

Planiranje lučkih terminala za biomasu

Berbić, Ivo

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:210589>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-01**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI ZAGREB**

Ivo Berbić

PLANIRANJE LUČKIH TERMINALA ZA BIOMASU

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2020.

Zagreb, 27. ožujka 2020.

DIPLOMSKI ZADATAK br. 5577

Pristupnik: **Ivo Berbić (0135240512)**
Studij: Promet
Smjer: Vodni promet

Zadatak: **Planiranje lučkih terminala za biomasu**

Opis zadatka:

Temeljem analize biomase kao tereta u vodnom prometu istražiti preduvjete planiranja razvoja lučkih terminala. Posebno obraditi sadržaje terminala za krutu i tekuću biomasu i zahtjeve budućeg razvoja.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

prof. dr. sc. Natalija Kavran

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti Zagreb

DIPLOMSKI RAD

PLANIRANJE LUČKIH TERMINALA ZA BIOMASU

BIOMASS PORT TERMINALS PLANNING

Mentor: prof. dr. sc. Natalija Kavran

Student: Ivo Berbić
JMBAG: 0135240512

Zagreb, rujan 2020.

PLANIRANJE LUČKIH TERMINALA ZA BIOMASU

SAŽETAK

U radu se prikazuju karakteristike i svojstva biomase kao obnovljivog izvora energije i novonastalog trenda u prometnom sustavu i vodnom prometu. Proizvodnjom biogoriva nastoji se zamijeniti fosilna goriva, te smanjiti troškove sustava i emisije štetnih plinova, ali da se pritom zadrže jednaka energetska svojstva. Ciljevi ovog rada su sljedeći: istražiti karakteristike i svojstva kruto rasute i tekuće rasute biomase koje se upotrebljavaju u prometnom sustavu i vodnom prometu, koje se tehnologije koriste za proizvodnju biogoriva, definirati ključne značajke za planiranje terminala za biomasu, aktivnosti za funkcionalan koncept opskrbnog lanca za biomasu, te potrebnu prekrcajnu mehanizaciju i skladišnu opremu na terminalima za kruto rasutu i tekuću rasutu biomasu uz kontinuirano poboljšanje njihova dizajna radi smanjivanja problema pri rukovanju biomasom.

KLJUČNE RIJEČI: biomasa; kruto rasuta biomasa; tekuća rasuta biomasa; biogorivo; planiranje; terminal; opskrbni lanac; prekrcajna mehanizacija; skladišna oprema

SUMMARY

The paper presents the characteristics and properties of biomass as a renewable energy source and new trend in the transport system and water transport. The production of biofuels seeks to replace fossil fuels, and to reduce system costs and emissions, but to maintain the equal amount of energy contents. The objectives of this paper are: to investigate the characteristics and properties of solid bulk and liquid bulk biomass used in the transport system and water transport, which technologies are used for biofuel production, to define key features for biomass terminal planning, activities for a functional supply chain concept for biomass, and the necessary handling equipment and storage equipment at the terminals for solid bulk and liquid bulk biomass with continuous improvement of their design in order to reduce problems in biomass handling.

KEYWORDS: biomass; solid bulk biomass; liquid bulk biomass; biofuel; planning; terminal; supply chain; handling equipment; storage equipment

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. OPĆENITA SVOJSTVA BIOMASE..... | 2 |
| 2.1 Pojam biomasa..... | 2 |
| 2.2 Podijela i karakteristike biomase | 3 |
| 2.2.1 Kruta biomasa..... | 3 |
| 2.2.2 Tekuća biomasa..... | 6 |
| 2.3 Kvaliteta i održivost biomase | 9 |
| 3. TEHNOLOGIJE PROIZVODNJE BIOGORIVA | 10 |
| 3.1 Kemijski sastav i struktura biomase..... | 10 |
| 3.2 Tehnologije za pretvorbu biomase u energiju..... | 12 |
| 3.2.1 Primarne tehnologije | 12 |
| 3.2.2 Sekundarne tehnologije | 25 |
| 4. KONCEPT OPSKRBNOG LANCA ZA BIOMASU..... | 33 |
| 4.1 Struktura opskrbnog lanca za biomasu | 33 |
| 4.2 Karakteristike opskrbnog lanca za biomasu | 34 |
| 4.3 Procesi opskrbnog lanca za biomasu | 35 |
| 4.3.1 Sječa ili sakupljanje biomase iz polja ili šume, rukovanje i transport..... | 35 |
| 4.3.2 Ukrcaj i iskrcaj biomase iz cestovnih vozila..... | 36 |
| 4.3.3 Prijevoz biomase..... | 36 |
| 4.3.4 Skladištenje biomase | 37 |
| 4.3.5 Obrada biomase | 38 |
| 5. PLANIRANJE I KLJUČNE ZNAČAJKE TERMINALA ZA BIOMASU..... | 39 |
| 5.1 Pojam planiranje..... | 39 |
| 5.2 Planiranje terminala za biomasu..... | 40 |
| 5.3 Ključne značajke za planiranje terminala za biomasu | 41 |
| 5.3.1 Lokacija terminala | 42 |
| 5.3.2 Položaj terminala | 42 |
| 5.3.3 Kapacitet terminala | 42 |
| 5.3.4 Zahtjevi područja terminala..... | 43 |
| 6. TERMINAL ZA KRUTO RASUTU BIOMASU U LUCI..... | 47 |
| 6.1 Funkcije i prekrajna mehanizacija terminala za kruto rasutu biomasu | 47 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 6.1.1 | Prekrcaj kruto rasute biomase | 48 |
| 6.1.2 | Transport i transfer kruto rasute biomase | 51 |
| 6.1.3 | Skladištenje kruto rasute biomase | 56 |
| 6.2 | Povratni sustavi uskladištene kruto rasute biomase | 60 |
| 6.3 | Sustavi ukrcanja kruto rasute biomase s obzirom na vrstu transporta..... | 66 |
| 6.3.1 | Sustav ukrcanja kruto rasute biomase za transport cestom..... | 66 |
| 6.3.2 | Sustav ukrcanja kruto rasute biomase za transport željeznicom..... | 67 |
| 6.3.3 | Sustav ukrcanja kruto rasute biomase za transport plovilom | 68 |
| 7. | TERMINAL ZA TEKUĆU RASUTU BIOMASU U LUCI..... | 72 |
| 7.1 | Funkcije i prekrcajna mehanizacija terminala za tekuću rasutu biomasu | 72 |
| 7.1.1 | Prekrcaj tekuće rasute biomase..... | 73 |
| 7.1.2 | Transport tekuće rasute biomase..... | 75 |
| 7.1.3 | Skladištenje tekuće rasute biomase..... | 77 |
| 7.2 | Sustavi ukrcanja tekuće rasute biomase s obzirom na vrstu transporta | 78 |
| 7.3 | Zahtjevi za razvoj terminala biomase | 80 |
| 7.3.1 | Unutarnji problemi pri rukovanju biomase | 81 |
| 7.3.2 | Vanjski problemi pri rukovanju biomase..... | 83 |
| 7.3.3 | Poboljšani dizajni za rukovanje i skladištenje biomase | 85 |
| 7.4 | Najveći terminali za biomasu u Europi..... | 89 |
| 8. | ZAKLJUČAK | 91 |
| | LITERATURA | 92 |
| | POPIS SLIKA | 100 |
| | POPIS TABLICA..... | 102 |

1. UVOD

Biomasa je najstariji oblik izvora energije koji je čovjek koristio, a danas predstavlja novonastali trend u prometno industrijskom aspektu koji je još uvijek u razvoju. Zbog velike potražnje energije, postoji mogućnost prekomjernog iskorištavanja prirodnih resursa i opasnost od nestajanja prirodnih sirovina iz čega se povećava interes za upotrebu biomase kao obnovljivog izvora. Međutim, osim što će se korištenjem biomase smanjiti prekomjerno iskorištavanje prirodnih resursa, isto tako će omogućiti zadržati energetske sadržaj pri proizvodnji goriva, te smanjiti emisije štetnih plinova.

Tema je odabrana da se prikaže kako biomasa može kvalitetno zamijeniti prirodne resurse i sirovine koje se danas najviše koriste, te što je sve potrebno da se planira kvalitetan lučki terminal namijenjen za biomasu.

Svrha i cilj rada je da prikaže na koji način svojstva i karakteristike biomase kvalitetno mogu zamijeniti današnje sirovine, te kojim se tehnologijama pretvorbe biomase u energiju mogu proizvoditi pogonska goriva. Glavni cilj je stvoriti funkcionalan opskrbeni lanac specijaliziran za biomasu uz kvalitetno planiranje lučkih terminala sa adekvatnom i kontinuirano poboljšanom prekrcajnom i manipulacijskom mehanizacijom, skladišnom opremom i prostorom.

