanica je postupak privremenog skladištenja i sušenja biomase da bi se uklonio višak vlage. Skladište cjepanica je najčešće otvoreni prostor, zasebna zgrada ili dio zgrade koji je posebno namijenjen za skladištenje cjepanica. U većini slučajeva ložište se cjepanicama puni ručno, zbog toga je poželjno da skladište cjepanica bude što bliže ložištu kako bi se olakšalo prenošenje cjepanica. Skladištenjem cjepanica mora se poštivati nekoliko osnovnih smjernica:

1. Cjepanice trebaju biti izrezane i rascijepane na predviđene dimenzije s obzirom na zahtjeve ložišta
2. Cjepanice se postavljaju na podlogu koja je propusna za zrak i odignuta od poda za najmanje 20 cm.
3. Između naslaganih cjepanica i okolnih zidova treba ostaviti razmak od najmanje 5 – 10 cm.
4. Kod skladištenja na otvorenom prostoru, naslagane cjepanice treba zaštititi od padalina odgovarajućim pokrovom (krovištem, folijom i sl.), pri čemu se mora omogućiti strujanje zraka ispod pokrova.
5. Naslagane cjepanice trebaju biti dobro provjetravane kako bi se spriječio razvoj gljivica i plijesni.

Sušenje cjepanica tijekom skladištenja vrlo je važan postupak kojemu je cilj ukloniti višak vlage iz njih, a najprikladnijim se smatra sušenje na zraku tijekom dvije godine. Sušenjem cjepanica postiže se povećanje stupnja djelovanja izvora topline, jer se smanjuju toplinski gubici pri izgaranju. Također se omogućava sigurniji i pouzdaniji rad izvora topline i cijelog sustava grijanja.

Volumen skladišta treba biti takav da omogući skladištenje cjepanica dovoljnih za pokrivanje potrebe za toplinom tijekom 1,5 godine. U skladištu uvijek mora biti veća količina cjepanica zbog pokrivanja vršne potrošnje i da na raspolaganju uvijek bude dovoljna količina suhih cjepanica. Pri tome se kao orijentacijska vrijednost može uzeti da je za ostvarivanje iste količine topline koja nastaje izgaranjem 1 m<sup>3</sup> loživog ulja potrebno 5 prostornih metara cjepanica, za što je potreban volumen skladišta od 7,5 m<sup>3</sup>.

## **Skladištenje peleta**

Skladištenje peleta je posebno izveden i za to namijenjen prostor ili prostorija u zgradi u kojima se neposredno ili u posebnom spremniku pohranjuju peleti i iz kojeg se omogućava njihovo dovođenje do ložišta.

Najčešće se koriste četiri osnovna rješenja:

- vrećasti spremnik
- bunker
- podzemni spremnik
- međuspremnik pokraj izvora topline

Uz to postoje i tri osnovna načina rješenja sustava za dovođenje peleta do ložišta:

- pomoću pužnog prijenosnika
- pomoću pneumatskog prijenosnika
- gravitacijski ili upadno

S obzirom na mogućnosti skladištenja i prijenosa peleta postoji šest mogućih izvedbi koje se odabiru prema izvedbi svakoga kućanstva posebno. A to su:

1. vrećasti spremnik s pužnim prijenosnikom
2. vrećasti spremnik s pneumatskim prijenosnikom
3. bunker s pužnim prijenosnikom
4. bunker s pneumatskim prijenosnikom
5. podzemni spremnik s pneumatskim prijenosnikom
6. međuspremnik pokraj izvora topline

Osnovne smjernice za skladištenje peleta:

- skladište treba biti što bliže ložištu izvora topline kako bi se što lakše, jednostavnije i jeftinije mogao izvesti sustav za dovođenje peleta
- najveća udaljenost skladišta od pristupnog puta, po kojemu može doći vozilo za opskrbu peletima, iznosi 30 m što je u biti najveća duljina savitljive cijevi za dovođenje peleta
- skladište treba biti zaštićeno od vlage, što se najčešće izvodi dodatnom hidroizolacijom, provjetranjem i sl.
- skladište bi trebalo biti pravokutnog oblika ako to mogućnosti dopuštaju, najčešće 2x3 m

Volumen skladišta treba omogućiti pohranu količine peleta potrebnu za pokrivanje potrebe za toplinom tijekom cijele godine, a kao orijentacija za potrebno skladište može se uzeti:

- volumen skladišta za pokrivanje potreba za toplinom od 1 kW: 0,9 m<sup>3</sup>
- korisni volumen skladišta je 2/3 ukupnog volumena (uključujući prazan prostor)
- masa 1 m<sup>3</sup> peleta iznosi 650 kg
- ogrjevna vrijednost peleta iznosi oko 5 kWh/kg

### **Skladištenje sječke**

Skladištenje sječke se izvodi zbog njezine privremene pohrane i automatskog dovođenja do ložišta. Skladište ili bunker za sječku je posebno izvedena prostorija ili dio prostorije koji se nalazi u zgradi ili izvan nje, a služi za pohranu sječke, te njeno dovođenje do ložišta. Najčešće se koriste šest osnovnih rješenja:

1. bunker s izravnim pristupom za vozila
2. bunker bez izravnog pristupa za vozila
3. bunker s predsušenjem
4. bunker s dodatnim prijenosnim mehanizmom
5. vanjski podzemni bunker
6. vanjski nadzemni bunker

## 6. Energetsko iskorištavanje šumske biomase

Izgaranjem šumske biomase dolazi do oksidacije, spajanja gorivih tvari s kisikom, kojom se oslobađa pohranjena kemijska energija u obliku toplinske energije. Kao što već znamo otprije, kemijska energija u šumskoj biomasi potječe od Sunčeve energije. Cilj izgaranja šumske biomase je ostvariti što učinkovitije izgaranje te iz pohranjene kemijske energije dobiti što više toplinske energije. Proces izgaranja šumske biomase odvija se u ložištu uz prisustvo kisika, a kao produkti izgaranja javljaju se dimni plinovi i pepeo koji čine neizgoreni dijelovi. Primjenom šumske biomase u ložištu može doći do potpunog izgaranja, tj. do potpune oksidacije kod koje svi gorivi sastojci potpuno izgore, ili do nepotpune oksidacije gdje gorivi sastojci djelomično oksidiraju. Procesi potpunog i nepotpunog izgaranja šumske biomase već su prije spomenuti i opisani pa ih u ovom dijelu nije potrebno ponovno objašnjavati.

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

Prva faza odvija se na temperaturama do 100°C. Cilj prve faze je predgrijati biomasu na temperaturu potrebnu za odvijanje ostalih faza.

Druga faza, sušenje drveta odvija se na temperaturama od 100-150°C u kojoj se izdvaja zaostala vlaga biomase u obliku pare. Trajanje procesa zagrijavanja i sušenja ovisi o udjelu vlage i obliku biomase, te je za manje dimenzije i manji udio vlage proces brži i obratno.

Treća faza izgaranja biomase odvija se na temperaturama od 150-230°C gdje se pod utjecajem topline ugljikovi spojevi razlažu na jednostavnije spojeve. Pirolitičkom razgradnjom nastaju i štetne tvari kao što je katran u kapljivom obliku, ugljični monoksid i viši ugljikovodici u plinovitom stanju. Prve tri faze izgaranja biomase su endotermne, što znači da se odvijaju uz dovođenje topline izvana. Egzotermne reakcije počinju na temperaturama višim od 230°C, gdje se iz biomase oslobađa toplina. Za zapaljenje šumske

biomase vanjskim izvorom topline potrebno je postići temperaturu višu od 300°C, dok je za samozapaljenje šumske biomase potrebna temperatura od 400°C.

Četvrta faza rasplinjavanja odvlaženih gorivnih tvari odvija se na temperaturama od 250-500°C pri kojoj dolazi do termičke razgradnje gorivih tvari u kojima više nema vlage. Ova se faza najprije odvija u biomasi najbližoj izvoru zraka u ložištu koji reagira s plinovitim produktima rasplinjavanja te se oslobađa topline koja pali čvrste i kapljive produkte pirolize, a to su katran i ugljen.

U petoj fazi izgaranja biomase koja se odvija na temperaturama od 500-700°C odvija se rasplinjavanje čvrstih ugljikovih spojeva. Rasplinjavanje čvrstih ugljikovih spojeva je egzotermna reakcija pri kojoj uz prisustvo ugljičnog dioksida, vodene pare i kisika nastaje zapaljivi CO. Tijekom ove faze osim topline prvi se put pojavljuje i svjetlost koja se vidi kao plamen.

Šesta i posljednja faza izgaranja biomase odvija se na temperaturama od 700-1400°C. U njoj se odvija oksidacija zapaljivih plinova i produkata svih faza uz prisustvo zraka što je osnova za čisto i potpuno izgaranje.

