

Proizvodi šumske biomase

Petričević, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:149:704335>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Karlo Petričević

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, svibanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
POVJERENSTVO ZA ZAVRŠNE ISPITE

Kandidat **Karlo Petričević**

Predao je izrađen završni rad dana: 24. svibnja 2024.

Povjerenstvo u sastavu:

prof. dr. sc. Igor Sutlović, Sveučilište u Zagrebu Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije

prof. dr. sc. Emi Govorčin Bajsić, Sveučilište u Zagrebu Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije

izv. prof. dr. sc. Vladimir Dananić, Sveučilište u Zagrebu Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije

doc. dr. sc. Andrej Vidak, Sveučilište u Zagrebu Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije (zamjena)

povoljno je ocijenilo završni rad i odobrilo obranu završnog rada pred povjerenstvom u istom sastavu.

Završni ispit održat će se dana: 29. svibnja 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Karlo Petričević

PROIZVODI ŠUMSKE BIOMASE

ZAVRŠNI RAD

Mentor: prof. dr. sc. Igor Sutlović

Članovi ispitnog povjerenstva:

prof. dr. sc. Igor Sutlović

prof. dr. sc. Emi Govorčin Bajsić

izv. prof. dr. sc. Vladimir Dananić

Zagreb, svibanj 2024.

Ovaj je rad izrađen na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilišta u Zagrebu, na Zavodu za termodinamiku, strojarstvo i energetiku akademske godine 2023./2024. pod mentorstvom prof. dr. sc. Igora Sutlovića.

Zahvale

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Igoru Sutloviću na ukazanom povjerenju, potpori, prenesenom znanju i savjetima prilikom izrade ovog rada.

SAŽETAK

Svrha ovog završnog rada je pobliže opisati proizvode šumske biomase, poput peleta, briketa i sječke, njihov postupak nastanka i korist u energetske svrhe.

Proizvodi od drvene biomase obnovljivi su izvori koji imaju značajnu ulogu u globalnom gospodarstvu i okolišu. Drveni peleti, drvena sječka i briketi neki su od najpopularnijih proizvoda drvene biomase koji se koriste diljem svijeta. Drveni peleti su mali, cilindrični komadići stlačene piljevine i drugog drvnog otpada koji se koriste kao gorivo u pećima i kotlovima na pelete. Drvena sječka su mali nepravilni komadići drva dobiveni usitnjavanjem, koriste se kao gorivo u elektranama na biomasu, za malčiranje u vrtlarstvu i proizvodnju papira. Briketi nastaju zagrijavanjem drva u nedostatku kisika, čime se proizvodi gorivo koje gori na visokim temperaturama i obično se koristi za kuhanje i grijanje.

Ključne riječi: drvena biomasa, peleti, briketi, sječka, energija

ABSTRACT

The purpose of this final paper is to describe forest biomass products, such as pellets, briquettes and wood chips, their production process and their use for energy purposes.

Wood biomass products are renewable resources that play a significant role in the global economy and environment. Wood pellets, wood chips and briquettes are some of the most popular wood biomass products used around the world. Wood pellets are small, cylindrical pieces of compressed sawdust and other wood waste that are used as fuel in pellet stoves and boilers. Wood chips are small irregular pieces of wood obtained by shredding, they are used as fuel in biomass power plants, for mulching in gardening and for paper production. Briquettes are made by heating wood in the absence of oxygen, producing fuel that burns at high temperatures and is usually used for cooking and heating.

Keywords: wood biomass, pellets, briquettes, wood chips, energy

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE ŠUMSKE BIOMASE..... | 2 |
| 2.1. Šumska biomasa..... | 2 |
| 3. PELETI..... | 3 |
| 3.1. Osnovna obilježja..... | 3 |
| 3.2. Proizvodnja peleta..... | 4 |
| 3.2.1. Sušenje i homogenizacija..... | 5 |
| 3.2.2. Prešanje i hlađenje..... | 6 |
| 3.2.3. Pakiranje i skladištenje..... | 8 |
| 3.3. Kvaliteta peleta..... | 9 |
| 4. BRIKETI..... | 11 |
| 4.1. Osnovna obilježja..... | 11 |
| 4.2. Proizvodnja briketa..... | 12 |
| 4.2.1. Sušenje..... | 12 |
| 4.2.2. Briketiranje i pakiranje..... | 13 |
| 4.3. Kvaliteta briketa..... | 14 |
| 5. SJEČKA..... | 15 |
| 5.1. Osnovna obilježja..... | 15 |
| 5.2. Proizvodnja drvene sječke..... | 16 |
| 5.3. Kvaliteta drvene sječke..... | 18 |
| 6. USPOREDBA S OSTALIM ENERAGENTIMA..... | 18 |
| 6.1. Prednosti korištenja biomase..... | 18 |
| 6.2. Nedostatci korištenja biomase..... | 20 |
| 7. BIOMASA U HRVATSKOJ..... | 21 |
| 7.1. Potrošnja energije biomase..... | 21 |
| 7.2. Proizvodnja biomase..... | 22 |
| 8. ISPLATIVOST KORIŠTENJA BIOMASE..... | 24 |
| 9. ZAKLJUČAK..... | 26 |
| 10. LITERATURA..... | 27 |

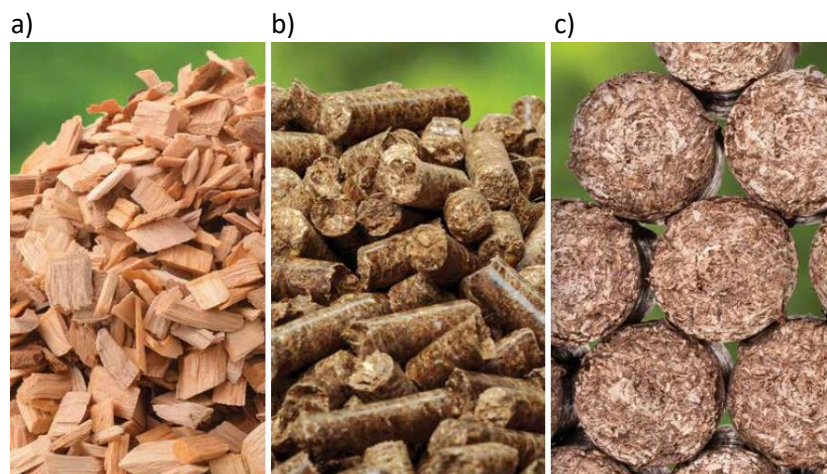
1. UVOD

U potrazi za održivim izvorima energije, drveni peleti, briketi i sječka pojavili su se kao svestrane alternative, nudeći brojne ekološke i ekonomske prednosti. Ovi proizvodi od biomase postali su popularni kao održiva zamjena za tradicionalna fosilna goriva, pridonoseći globalnoj tranziciji prema čistim energetske sustavima. Drveni peleti, koji se obično proizvode od zbijene piljevine, nude visoku energetske gustoću i ujednačenost, što ih čini idealnim za grijanje stambenih objekata i industrijske primjee. Briketi se, s druge strane, formiraju kompresijom materijala biomase, poput drvne sječke ili poljoprivrednih ostataka, u guste blokove. Ovaj proces povećava njihovu učinkovitost izgaranja i mogućnost skladištenja, olakšavajući njihovu upotrebu u pećima i kotlovima za grijanje. Drvna sječka, dobivena usitnjavanjem cjepanica ili otpada, pruža svestranu opciju goriva prikladnu za proizvodnju energije velikih razmjera u elektranama na biomasu. Drvni peleti, briketi i sječka imaju mnogo potencijala kao obnovljivi izvor energije u kućanstvima. Kako se domaći proizvodni kapaciteti povećavaju, a opskrbeni lanci sazrijevaju, pristupačnost ovih goriva iz biomase se poboljšava, potičući energetske sigurnost i poboljšanje ekonomičnosti. ^{1,2}