Diplomski rad je prikazan kroz osam poglavlja.

Poglavlje *Općenita svojstva biomase* podijeljeno u tri dijela, a u njima će biti riječ o svojstvima i karakteristikama biomase uz kvalitetno održavanje biomase.

Poglavlje *Tehnologije proizvodnje biogoriva* podijeljeno je u dva dijela, gdje se stavlja naglasak na kemijsku strukturu biomase i vrstama tehnologije koje se koriste za pretvorbu biomase u energiju.

Poglavlje *Koncept opskrbnog lanca za biomasu* podijeljeno je u tri dijela u kojem se opisuju elementi, procesi i karakteristike opskrbnog lanca za biomasu.

Poglavlje *Planiranje i ključne značajke terminala za biomasu* podijeljeno je u tri dijela, a naglasak se stavlja na bitne stavke koje se uzimaju u obzir prilikom planiranja terminala za biomasu.

Poglavlje *Terminal za kruto rasutu biomasu u luci* podijeljeno je u tri dijela u kojem se opisuju procesi pri rukovanju kruto rasute biomase, potrebna prekrcajna mehanizacija, povratni sustavi, skladišna oprema i ukrcajni sustavi za daljni transport kruto rasute biomase

Poglavlje *Terminal za tekuću rasutu biomasu u luci* podijeljeno je u četir dijela u kojem se opisuju procesi pri rukovanju tekuće rasute biomase, potrebna prekrcajna mehanizacija, skladišna oprema i ukrcajni sustavi za daljni transport tekuće rasute biomase, te na koje zahtjeve treba pripaziti prilikom prekrcaja i skladištenja biomase i koje su luke trenutno najbitnije za distribucije biomase u Europi.

U završnom poglavlju *Zaključak* prikazat će se iz svakog poglavlja što je zaključeno vezano za temu seminarskog rada.

U poglavlju *Literatura* se nalaze svi izvori i poveznice koje su bile potrebne za izradu seminarskog rada.

2. OPĆENITA SVOJSTVA BIOMASE

Definicija, podijela i karakteristike biomase, te institucije koje su zadužene za promatranje s ciljem razvijanja biomase uz određena pravila i norme njenog korištenja opisano je u potpoglavljima *Pojam biomasa, Podijela i karakteristike biomase i Kvaliteta i održivost biomase*.

2.1 Pojam biomasa

Biomasa predstavlja najstariji oblik izvora energije koji je čovjek koristio, te skupni pojam za brojne, različite proizvode biljnog i životinjskog svijeta. Također je i najsloženiji oblik obnovljivih izvora energije jer:¹

- obuhvaća široku sirovinsku osnovu
- mjesto korištenja energije iz biomase se može odvojiti od mjesta nastanka biomase
- iz biomase se mogu proizvesti sva tri oblika korisne energije
- projekti biomase sudjeluju na barem dva tržišta
- iz iste vrste biomase mogu se proizvesti različiti oblici korisne energije korištenjem različitih tehnologija pretvorbe
- široki spektar tehnologija konverzije
- nalazi se u sva tri agregatna stanja.

Prema Zakonu o energiji, obnovljivi izvori energije definirani su kao izvori energije koji su sačuvani u prirodi i obnavljaju se u cijelosti ili djelomično, posebno energija vodotoka, vjetra, neakumulirana Sunčeva energija, biogorivo, biomasa, bioplin, geotermalna energija, energija valova, plime i oseke, biomase, plin iz deponija, plina iz postrojenja za preradu otpadnih voda. Biomasa je 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. Biogorivo je tekuće ili plinovito gorivo dobiveno iz biomase, a pod plin spada prirodni plin, ukapljeni prirodni plin, miješani ukapljeni naftni plin, ispareni ukapljeni plin, bioplin, plin iz biomase i gradski plin.²

Biomasa u industrijskom smislu služi za dobivanje energije izgaranjem drva i drugih organskih tvari. Izgaranjem biomase oslobađa se emisija ugljika, ali je klasificirana kao obnovljiv izvor energije u pravnom okviru EU-a i UN-a, jer se biljne zalihe mogu zamijeniti novim rastom.³

¹ EIHP: *Energija iz biomase*, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 2013. (prezentacija)

² Zakon o energiji (NN 68/01, 177/04, 76/07, 152/08, 127/10)

³ Ibidem

2.2 Podijela i karakteristike biomase

Biomasa se prema obliku u prometnom sustavu i vodnom prometu podijelila na:⁴

1. krutu biomasu
2. tekuću biomasu.

2.2.1 Kruta biomasa

Biomasa krutog oblika odnosi se na žetvene ostatke iz šumskih i poljoprivrednih industrija. Kako bi se bolje razumijela fizikalna svojstva krute biomase, najlakše ju je usporediti sa kamenim ugljenom koji se trenutno najčešće koristi za proizvodnju električne energije, a s obzirom na svojstva ova vrsta ugljena najbliža je vrsti fosilnog goriva biomase. Cilj je kameni ugljen zamijeniti sa krutom biomasom zbog lakšeg rukovanja, a da se pritom ne izgube svojstva s kojima industrija trenutno raspolaže. Fizikalna svojstva krute biomase su:⁵

- gustoća čestica drvenih peleta i torificiranih peleta je slična
- gustoća u rasutom stanju je manja kod krute biomase, a veća kod kamenog ugljena
- sadržaj vlage u drvenim peletima i toreficiranim peletima sličan je antracitnom ugljenu
- sadržaj vlage u drvnim sječcima sličan je lignitu i crnom ugljenu
- učinkoviti kut unutarnjeg trenja sličan je ugljenu i krutoj biomasi, osim za drvene pelete koji imaju niži kut trenja
- kutovi odlaganja krute biomase i kamenog ugljena su jednake veličine
- raspon trenja kutova u zidu sličan je krutoj biomasi i kamenom ugljenu.

Iz navedenih svojstava vidi se da su učinkoviti kutovi unutarnjeg trenja i kutovi trenja između zida i materijala prilično slični za krutu biomasu i kameni ugljen. To znači da je kut konusa pri dizajniranju silosa jednak za kameni ugljen i za drvene sječke i torificirane pelete. Drveni peleti imaju veći kut konusa kad je trenje zida manje od 23° ili manji kut konusa kad je trenje između zida i materijala veća od 23 u usporedbi s kamenim ugljenom, drvnom sječkom i torificiranim peletima. Kutovi odlaganja krute biomase i kamenog ugljena su slični. Iz ovog se dolazi do zaključka da prilikom dizajniranja skladišta, spremnika ili pokretne trake nepotrebna je promijena dizajna. Međutim energetski sadržaj krute biomase je manji od kamenog ugljena, ali pomoću tehnika kao što je peletizacija nastoji se povećati udio energije.⁶ Iz tablice 1. se mogu vidjeti sva navedena svojstva i zaključci.

⁴Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

⁵ Ibidem

⁶ Ibidem

Tablica 1. Svojstva krute biomase usporedbi s kamenim ugljenom

| Materijal | Kameni ugljen | Drveni peleti | Drvne sječke | Toreficirani peleti |
|---|---------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| Veličina | - | 6, 8, 12 mm (L) | 0 - 100 mm (L) | 5 - 8 mm (L) |
| Gustoća čestica [kg/m ³] | 1200 - 1800 | 1103 - 1901 | N/A | 1280 - 1361 |
| Nasipna gustoća [kg/m ³] | 720 - 880 | 498 - 649 | 209 - 273 | 610 - 668 |
| Sadržaj energije [GJ/t] | 27 | 16 - 18 | 14 - 17 | 8 - 21 |
| Sadržaj vlage [%] | < 20 | 8 - 11 | 41 - 51 | 3.9 - 4.1 |
| Kut unutarnjeg trenja [°] | - | 33 - 43 | 44 - 49 | 41 - 50 |
| Učinkovit kut unutarnjeg trenja [°] | 55 | 39 - 45 | 44 - 54 | 44 - 56 |
| Kut naslona [°] | 35 - 45 | 37 - 41 | 43 - 49 | 42 - 46 |
| Lomljivost | N/A | Laka | N/A | < od drvenih peleta |
| Kut trenja između materijala i zida [°] | - | 9 - 35 (beton) | 14 - 37 (beton) | 12 - 31 (beton) |

Izvor: izradio autor prema: Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

Krute oblike biomase predstavljaju:⁷

1. drveni peleti
2. drvne sječke
3. toreficirane pelete.