Tijekom ovih šest faza postoje neke tehničke pretpostavke koje moraju biti zadovoljene. Jedna od pretpostavki je da u ložištu mora biti količina zraka veća nego što je to potrebno, tj. mora postojati višak zraka. Ložište treba biti tako konstruirano da ostvaruje dobro miješanje zapaljivih plinova nastalih rasplinjavanjem i dovedenog zraka za izgaranje. Reakcijska zona ložišta mora omogućiti dovoljno dugo zadržavanje nastale smjese zapaljivih plinova nastalih rasplinjavanjem i zraka za izgaranje. Posljednja pretpostavka je da u ložištu uvijek treba biti relativno visoka temperatura.

Suvremena ložišta na biomasu izvedena su tako da zadovoljavaju sve pretpostavke i omogućavaju ravnomjerno izgaranje biomase uz što manje emisije štetnih plinova. Uvjet za učinkovito izgaranje biomase u ložištu je dovod primarnog i sekundarnog zraka. Primarni zrak dovodi se u dio ložišta u kojem se nalazi biomasa i odvija njeno sušenje, zagrijavanje i razgradnja. Drugi dio zraka, koji se naziva sekundarnim zrakom, dovodi se u dio ložišta u kojem se nalaze plinovi nastali rasplinjavanjem i u kojem se odvija njihova oksidacija. Kako bi se ostvarila maksimalna učinkovitost ložišta na šumsku biomasu u svim fazama izgaranja, treba postići optimalne uvjete za odvijanje procesa, što se posebno odnosi na dovođenje primarnog i sekundarnog zraka.



## **6.1. Sustavi za grijanje i pripremu potrošne tople vode na šumsku biomasu u kućanstvima, stambenim, javnim i poslovnim zgradama**

Prilikom odabira izvora topline za sustav grijanja i pripremu potrošne tople vode potrebno je proračunati i odrediti određene karakteristike zgrade koje se vrše prema europskoj normi „EN 12 831 – Sustavi grijanja u zgradama; Sustavi za proračun normalnog toplinskog opterećenja“.

Prilikom izbora sustava za grijanje i pripremu potrošne tople vode na raspolaganju se nudi više rješenja koja mogu biti predviđena samo za grijanje ili za grijanje i pripremu potrošne tople vode, te ona mogu biti centralna ili individualna. Najčešća su:

- otvoreni kamini
- zatvoreni kamini
- peći na drva
- peći na pelete
- peći na drva za centralno grijanje
- kaljeve peći
- kotlovi na cjepanice
- kotlovi na pelete
- kotlovi na sječku
- kombinirani kotlovi na šumsku biomasu

U posljednjih desetak godina u svijetu su provedena brojna poboljšanja izvedbi kotlova na biomasu, a ponajviše s ciljem povećanja učinkovitosti i smanjenja štetnih emisija čvrstih čestica i ugljičnog monoksida. Razvoj je postignut u konstrukciji komora za izgaranje, sustavu za dovod zraka i regulacije.

Suvremeni zahtjevi za udobnošću u kotlovima za centralno grijanje i pripremu potrošne tople vode podrazumijevaju ravnomjeran proces proizvodnje topline u slučaju grijanja, te brzu proizvodnju topline u slučaju pripreme potrošne tople vode. Primjena kotlova na biomasu prije je predstavljala problem korištenja zbog nemogućnosti automatske regulacije i time smanjene udobnosti primjene. Korištenjem automatske regulacije i primjenom međuspremnika za potrošnu toplu vodu omogućena je veća fleksibilnost i jednostavnost primjene cijelog sustava i dulje intervale zapaljenja. Time se zapravo produžio vijek trajanja kotla.

Prema Labudoviću i sur. (2012.) kotlove na biomasu možemo podijeliti na dva osnovna načina:

1. s obzirom na dimenzije, odnosno toplinske učinke
  - mali, s učinkom od 3 kW
  - srednji, s učinkom od 100 kW
  - veliki, s učinkom 100 kW-10 MW
2. s obzirom na način punjenja
  - s ručnim punjenjem, u području učinka 1-100 kW (za cjepanice, pelete)
  - s automatskim punjenjem, u području učinka većih od 10 kW (za pelete, sječku, piljevinu)

Prilikom izbora sustava koji će zadovoljiti potrebe zgrade potrebno je u obzir uzeti četiri glavna čimbenika sustava:

1. raspon toplinskog učinka
2. raspon potreba za toplinom u zgradi koji se može pokriti pojedinim izvorom
3. izvedbu sustava grijanja (centralno ili individualno)
4. osobne zahtjeve korisnika (udobnost primjene, cijena, estetski izgled, uporaba pojedinog izvora i pripadajuće opreme za ugradnju )

### **Otvoreni kamini**

Otvoreni kamin je samostojeći građevinski element, koji služi kao individualni izvor topline za grijanje samo jedne prostorije. Kao gorivo u otvorenim kaminima najčešće se koristi šumska biomasa (cjepanice i briketi), a punjenje ložišta ostvaruje se ručno. Otvoreni kamini su izvedeni tako da je barem jedna strana ložišta otvorena prema prostoriji u kojoj se nalazi, a gornja strana kamina se spaja na sustav za odvod dimnih plinova, tj. dimnjak. Materijali od kojih su izgrađeni kamini mora biti vatrootporan, a to je najčešće šamotna opeka ili već gotovi elementi od šamota. Toplinski učinci otvorenih kamina kreću se od 1 do 3 kW, a toplina se prostoriji predaje zračenjem. Ovakvi kamini imaju vrlo mali korisni stupanj djelovanja od svega 20%, zbog svog načina predaje topline, pa 80% topline odlazi zajedno s dimnim plinovima kroz dimnjak u atmosferu. Koriste se kao dodatni ili pomoćni izvor topline ili u estetske svrhe, kao ukras. Glavni nedostatak otvorenih kamina je mogućnost trovanja ugljičnim monoksidom i požara zbog otvorenog ložišta.

## **Zatvoreni kamini**

Zatvoreni kamin je izveden kao gotov uređaj koji se još naziva kaminska kazeta, a koji se može postaviti u ložište dotadašnjeg otvorenog kamina ili u posebno za njega izrađeno mjesto. Najčešće se koriste kao dodatni ili pomoćni izvor topline ili kao estetski ukras. Kao gorivo u zatvorenim kaminima najčešće se koristi šumska biomasa (cjepanice i briketi), a punjenje ložišta ostvaruje se ručno. Toplinski učinci zatvorenih kamina kreću se od 5 do 10 kW, a toplina se predaje prostorijski zračenjem preko vrata kamina i konvekcijom. U odnosu na otvorene kamine, zatvoreni kamini imaju brojne prednosti. Ložište u zatvorenim kaminima je odijeljeno od prostorije u kojoj se nalaze čime je izravno smanjena opasnost od požara, zrak koji se koristi za izgaranje biomase u ložištu dovodi se izvana i time je smanjena mogućnost trovanja ugljičnim monoksidom zbog nepotpunog izgaranja. Zatvoreni kamini imaju veći stupanj djelovanja zbog načina na koji predaju toplinu prostorijski pa je time smanjena potrošnja goriva.

## **Peći na drva**

Peć na drva izvedena je kao kompaktan samostojeći uređaj namijenjen grijanju određenog prostora, a stjenke peći izrađene su od vatrootpornog materijala ili od prozirnog vatrootpornog stakla. Toplinski učinak peći na drva može biti od 2 do 15 kW ovisno o veličini prostorije koju se grije i masom od 23-26 kg/kW. Kao gorivo u pećima na drva najčešće se koristi šumska biomasa (cjepanice i briketi), a punjenje ložišta ostvaruje se ručno. Predaja topline odvija se zračenjem, često i konvekcijom, a ponekad je moguć i spoj na sustav centralnog grijanja. Ovakve peći često su opremljene i ventilatorima koji omogućavaju strujanje zraka kroz dodatne konvektivne otvore oko peći i tako poboljšavaju predaju topline i time povećavaju stupanj djelovanja.

## **Peći na pelete**

Peći na pelete vanjskim izgledu, materijalima izrade i načina djelovanja jednake su pećima na drva, a izrađene su također kao kompaktan uređaj koji služi kao izvor topline u prostorijski u kojoj se nalazi. Za gorivo u ovakvim pećima koriste se isključivo peleti, a punjenje se može odvijati automatski ili poluautomatski. Zbog toga se nedaleko od peći nalazi spremnik za pelete koji osigurava dovoljnu količinu peleta za rad peći tijekom dva dana. Toplinski učinak peći na pelete iznosi 3-11 kW, dok se toplina predaje prostorijski zračenjem, a često i konvekcijom, te je moguć spoj na sustav centralnog grijanja. Peći na pelete uglavnom nemaju vratašca, ali postoji sustav za kontrolu dovođenja peleta u ložište

točno prema potrebama. Velika prednost peći na pelete je u udobnosti primjene, jer peć nije potrebno ručno puniti, dok im je stupanj djelovanja vrlo visok, do 90%. Također, velika prednost je spajanje na sustav centralnog grijanja i mogućnost grijanja drugih prostorija u kojima se peć na pelete ne nalazi.