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE ŠUMSKE BIOMASE

2.1. Šumska biomasa

Biomasa je najstariji izvor energije koji je čovjek koristio i predstavlja skupni pojam za brojne, najrazličitije proizvode biljnog i životinjskog svijeta. Biomasa je biorazgradivi dio proizvoda, otpada i ostataka proizvedenih u poljoprivredi (uključujući tvari biljnoga i životinjskoga podrijetla), u šumarstvu i srodnim industrijama, kao i biorazgradivi dio industrijskoga i komunalnoga otpada. Može se podijeliti na energetske biljke i ostatke ili otpad. Energetske biljke mogu biti brzorastuće drveće, višegodišnje trave ili alge, dok ostaci uključuju poljoprivredni, šumski i industrijski otpad koji se koristi za proizvodnju toplinske i električne energije te prerađuje u bioplin i tekuća biogoriva. Obnovljivi je izvor energije koji uključuje ogrjevno drvo, koru, drvni otpad iz drvne industrije, drvni otpad iz šumarstva (drvnu sječku), prešani drvni ostatak i piljevinu (peleti), komprimirane materijale od biomase (briketi).^{2,3}



Slika 1. Primjer a) drvna sječka, b) drvni peleti i c) briketi.³

Biomasa je obnovljivi izvor energije, jer svi živi organizmi, u ovom slučaju biljke, mogu ponovno narasti kroz određeni period. Za drvnu biomasu je potrebno oko 10 do 15 godina. Održivim korištenjem resursa biomase može se postići kontinuirana eksploatacija, u smislu da se količina biomase koja se koristi prilagodi količini biomase koja se obnovi u istom periodu.³

3. PELETI

3.1. Osnovna obilježja

Drveni pelet je vrsta krutog goriva koje se proizvodi u energetske svrhe. Zamišljen kao homogeno i lako za korištenje kruto biogorivo, u proizvodnji se koristi proces kompaktiranja, odnosno peletiranja prešanjem mljevenog drva. Peletizacija je proces ekstruzije koji se temelji na podvrgavanju fine suhe biomase visokom tlaku i povišenoj temperaturi, istiskivanju kroz male rupice i prešanju malih cilindara na željenu duljinu. Drveni pelet karakterizira granularni oblik promjera 6-8 mm i duljine do 40 mm.³ U usporedbi s biomasom od drvene sječke, peleti imaju mnogo veću energetske gustoću po jedinici mase i volumena. Peleti su povoljniji u pogledu skladištenja, rukovanja i transporta te su homogeniji u pogledu fizičkih i kemijskih svojstava. Dok se drvena sječka može preferirati u malim objektima, drvene pelete lakše je koristiti u većim postrojenjima, te u trgovini i transportu na velikim udaljenostima.³

Tablica 1. Osnovne karakteristike peleta.⁴

| | |
|-------------------------------|--------------------------------|
| gustoća | ≈650 kg/m ³ |
| promjer: | ≈6mm |
| dužina | do 30 mm |
| sadržaj vode | do 10% |
| udio drvene prašine | 1 % (javlja se kod transporta) |
| d. topl. vrijednost | ≈5 kWh/kg (18000kJ/kg) |
| ostatak pepela nakon gorenja: | 0,5% |

Peleti mogu pokazati značajna odstupanja u pogledu svoje kvalitete. Proces sušenja biomase, njegova duljina, vlažnost materijala, homogenost, te podrijetlo i vrsta sirovina za proizvodnju peleta, izravno određuju kaloričnu vrijednost konačnog proizvoda.⁵

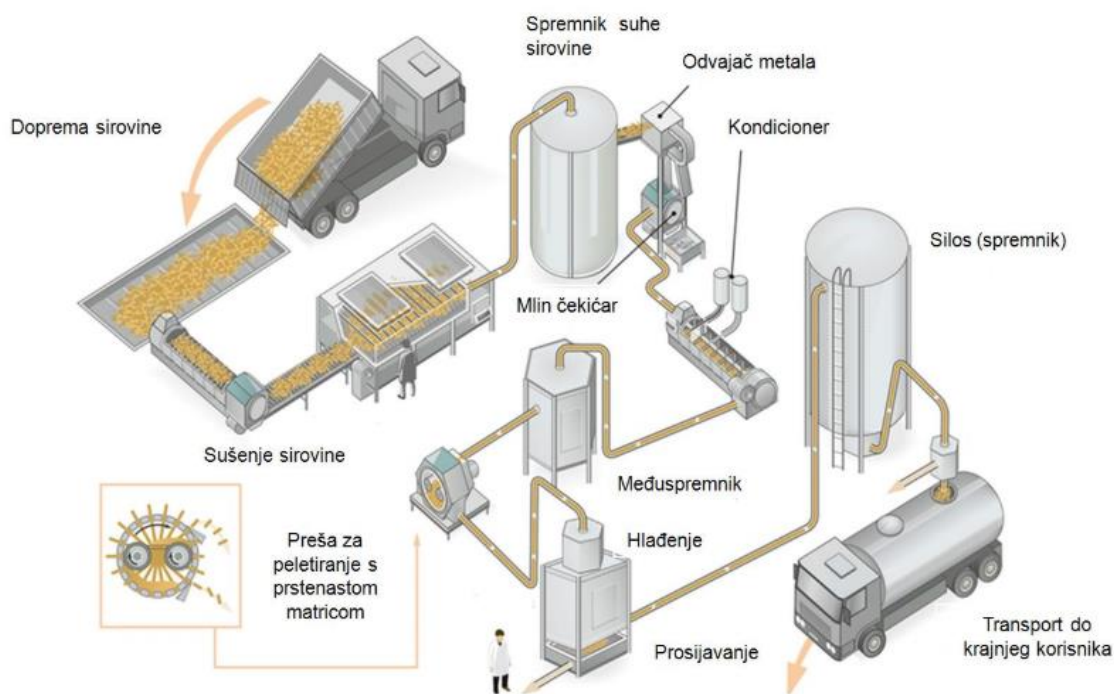
Svojstva biomase (kemijski sastav, vrsta i sadržaj ekstrakata, sadržaj lignina, sadržaj vode, veličina čestica, starost sirovine), uvjeti procesa peletiranja, te eventualni dodaci, utječu na boju dobivenih peleta. Također postoji korelacija između boje peleta i njihove kvalitete; svjetliji uzorci postižu bolje rezultate u smislu mehaničke izdržljivosti, nasipne gustoće i toplinske vrijednosti.⁶

Švedska, Njemačka, Austrija i Latvija glavne su zemlje koje proizvode granule/pelete u Europskoj uniji.⁷

3.2. Proizvodnja peleta

Drveni peleti obično se proizvode od čiste piljevine crnogorice i strugotine blanje. Drvo mora biti oguljeno prije prolaska kroz pilanu. Piljevina tvrdog drva može se miješati s mekim drvetom, ali uspješna proizvodnja peleta od tvrdog drva bez veziva je teža. Ako je moguće, suha piljevina i strugotine (manje od 15% vlage) koriste se jer se tada korak sušenja može preskočiti. Ako je piljevina mokra, prije prešanja peleta potreban je proces sušenja. Ponekad se tijekom postupka doda mala količina drvne sječke tijekom procesa sušenja za povećanje količine sirovine; ovo je zatim usitnjeno u mlinu čekićaru.⁸