Drveni peleti sastoje se od sušenih i zgusnutih piljevina, strugotina od drva ili praha drva, te su najkompaktniji oblik krute biomase. Jedan su od najbrže obnovljivijih oblika krute biomase u Europi zbog toga što je postupak peletizacije trenutno najekonomičniji način pretvaranja biomase u gorivo visoke energetske gustoće i kvalitete.⁸ Slika 1. prikazuje primjer drvene pelete.



Slika 1. Drveni peleti

Izvor: Bašići d.o.o. Koprivnica. Preuzeto sa: http://www.basici.hr/proizvodi_detalji.aspx?id=83
[Pristupljeno 14. 06. 2020]

⁷ Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

⁸ *European Pellet Council*. Preuzeto sa: <https://epc.bioenergyeurope.org/about-pellets/pellets-basics/pellet-standards/> [Pristupljeno 13. 06. 2020]

Drvne sječke su veći komadi šumskih ostataka dobivenih rezanjem ili kidanjem. Glavna prednost drvne sječke su niski troškovi, jer su otpadni materijal i ne podnose skupe obrade, ali isto tako i glavni nedostatak im je u tome što imaju veći udio vlage, niži udio energije i gustoće u odnosu na ostale oblike krute biomase. Međutim postotak drvne sječke u energetske sektoru raste zato što se može koristiti za plinifikaciju tj. proizvodnju električne energije.⁹ Slika 3. prikazuje primjer izgleda drvne sječke.



Slika 2. Drvne sječke

Izvor: *Energetika-net*. Preuzeto sa: <http://www.energetika-net.com/vijesti/obnovljivi-izvori-energije/hrvatske-sume-razmisljaju-o-certifikaciji-drvne-sjecke-29116> [Pristupljeno 14. 06. 2020]

Toreficirane pelete nastale su novom tehnologijom zvanom torefakcija. Torefakcija je termička tehnika predobrade izvedena na 200-300 °C bez prisustva kisika, radi poboljšanja kvalitete goriva iz biomase. Torefakcija se obično kombinira sa peletizacijom kako bi biomasa na već navedenoj temperaturi izgubila svoju žilavost i vlaknastu strukturu, te da se upotpunosti osuši i značajno poboljša svoju razmnoživost. Slika 3. prikazuje primjer izgleda toreficirane drvne pelete koje obično sadrže 70% početne težine i 90% izvorno energetske sadržaja. Pomoću torefakcije povećana je kalorijska vrijednost i higroskopnost biomase, ali se može smanjiti dodavajući hidrofobni materijal. Toreficirane pelete su kemijski stabilnije i ne raspadaju se za razliku od drvenih što znači da je s time znatno smanjena opasnost od požara. Isto tako se mogu skladištiti na otvorenom, jer manje apsorbiraju vodu i također su otporniji na sile pritiska, udara i rezanja čime se smanjiva nastajanje prašine samih čestica.¹⁰

⁹ European Commission. *Biomass: Green energy for Europe*, 2005.

¹⁰ *Biomass Handling*. Preuzeto sa: <https://www.advancedbiomass.com/2010/10/handling-pellets-things-to-consider/> [Pristupljeno 14. 06. 2020]



Slika 3. Toreficirani peleti

Izvor: *Biothek ecologic fuel*. Preuzeto sa: <https://biothekecologic.com/ceg-delivers-200-tonnes-of-ceg-biocoal-for-a-european-customer-trial/> [Pristupljeno 14. 06. 2020]

2.2.2 Tekuća biomasa

Tekućí oblik biomase predstavlja:¹¹

1. etanol
2. biodizel
3. pirolitičko ulje.

Etanol koji je isto tako poznat kao i bioetanol je najšire proizvedeno i transportirano biogorivo na svijetu. Dobiva se fermentacijom sirovina koje su bogate ugljikohidratima, te su klasificirane u tri skupine:¹²

1. Sirovine bogate šećerom (šećerna repa, šećerna trska i melasa)
2. Škrob (manioka, žitarice, krumpir)
3. Celulozni materijal (drvo, rižina slama, bagasa - zaostala suha vlakna šećerne trske, alge).

Etanol se također može miješati sa benzinom kako bi koristio kao transportno gorivo, što je omogućilo razvoj opskrbnog lanca samog etanola. Očekuje se da će biti značajna komponenta miješanja i za biogoriva. Slika 4. prikazuje ambalažu u koju se pakira gotov proizvod etanola tj. bioetanol.¹³

¹¹ Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

¹² Arnaldo Walter, Frank Rosillo-Calle, Paulo B. Dolzan, Erik Piacente, Kamyla Borges da Cunha. *Market Evaluation: Fuel Ethanol*, 2007. IEA Bioenergy.

¹³ European Commission. *Biomass: Green energy for Europe*, 2005.



Slika 4. Ambalaža za pakiranje bioetanola

Izvor: *Ekokamini*. Preuzeto sa: <https://kamininabioetanol.com/proizvod/bioetanol-3l/>
[Pristupljeno 15. 06. 2020]

Biodizel nastaje esterifikacijom masnih kiselina proizvedenih iz biljnih ulja, što ga čini osjetljivijim biogorivom, jer buduće količine kojima će se trgovati mogu utjecati na dostupnost i održivost sirovine. Prednost biodizela je u tome što većina dizelskih motora mogu raditi na biodizel ili njegovu mješavinu. Slika 5. prikazuje izgled biodizela odnosno ekstrakta izvučenog određenim procesima iz pojedinih biljaka.¹⁴



Slika 5. Biodizel

Izvor: *IndiaMart*. Preuzeto sa: <https://www.indiamart.com/proddetail/bio-diesel-additives-18951119491.html> [Pristupljeno 15. 06. 2020]

Pirolitičko ulje, također poznato kao i biljno-ulje može se koristiti kao zamjena za teško lož-ulje, a dobiva se iz biljnog materijala poput poljoprivrednog i šumskog otpada. Pirolitičko ulje može se skladištiti, pumpati i transportirati kao naftni derivati, te može izravno izgarati u bojlerima, plinskim turbinama i sporim i srednje brzim dizelima za toplinu i električnu energiju. Pirolitičko ulje je kisela tekućina čija pH vrijednost je od 2.2 do 3.0 za razliku od dizela koji ima pH vrijednost 5.0. Zapaljiva je, ali ne pri ekstremno visokim temperaturama iako se lako zapali i gori kad se pravilno rasprši, a kad se jednom zapali gori stabilno samoodrživim plamenom. Također je

¹⁴ M.R. Wu, D.L. Schott, and G. Lodewijks. Physical properties of solid biomass. *Biomass and Bioenergy*, 35(5): 2093–2105, May 2011.

stabila, ali ne i homogena tekućina koja će se na kraju istaložiti u viskozni donji sloj ako stoji mjesecima, ali se isto tako može ponovno miješati u velikim količinama. Prednost pirolitičkog ulja u odnosu na tekuća fosilna goriva opaža se u slučaju kada brod potone ili na bilo koji drugi način kojim se izaziva proljevanje. Nafta se prilikom proljevanja u vodu proširi u tankom sloju što izaziva velike posljedice za okoliš, dok se pirolitičko ulje odvaja u tešku organsku frakciju koja tone i ima prilagođenija svojstva vodi, te je biorazgradiva i razrjeđuje se. Slika 6. prikazuje primjer pirolitičkog ulja.¹⁵



Slika 6. Pirolitičko ulje

Izvor: *IndiaMart*. Preuzeto sa: <https://www.indiamart.com/proddetail/pyrolysis-oil-13784190333.html>
[Pristupljeno 15. 06. 2020]

U tablici 2. nalaze se fizikalna svojstva već navedenih vrsta pojedine tekuće biomase koja se uspoređuje sa ekvivalentnim fosilnim gorivima. Iz tablice 2. može se zaključiti da su gustoća i viskozitet slični ekvivalentnim fosilnim gorivima, a ta svojstva su najvažniji faktori dizajna za rukovanje i skladištenje opreme.