### **Peći na drva za centralno grijanje**

Peć na drva za centralno grijanje je kombinirani uređaj koji služi kao izvor topline te za pripremu hrane. Kao gorivo koristi se biomasa u obliku cjepanica ili briketa. Opremljen je elementima za pripremu hrane, kao što su pećnica i ogrjevna ploha za kuhanje, i priključcima za spajanje na sustav centralnog grijanja. Toplinski učinci ovakvih peći uobičajeno iznose 11-27 kW, a toplina se predaje prostoriji provođenjem kroz ogrjevne plohe peći, zračenjem stijenki peći, konvekcijom i posredno preko ugrađenog izmjenjivača topline za sustav centralnog grijanja. Peći na drva za centralno grijanje imaju stupanj djelovanja veći od 65%.

Spajanje peći na sustav centralnog grijanja može se izvesti direktno ili pomoću međuspremnika, što je prikladno ako postoje veća odstupanja u proizvodnji i potrebama za toplinom. Ovakva peć može služiti i kao izvor topline za zagrijavanje potrošne tople vode, a količina spremnika vode određuje se specifikacijama koje izdaje proizvođač, no ona po prilici iznosi 25 l/kW toplinskog učinka peći.

### **Kaljeve peći**

Kaljeva peć izgrađena je kao samostojeći građevinski element od materijala koji omogućava veliku akumulaciju topline. Kaljeva opeka je materijal koji se proizvodi od smjese gline i šamota. Ovakve peći imaju vrlo veliku masu te se zbog toga mora voditi računa o najvećem mogućem opterećenju podne konstrukcije. Peći su najčešće opremljene priključcima za spajanje na sustav centralnog grijanja i pripremu potrošne tople vode. Kao gorivo isključivo se koristi biomasa u obliku cjepanica i briketa, a punjenje ložišta vrši se ručno kroz vratašca na prednjoj strani peći. Kaljeve peći mogu biti tako konstruirane da se prostiru kroz nekoliko prostorija koje imaju zajednički jedan kut ili da se kanali za topli zrak prostiru kroz više prostorija. Toplinski učinak kaljevih peći iznosi 4-15 kW, a temperatura na površini ogrjevnih ploha peći iznosi 50-90°C te se pri tome toplina predaje zračenjem posredno od stijenki peći, konvekcijom i posredno preko ugrađenog izmjenjivača topline na sustav centralnog grijanja i pripremu potrošne tople vode. S obzirom na prijenos topline od ložišta na ogrjevne plohe mogu biti osnovne i toplozračne.

## **Kotlovi na cjepanice**

Kotao na cjepanice je kompaktan uređaj namijenjen za sustav centralnog grijanja koji kao gorivo koristi šumsku biomasu u obliku cjepanica i briketa. Prema djelovanju i vanjskom izgledu gotovo je jednak kotlovima na prirodni plin ili loživo ulje. Koriste se za sustave centralnog grijanja i pripremu potrošne tople vode u obiteljskim kućama, javnim, poslovnim, stambenim zgradama, ugostiteljskim objektima i sl. Toplinski učinak kotlova na cjepanice uznosi 5-150 kW sa stupnjem djelovanja do 90% pri temperaturi ogrjevnog medija od 70-85°C. Toplina nastala izgaranjem biomase predaje se mediju za grijanje, vodi, preko izmjenjivača topline, te nakon prolaska kroz izmjenjivač topline plinovi temperature do 200°C odlaze prema dimnjaku.

Kotlovnica je zasebna prostorija u zgradi ili izvan nje koja je isključivo namijenjena za smještanje kotla na cjepanice, međuspremnik tople vode, ekspanzijske posude i ostalih potrebnih elemenata čija visina mora iznositi najmanje 2 m, a volumen 8 m<sup>3</sup>. Kada je toplinski učinak kotla veći od 50 kW, kotlovnica je obavezna. U kotlovnici nije dozvoljeno skladištenje i spremanje predmeta koji su zapaljivi ili bi svojim isparavanjem narušili rad kotla na cjepanice. Kotlovnica je namijenjena i za skladištenje jednodnevne zalihe cjepanica ili briketa čija najmanja udaljenost mjesta skladištenja mora iznositi najmanje 1 m od kotla na cjepanice.

Međuspremnik tople vode u sustavima centralnog grijanja i pripreme potrošne tople vode s kotlom na cjepanice, prema preporukama proizvođača trebao bi imati najmanji specifični volumen 25 l/kW toplinskog učinka kotla. No najčešće korišteni međuspremnici potrošne tople vode imaju specifičan volumen 50-75 l/kW, pa i veći zbog mogućnosti spajanja još nekih izvora topline.

## **Kotlovi na pelete**

Kotao na pelete izveden je kao kompaktan uređaj koji kao gorivo koristi isključivo drvene pelete, a također je opremljen priključcima za spajanje na sustav centralnog grijanja i pripremu potrošne tople vode. Po djelovanju i vanjskom izgledu jednak je kotlovima na loživo ulje ili plin, a namijenjen je za sustave centralnog grijanja i pripremu potrošne tople vode u obiteljskim kućama i manjim stambenim zgradama. Toplinski učinak kotlova na pelete obično iznosi 5-50 kW s stupnjem djelovanja do 90%. Godišnja potrošnja peleta u kotlovima toplinskog učinka 10-40 kW i prosječnom potrošnjom energije 2000-20000 kWh godišnje u niskoenergetskoj kući iznosi od 400 do 4000 kg.

Dovođenje peleta do plamenika u ložištu kotla moguće je izvesti na tri načina:

- s dovodom peleta odozdo
- s dovodom iz retorte
- s gravitacijskim dovodom

### **Kotlovi na sječku**

Kotao na sječku izveden je kao kompaktan uređaj namijenjen za korištenje kao izvor topline u sustavima centralnog grijanja ili toplinarske sustave, a kao gorivo isključivo koristi drvenu sječku. Opremljen je priključcima za spajanje na sustav centralnog grijanja i pripremu potrošne tople vode većih stambenih, javnih ili poslovnih zgrada, ugostiteljskih objekata i sl. Kotlovi na sječku izvedeni su robusnije i imaju veće dimenzije od kotlova na pelete. Toplinski učinci ovakvih kotlova najčešće iznose 35 kW-7 MW.

### **Kombinirani kotlovi na šumsku biomasu**

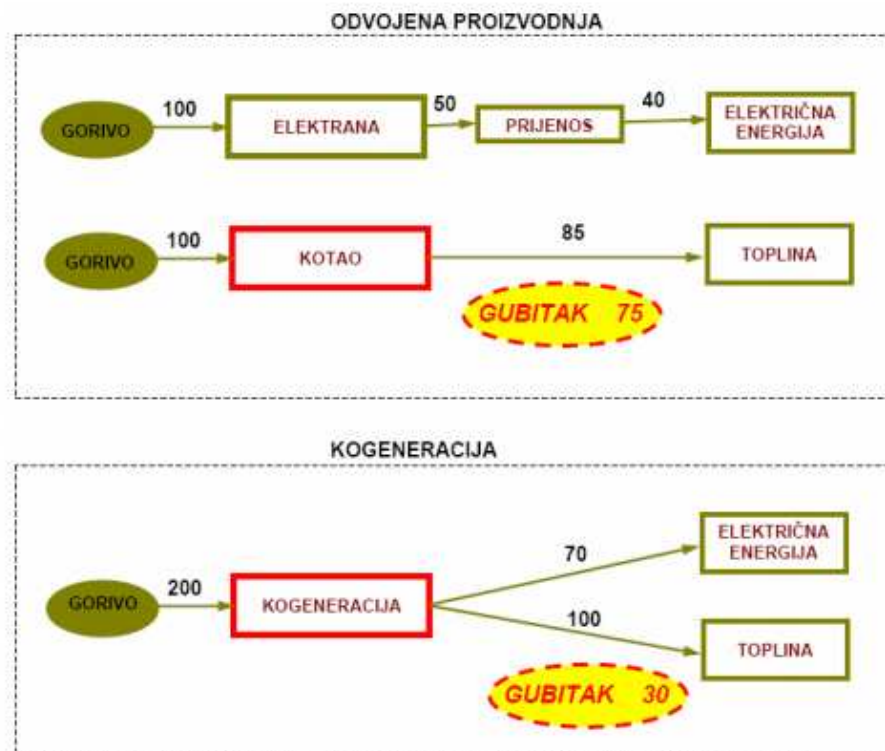
Kombinirani kotlovi izvedeni su kao kompaktan uređaj koji se koristi kao izvor topline za sustave centralnog grijanja i pripremu potrošne tople vode ili toplinarske sustave, a kao gorivo mogu koristiti više vrsta šumske biomase, kao što su cjepanice, sječka, peleti, briketi, piljevina, drvni otpad i sl. Kombinirani kotlovi su robusniji i imaju veće dimenzije od kotlova na pelete i cjepanice. Koriste se jednako kao i kotlovi na sječku, a za postavljanje, njihov rad, spajanje na sustav odvoda dimnih plinova i održavanje vrijede ista pravila kao i za kotlove na cjepanice ili sječku.