Koraci proizvodnje: prijem piljevine, sušenje, ekranizacija, homogenizacija, prešanje, hlađenje, pakiranje i skladištenje.⁸



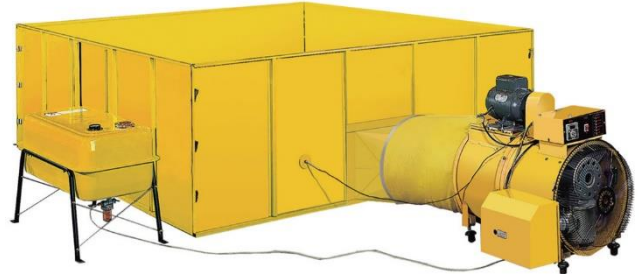
Slika 2. Shematski prikaz postupka proizvodnje drvnih peleta.³

3.2.1. Sušenje i homogenizacija

Mokru piljevinu potrebno je osušiti prije mljevenja čekićem jer mokra piljevina zahtijeva mnogo više energije za smanjenje veličine čestica nego kada je suha. Sušenje se može obaviti u bubanj sušionici, tzv. Flash sušionici koja radi na visokim temperaturama, ili na ravnoj sušnici koja radi na relativno niskoj temperaturi. Prva opcija je prikladnija za fini materijal, dok je za grubi materijal potrebna niža temperatura. Dakle, ako će se umiješati sječka, poželjna je ravna sušara. Toplina za sušenje može se osigurati bilo kojom vrstom goriva, npr. plina, nafte ili čak biomase. Kotao na biomasu mogao bi koristiti koru, drvenu sječku, drugi drveni otpad koji nije prikladan za proizvodnju peleta.⁸



Slika 3. Bubanj sušionica.⁹

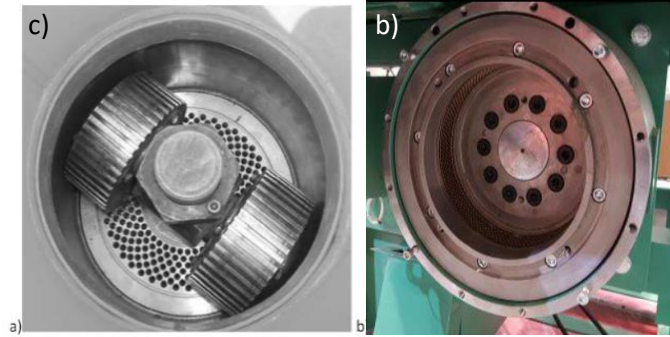


Slika 4. Ravna sušionica.⁹

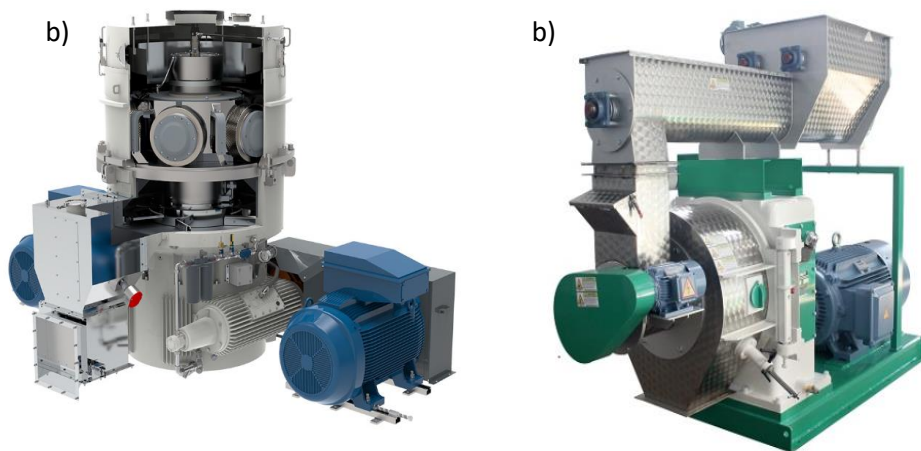
Homogeniziranje piljevine u sirovinu jednake veličine za preše za pelete odvija se u mlinu čekićaru. Ovdje se usitnjavaju mali komadići drva, mrtve kvrge itd. kako bi mogli proći kroz matricu preše. Ovdje je također završeno miješanje materijala. Mlin čekićar treba biti opremljen ventilacijskim otvorom na vanjskoj strani zgrade. Ako dođe do eksplozije prašine, membrana u otvoru za evakuaciju će se ispuhati i ventilirati dio tlaka prema van zgrade. Opet, mlin čekićar neće nužno imati isti kapacitet kao preše, tako da treba postojati međuskladište materijala mljevenog čekićarom.⁷

3.2.2. Prešanje i hlađenje

Mnoge preše trebaju zagrijati piljevinu na 120-130°C pomoću suhe pare. Toplina čini da lignin u drvu postaje plastičniji što pomaže pri lijepljenju čestica.⁷ Piljevina se istiskuje kroz matricu, a peleti se odsijecaju s vanjske strane matrice. Peletiranje se može provoditi prešama s ravnom ili prstenastom matricom. Kod preša s ravnom matricom sirovina se dodaje na matricu i jednoliko raspoređuje po površini, pokretni valjci smješteni iznad matrice potiskuju materijal, te ga usmjeravaju kroz otvore matrice kroz konično upuštenje prema dolje. Drugi način je preša s prstenastom matricom koja se sastoji od rotirajuće matrice i stacionarnih valjaka koji potiskuju materijal kroz cilindrične otvore, od unutarnjeg oboda matrice prema van. Preše obično rade preko noći, jer matrica i cijeli stroj najbolje rade na povišenoj temperaturi. Mnoge tvornice peleta rade neprekidno od ponedjeljka ujutro do petka poslijepodne. Ovo je još jedan razlog za međuskladištenje nakon sušenja i mljevenja čekićem, jer u suprotnom preša može ostati bez sirovina ako je u neprekidnom radu do pet dana.⁸



Slika 5. Konstrukcijske izvedbe preša za peletiranje
 a) preša s ravnom matricom; b) preša s prstenastom matricom. ⁹

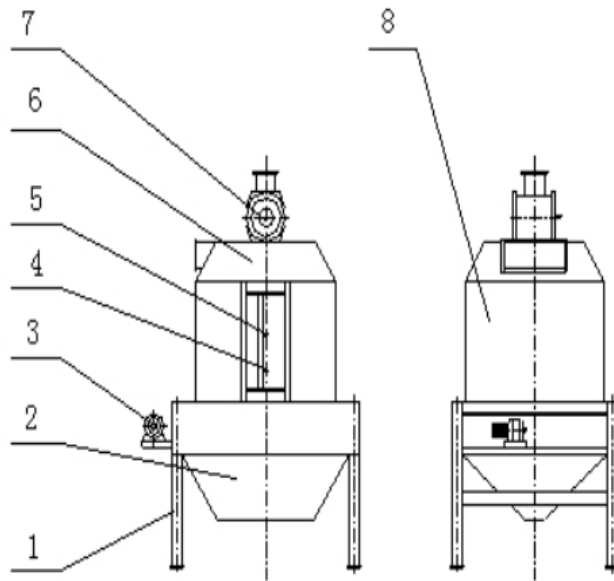


Slika 6. Prikaz a) preša s ravnom matricom b) preša s prstenastom matricom. ⁹

Nakon što peleti napuste prešu, plastični su i vrući. Tijekom hlađenja peleti postaju kruti i gube vlagu, tako da konačna vlažnost nakon hladnjaka može biti čak 6%. Oni će preuzeti vlagu iz okolnog zraka i stabilizirati se na sadržaju između 8 i 10%. Nakon hlađenja peleti se transportiraju pokretnom trakom u skladište gdje se kondicioniraju. ⁸