Tablica 2. Svojstva tekuće biomase usporedbi s ekvivalentnim fosilnim gorivima

| Materijal | Etanol | Benzin | Biodizel | Dizel | Pirolitičko ulje | Teško gorivo |
|---|-----------|-----------|-----------|---------|------------------|--------------|
| Gustoća [kg/m ³] | 790 - 810 | 720 - 760 | 860 - 900 | 850 | 1110 - 1300 | 1010 |
| Sadržaj vode [%] | 0.3 - 1.0 | N/A | 0.05 | N/A | 15 - 30 | 0.5 |
| Točka tečenja [°C] | ≤ 40 | - 30 | - 15 - 10 | - 4 | -36 - - 9 | 30 |
| Točka zamućenja [°C] | N/A | -22 | - 3 - 12 | -15 - 5 | N/A | - 16 |
| Kinematička viskoznost [mm ² /s] | 1.4 | 0.5 | 1.9 - 6.0 | 3.1 | 10 - 220 | 700 |
| Točka plamišta [°C] | 13 | N/A | 150 | 85 | 40 - 70 | ≥ 60 |

Izvor: izradio autor prema: Lanphen L.S.J.C., Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements. Delft: TUDelft; 2014.

¹⁵ Doug Bradley. *European Market Study for BioOil (Pyrolysis Oil)*, 2006. Climate change solutions.

2.3 Kvaliteta i održivost biomase

Kako bi se uspješno održavala kvaliteta biomase potrebno je da se uvedu određena pravila i norme koje se moraju poštivati prilikom projektiranja i planiranja lučkih terminala. Stoga je postavljena standardizacija kvalitete prilikom upotrebljavanja različitih oblika biomase. Postoje standardi za razne vrste krute i tekuće biomase prema EU propisima, ali ti se standardi još razvijaju.

Za kontrolu kvalitete krute biomase zaduženi su odbori ISO/TC 238 i CEN/TC 335. koji brinu za standarde kako odrediti njihova svojstva. U normi EN 15210-1 opisana je standardizirana metoda za mjerenje trajnosti peleta. Odbor ISO/TC 238 se od 2007. godine bavi standardizacijom terminologije, specifikacijama i klasama, osiguravanjem kvalitete, pripremom uzoraka i ispitnim metodama na polju sirovih i prerađenih materijala koji potječu iz šumarstva i koji služe kao izvor za krutu biomasu odnosno biogorivo.¹⁶ CEN/TC 335 je tehnički odbor koji je izradio nacrt norme za opisivanje svih oblika krute biomase u Europi što uključuje drvenu sječku, drvene pelete i brikete, trupce, piljevinu i slamu.¹⁷

Za kontrolu kvalitete tekuće biomase zaduženi su odbori CEN/TC 19 i ISO/TC 28. Odbor CEN/TC 19 objavljuje standarde za plinovita i tekuća goriva, maziva i srodne proizvode naftnog, sintetskog i biološkog podrijetla. U ove standarde se još uključuju i fosilni materijali i materijali koji se javljaju prirodno kao i proizvodi nastali preradom ovih materijala. Također ovi standardi uključuju i karakterizaciju kakvoće goriva, sustav za mjerenje količine i operativne postupke tj. praćenje kvalitete goriva ili smjernice za dobro vođenje u opskrbnom lancu.¹⁸ Odbor ISO/TC 28 brine za standardizaciju terminologije, klasifikacije, specifikacije, pripreme uzoraka, mjerenja, analiza i ispitivanje nafte, naftnih derivata, maziva na bazi nafte i hidrauličkih tekućina, tekuća goriva koja nisu na bazi petroleja i maziva koja ne sadrže naftu i hidrauličke tekućine.¹⁹ Međunarodna pomorska organizacija (IMO) razvila je sigurnosne propise za prijevoz opasnih tvari, a Međunarodni kodeks za izgradnju i opremu brodova koji su u velikom broju, prevoze opasne kemikalije i pružaju standard za siguran prijevoz opasnih i štetnih kemikalija morskim putem. Također ovi propisi i standardi su primjenjivi na opremu za rukovanje tekućom biomasom, ali nisu posebno razvijeni za ostalu vrstu biomase.

¹⁶ ISO. Preuzeto sa: <https://www.iso.org/committee/554401.html> [Pristupljeno 16. 06. 2020]

¹⁷ CEN. Preuzeto sa:

https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:7:0:::FSP_ORG_ID:19930&cs=17158638AB0C35D5E52A369017E54A1D6 [Pristupljeno 16. 06. 2020]

¹⁸ CEN. Preuzeto sa:

https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:7:0:::FSP_ORG_ID:6003&cs=1FAF2D8F6A6FE92BF5C85E6AAFDBDD16D [Pristupljeno 16. 06. 2020]

¹⁹ ISO. Preuzeto sa: <https://www.iso.org/committee/47356.html> [Pristupljeno 16. 06. 2020]

3. TEHNOLOGIJE PROIZVODNJE BIOGORIVA

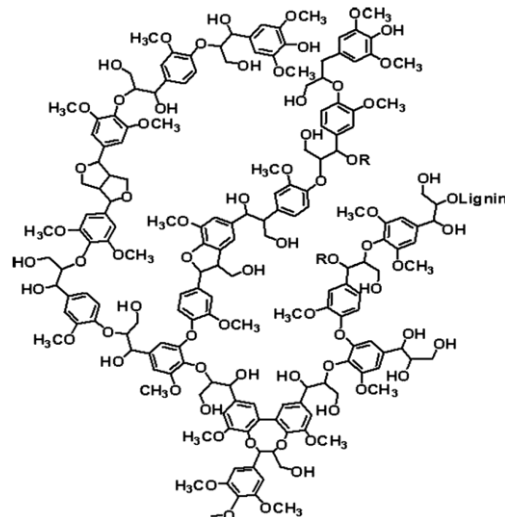
Materija koja čini sastav biomase, te način proizvodnje biomase u energiju poznavajući sastav biomase opisano je u potpoglavljima *Kemijski sastav i struktura biomase* i *Tehnologije za pretvorbu biomase u energiju*

3.1 Kemijski sastav i struktura biomase

Zbog proizvodnje biogoriva, potrebno je poznavati kemijski sastav i strukturu biomase koju čine sljedeći elementi:²⁰

1. lignin
2. hemiceluloza
3. celuloza.

Lignin je neugljikohidratni polifenolni polimer, te je glavni sastojak drva. Poput plastike ili cementa povezuje celulozna vlakna u vrlo čvrstu izvanstaničnu strukturu. Biljna stanica sintetizira lignin i pohranjuje ga na unutarnju stranu celulozne stijenke. Takav proces naziva se lignifikacija. Lignin predstavlja nepropusnu zapreku, takve stanice ugibaju i preostaje samo vanjska celulozna-ligninska struktura, koja drvu daje čvrstoću. Lignin je sporedni proizvod u proizvodnji papira koji se dobiva ekstrakcijom s pomoću vodene pare, kiselina ili organskih otapala. Lignosulfonati se upotrebljavaju u kožarstvu, kao emulgatori u prehrambenoj industriji, te kao sirovina u kemijskoj industriji. Biomasa sadrži 15% - 25% lignina uz vrlo visoki sadržaj energije.²¹ Slika 7. prikazuje kompleksnu aromatsku strukturu lignina.



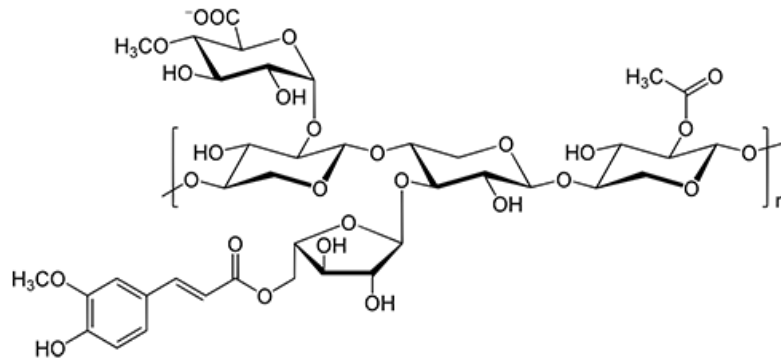
Slika 7. Kemijska struktura lignina

Izvor: *ResearchGate*. Preuzeto sa: https://www.researchgate.net/figure/Chemical-structure-of-lignin-source-lignoworks_fig1_315348668 [Pristupljeno 19. 06. 2020]

²⁰ Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

²¹ *Enciklopedija*. Preuzeto sa: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=36462> [Pristupljeno 19. 06. 2020]

Hemiceluloza je heterogena skupina dugolančastih polisaharida koji se razlikuju od celuloze. Osnovnu im građu čini niz povezanih molekula ksiloze, na koje su kao ogranci vezani drugi šećeri (arabinoza, manoza, galaktoza). Hemiceluloza se ukrštava ili sa celulozom ili ligninom, jačajući staničnu stijenku. Biomasa sadržava 23% - 32%.²² Slika 8. prikazuje hemicelulozu koja se također smatra ugljikohidratnim polimerom, što znači da u sebi sadržava jedinice šećera.