## 6.2. Velika energetska postrojenja

Namjena velikih energetska postrojenja koja kao gorivo koriste šumsku biomasu može biti:

1. proizvodnja toplinske energije za više zgrada ili cijelih naselja pomoću sustava daljinskog grijanja
2. istodobna proizvodnja toplinske i električne energije (kogeneracija) za više zgrada, cijelih naselja ili tehnoloških procesa, ali i za isporuku električne energije u javnu elektroenergetsku mrežu ili pokrivanje vlastite potrošnje

Kogeneracijska postrojenja u odnosu na postrojenja odvojene proizvodnje imaju manje gubitke, te za istu količinu primarne energije u kogeneracijskim postrojenjima isporučiti će se i do 40% više električne i toplinske energije u odnosu na proizvodnju u odvojenim postrojenjima. Prednosti kogeneracijskih postrojenja su i manji troškovi proizvodnje i manje emisije ugljičnog monoksida po jedinici proizvedene energije.



**Slika 5:** Prikaz gubitaka u odvojenoj proizvodnji i kogeneracijskim postrojenjima (Lončar i sur., 2009.)

Prilikom projektiranja, izvođenja i gradnje u obzir treba uzeti određene čimbenike:

- *tehničke* (zadani uvjeti za ostvarivanje i ciljevi projekta, tehničke značajke i izvedba postrojenja, pribavljanje i opskrba biomasom, priključivanje na infrastrukturne sustave itd.)
- *ekonomske* (financiranje, ekonomičnost pogona, mogućnosti dobivanja poticaja, potpora itd.)
- *pravne* (organizacija i odnosi sudionika u projektu, ishodenje dozvola i odobrenja, ugovaranje opskrbe biomasom, isporuke energije, vođenja i održavanja postrojenja itd.)

Sedam je glavnih koraka u pripremi projekta za velika energetska postrojenja:

1. *Predodabir izvedbe postrojenja* – podrazumijeva razmatranje namjene postrojenja i njegove uloge u energetskom sustavu te mogućnosti za njegovu gradnju i izvođenje, ekonomičnost, smještaj u prostor i prihvatljivost za okoliš.
2. *Ispitivanje raspoloživosti šumske biomase* – ključan je korak u odluci za ostvarivanje ovakvog projekta. Neovisno o isplativosti, ekonomičnosti, tehničkoj izvedbi i utjecaja na okoliš projekta, sigurnost i pouzdanost dobave šumske biomase ključni je faktor velikih energetska postrojenja i bez njega nije ostvariv. Zbog toga treba razmotriti sve mogućnosti izvora šumske biomase, načine njegove dobave do postrojenja i troškove koji pri tome nastaju.
3. *Stručno razmatranje projekta* – uključuje iskustva u projektiranju, izvođenju i pogonu sličnih postrojenja, te se na osnovu tih iskustava razmatraju mogući sudionici u projektu.
4. *Obavještanje lokalne samouprave o projektu* – najvažniji je korak u ostvarivanju projekta. Lokalna samouprava mora prihvatiti projekt i u njemu sudjelovati od samoga početka. Također mora omogućiti ishodenje svih potrebnih dozvola i suglasnosti, promicati projekt u javnosti, a posebno s obzirom na korist zajednici. Bez suglasnosti lokalne samouprave cijeli projekt postrojenja je upitan.
5. *Predodabir opreme* – podrazumijeva odabir tehničkog rješenja i značajki opreme koja će se koristiti, a sve na osnovi ranije provedenog predodabira izvedbe postrojenja. Prilikom odabira opreme odabire se izvedba i veličina kotla, izvedba skladišta za šumsku biomasu, sustav za njezino dovođenje do ložišta, način pogona, regulacije i nadzor postrojenja.



6. *Odabir sudionika u projektu* – podrazumijeva odabir glavnog projektanta, izvođača radova, opskrbljivača opremom, nadzorna tijela i odabir opskrbljivača biomasom te se s njim sklapaju odgovarajući ugovori o isporuci.
7. *Predstavljanje projekta javnosti* – podrazumijeva javno predstavljanje projekta javnosti, predstavnicima nadležnih tijela i medijima, iako je javnost već djelomično upoznata s projektom preko lokalne samouprave.

**Tablica 2 :** Struktura investicijskih troškova kogeneracijskih postrojenja 2008. g. u € (Lončar i sur., 2009.)

	ORC 650 kWe/ 3250 kWt	ORC 1570 kWe/ 7650 kWt	Parna turbina 5000 kWe/ 19000 kWt	Rasplinj. + plinski m. 540 kWe / 590 kWt	Rasplinj. + plinski m. 600 kWe/ 790 kWt
Objekti, pomoćna postrojenja, priključci	1,110.000	1,700.000	2,600.000	371.000	411.000
Ložište i kotao	1,200.000	1,870.000	6,600.000	1,840.000	2,381.000
Obrada dimnih plinova	200.000	300.000	800.000	uključeno	uključeno
Spremište i transporter pepela	60.000	130.000	250.000	uključeno	uključeno
Rekuperacija topline	80.000	110.000	480.000	uključeno	uključeno
Transporter goriva	80.000	160.000	600.000	uključeno	uključeno
Kranovi	25.000	30.000	50.000	uključeno	uključeno
Elektrooprema	200.000	400.000	1,500.000	uključeno	uključeno
Cjevovodi i armature	300.000	425.000	2,100.000	uključeno	uključeno
Čelična konstrukcija	70.000	100.000	400.000	uključeno	uključeno
Kogeneracijski modul	1,050.000	1,675.000	2,500.000	660.000	720.000
Planiranje	473.000	712.000	1,560.000	255.000	325.000
Spremište goriva	350.000	700.000	1,000.000	10.000	163.000
Vozila	uključeno	uključeno	uključeno	40.000	40.000
<b>UKUPNO</b>	<b>5,198.000</b>	<b>8,312.000</b>	<b>20,440.000</b>	<b>3,176.000</b>	<b>4,040.000</b>
<b>Specifični investicijski trošak</b>	<b>7.997</b>	<b>5.294</b>	<b>4.088</b>	<b>5.881</b>	<b>6.733</b>

U tablici 2 prikazana je struktura investicijskih troškova za različite sustave različitih snaga. Ukupni troškovi postrojenja na biomasu kreću se od 3 000 000 do 20 500 000 eura, a specifični investicijski troškovi izraženi u €/kW<sub>e</sub> iznose od 4000 €/kW<sub>e</sub> pa do 8000 €/kW<sub>e</sub>.

Iz tablice je vidljivo da ORC<sup>1</sup> sustavi i sustavi s rasplinjavanjem i plinskim motorom imaju relativno velike specifične i ukupne troškove s obzirom na instaliranu snagu, dok je sustav parne turbine najisplativiji s najmanjim specifičnim troškovima po kW<sub>e</sub> ali najvećim ukupnim investicijskim troškovima.

U posljednjih nekoliko godina cijene opreme za postrojenja manje snage koja kao gorivo koriste biomasu znatno su porasle. Kroz trogodišnje razdoblje porast investicijskih troškova povećan je za 44% što potvrđuju primjeri već dovršenih projekata i planovi izgradnje novih kogeneracijskih postrojenja. Ovakav porast investicijskih troškova pripisuje se velikoj potražnji za energetske postrojenjima zbog uspostave poticajnih zakonodavnih okvira u mnogim zemljama, te zbog ograničenosti i zauzetosti proizvodnih kapaciteta proizvođača energetske opreme ali i zbog porasta cijena sirovina.