1. okvir
2. posuda za agregat
3. reduktor
4. donji indikator razine

5. gornji indikator razine
6. stroj za zračno brtvljenje
7. inducirani poklopac
8. rashladna komora



Slika 7. Struktura sustava hlađenja peleta.⁹

3.2.3. Pakiranje i skladištenje

Ako su peleti namijenjeni domaćem tržištu, mnogi ih kupci kupuju u vrećama. Ove vreće obično dolaze u veličinama od 12, 15 ili 20 kg. Također je moguće slati pelete u vrećama od jedne tone ili u rasutom stanju. Male vreće su ipak bolji jamac kvalitete jer su peleti manje podložni abraziji tijekom isporuke. Peleti koji se isporučuju u rasutom stanju mogu se transportirati kamionom, istovariti na prijemnom kraju, ili se transportirati vakuumskim vozilom koje usisava pelete u tvornici i upuhuje ih u silos na prijemnom kraju. Ovi kamioni

također su opremljeni ćelijama za vaganje kako bi mogli izmjeriti točnu količinu koja se isporučuje. Kao što je navedeno, peleti se lako raspadaju nakon što se smoče, stoga je vrlo važno da je zgrada vodonepropusna, kako ne bi došlo do kiše ili kondenzacije. ⁶



Slika 8. Načini pakiranja i transporta peleta; a) vreća od 15kg, b) paleta od 1 tone, c) vakuumskim vozilom.

3.3. Kvaliteta peleta

Kvaliteta peleta u Europskoj Uniji izražava se certifikatom *ENplus* koji razvrstava pelet u različite kategorije kvalitete i cijene. *ENplus* norma jedina je priznata i kvalificirana službena norma u Europskoj Uniji, i ona je dokaz i garancija kvalitete peleta, a grupirana je u klase A1, A2 i B. Klasa peleta A1 i A2 namijenjena je kao energent za grijanje objekata, dok je B klasa namijenjena za industrijsku uporabu.



Slika 9. Prikaz različitih certifikata kvalitete peleta.¹⁰

Najvažniji razlikovni faktor među navedenim certifikatima je udio pepela u peletu, koji prilikom sagorijevanja peleta ostaje u peći, uzrokujući pritom smanjenje proizvodnje toplinske energije i povećanje troškova održavanja toplinskih postrojenja potrošača. Pelet koji na vrećama sadrži logo *ENplus* zadovoljava stroge kriterije kvalitete.¹⁰

Tablica 2. Podatci o različitim udjelima pepela u određenoj klasi.¹⁰

| Svojstvo | Mjerna jedinica | ENplus-A1 | ENplus-A2 | ENplus-B |
|-------------|-----------------|-----------|-----------|----------|
| Udio pepela | w-% | <0.7 | <1.2 | <2.0 |

Tablica 3. Cijena pakiranja od 15kg peleta u raznim trgovinama Hrvatske.

| | ENplus-A1 | ENplus-A2 |
|---------------------|-----------|-----------|
| Pe vex | 5,99 € | 4,99 € |
| Pelet Centar Rijeka | 4,29 € | 3,79 € |
| Bazzar | 5,38 € | 4,28 € |
| Energy pellets | 5,99 € | 4,99 € |
| Bauhaus | 4,59 € | 3,99 € |

4. BRIKETI

4.1. Osnovna obilježja

Briketi od biomase su zamjena za biogorivo ugljenu i drvenom ugljenu. Geometrijski pravilni komadi prešane usitnjene drvne sirovine. Briketi se izgaraju zajedno s ugljenom kako bi se stvorila toplina koja se dovodi u kotao. Za razliku od ostalih proizvoda iste namijene ima izvrsnu moć zagrijavanja i toplinu unutar peći zadržava iznimno dugo. Zbog svojih prirodnih karakteristika i zahvaljujući svojoj visokoj gustoći i niskom sadržaju vlage, sagorijevaju mnogo sporije i uz manje dima od primjerice drva. Briketi se izrađuju postupkom briketiranja. Briketiranje biomase može se definirati kao zgušnjavanje ili zbijanje materijala biomase primjenom tlaka. Mehaničke prednosti briketiranja su povećana nasipna gustoća materijala, što transport čini lakšim i jeftinijim; povećava se sadržaj energije po jedinici volumena materijala, homogen proizvod se dobiva iz često heterogene mješavine materijala. ^{11,12}

Tablica 4. Usporedba svojstava briketa s ogrijevnom drvom i smeđim ugljenom. ⁴

| svojstva | drveni briket | ogrijevno drvo | smeđi ugljen |
|-------------------------|---------------|-----------------------|----------------------|
| oblik i mjere | ø 90 mm | - | - |
| sadržaj vlage | oko 10% | 10 - 20% | 12 - 60% |
| sadržaj pepela | 0,35% | < 0,5% | 2 - 10% |
| sadržaj sumpora | ø | ø | 2% |
| gornja topl. vrijednost | 17.600 kJ/kg | - | - |
| donja topl.vrijednost | 16.500 kJ/kg | 14.700 - 16.700 kJ/kg | 8.400 - 20.100 kJ/kg |

Održava se ujednačena količina energije po jedinici sirovine za izgaranje i dobiva se visoko kohezivni proizvod od materijala koji bi inače bili teški ili skupi za obradu. Korištenje briketa ima ekološku prednost jer sadržaj sumpora je u tragovima, a nastali pepeo može poslužiti kao mineralno gnojivo.¹²

Problem kod briketa predstavlja njihovo skladištenje i distribucija, većinom je pakiran u vrećama od 5,10 do 20kg, a najveći problem je punjenje peći jer postupak nije moguće automatizirati. Zbog nemogućnosti automatizacije i nema razlike u načinu upotrebe u odnosu na kratko cijepano ogrjevno drvo u kućanstvima.¹³



Slika 10. Usporedni prikaz cilindričnih briketa i kratko cijepanog drva za ogrjev.

4.2. Proces proizvodnje briketa

4.2.1. Sušenje

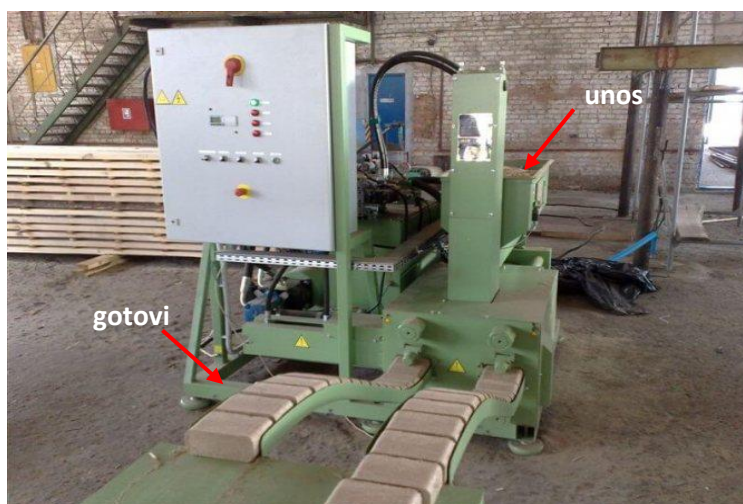
Kako bi se biomasa mogla pretvoriti u trajnu i čvrstu formu potrebno je osigurati da sadržaj vlage bude od 12 do 18 posto. Radi toga sirovinu treba sušiti, sušenje ne treba obavljati u standardnim sušarama gdje je potrošnja klasičnih goriva visoka, jer bi se tako uništila svrha korištenja biomase kao goriva. Sušenje se treba odvijati prirodnim putem u skladištu na prirodnom propuhu ili u ekstremnom slučaju kada je biomasa mokra u ventilatorskim sušilicama s okolnim zrakom.^{13,14}



Slika 11. Sušenje usitnjene biomase na prirodnom propuhu.