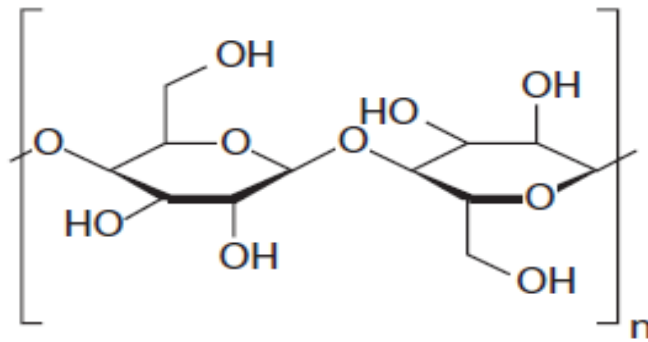
Slika 8. Kemijska struktura hemiceluloze

Izvor: PennState College of Earth and Mineral Sciences. Preuzeto sa: <https://www.e-education.psu.edu/egee439/node/664> [Pristupljeno 19. 06. 2020]

Celuloza je bijela vlaknasta tvar netopljiva u vodi i organskim otapalima i glavni je sastojak staničnih stijenki biljaka. Celuloza je osnovni i nezamjenjiv sastojak u mnogim industrijskim proizvodima. Lančane molekule celuloze građene su od glikozidički povezanih molekula glukoze, a odradbom kiselinama celuloza se hidrolitički razgrađuje. Reakcijom sumporne i dušične kiseline s celulozom nastaje celulozni nitrat, a djelovanjem anhidrida octene kiseline acetilceluloza. Celuloza nastaje izolacijom iz crnogoričnog i bjelogoričnog drva i drugih vlaknastih sirovina u obliku staničevine, vlaknaste tvari mogu sadržavati i do 99% celuloze. Mehanički usitnjene i očišćene sirovine kemikalijama na povišenoj temperaturi uklanjaju se lignin, smola i nepoželjna hemiceluloza. Najviše se primjenjuje sulfatni postupak gdje se celulozna masa nakon iskuhavanja s natrijevim hidroksidom i natrijevim sulfidom odvaja od preostalog luga, čisti pere i po potrebi izbjeljuje. Lug se regenerira isparivanjem, dodavanjem natrijeva sulfata radi nadoknade potrošenog natrija, spaljivanjem i kaustificiranjem. Biomasa u sebi sadrži 38% - 50% celuloze.²³ Slika 9. prikazuje polimer glukoze tj. celulozu koja je vrlo dobra biokemijska sirovina.

²² Enciklopedija. Preuzeto sa: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=24929> [Pristupljeno 19. 06. 2020]

²³ Enciklopedija. Preuzeto sa: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=11174> [Pristupljeno 19. 06. 2020]



Slika 9. Kemijska struktura celuloze

Izvor: *Textile Course*. Preuzeto sa: <https://textilecourse.blogspot.com/2018/02/properties-textile-fibers.html> [Pristupljeno 19. 06. 2020]

3.2 Tehnologije za pretvorbu biomase u energiju

Glavni razlog korištenja biomase kao jednog od primarnih izvora energije je da se umanjuje preveliko oslanjanje na fosilna goriva, zbog mogućnosti iscrpljivanja njihovih sirovina i prevelikog štetnog utjecaja na okoliš i prirodu. Biomasa omogućava održivu energiju koja je sigurna za populaciju i okoliš, te bi se tako smanjilo korištenje fosilnih goriva i spriječilo stvaranje štetnih plinova. Postoji niz procesa kojima se biomasa može pretvoriti u kvalitetne oblike energije, a ti procesi su biološkog, mehaničkog i toplinskog karaktera.

Tehnologije koje se koriste za proizvodnju biogoriva, podjeljene su na dvije vrste:²⁴

1. primarne tehnologije
2. sekundarne tehnologije.

3.2.1 Primarne tehnologije

Primarne tehnologije za proizvodnju biogoriva su:²⁵

1. termokemijske pretvorbe
2. biokemijske pretvorbe.

Termokemijske pretvorbe su pretvorbe kod kojih nastaje više temperaturnih stanja tijekom kemijskog procesa.²⁶ Postoje više vrsta pretvorbi i tehnologija prilikom proizvodnje energije iz biomase tj. biogoriva. Međutim, dalje u tekstu će biti definirane i obrađene najčešće korištene termokemijske pretvorbe za proizvodnju biogoriva, a to su:²⁷

²⁴ Ante, J.: *Obnovljivi izvori energije: Biomasa*, Fakultet kemijskog inženjstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2020. (prezentacija)

²⁵ Ibidem

²⁶ Erik Dahlquist, *Technologies for Converting Biomass to Useful Energy*, UK, 2017.

²⁷ Ibidem

1. izgaranje
2. rasplinjavanje
3. piroliza
4. torefakcija.

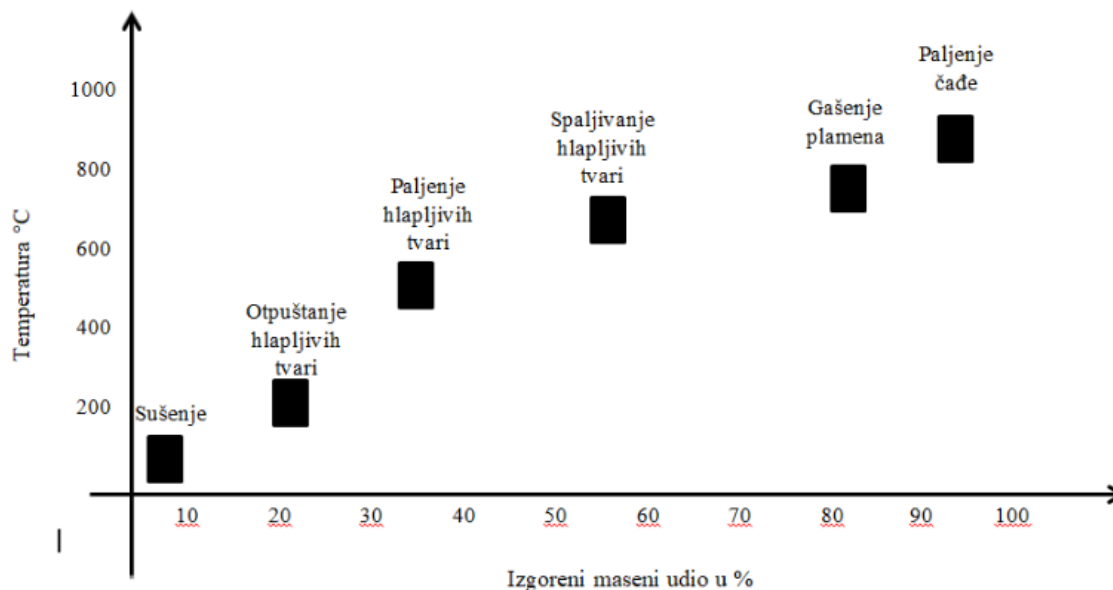
Izgaranje je kemijski proces u kojem se vrši oksidacija gorivih sastojaka nekog goriva, odnosno to je reakcija goriva s kisikom u zraku sa ciljem oslobađanja topline.²⁸ Kvalitetna goriva za izgaranje smatraju se ona goriva koja u sebi sadrže materijale bogate vodikom i ugljikom koji se nazivaju ugljikovodicima. Biomasa je bogata ugljikom, vodikom i kisikom, te proizvodi nastali izgaranjem biomase su ugljični dioksid i voda, te se proces izgaranja sastoji od:²⁹

1. Zagrijavanja i sušenja - prilikom zagrijavanja biomase, potrebno je izbaciti svu vlagu prije nego što izgori. Toplina za sušenje dovodi se zračenjem plamena i pohranjene topline u tijelu jedinice za izgaranje.
2. Destilacija (isparavanje) hlapljivih sastojaka - piroliza - kad temperatura suhe biomase dosegne između 200 °C i 350 °C, dolazi do isparavanja plinova. Proizvodi pirolize uključuju ugljični monoksid, ugljični dioksid, metan i spojeve velike molekulske mase (katran) koji se kondenziraju. Ti se plinovi miješaju s kisikom iz zraka i izgaraju stvarajući žuti plamen. Toplina iz izgarajućih plinova koriste za sušenje svježeg goriva i isparavanje daljnih plinova. Za održavanje ovog procesa potrebno je osigurati kisik, a nakon spaljivanja svih isparljivih sastojaka kao jedini materijal preostaje čađa.
3. Izgaranja hlapljivih sastojaka - prilikom odvijanja ovog procesa, potrebno je sačuvati kisik zato što će on biti potreban za daljnu oksidaciju ili izgaranje. Paljenje hlapljivih tvari odvija se na oko 500 °C, a spaljivanje hlapljivih tvari na oko 600 °C, te je potrebno ugasiti plamen i kao jedini materijal preostaje čađa.
4. Izgaranja čvrstog ugljika - na oko 800 °C čađa oksidira ili izgara, za što je potreban sačuvani kisik. Kisik reagira sa ugljikovim monoksidom da bi se stvorio ugljični dioksid koji se ispušta u atmosferu.