Visina investicije ovisi o različitim faktorima a prije svega o razvoju tehnologije i odnosu ponude i potražnje na tržištu energetske opreme. Može se pretpostaviti da će u Hrvatskoj najveći udjel imati postrojenja snage do 5 MWe koja će za pogon trošiti oko 200 tona biomase na dan, a investicijski trošak kretati će se od 4000 €/kW<sub>e</sub> do 6000 €/kW<sub>e</sub>. Troškovi pogona i održavanja uobičajeno se procjenjuju u rasponu od 1-5% godišnje od ukupnih troškova . Pod godišnjim prihodima računa se ukupno proizvedena energija umanjena za vlastitu potrošnju i isporučena u elektroenergetski sustav i prodaja po važećoj poticajnoj cijeni.

---

<sup>1</sup> Organski Rankienov ciklus

## Troškovi

Projektiranje, izvođenje i pogon velikih energetskih postrojenja na šumsku biomasu razmjerno su visoki, a čine ih:

1. troškovi ulaganja
  - troškovi ulaganja u opremu
  - troškovi projektiranja i izvođenja radova
  - dodatni troškovi za ishođenje dozvola, odobrenja i sl.
  - troškovi poreza
  - troškovi kamata
  - pričuva za pokrivanje izvanrednih troškova
  - ostali troškovi ulaganja
2. pogonski troškovi
  - troškovi goriva
  - troškovi osoblja
  - troškovi održavanja, servisa i remonta
  - troškovi osiguranja
  - troškovi zbrinjavanja pepela i naknada za emisiju u okoliš
  - troškovi redovnog poslovanja
  - izvanredni pogonski troškovi
  - ostali pogonski troškovi

## Prihodi

Prihodi velikih energetskih postrojenja na šumsku biomasu ovise o njegovoj učinkovitosti i stanju na tržištu. Učinkovitost postrojenja je rezultat izvedbe, a stanje na tržištu ovisi o potražnji za proizvedenom energijom. U prihode velikih energetskih postrojenja ubrajaju se:

- prihodi od prodaje toplinske energije
- prihodi od prodaje električne energije (ako postoji mogućnost istodobne proizvodnje)
- prihodi od poticaja i potpora za prodaju toplinske i/ili električne energije (ako takva mogućnost postoji)
- prihodi od trgovine certifikatima za emisije (ako takva mogućnost postoji)
- prihodi od osnovnih pokrivanja vlastitih potreba za toplinskom (i električnom) energijom (u pravilu kod pokrivanja potreba tehnoloških procesa)

### Primjer postrojenja na šumsku biomasu

Analizirano je kogeneracijsko postrojenje na biomasu koje bi se koristilo u manjem naselju za pokrivanje sezonskih toplinskih potreba grijanja kućanstava i javnih i poslovnih objekata, te za cjelogodišnju pripremu potrošne tople vode. U primjeru je razmatrano kogeneracijsko postrojenje toplinskog kapaciteta 2,3 MW i nazivne električne snage 0,5 MW konfigurirano u dva sustava sa rashladnim kondenzatorom i bez rashladnog kondenzatora.

**Tablica 3:** Rezultati simulacije postrojenja bez i sa rashladnim kondenzatorom (Lončar i sur., 2009.)

		Bez kondenzatora	S kondenzatorom
Nazivna toplinska snaga kogeneracije	$kW_t$	2.300	2.300
Nazivna električna snaga kogeneracije	$kW_e$	500	500
Kapacitet rashladnog kondenzatora	$kW_t$	-	1.150
Toplinska energija kogeneracija $H_{kogen}$	$MWh_t$	13.644	13.709
Toplinska energija vršni kotao $H_{vršno}$	$MWh_t$	967	904
Višak topline oslobođen u konden. $H_{konde}$	$MWh_t$	-	4.842
Električna energija kogeneracije $E_{kogen}$	$MWh_e$	2.966	4.033
Prosječna električna snaga $P_{kogen}$	$kW_e$	338	460
Potrošnja električne energije u ORC	$MWh_e$	445	604
Potrošnja električne energije u konden.	$MWh_e$	-	242
Potrošnja drvnog ostatka (kogen+vršno)	t	7.552	10.102

Iz tablice je vidljivo da bi kogeneracijsko postrojenje bez kondenzatora proizvelo 2 966  $MWh_e$  električne energije godišnje i 13 644  $MWh_t$  toplinske energije. Ukupna procjena godišnje potrošene sječke (35% vlažnosti) iznosi 7 552 t.

Kogeneracijsko postrojenje s kondenzatorom proizvelo bi 4 033  $MWh_e$  električne energije i 13 709  $MWh_t$  toplinske energije, a procjena godišnje potrošnje sječke iznosila bi oko 10 102 t. Iz ovoga je vidljivo da bi postrojenje s kondenzatorom proizvelo za trećinu više električne energije, ali i potrošilo za trećinu više sječke.

**Tablica 4:** Pokazatelj rentabilnosti investicijskih ulaganja (Lončar i sur., 2009.)

Parametar		Postrojenje bez kondenzatora	Postrojenje s kondenzatorom
Investicija	€	2,450.000	2,519.000
Godišnja netto zarada	€/god	370.408	409.443
Jednostavni period povrata	god	6,6	6,2
Diskontirani period povrata	god	8,68	7,91
Netto sadašnja vrijednost	€	655,440	913.705
Interna stopa povrata	%	10,6	12,1

Iz pokazatelja rentabilnosti investicijskih ulaganja vidljivo je da konfiguracija postrojenja nije presudna za financijsku atraktivnost, a znatno veći utjecaj imaju cijena sječke i cijena topline. Uz skoro podjednake investicije oba projekta će imati i podjednake interne stope povrata kao i diskontni period povrata. Ekonomski životni vijek projekta je 12 godina što odgovara trajanju ugovora o otkupu električne energije. Ugovorena otkupna cijena isporučene električne energije je 1,3064 kn/kWh, a toplinske 150 kn/MWh. Cijena sječke iznosi 45 €/t.

### 6.2.1. Kogeneracijska postrojenja na šumsku biomasu

Postrojenja koja su namijenjena za istodobnu proizvodnju toplinske i električne energije i opskrbu više zgrada ili cijelih naselja.

Električna se energija u ovakvim postrojenjima može proizvesti na više načina:

1. uz izravno izgaranje biomase
  - pomoću parne turbine
  - pomoću parnog motora
  - na osnovi organskog Rankienovog ciklusa
  - pomoću plinske turbine s neizravnim izgaranjem
  - pomoću Stirlingovog motora
2. uz izgaranje plina proizvedenog prethodnim rasplinjavanjem biomase

- pomoću plinskog motora
- pomoću plinske turbine

Toplinska energija u ovakvim postrojenjima može se proizvesti na više načina:

1. u kotlu kao kod toplana, čime se izravno koristi dio topline proizveden izgaranjem u ložištu
2. u izmjenjivaču topline kondenzacijskog sustava parne turbine
3. u izmjenjivaču topline na otpadnu toplinu

*Parnoturbinsko postrojenje* – u današnje vrijeme se najviše koristi za proizvodnju električne energije. Toplina nastala izgaranjem šumske biomase u ložištu koristi se za proizvodnju pare koja potom pokreće električni generator. Snaga ovakvih postrojenja iznosi oko 30 MW sa stupnjem djelovanja

5 – 10 % za postrojenja do 1 MW

10 – 25 % za postrojenja 1 – 5 MW

15 – 30 % za postrojenja veća od 5 MW

*Postrojenja s organskim Rankineovim ciklusom* – uz parnoturbinska postrojenja sve se češće koriste za proizvodnju električne energije. Načelo rada Rankineovog ciklusa gotovo je jednako kao kod primjene parnoturbinskog postrojenja, osim što se kod Rankineovog ciklusa ne koristi voda kao radni medij nego organski fluid koji se zagrijava termičkim uljem zagrijanim u izmjenjivaču topline. Snaga ovakvih postrojenja iznosi 200 – 3000 kW, sa stupnjem djelovanja 10 – 25 %. Prednosti postrojenja su razmjerno niža temperatura pri pretvorbi energije, razmjerno velik stupanj iskoristivosti pri manjim opterećenjima i mogućnost potpune automatizacije.

*Rasplinjavanje biomase* – je složeni proces sušenja, pirolize, oksidacije i redukcije biomase kojim se dobiva reaktorski drveni plin korišten u postrojenjima s plinskim ili parnim motorom. Stupanj djelovanja ovakvog postrojenja za proizvodnju električne energije iznosi do 30 %.