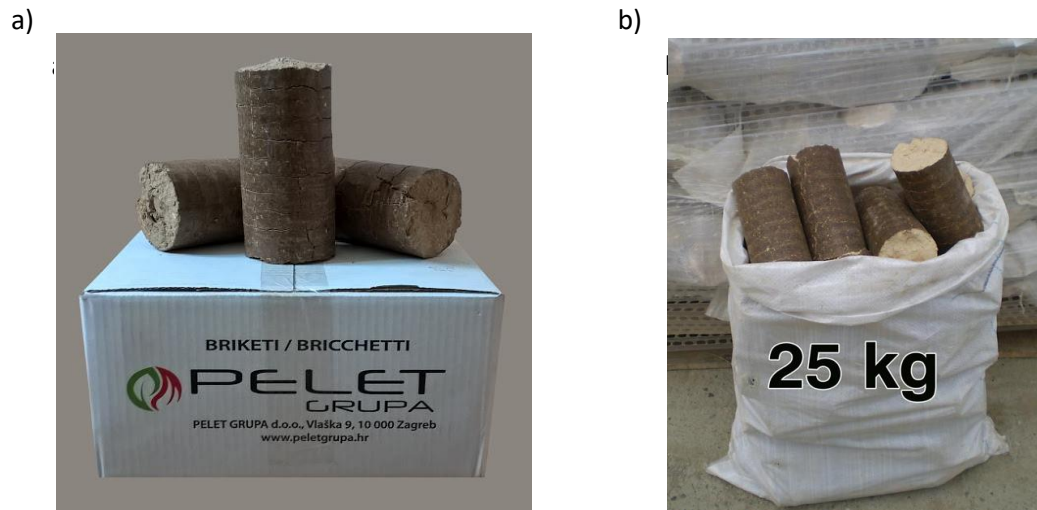
4.2.2. Briketiranje i pakiranje

Tehnološki postupak briketiranja temelji se na prešanju sitnih čestica lignoceluloznog materijala na visokom tlaku od 150 do 200 bara koji pretvara biomasu u kompaktne brikete. Zbog djelovanja visokog tlaka na biomasu dolazi do trenja čestica što izaziva povišenu temperaturu materijala do 90 Celzijusevih stupnjeva. Zbog povišenja temperature dolazi do deformacija materijala i njegovog povezivanja bez vezivnog sredstva.¹⁵



Slika 12. Proces briketiranja od usitnjene drvene biomase.¹⁷

Briketi se obično pakiraju u kartonske kutije po 5 ili 10 kg ili PVC vreće od 25 do 40 kg. Pakiranje i zaštita briketa je neophodno zbog izrazite higroskopnosti sirovine.¹⁶



Slika 13. Pakiranje briketa a) kutija od 10kg b) PVC vreća od 25 kg.

4.3. Kvaliteta briketa

Kvaliteta briketa jedan je od najvažnijih faktora koji utječu na gorenje briketa. Kalorijska vrijednost briketa i otpornost na vlagu izravno utječu na gorenje briketa. Što je veća kalorijska vrijednost, lakše će i bolje izgorjeti. Kalorijska vrijednost neke biomase prikazana je u oblicima gustoće briketa i njegove otpornosti na vlagu. Briketi velike gustoće obično gore duže i oslobađaju više topline. Na gustoću briketa značajno utječe veličina čestica sirovine i sadržaj vlage. Voda u sirovini ometat će kompresiju briketa, a formirani isparivač vode zbog visoke temperature stvorit će šupljine i smanjiti prividnu gustoću. Briketi će se oštetiti kada budu izloženi vlazi jer su lignin i većina dodanih veziva topljivi u vodi. Optimalni sadržaj vlage je oko 10 – 18 %. Kada je sadržaj vlage niži od 10% ili viši od 18%, čestice sirovine nisu konzistentne i briket je sklon raspadanju na komade. Tijekom izgaranja, ako se briketi prebrzo raspadnu, labave čestice će ostati neizgorene u kotlu ili će blokirati protok zraka.¹⁸

Briketi od piljevine su se tijekom vremena razvili u dvije različite vrste: oni s rupama u sredini i oni koji su čvrsti. Obje vrste klasificiraju se kao briketi, ali se oblikuju različitim tehnikama.

Čvrsti briket se proizvodi pomoću klipne preše koja komprimira zajedno spojene slojeve piljevine. Briketi s rupom proizvode se pužnom prešom. Rupa je od navoja vijka koji prolazi kroz središte, ali također povećava površinu cjepanice i pomaže učinkovito sagorijevanje.¹⁷



Slika 14. Usporedba briketa; a) briket bez rupe, b) briket s rupom.

5. SJEČKA

5.1. Osnovna obilježja

Drvena sječka je drvena biomasa usitnjena na komade definirane veličine čestica, proizvedena mehaničkim postupkom ostrim sječivom. Prosječne je veličine 3-5 cm² i udio vlage koji je poželjan oko 35 %. Drvena sječka se sprema u spremišta i izgaranjem u plameniku ili kotlu može grijati vodu centralnog grijanja. Ovakvi su kotlovi idealno rješenje za veće centralne kotlovnice blokovskih naselja gdje se na jednom mjestu vrši dovoz, skladištenje i korištenje drvene sječke. Ima široku primjenu i prednost u odnosu na bilo koji drugi oblik drvene biomase. Drvena sječka je učinkovito gorivo, lako dostupno i prilično pristupačno jer je proces njene proizvodnje jeftiniji u usporedbi s drugim suvremenim biogorivima. Koristi se u većim postrojenjima za proizvodnju toplinske i električne energije u kogeneraciji (istovremena proizvodnja električne i toplinske energije).¹⁴ Drvena sječka predstavlja jedan od najekonomičnijih izvora energije. Ima niz prednosti u usporedbi s drugim biogorivima, može se dobiti iz neselekcioniranih drvnih ostataka u šumarstvu i industriji.³



Slika 15. Različite dimenzije drvene sječke. ⁴

5.2. Proizvodnja drvene sječke

Sustav za proizvodnju je složen, a sastoji se od sječe, iveranja, izrade i transporta dobivenog energenta iz šume do energane. Proizvodnja se obično organizira prema radnoj operaciji iveranja, mjesto iveranja određuje hoće li ostali strojevi moći raditi neovisno o samom iveraču. Mjesto može biti u šumi, na šumskoj cesti, pomoćnom stovarištu ili kod energane. Biomasa može biti transportirana u obliku šumskog ostatka, oblog drva, sabijenih svežnjeva i u obliku drvene sječke. ¹⁵