Slika 10. prikazuje proces izgaranja krute biomase i što točno nastaje pri određenim temperaturama za svaki izgoreni maseni udio.

²⁸ Sadaka S.; Donald M. J.: *Biomass Combustion*, University of Arkansas, United States Department of Agriculture and County Governments Cooperating

²⁹ Ante, J.: *Obnovljivi izvori energije: Biomasa*, Fakultet kemijskog inženjstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2020. (prezentacija)

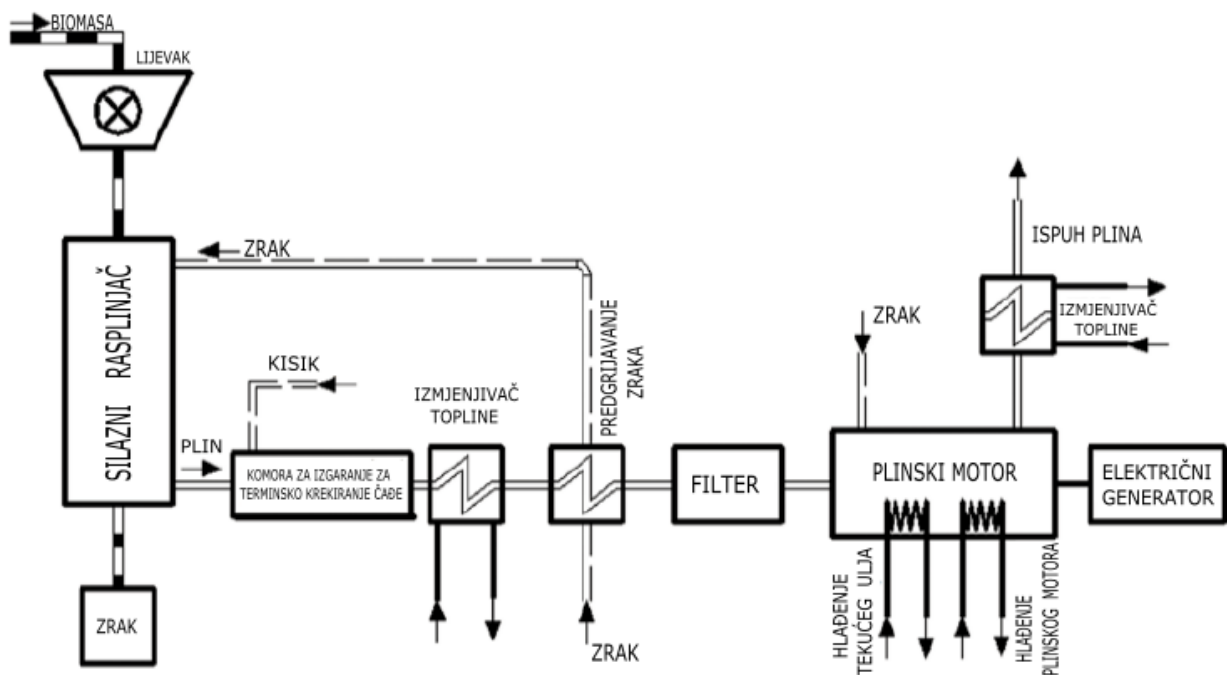


Slika 10. Proces izgaranja krute biomase

Izvor: Erik Dahlquist, *Technologies for Converting Biomass to Useful Energy*, UK, 2017.

Rasplinjavanje ili gasifikacija je termokemijski postupak koji se postiže kada se biomasa zagrijava u sredini sa smanjenim udjelom kisika, odnosno pretvorba biomase djelomičnom oksidacijom u plinovito gorivo ili sintetizirani plin.³⁰ Također se Rasplinjavanje može definirati kao proces pirolize s djelomičnom oksidacijom kojom se dobiva potrebna energija topline za sušenje, zagrijavanje i pirolizu. Oksidirajuća sredstva mogu biti čisti kisik, zrak, para ili ugljikov dioksid. Sastav sinteze ovisi o različitim vrstama sirovina, njihovom sadržaju vlage, o vrsti rasplinjača, sredstvu za rasplinjavanje, te temperaturi i tlaku u rasplinjaču. Proizvede sinteze podvrgnute su čišćenju i kondicioniranju da bi se stvorio čisti plin sa odgovarajućim omjerom vodika i ugljikovog monoksida prije katalitičke pretvorbe. Da bi se dobio čisti plin, tijekom čišćenja potrebno je ukloniti katran, prirodni plin koji u sebi sadrži značajne količine sumporovodika, ugljikovog dioksida, amonijaka i alkalnih metala. Kondicioniranje sinteze vrši se tako da se razina sumporovodik smanjuje poliranjem sumpora, a omjer vodika i ugljikovog monoksida se podešava pomicanjem vode i plina. Slika 11. prikazuje shemu odvijanja procesa rasplinjavanja.

³⁰ *Energy*. Preuzeto sa: <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/thermochemical-conversion-processes> [Pristupljeno 20. 06. 2020]



Slika 11. Proces rasplinjavanja biomase

Izvor: *ResearchGate*. Preuzeto sa: https://www.researchgate.net/figure/Principle-scheme-of-biomass-gasification-plant-for-chp-production_fig1_267842628 [Pristupljeno 20. 06. 2020]

Piroliza je kemijski proces razlaganja biomase toplinom pri povišenoj temperaturi i nedostatkom kisika, stvarajući bio-ulje koje se može dalje rafinirati u proizvode ugljikovodika. Razlaganje se odvija pri nižim temperaturama za razliku od uplinjavanja, a kao proizvod umjesto sintetiziranog plina nastaje tekuće ulje. Proizvedeno ulje ovisi o sadržaju kisika ili viskoznosti korištene sirovine u procesu. Ulje dobiveno postupkom pirolize se mora filtrirati kako bi se uklonile čestice i pepeo zbog stvaranja homogenog proizvoda. Zatim se ulje nadograđuje u ugljikovodična goriva postupcima hidrotretiranja i hidrokrekiranja, čime se postiže smanjivanje njegovog ukupnog sadržaja kisika.³¹ Razlikujemo tri vrste pirolize:³²

1. spora piroliza
2. brza piroliza
3. *flash* piroliza.

Spora piroliza odvija se pri niskim temperaturama i niskim stopama grijanja gdje je vrijeme zadržavanja pare previsoko (5 min - 30 min), te komponente u parnoj fazi nastavljaju međusobno reagirati što rezultira stvaranjem krutih ugljika i drugih tekućina.³³ Međutim, spora piroliza ima određena tehnološka ograničenja koja nisu prikladna za proizvodnju kvalitetnih bio-ulja, upravo zbog velikog zadržavanja pare

³¹ *Energy*. Preuzeto sa: <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/thermochemical-conversion-processes> [Pristupljeno 20. 06. 2020]

³² Mohammad I. J.; Mohammad G. R.; Ashfaque A. C.; Nanjappa A.: *Biofuels Production through Biomass Pyrolysis - A Technological Review*, 2012.

³³ Bridgwater, A.V.; Czernik, S.; Piskorz, J. An overview of fast pyrolysis. *Prog. Thermochem. Biomass Convers.* 2001, 2, 977–997.