### 6.2.2. Postrojenja sa suizgaranjem biomase

Suizgaranje biomase je proces gdje se uz primarno gorivo (ugljen, otpad itd) za proizvodnju toplinske i električne energije koristi i biomasa. Da bi se suizgaranje moglo provesti potrebno je na već postojeće energetske postrojenje ugraditi sustav za miješanje primarnog goriva i šumske biomase. Primjenom ovakvoga rješenja povećava se udio obnovljivih izvora i bitno se smanjuje emisija ugljičnog dioksida. Značajan razvoj tehnologije za suizgaranje biomase omogućio je primjenu ovakve tehnologije u mnogim zemljama svijeta poput Austrije, Njemačke, Australije, Belgije, Danske, Japana itd. Suizgaranje biomase koristi se u postrojenjima koje kao primarno gorivo koriste različite vrste ugljena, a pri tome se koriste kotlovi s izgaranjem u mješovitom i vrtložnom fluidiziranom sloju te izgaranjem na rešetki. Suizgaranje šumske biomase s usitnjenim ugljenom može biti:

- izravno – izravno izgaranje biomase i ugljena u istom ložištu
- neizravno – prethodno rasplinjavanje biomase i zatim izgaranje nastalog reaktorskog drvnog plina i ugljena u istom ložištu
- paralelno – izgaranje biomase u posebnom kotlu u kojem se proizvodi para koja se potom miješa s parom koja je proizvedena u kotlu na ugljen

Da bi se biomasa mogla koristiti u postrojenjima za suizgaranje, potrebno ju je prije procesa pripremiti. Priprema biomase se sastoji od nekoliko postupaka:

- primarno usitnjavanje biomase – postupak koji se vrši da bi biomasa bila dostupna u obliku granulata, peleta, sječke ili prašine ovisno o načinu suizgaranja.
- rukovanje rasutom biomasom – postupak koji se vrši nakon usitnjavanja biomase, a obuhvaća postupke kojima se pazi na gustoću, vlagu, zastoje u prijenosu ili požar biomase.
- dugotrajno skladištenje rasute biomase – postupak skladištenja na duže vrijeme pri kojem se mora obratiti pažnja da ne dolazi do degradacije biomase ili stvaranja gljivica i ostalih problema vezanih uz dugotrajno skladištenje.

- sušenje ili djelomično sušenje biomase – priprema biomase za što kvalitetnije suizgaranje, a obavlja se na nekoliko već opisanih načina sušenja.
- sekundarno usitnjavanje biomase – postupak mljevenja biomase u mlinovima za ugljen. Biomasi je teže usitniti od ugljena zbog vlakana, ali se ona ipak uspije usitniti do te mjere da bude pogodna za miješanje. Udio biomase u ovakvim postrojenjima iznosi do 10 %, a povećani udio biomase znači veće količine za mljevenje, koja uz povećanu vlagu smanjuje radnu sposobnost strojeva za mljevenje.

Svojstva biomase razlikuju se od svojstava ugljena u udjelu vlage i pepela različitog kemijskog sastava, većem udjelu hlapivih tvari, manjem udjelu dušika, sumpora i klora te manjoj energetske gustoći. Brzina izgaranja biomase ovisi o gustoći, obliku čestica, udjelu vlage te zbog većeg udjela hlapivih tvari zbog kojih brže izgara. Zbog toga se mora obratiti velika pažnja na biomasu kako bi se proces suizgaranja mogao učinkovito odvijati. Iako je udio biomase vrlo mali potreban je sustav nadzora suizgaranja šumske biomase s ugljenom kako bi se osigurao siguran rad kotla i spriječile smetnje.

Zbog lužnatih tvari u biomasu koje isparavaju i njihove kondenzacije na stjenkama kotla može doći do korozije kotla i drugačijeg kemijski sastava pepela. Veća količina lužnatih tvari u biomasu posljedica su onečišćenja biomase zemljom ili nekih drugih onečišćenja kao što su alkalne tvari.

Suizgaranjem šumske biomase postižu se manje emisije plinova nastalih izgaranjem. Zbog malog udjela sumpora i dušika u biomasu (0,5 – 1%) smanjene su emisije  $SO_x$  i  $NO_x$ . No suizgaranje šumske biomase s ugljenom rezultira većom emisijom  $NO_x$  u odnosu na izgaranje čiste biomase, ali je ona manja u odnosu na izgaranje čistog ugljena. Pojedine vrste šumske biomase imaju povećani udio klora što može utjecati na povećanje emisija HCl pri suizgaranju s ugljenom, dok vrijednosti emisija CO i organskih polutanata ovise o kvaliteti izgaranja. Kvalitetnim suizgaranjem sprječava se njihov značajan porast u odnosu na izgaranje čistog ugljena.

Emisije plinova  $NO_x$ ,  $SO_x$  i letećeg pepela koje nastaju u energetske postrojenjima na ugljen i suizgaranju biomase i ugljena moguće je dodatno ukloniti pomoću odgovarajuće opreme koja je postala uobičajeni dio ovakvih postrojenja.



### *Smanjenje emisija NO<sub>x</sub>*

- pomoću plamenika sa smanjenim emisijama NO<sub>x</sub> – prilikom korištenja ovakvih plamenika moguće je taloženje pepela na njegovu dnu, no to se događa kada je udio biomase veći od 10%.
- pomoću dvostupanjskog izgaranja – postupak kojim se ponovno izgara ugljen s povećanim rizikom taloženja troske i ubrzane korozije dijelova ložišta, koja je kod suizgaranja dodatno ubrzana.
- pomoću katalizatora – prilikom suizgaranja biomase s ugljenom nastaju sitne neorganske čestice i lužnate tvari koje oštećuju katalizator, te zbog toga materijal katalizatora treba često mijenjati što povećava troškove.

### *Smanjenje emisija SO<sub>x</sub>*

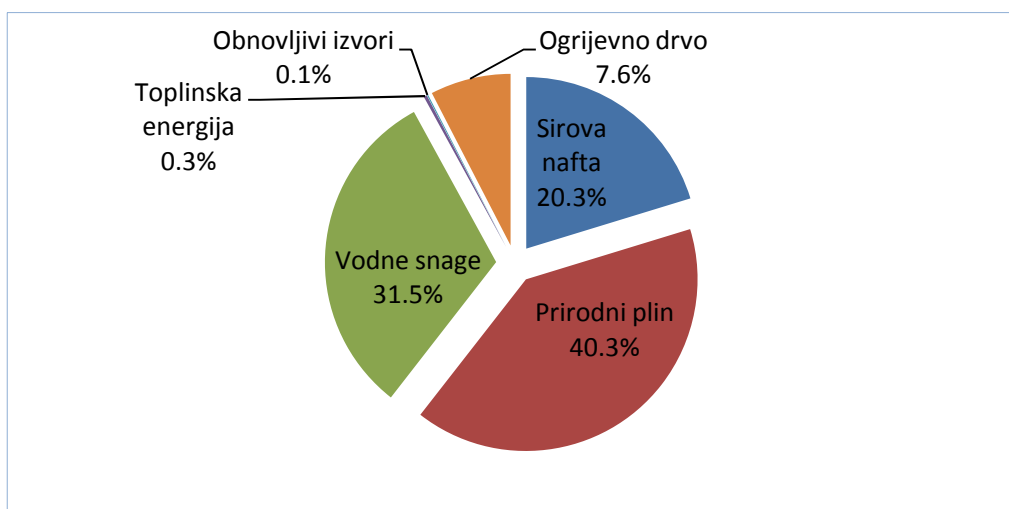
- odsumporavanje dimnih plinova postiže se pomoću vapnenca koji u reakciji sa sumporom stvara gips.

Primjer jedne ovakve termoelektrane koja je u početku bila demonstracijski projekt, a kasnije temelj za razvoja sličnih projekata u svijetu je TE Gelderland u Nizozemskoj. Riječ je o prvom projektu suizgaranja šumske biomase s ugljenom u većem energetsom postrojenju u Europi. Termoelektrana Gelderland na ugljen električne snage 635 MW nadograđena je sustavom za suizgaranje 60 000 t drvnog otpada godišnje koji se prikuplja na lokaciji termoelektrane i pretvara u drvene čestice veličine 4 mm. Sustav je pušten u pogon 1995. godine, a iako je u početku bilo problema s mljevenjem i rukovanjem, do danas uspješno radi. Suizgaranjem 60 000 t drvnog otpada zamijenjena je količina od 45 000 t ugljena godišnje uz smanjenje emisija štetnih plinova.

### 6.3. Razlozi zamjene fosilnih goriva biomasom

Energija je osnova za razvoj i napredak svake zemlje, te potreba za energijom raste. Intenzivno korištenje energije iz fosilnih goriva dovelo je do ekoloških ograničenja i potrebe za novim izvorima energije s manjim štetnim utjecajem na okoliš. Hrvatska kao buduća članica Europske unije obvezala se na smanjenje stakleničkih plinova i neposredne potrošnje energije, te povećanje udjela obnovljivih izvora energije, biogoriva i povećanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije. Osnovni zahtjevi koji su stavljeni pred nas radi očuvanja okoliša su učinkovitije korištenje energije, povećanje udjela obnovljivih izvora energije u ukupnoj strukturi potrošnje energije i opskrba energijom iz raspoloživih i dostupnih izvora potiču nas da koristimo dostupne i za okoliš manje štetne izvore energije i suvremeniju tehnologiju.