Slika 16. Prikaz načina rada iverača. ¹⁴

Najčešće se drvena sječka proizvodi na šumskoj cesti I nakon proizvodnje se preveze do energane. Najveći problem takvog načina proizvodnje je povećani nagib terena što stvara ograničen prostor na raspolaganju šumskim cestama. Drvena sječka trebala bi se utovarati u kamion izravno s iverača radi najefikasnije izvedbe proizvodnje, ali problem predstavlja širina šumske ceste. Radni se procesi mogu razdvojiti gdje će strojevi postati neovisni jedan o drugome, ali će se povećati trošak proizvodnje. Iveranje u energani čini proces iveranja i transporta neovisnima, pri čemu se biomasa transportira u obliku šumskog ostatka ili cijelih stabala. Nedostatak iveranja kod energane je potreba za velikim skladišnim prostorom biomase i potreba za skladišnim prostorom za pohranu drvene sječke.^{15,16}



Slika 17. Prikaz iveranja i izravnog utovara na šumskoj cesti.¹⁴



Slika 18. Prikaz iveranja u posebnom skladištu.¹⁴

5.3. Kvaliteta drvene sječke

Većina značajki joj je zadana i ograničava mogućnost poboljšanja kvalitete tijekom proizvodnje. To se odnosi na kemijski sastav drvene biomase, koji zbog većeg udjela vodika i kisika naspram ugljika rezultira manjom kaloričnom vrijednošću u usporedbi s fosilnim gorivima. Posebna pažnja mora se posvetiti u lancu dobave u kojemu se rukuje šumskim biogorivom i smanjenju kontakta s onečišćujućim anorganskim tvarima kako bi se udio pepela održao na nivou što bližem izvornom.¹⁶ Sječkom koja sadrži visoke udjele zelenog dijela drva, vlažnom sječkom i drvima koje dolazi direktno iz šume mogu se opskrbljivati veća industrijska postrojenja, u kojima se koristi za proizvodnju električne i toplinske energije. U velikim postrojenjima sa specijalizirano izrađenim kotlovima, može se koristiti drvena sječka s velikim udjelom vode i tu njezina prednost dolazi do izražaja. Izradom drvene sječke omogućeno je veće iskorištenje drvene biomase koja zbog svojih značajki nije dovoljno kvalitetna ili odgovarajuća za proizvodnju drugih drvnih produkata i inače ostaje neiskorištena na šumskom tlu. Kod malih postrojenja udio vode u drvu mora se smanjiti na vrijednost manju od 30 %, inače dolazi do zagušenja sustava i stvaranja čađe, zbog toga se sječka za manja postrojenja mora skladištiti i sušiti.¹⁵

Svakoj je drvnoj sječki nužno odrediti porijeklo, granulometrijsku strukturu, maseni udio pepela i vode. Maseni udio dušika i klora nužno je navesti ako je sječka proizvedena od prethodno kemijski tretirane biomase, a za ostale se sirovine može navesti informativno.¹⁶

6. USPOREDBA S OSTALIM ENERAGENTIMA

6.1. Prednosti korištenja biomase

Što većim korištenjem materijala biomase smanjuje se zaliha organske tvari. Zato je najvažnija prednost kod korištenja biomase što se može regenerirati unutar perioda jednog ljudskog života što ju i čini obnovljivim izvorom energije. Ophodnja se definira kao vrijeme od podizanja

nekog nasada do sječe, a ovisna je o konačnom korištenju i ekonomičnosti. Ophodnje se kreću oko brojke od 6 godina za drvo za ogrjev. Nasadi brzorastućih vrsta drveća umjetno su podignute šume nastale na površinama koji dulje vremena nisu bile pod šumom i na tlima koja su izgubila značajke šumskih tala. Najviše šumskih nasada osniva se za industrijsku namjenu (48%), za neindustrijsku namjenu 26% i nespecificiranu manjenu 26%. Neindustrijski nasadi imaju za cilj proizvodnju ogrjevnog drveta (cjepanica, drvne sječe, peleta, briketa...).¹⁹

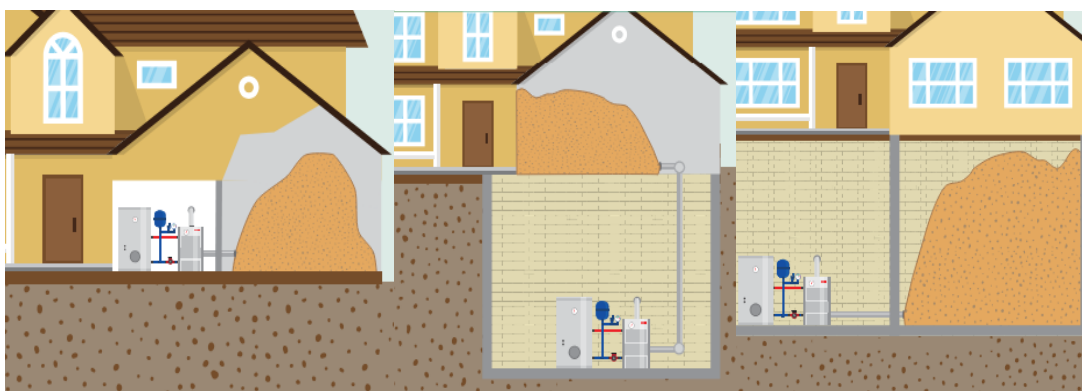
Biomasa je pouzdan resurs koji u svakom trenutku može proizvesti energiju. To je prednost u odnosu na druge obnovljive izvore energije, poput energije vjetra i sunca, koji nisu konstantni izvori energije. Elektrane na bioenergiju, s druge strane, mogu se uključiti i isključiti u bilo kojem trenutku kako bi zadovoljile potražnju za energijom. Sve dok ima materijala biomase, električna energija se može proizvoditi.³ Emisije ugljičnog dioksida pokretačke su snage klimatskih promjena. Biomasa se smatra ugljično neutralnim izvorom energije jer se uklapa u prirodni ciklus ugljika, što tradicionalna fosilna goriva ne čine. Postoji ugljični dioksid koji se ispušta u atmosferu kada se proizvodi energija iz biomase. Ali ta se količina ugljičnog dioksida u konačnici drastično smanjuje jer su biljke apsorbirale ugljični dioksid tijekom svog životnog ciklusa. Dakle, kada se biomasa spaljuje, ne ispušta 'nove' emisije ugljika u atmosferu. Zatim, kada nove biljke rastu, apsorbiraju ugljični dioksid natrag iz atmosfere i ponovno ulaze u ciklus.¹⁹



Slika 19. Energetski nasad vrbe.¹⁹

6.2. Nedostaci korištenja biomase

Elektrane na biomasu trebaju dosta prostora, uglavnom zbog potrebe za skladišnim prostorom. To ograničava gdje se mogu graditi elektrane na biomasu. Neka postrojenja na biomasu također uzgajaju vlastiti organski materijal. Ove plantaže mogu trebati mnogo prostora da bi mogle uzgajati usjeve ili male šume. Drugi izvori obnovljive energije poput energije vjetra i sunca nemaju potrebu za tolikim prostorom za proizvodnju i skladištenjem poput elektrane na biomasu.¹⁹



Slika 20. Primjeri položaja kotlovnice i energenata; a) Skladištenje u prostoru pored kotlovnice, b) Skladište iznad kotla - gorivo "pada" u kotao, c) Položaj i skladištenje u postojeći podrum.³

Također pri korištenju u malim kućanstvima potrebna je veća količina prostora za skladištenje drvnih peleta, briketa i sječke nego pri korištenju električne energije za grijanje. Nabavka biomase i njeno skladištenje zahtijevaju prostor koji mora zadovoljavati tehničke propise u pogledu rada i sigurnosti samog sistema.³

Spaljivanjem drva i drugih goriva iz biomase oslobađaju se mnogi drugi staklenički plinovi, ponajviše dušikovi oksidi, ugljični monoksid i metan. Plin metan značajno pridonosi onečišćenju zraka i klimatskim promjenama, budući da zadržava oko 30 puta više topline od ugljičnog dioksida. Postrojenja na biomasu zahtijevaju sve više materijala, što može potaknuti monokulture usjeva, što smanjuje biološku raznolikost i lišava tla hranjivih tvari, čineći područja osjetljivijima na eroziju. Neka postrojenja na biomasu oslanjaju se na alge, kojima su potrebne velike količine fosfornih gnojiva kako bi proizvele količine potrebne za proizvodnju

energije. Pretjerana uporaba gnojiva može uzrokovati ozbiljnu štetu lokalnim vodotocima i divljim životinjama, posebice pticama.