što može negativno utjecati na prinos bio-ulja i njegovu kvalitetu. Također dugo vrijeme zadržavanja i nizak prijenos topline zahtijeva dodatni unos energije.³⁴

Brza piroliza je proces u kojem se biomasa brzo zagrijava na visokoj temperaturi s nedostatkom kisika. Brzom pirolizom nastaje 60% - 75% masnih proizvoda kao što su ulja i ostale slične tekućine s 15% - 25% krutih tvari poput bio-ugljikohidrata i 10% - 20% plinovite faze ovisno o korištenim sirovinama. Osnovne karakteristike procesa brze pirolize su visoka brzina prijenosa topline i zagrijavanja, vrlo kratko vrijeme zadržavanje pare, brzo hlađenje para i aerosola za visoki prinos bio-ulja i precizna kontrola reakcijske temperature.³⁵ Brza piroliza sve je više zastupljenija u proizvodnji goriva i kemikalija, te se tekući proizvod brzom pirolizom može lako i ekonomično transportirati i skladištiti. Također ima potencijal opskrbe brojnim vrijednim kemikalijama koje nude puno veće dodane vrijednosti od goriva.³⁶ Tehnologija brze pirolize može imati relativno niske troškove ulaganja i visoku energetska efikasnost u usporedbi s drugim procesima, posebno u malim količinama. Proizvodnja bio-ulja brzom pirolizom sve je više zastupljenija zbog sljedećih prednosti:³⁷

- obnovljivo je gorivo za kotlove, motore, turbine, proizvodnju električne energije i industrijske procese
- niski troškovi i neutralna ravnoteža ugljikova dioksida
- iskorištavanje zaliha i otpadnih sirovina za proizvodnju bio-ulja (šumski ostaci, komunalni i industrijski otpad itd.)
- skladištenje i transport tekućih goriva
- visoka gustoća energije u usporedbi s plinovima za uplinjavanje atmosferske biomase
- mogućnost odvajanje minerala na mjestu proizvodnje tekućeg goriva koje se reciklira u tlo kao hranjiva tvar
- sekundarna pretvorba u pogonska goriva, aditive ili posebne kemikalije
- primarno odvajanje frakcija šećera i lignina u biomasi s daljnjom nadogradnjom.

Flash piroliza biomase je postupak proizvodnje krutog, tekućeg i plinovitog goriva iz biomase s kojim se može postići do 75% prinosa bio-ulja. Takav proces karakterizira visoka brzina zagrijavanja čestica, visoke reakcijske temperature

³⁴ Demirbas, A.H. Yields and heating values of liquids and chars from spruce trunkbark pyrolysis. *Energy Source Part A* 2005, 27, 1367–1373.

³⁵ Demirbas, A.; Arin, G. *An overview of biomass pyrolysis. Energy Source Part A* 2002, 24, 471–482.

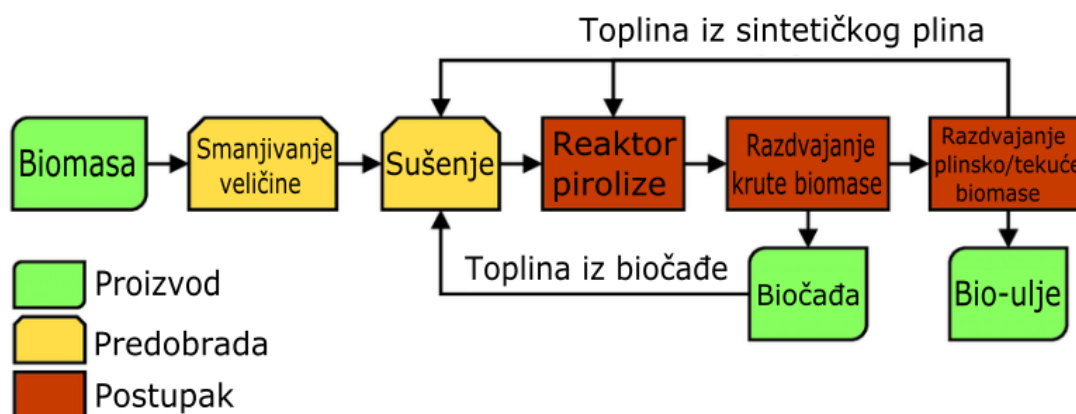
³⁶ Brammer, J.G.; Lauer, M.; Bridgwater, A.V. *Opportunities for biomass-derived "bio-oil" in European heat and power markets. Energy Policy* 2006, 34, 2871–2880.

³⁷ Chiaramonti, D.; Oasmaa, A.; Solantausta, Y. Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2007, 11, 1056–1086.

između 450 °C - 1000 °C i vrlo kratko zadržavanje plina (manje od jedne sekunde).³⁸ Ali ovaj postupak ima određena tehnološka ograničenja, kao što su:³⁹

- loša toplinska stabilnost i korozivnost ulja
- krute tvari u ulju
- povećanje viskoznosti tijekom katalitičkog djelovanja čađe
- koncentracija alkala u čađi otapa se u ulju i stvara pirolitičku vodu.

Slika 12. prikazuje shemu odvijanja procesa pirolize biomase, pri čemu nastaje pirolitičko ulje, odnosno bio-ulje.



Slika 12. Proces pirolize biomase

Izvor: *ResearchGate*. Preuzeto sa: https://www.researchgate.net/figure/Pyrolysis-conversion-process-principles_fig17_309397520 [Pristupljeno 20. 06. 2020]

Torefakcija je termički proces sličan pirolizi zbog toga što se odvija bez prisutnosti zraka tj. kisika, ali na nižim temperaturama koje variraju između 200 °C - 300 °C.⁴⁰ U termičkom procesu torefakcije biomasa se pretvara u materijal sličan ugljenu, ali sa boljim gorivnim karakteristikama. Toreficiranu biomasu je znatno lakše skladištiti, jer je biološka razgradnja i unos vode minimaliziran. Struktura biomase se mijenja na takav način da materijal postaje krhki i hidrofobniji. Isto tako je gubitak težine oko 30%, ali gubitak energije je samo 10%. Tijekom procesa izgaranja oslobađa se zapaljiv plin koji se koristi za zagrijavanje samog procesa. Povećanjem sadržaja vlage potrebno je više plina za postizanje autotermalnog rada, a posljedica toga je povećanje stupnja torefakcije. Slika 13. je shematski prikaz procesa torefakcije u kojem se razlikuju četiri odjeljka:⁴¹

1. odjeljak za pohranjivanje biomase

³⁸ Aguado, R.; Olazar, M.; Gaisan, B.; Prieto, R.; Bilbao, J. Kinetic study of polyolefin pyrolysis in a conical spouted bed reactor. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2002, 41, 4559–4566.

³⁹ Cornelissen, T.; Yperman, Y.; Reggers, G.; Schreurs, S.; Carleer, R. Flash co-pyrolysis of biomass with polylactic acid. Part 1: Influence on bio-oil yield and heating value. *Fuel* 2008, 87, 1031–1041.

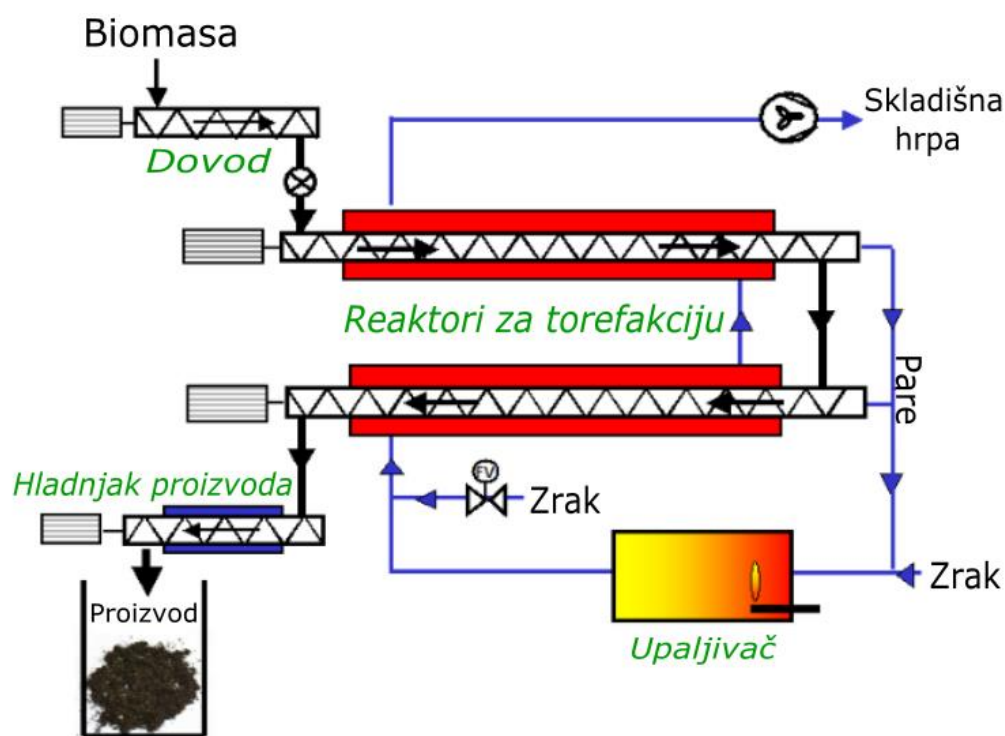
⁴⁰ *Biomass Handling*. Preuzeto sa: <https://www.advancedbiomass.com/2010/10/handling-pellets-things-to-consider/> [Pristupljeno 14. 06. 2020]

⁴¹ *BTG biomass technology group*. Preuzeto sa:

<https://www.btgworld.com/en/rtd/technologies/torrefaction> [Pristupljeno 20. 06. 2020]

2. odjeljak reaktora gdje se biomasa pretvara u toreficirani materijal i zapaljiv plin
3. odjeljak za hlađenje, zato što je proizvod torefakcije lako zapaljiv i time zahtijeva potrebu za sustavom za hlađenje
4. odjeljak za izgaranje, proizvedeni plinovi i pare izgaraju sa viškom kisika u komori za izgaranje, a proizvedena toplina se koristi za zagrijavanje proces.