Prema podacima godišnjeg energetskeg preglednika (Energija u Hrvatskoj 2010., str 38.) za više od polovice proizvodnje primarne energije u Hrvatskoj koristi se nafta i prirodni plin, a cijene nafte i prirodnog plina svakim danom sve više rastu.



**Grafički prikaz 3:** Udjeli u proizvodnji primarne energije  
(Energija u Hrvatskoj, 2010.)

Proizvodnja nafte i prirodnog plina u Hrvatskoj se smanjuje pa je Hrvatska primorana na uvoz skupe energije. Najveći udio u uveznoj energiji otpada na sirovu naftu, derivate nafte, prirodni plin te ugljen i koks (Energija u Hrvatskoj, 2010., str 46.).

Također, ukupna potrošnja energije u Hrvatskoj otpada na tekuća goriva i prirodni plin (Energija u Hrvatskoj, 2010., str 51.). Iz svega ovoga vidljivo je da Hrvatska uvelike ovisi o fosilnim gorivima, koja su najskuplja energija, te je potrebno ostvariti opskrbu energijom iz raspoloživih i dostupnijih izvora.

Hrvatska je ratificirala CLRTAP konvenciju (engl. *Convention on Long-range Transboundary Air Pollution*; hrv. *Konvencija o prekoograničenom onečišćenju zraka na velikim udaljenostima*) i obvezala se na ograničenje emisija SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOC i NH<sub>3</sub> radi smanjenja zakiseljavanja, eutrofikacije i prizemnog ozona. Također je u pripremi novi globalni sporazum o smanjenju emisija stakleničkih plinova za post Kyoto razdoblje poslije 2012. godine. U novom sporazumu očekuje se da će Hrvatska imati obvezu smanjiti emisije stakleničkih plinova strožu nego u okviru Protokola iz Kyota.

Energiju kao osnovu za razvoj moguće je dobiti iz različitih izvora, a Hrvatska ima velikih potencijala ne samo u biomasi, već i u drugim izvorima energije. Hrvatska bi prema uzoru na razvijene zapadne zemlje, njihovo iskorištavanje ne samo biomase, već i drugih obnovljivih izvora energije, trebala sve više koristiti svoje potencijale i energiju dobivenu iz obnovljivih izvora.

## 7. Energija u Hrvatskoj

U 2010. godinu u Republici Hrvatskoj ukupna potrošnja energije povećana je za 0,8% u odnosu na prethodnu godinu, a BDP<sup>2</sup> smanjen za 1,2 %. Proizvodnja primarne energije u 2010. godini povećana je za 7,3 posto u odnosu na prethodnu, a udio proizvedene energije iz obnovljivih izvora i ogrjevnog drva povećan za 11,1 %.

U 2010. godini udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji iznosio je oko 24,2 % primjenom EIHP metodologije ili 13,3 % primjenom EUROSTAT metoda. Od ukupno proizvedene električne energije u 2010. godini od 14 105 GWh, 61 % energije proizvedeno je iz obnovljivih izvora, od čega je 58,9% proizvedeno u velikim hidroelektranama i 2,1 % proizvedeno je iz ostalih obnovljivih izvora poput malih hidroelektrana, energije vjetra, biomase, deponijski i bioplin. 45,6 % ukupne potrošnje električne energije proizvedeno je iz obnovljivih izvora, veći dio od toga proizveden je u velikim hidroelektranama (44%), a manji dio iz ostalih obnovljivih izvora (1,6%). (*Izvor: Energija u Hrvatskoj, godišnji energetske pregled, 2010.*)

Jedan od važnih čimbenika napretka i tehnološkog razvitka u Republici Hrvatskoj je energetska učinkovitost. Energetska učinkovitost potrošnje energije smanjena je s obzirom na prošlu godinu. Gledano kroz dulje razdoblje od 2005. pa do 2010. godine energetska učinkovitost potrošnje energije smanjena je u svim sektorima, a ponajviše u prometnom i industrijskom.

Ciljevi u Republici Hrvatskoj koji su postavljeni u okviru Nacionalne strategije zaštite okoliša su smanjenje emisija SO<sub>2</sub> za 61%, NMVOC za 14% i NH<sub>3</sub> za 19% do 2010. godine, dok je emisiju NO<sub>x</sub> potrebno održati ispod razine iz 1990. godine.

Emisije SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i CO<sub>2</sub> nastaju uslijed izgaranja goriva. Prema preliminarnim rezultatima za 2010. godinu emisija SO<sub>2</sub> bila je 30% manja od limita postavljenog za 2010. godinu, a emisija NO<sub>x</sub> 16% niža u okviru Strategije zaštite okoliša. Emisija CO<sub>2</sub> bila je niža za oko 5% u odnosu na prethodnu godinu, dok je u odnosu na emisiju iz 1990. godine niža za oko 10%. Emisija čestica u posljednjih par godina varira na razini oko 35 kt. Razlog smanjenja promatranih čestica u zraku rezultat je pada gospodarske aktivnosti u posljednjih par godina.

---

<sup>2</sup> Bruto domaći proizvod

**Tablica 5:** Proizvodnja primarne energije u Hrvatskoj (*Energija u Hrvatskoj*, 2010.)

Godina	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2010./09.	2005./10.
	PJ <sup>3</sup>						%	
Ogrjevno drvo	14,96	17,38	15,42	17,01	17,97	19,96	11,1	5,9
Sirova nafta	40,11	38,90	37,27	35,42	33,07	30,69	-7,2	-5,2
Prirodni plin	79,76	94,27	100,12	94,05	93,50	93,88	0,4	3,3
Vodne snage	62,40	58,18	42,21	50,19	65,77	79,71	21,2	5,0
Toplinska energija	0,61	0,64	1,01	1,25	1,48	1,71	15,4	22,8
Obnovljivi izvori	0,20	0,24	0,84	1,03	1,34	2,53	101,3	67,7
Ukupno	198,03	209,60	196,86	198,93	213,09	228,57	7,3	2,9

Proizvodnja primarne energije u razdoblju od 2005. godine do 2010. iz ogrjevnog drva zabilježila je porast od 5,9%, a iz obnovljivih izvora energije 67,7%. U budućnosti Hrvatske u proizvodnji primarne energije predviđa se smanjenje proizvodnje energije iz prirodnog plina, a ponajviše sirove nafte koje bi trebali zamijeniti obnovljivi izvori energije, te zajedno sa vodenim snagama i ogrjevnim drvetom preuzeti vodeće mjesto u proizvodnji primarne energije u Hrvatskoj.

Instalirani kapaciteti za proizvodnju toplinske i električne energije iz biomase u Hrvatskoj u 2010. godini iznosili su 513,65 MW toplinske energije i 9,37 MW električne energije. No mora se uzeti u obzir da ne postoje pouzdani statistički podaci o instaliranim snagama za biomasu. Navedeni podaci odnose se na industrijske kotlovnice na biomasu te ne sadrže toplinsku snagu malih peći za grijanje i pripremu potrošne tople vode u kućanstvima.

Proizvodnja električne energije u Hrvatskoj u 2010. godini iz biomase iznosila je 33 GWh, a ukupna proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora iznosila je 296,32 GWh. Obnovljivi izvori, bez proizvodnje velikih hidroelektrana, činili su u 2010. godini 2,1 % ukupne proizvodnje.

---

<sup>3</sup> Peta Joula

Proizvodnja toplinske energije u 2010. godini iz biomase iznosila je 15.731 TJ, a obuhvaća proizvodnju toplinske energije iz krute i plinovite biomase, industrijskih kotlovnica i energije iz ogrjevnog drva za grijanje i pripremu potrošne tople vode u kućanstvima.

**Tablica 6:** Proizvodnja krutih biogoriva u Hrvatskoj 2010. godine (*Energija u Hrvatskoj, 2010.*)

Vrsta krutog goriva	Proizvodnja
Drveni peleti	62 372 t
Drveni briketi	10 227 t
Drveni ugljen	4 319 t
Drvena sječka	76 410 t
Ogrjevno drvo	1 761 000 m <sup>3</sup>

Proizvodnja peleta u 2010. godini u Hrvatskoj odvijala se je u devet pogona ukupnog kapaciteta proizvodnje 205 000 tona godišnje, no od ukupnog kapaciteta proizvodnje iskorištena je samo jedna četvrtina. Od ukupne proizvodnje peleta u 2010. godini, veći dio od 95% plasiran je na strana tržišta, dok je ostali manji dio iskorišten na domaćem tržištu.