7. BIOMASA U HRVATSKOJ

7.1. Potrošnja energije u Hrvatskoj

Usporedit će se korištenje raznih načina dobivanja i potrošnje energije prema izvještaju „Energija u Hrvatskoj 2022.“ Energetskog Instituta Hrvoje Požar. Tijekom razdoblja od 2017. do 2022. godine ukupna potrošnja energije smanjivala se s prosječnom godišnjom stopom od 1,0 posto. U tom razdoblju ostvaren je trend smanjenja potrošnje tekućih goriva, prirodnog plina i električne energije. Potrošnja energije iz ugljena i koksa, vodnih snaga, drva i biomase, obnovljivih izvora te neobnovljivog otpada se povećala. Na slici prikazani su ostvareni udjeli pojedinih energenata u ukupnoj potrošnji energije, najveći udio u ukupnoj potrošnji energije u Hrvatskoj ostvarila su tekuća goriva. Njihov udio iznosio je oko 39,0 posto i u 2017. i u 2022. godini. Udio drva i biomase u ukupnoj potrošnji je u malom porastu od 2017. godine, gdje je s vrijednosti od 14,0 posto dosegao 16,0 posto u 2022. godini.

Tablica 5. Ukupna potrošnja energije od 2017. do 2022. Godine. ²⁰

| | 2017. | 2018. | 2019. | 2020. | 2021. | 2022. |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | TJ | | | | | |
| Ugljen i koks / Coal and coke | 16.426,24 | 15.293,67 | 17.639,84 | 15.122,36 | 17.389,25 | 17.026,60 |
| Tekuća goriva / Liquid fuels | 145.558,51 | 140.304,19 | 137.078,89 | 116.638,94 | 123.582,73 | 137.873,81 |
| Prirodni plin / Natural gas | 104.388,01 | 95.970,12 | 100.733,12 | 105.725,14 | 101.706,50 | 89.298,41 |
| Vodne snage / Hydro power | 19.106,64 | 27.723,24 | 20.973,96 | 20.384,64 | 25.659,72 | 19.654,92 |
| Drvo i biomasa / Biomass | 51.973,20 | 52.720,53 | 53.622,68 | 54.943,72 | 60.173,88 | 57.646,29 |
| Obnovljivi izvori / Renewables | 8.896,80 | 10.973,86 | 14.847,38 | 16.472,81 | 19.352,84 | 15.886,58 |
| Neobnovljivi otpad / Non-renewable waste | 482,70 | 817,70 | 1.128,90 | 1.630,30 | 1.891,50 | 1.935,00 |
| Električna energija / Electricity | 25.033,32 | 19.395,36 | 22.078,80 | 16.701,48 | 14.259,60 | 16.901,28 |
| UKUPNO / TOTAL | 371.865,42 | 363.198,66 | 368.103,57 | 347.619,38 | 364.016,02 | 356.222,89 |

7.2. Proizvodnja biomase u Hrvatskoj

Proizvodnja krutih biogoriva u Hrvatskoj u 2022. godini obuhvaćala je proizvodnju drvenih peleta i briketa, drvenog ugljena, drvene sječke i ogrjevnog drveta. U Hrvatskoj su se peleti proizvodili u 28 pogona od čega je iskorišteno oko 82 posto. Od ukupne proizvedene količine peleta u 2022. godini oko 57,7 posto je plasirano na strana tržišta, a ostatak je iskorišten na domaćem tržištu. Proizvodnja briketa se uglavnom obavlja periodično prema dostupnoj sirovini – otpadu iz drvno-prerađivačke industrije. Od ukupne proizvedene količine briketa u 2022. godini oko 78,5 posto je plasirano na strana tržišta. U usporedbi sa proizvodnjom 2018.godine vidi se porast u svim oblicima, osim u količini ogrjevnog drva, kojega postupno zamjenjuju peleti, briketi, ugljen i sječka kao izvori energije.²⁰

Tablica 6. Proizvodnja krutih biogoriva u Hrvatskoj u 2022. godini u tonama i m³.²⁰

| Vrsta krutog biogoriva / Solid biofuels | Proizvodnja / Production | |
|---|--------------------------|----------------|
| Drveni peleti / Wood pellets | 351.128 | t |
| Drveni briketi / Wood briquettes | 71.015 | t |
| Drveni ugljen / Charcoal | 11.476 | t |
| Drvena sječka / Wood chips | 474.793 | t |
| Ogrjevno drvo / Fuelwood | 4.883.600 | m ³ |

Tablica 7. Proizvodnja krutih biogoriva u Hrvatskoj u 2018. godini u tonama i m³.²⁰

| Vrsta krutog biogoriva Solid biofuels | Proizvodnja Production |
|--|---------------------------|
| Drveni peleti Wood pellets | 301 254 t |
| Drveni briketi* Wood briquettes* | 58 340 t |
| Drveni ugljen* Charcoal* | 9 844 t |
| Drvena sječka Wood chops | 441 940 t |
| Ogrjevno drvo Firewood | 5 165 800 m ³ |

Hrvatskoj ne manjka proizvođača drvnih produkata, a najveći proizvođač drvne sječke i trgovačko društvo za gospodarenje šumama i šumskim zemljištima u državnom vlasništvu su Hrvatske Šume d.o.o. U 2019. Hrvatske šume proizvele su 5,3 milijuna m³ drvnih proizvoda od kojih su 2,4 milijuna m³ oblovine i 2,9 milijuna prostornih metara drva za preradbu i ogrjev. Od ostalih većih proizvođača briketa i peleta ističu se Spačva d.d. iz Vinkovaca, Energy Pellets iz Delnica, Viševica Energo Pelet iz Perušića, Drvna industrija Novoselec d.o.o., Spin Valis Internacional d.d. koja se bavi preradom drva u drvenu sječku i proizvodnjom briketa.²



Slika 21. Prikaz postrojenja; a) Spin Valis Internacional d.d. b) Spačva d.d.



Slika 22. Hrvatski proizvodi a) Spina Valis International briketi, b) Spačva briketi, c) Energy Pellets peleti

8. ISPLATIVOST KORIŠTENJA BIOMASE

Pored svih prednosti i mana, prilikom upotrebe u kućanstvima, najvažniji faktor koji će privući kupca je isplativost grijanja na proizvode drvene biomase. Kao primjer uzeti će se godišnja potrebna toplinska energija za grijanje stambene zgrade koja je izgrađena 2019. godine. Radi lakšeg prikaza i izračuna uzeti će se stan od 50 kvadratnih metara. Podatci o energetske razredu zgrade i godišnjoj potrebnoj toplinske energije dobiveni su sa energetske certifikata zgrade (Slika 23.).

| ENERGETSKI RAZRED ZGRADE | Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje Q_{nd} [kWh/(m ² a)] | Specifična godišnja primarna energija E_{prim} [kWh/(m ² a)] |
|--------------------------|---|---|
| A+ | 22 | 47 |
| A | A | A+ |
| B | | |
| C | | |
| D | | |
| E | | |
| F | | |
| G | | |

Slika 23. Energetske certifikat zgrade.