Proizvodni kapaciteti briketa procijenjeni su na oko 60 000 t godišnje, no njihova proizvodnja se obavlja periodično prema dostupnoj sirovini, tj. otpadu iz drvo-prerađivačke industrije, te se također većina proizvedenih briketa plasira na strana tržišta.

## **8. Poticanje primjene šumske biomase u Hrvatskoj**

Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 33/2007) donesen je na temelju članka 28. stavka 8. Zakona o energiji (NN 68/2001, 177/2004, 152/2008 i 127/2010). Njime se određuje pravo povlaštenih proizvođača električne energije iz postrojenja koja koriste obnovljive izvore i kogeneracijskih postrojenja na poticajnu cijenu koju Hrvatski operator tržišta energije plaća za isporučenu električnu energiju koja je u njima proizvedena. Tarifnim sustavom se utvrđuju tarifne stavke i visina tarifnih stavki za električnu energiju proizvedenu u takvim postrojenjima, ovisno o vrsti izvora, snazi i drugim elementima isporučene električne energije te načini i uvijeti njihove primjene. Tarifni sustav objavljen na stranicama Hrvatske regulatorne agencije donesen je na sjednici Vlade Republike Hrvatske 31. svibnja 2012. godine. Izmjena tarifnog sustava donosi se do 31. listopada tekuće godine s početkom primjene od 1. siječnja iduće godine. Njegovu primjenu nadzire Hrvatska energetska regulatorna agencija (HERA).

Poticajna cijena (Tablica 7.) prema članku 2. Tarifnog sustava određena je kao cijena koja se plaća povlaštenom proizvođaču električne energije iz postrojenja koja koriste obnovljive izvore i kogeneracijska postrojenja za vrijeme trajanja ugovora o otkupu električne energije. Pravo na poticajnu cijenu stječe proizvođač električne energije koji koristi obnovljive izvore ili kogeneraciju za proizvodnju električne energije i ima rješenje o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije i sklopljen ugovor o otkupu električne energije s Hrvatskim operatorom tržišta energije. Tarifne stavke i visine tarifnih stavki za isporučenu električnu energiju iz postrojenja koja koriste obnovljive izvore i kogeneracijskih postrojenja utvrđene su Tarifnim sustavom, a podijeljena su ovisno o tome je li njihova instalirana snaga veća ili manja od 1 MW.

**Tablica 7:** Visina tarifne stavke za isporučenu električnu energiju iz postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije (*Energija u Hrvatskoj, 2010.*)

<b>2010.</b>		
Elektrane na biomasu	kn/kWh	
	snage veće od 1 MW	snage do 1 MW
kruta biomasa iz šumarstva i poljoprivrede (granjevina, slama, koštice...)	1,1537	1,3312
kruta biomasa iz drvno-prerađivačke industrije (kora, piljevina, sječka...)	0,9208	1,0538



## 9. Zaključak

U današnje vrijeme poskupljenja energije i energenata u svijetu potrebno je okretati se dostupnim i raspoloživim izvorima energije u svrhu neovisnosti o uveznoj energiji i očuvanju okoliša. Proizvodnja energije u Hrvatskoj u današnje vrijeme uvelike ovisi o fosilnim gorivima, ponajviše o nafti i prirodnom plinu, čije su rezerve ograničene. Hrvatska kao buduća članica Europske Unije i potpisnica Kyoto protokola obavezala se na smanjenje štetnih emisija plinova i zaštitu okoliša, koje je jednim dijelom moguće ostvariti okretanju obnovljivim izvorima energije. Jedan od obnovljivih izvora energije je i biomasa, čiji je potencijal u Hrvatskoj velik.

Prema podacima Hrvatskih šuma godišnji etat, tj. količina drvene biomase koju je dopušteno iskorištavati u gospodarske svrhe, iznosi u prosjeku 5,8 milijuna m<sup>3</sup>, dok je godišnji prirast drvene zalihe 10,5 milijuna m<sup>3</sup>. Hrvatska također ima veliki potencijal u ostacima iz drvoprerađivačke industrije koji se djelomično koriste u samim postrojenjima, a ostatak uz dodatne troškove i onečišćenje okoliša uklanja iz postrojenja. Proizvodni kapaciteti za proizvodnju biomase u Hrvatskoj iznose 265 000 tona godišnje, 205 000 tona peleta i 60 000 tona briketa, koji se vrlo malo koriste. Proizvodnja briketa odvija se periodično ovisno o dostupnoj sirovini iz drvoprerađivačke industrije, dok se proizvodnih kapaciteta za proizvodnju peleta koristi samo jedna četvrtina, te se od ukupno proizvedene biomase na domaće tržište plasira vrlo mali dio, svega 5 %.

Današnja tehnologija omogućila je razvoj izvora topline na biomasu koji pružaju udobnost korištenja jednaku onoj fosilnih goriva uz velike stupnjeve iskorištenja do 0,3, te u kogeneracijskim i trigeneracijskim postrojenjima do 0,8. Današnji razvoj tehnologije za smanjenje emisija štetnih plinova i čestica te njezina upotreba u velikim energetske postrojenjima za proizvodnju toplinske i električne energije omogućila nam je korištenje šumske biomase i emisije plinova u ekološki prihvatljivim okvirima. Korištenje šumske biomase ekološki je najprihvatljivije u velikim energetske postrojenjima, no u današnje vrijeme sve skuplje energije okrećemo se jeftinijim izvorima energije i koristimo biomasu u kućanstvima i malim izvorima topline koji nisu ekološki prihvatljivi jer sve emisije plinova nastale izgaranjem odlaze u atmosferu. Administrativna politika, ishodaenje dozvola i velika početna ulaganja prepreka su u izgradnji velikih postrojenja na biomasu, ali i korištenju izvora topline u kućanstvima i sličnim objektima, pa se većim dijelom u Hrvatskoj biomasa koristi kao što se koristila i prije 50 godina u neefikasnim kaminima i pećima za zagrijavanje prostorija i pripremu hrane.

## 10. Literatura

1. BP Statistic review of the World energy 2011.  
URL:[http://www.bp.com/liveassets/bp\\_internet/globalbp/globalbp\\_uk\\_english/reports\\_and\\_publications/statistical\\_energy\\_review\\_2011/STAGING/local\\_assets/pdf/statistical\\_review\\_of\\_world\\_energy\\_full\\_report\\_2011.pdf](http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGING/local_assets/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_report_2011.pdf)
2. BP Statistic review of the World energy 2012.  
URL:[http://www.bp.com/assets/bp\\_internet/globalbp/globalbp\\_uk\\_english/reports\\_and\\_publications/statistical\\_energy\\_review\\_2011/STAGING/local\\_assets/pdf/statistical\\_review\\_of\\_world\\_energy\\_full\\_report\\_2012.pdf](http://www.bp.com/assets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGING/local_assets/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_report_2012.pdf)
3. Energy Supply, *Priručnik o obnovljivim izvorima energije*,  
URL: [http://www.ener-supply.eu/downloads/ENER\\_handbook\\_bh.pdf](http://www.ener-supply.eu/downloads/ENER_handbook_bh.pdf)
4. Energija u Hrvatskoj 2010., Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva,  
URL:<http://www.mingo.hr>
5. Labudović, B., 2012. *Osnove primjene biomase*. Zagreb: Energetika marketing.
6. Lončar, D., Krajačić, G., Vujanović, M., 2009. *Podrška developerima – primjeri najbolje prakse za kogeneraciju na drvnu biomasu*. Centar za transfer tehnologije – CTT  
URL: [http://oie.mingorp.hr/UserDocsImages/BIOCHP\\_HR.pdf](http://oie.mingorp.hr/UserDocsImages/BIOCHP_HR.pdf)
7. Šljivac, D., 2008. *Obnovljivi izvori energije: energija biomase.*, Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva,  
URL: <http://oie.mingorp.hr/UserDocsImages/OIE%20Tekst.pdf>
8. Renewable Energy Resources Project, 2009., Project No. P071464, *Podrška developerima – primjeri najbolje prakse za kogeneraciju na drvnu biomasu*.  
URL: <http://oie.mingorp.hr/default.aspx?id=19>
9. The European Wind Energy Association EWEA, *Wind in power, 2011 European Statistic.(2012)*  
URL:[http://www.ewea.org/fileadmin/ewea\\_documents/documents/publications/statistics/Stats\\_2011.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/statistics/Stats_2011.pdf)

## IZJAVA

Izjavljujem da sam diplomski rad izradio samostalno, koristeći se znanjem stečenim na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu, služeći se navedenom literaturom, uz stručnu pomoć mentora prof. dr. sc. Damira Rajkovića.

---

Petar Krhen