Zgrada se grije etažno i jedini izvor energije za grijanje je putem prirodnog plina koji se dobavlja od kompanije „HEP“. Prema potrebi toplinske energije energetski razred zgrade je „A“ i specifični godišnji iznos potrebne toplinske energije po metru kvadratnom jest 22 kWh/(m²a). Godišnja potrošnja za stan od 50 kvadratnih metara iznosila bi 1100 kWh godišnje. Prema godišnjoj potrošnji plina stan pripada tarifnom modelu TM1 i prema informativnom izračunu s podacima dobivenih od „HEP Plin“ (Tablica 8) dobiven je godišnji iznos koji plaća krajnji kupac i on iznosi 66,60 EUR.

Tablica 8. Informativni izračun godišnjega iznosa grijanja na prirodni plin

| | |
|---|------------------|
| Godišnja potrošnja | 1100 kWh |
| Raspon godišnje potrošnje plina za tarifni model | < 5000 kWh |
| Tarifni model | TM1 |
| Tarifna stavka za isporučenu količinu plina (Ts1) | 0,0390 EUR/ kWh |
| Fiksna mjesečna naknada (Ts2) | 1,73 EUR |
| Godišnji iznos koji plaća krajnji kupac s PDV-om | 66,60 EUR |

Donja energetska vrijednost peleta je 18000 kJ/kg odnosno 5 kWh/kg (Tablica 1.), za 1100 kWh bilo bi potrebno 220 kg peleta na godišnjoj razini za grijanje jednog stana od 50 kvadratnih metara. Uzme li se u obzir kako 15 kg peleta kvalitete A1 EN-plus košta 5,99 EUR, dobije se cijena od 0,40 EUR po kilogramu. Uz maksimalnu iskoristivost od 100% cijena za potrebnu godišnju zalihu iznosila bi 88,00 EUR za grijanje na pelete. Donja energetska vrijednost briketa iznosi 16500 kJ/kg, odnosno 4,58 kWh/kg (Tablica 4), a za 1100 kWh potrebna masa briketa je 240 kg. Cijena pakiranja briketa od 10 kg iznosi 2,79 EUR. Prema tome cijena kilograma briketa iznosi 0,279 EUR. Za količinu od 240 kg, također uz maksimalnu iskoristivost, cijena bi iznosila 66,96 EUR za godišnju zalihu briketa. U proračun se nije uključio iznos cijene i ugradnje potrebne peći za grijanje koja koristi pelete ili brikete kao gorivo. Radi lakšeg pregleda konačni iznosi cijena prikazati će se u Tablica 9.

Tablica 9. Prikaz cijena za određeni tip goriva na godišnjoj razini.

| Vrsta goriva za grijanje | Godišnji iznos s PDV-om |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Prirodni plin | 66,60 EUR |
| Peleti | 88,00 EUR |
| Briketi | 66,96 EUR |

9. ZAKLJUČAK

Postoji više vrsta proizvoda šumske biomase poput peleta, briketa i drvene sječke. Peleti i briketi mnogo se više primjenjuju u kućanstvima zbog lakšeg skladištenja i više ogrjevne vrijednosti.

Velika prednost biomase jest što je obnovljivi izvor energije i to tijekom ljudskog života. U odnosu na ostale obnovljive izvore energije poput sunčeve energije i energije vjetra, biomasa ima prednost jer je pouzdan izvor energije koji je dostupan u bilo kojem trenutku.

Korištenjem biomase također dolazi do emisije ugljikovog dioksida, ali se u konačnici drastično smanjuje jer su biljke apsorbirale ugljični dioksid tijekom svog životnog ciklusa. Jedna od većih mana biomase jest potreba za prostorom, kod energana na biomasu potrebno je veće skladište s povoljnim uvjetima kako bi biomasa ostala suha, a tako i dodatni prostor u kućanstvima za skladištenje iste. Prilikom korištenja drugih obnovljivih izvora energije i tradicionalnih fosilnih goriva taj dodatni prostor nije potreban.

Korištenjem biomase oslobađaju se mnogi drugi staklenički plinovi, ponajviše dušikovi oksidi, ugljični monoksid i metan. Prilikom usporedbe troškova grijanja na prirodni plin ili pelete, odnosno brikete dobiveni rezultat u konačnici prikazuje kako korištenje biomase nije isplativije. Informativni proračun također je rađen pri pretpostavci da je iskoristivost maksimalna i nisu uračunati troškovi ugradnje peći na spomenute proizvode šumske biomase.

10. LITERATURA

1. Jukić A., Obnovljivi izvori energije, Nastavni materijali. FKIT, 2024.
2. URL: <https://tehnika.lzmk.hr/drvna-biomasa/> (pristup 28.04.2024.)
3. Razvojni program Ujedinjenih nacija, Drvna Biomasa – gorivo budućnosti, 2017.
4. Sutlović I., Energetika. Nastavni materijali, FKIT, 2023.
5. Saletnik B., Saletnik A., Zagała G., Bajcar M., and Puchalski C., The Use of Wood Pellets in the Production of High Quality Biocarbon Materials, Department of Bioenergetics, Food Analysis and Microbiology, Institute of Food Technology and Nutrition, College of Natural Science, Rzeszow University, 2022.
6. Thraen D. , Schaubach K., Global Wood Pellet Industry and Trade Study, 2017
7. Alberici S., Boeve S., Breevoort P, Subsidies and Costs of EU Energy. European Commission, 2014.
8. Kofman P.D., The production of wood pellets, COFORD, 2007.
9. URL: <https://www.pellet-machines.com/Machines/Shredding-system/Hammer-mill.html> (pristup 02.05.2024.)
10. URL: https://enplus-pellets.eu/quality_scheme/ (pristup 05.05.2024.)
11. Faizal A., Shaid M., Zaini M., Solid fuel briquette from biomass: Recent trends, Ovidius University Annals of Chemistry, 2022.
12. URL:<https://drvotehnika.info/clanci/pakovanje-i-ispоруka-energetskih-peleta-i-briketa> (pristup 14.05.2024.)
13. Chaney, Joel O., Combustion characteristics of biomass briquettes. University of Nottingham, 2010.
14. Evans J., Burley J., Youngquist J. A., Encyclopedia of Forest Sciences, 2004.
15. Sampfer K., Kanzian C., Current state and development possibilities of wood chip supply chains in Austria, 2010. (pristup 17.05.2024.)
16. Vusić D., Zečić Ž., Paladinić E., Optimization of energy wood chips quality by proper raw material manipulation; Proceedings Natural resources, green technology & sustainable development, PBF, 2010.
17. Janić T., Brkić M., Briquetting and pelleting biomass, Tehničko-tehnološka rješenja briketiranja i peletiranja biomase, 2007.

18. Greco R., Mencarelli A., Cavalli R., Energy characterization of wood briquettes and possible use in automated domestic heating systems, 2022.
19. URL:<https://repositorij.sumfak.unizg.hr/islandora/object/sumfak%3A1204/datastream/FILE0/view> (pristup 18.05.2024.)
20. Energetski institut Hrvoje Požar, URL: <https://eihp.hr/> (pristup 18.05.2024.)