U procesu torefakcije potrebna je toplina koja je nastala izgaranjem para, te se plinovi usmjeravaju u komoru za izgaranje u kojoj se proces izgaranja vrši na dovoljno visokim temperaturama. Vrući dimni plinovi iz komore za izgaranje postavljeni su duž zida reaktora da neizravno zagrijavaju biomasu. Ovisno o sirovini i potrebi za kvalitetom proizvoda, može se proizvesti višak topline za potrebe sušenja ili za proizvodnju električne energije. Različite vrste biomase i ostataka mogu se upotrijebjavati u procesu torefakcije, čak i materijali vrlo male gustoće. Proizvod dobiven u procesu torefakcije ovisi o promijenjenim uvjetima postupka radi dobivanja proizvoda različite kvalitete. Proizvodi u prometnom aspektu su uglavnom toreficirani peleti.⁴²



Slika 13. Proces torefakcije biomase

Izvor: *BTG biomass technology group*. Preuzeto sa:

<https://www.btgworld.com/en/rtd/technologies/torrefaction> [Pristupljeno 20. 06. 2020]

⁴² *BTG biomass technology group*. Preuzeto sa:

<https://www.btgworld.com/en/rtd/technologies/torrefaction> [Pristupljeno 20. 06. 2020]

Pod primarne tehnologije za proizvodnju biogoriva spadaju još i biokemijske pretvorbe. Biokemijske pretvorbe su glavne pretvorbe za proizvodnju kemikalija i materijala iz biomase. To uglavnom uključuje hidrolizu polisaharida lignoceluloze tj. celuloze i hemiceluloze u jednostavne šećere i njihovu daljnu pretvorbu pomoću fermentacijskih organizama u gorivo tj. etanol (bioetanol). Zbog kompaktne krute strukture i biorazgradnje, oslobađanje fermentirajućih šećera postalo je najvažnije za industrijalizaciju lignoceluloze kao sirovine. Lignoceluloza zaustavlja raspadanje ugljikohidrata živih bića, stoga je to glavna tehnička prepreka transformacije lignoceluloze biomase u šećere i zatim u goriva. Kako bi transformacija lignoceluloze u gorivo bila uspješna, proces proizvodnje sastoji se od tri biokemijske pretvorbe koje se moraju odvijati točno ovim redoslijedom:⁴³

1. predobrada
2. hidroliza
3. fermentacija

Predobrada je postupak s ciljem uklanjanja djelova strukture biomase koje predstavljaju prepreke daljnoj transformaciji, a to je izmjena neizravnih čimbenika (veličina pora i volumen, veličina čestica i specifična površina, lignin, hemiceluloza, kristalnost celuloze i stupanj polimerizacije) i poboljšanje izravnih čimbenika (dostupna površina) koji povećavaju dostupnost celuloze enzimima koji bi razgrađivali polimer ugljikohidrata u jednostavne šećere. Također djelomično ili potpuno uklanjanje hemiceluloze i/ili lignina bi pomoglo poboljšanju hidrolize celuloze. Predobrade su klasificirane na:⁴⁴

1. fizikalne i mehaničke
2. kemijske i fizikalno-kemijske
3. biološke

Fizikalne i mehaničke predobrade uključuju tretmane usitnjavanja, istiskivanja, torefakcije i ozračivanja (mikrovalne, elektrone, ultrazvučne i gama zrake) što omogućuje lakše rukovanje materijalom. Ako se suspenzija lignoceluloze tretira sa dovoljno energije (zračenjem), vodikove veze supstrata bi se raspadale, što znači poboljšanje naknadne hidrolize polisaharida.⁴⁵ Cilj ove vrste predobrade je povećanje pristupačne površine i veličine pora, smanjenje kristalnosti celuloze i zgušnjavanje sirovina. Ako se mehanička ili fizikalna predobrada primjenjuje pojedinačno, onda je

⁴³ Alvira P, Tomás-Pejó E, Ballesteros M, Negro MJ. 2010. *Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review*. *Bioresource Technology*. 101: 4851–4861

⁴⁴ Mosier N, Wyman C, Dale B, Elander R, Lee YY, Holtzaple M, Ladisch M. 2005. *Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass*. *Bioresource Technol*. 96: 673–686.

⁴⁵ Harmsen PFH, Huijgen WJJ, Bermúdez López LM, Bakker RRC. 2010. *Literature Review of Physical and Chemical Pretreatment Processes for Lignocellulosic Biomass*. Energy Research Centre of Netherlands (ECN).

hidroliza neučinkovita i često nije zadovoljavajuća. Potrebna energija za ove procese je relativno velika i obično ovisi o karakteristikama biomase i veličini čestica.⁴⁶

Kemijske i fizikalno-kemijske predobrade se razvijaju pomoću kemijskih reakcija da se poremeti kristalna struktura lignoceluloze i djelomično ili potpuno hidroliziraju frakcije lignina i/ili (hemi) celuloze. Hemiceluloza se lako hidrolizira u blagim kiselinama ili alkalnim uvjetimam, ali celuloza je otpornija i zahtijeva stroži tretman. Ova vrsta predobrade klasificira se prema sljedećim kategorijama:⁴⁷

1. Predobrada kiselinom (predobrada biomase sa niskom pH vrijednosti) - također se naziva i hidroliza kiselina, jedna je od najučinkovitijih i korištenih metoda za obradu lignoceluloze biomase. Anorganske kiseline kao što su sumporna kiselina, klorovodična kiselina, fosforna kiselina i dušična kiselina koriste se kao katalizatori, ali organske kiseline poput fumarne kiseline ili maleinske kiseline mogu se koristiti kao alternative. Najčešće se koristi sumporna kiselina za predobradu biomase, jer je najpovoljnije sredstvo za hidrolizu celuloze.
2. Predobrada bez katalize (predobrada biomase sa neutralnim uvjetima) - je predobrada biomase sa parom i tekućinom tople vode na visokim temperaturama između 160 °C - 260 °C i tlaku. Također ova predobrada nosi nekoliko naziva poput hidrotermolize, hidroterminalna obrada, vodena frakcija, solvoliza, autohidroliza ili akvasol. Cilj ove predobrade je ukloniti većinu hemiceluloze. Rezultat predobrade je da celuloza u krutoj fazi postaje pristupačnija za daljnju razgradnju. Potrebno je napomenuti da kiseline koje se oslobađaju iz komponenata biomase snižavati pH vrijednost i učinkovitost. Prednost ove predobrade je smanjena potreba za kemikalijama i problemi s korozijom su ograničeni.
3. Alkalna kataliza (predobrada biomase sa visokom pH vrijednosti) - je predobrada lignoceluloze, tj. natapanje materijala u alkalije kao što je otopina amonijaka, kalcija, natrijeva hidroksida, te zatim zagrijavanje na određeno vrijeme da se poveća unutarnja površina, smanji kristalnost, prekinu strukturne veze između lignina i polisaharida i poremeti ligninsku strukturu. Također se uklanjaju acetyl i razne supstance uronske kiseline hemiceluloze što čini ugljikohidrate dostupnijima. Ovakva predobrada uključuje delignifikaciju materijala, otapanje glavnog dijela lignina. Ovaj se proces najviše koristi predobradom tvrdog drva i poljoprivrednih ostataka.
4. Organosolv proces - organska ili vodeno-organsko otapala miješaju se kao alkoholi (etanol, metanol, aceton i etilen glikol) i alifatske kiseline (octena, mravlja, salicilna i oksalna) sa ili bez dodavanja kiseline kao katalizatora (ugljkovodična kiselina, sumporna kiselina) ili organske (mravlja kiselina) koriste za prekidanje veza između lignina i ugljikohidratnih polimera lignoceluloze.

⁴⁶ Hendriks ATWM, Zeeman G. 2009. *Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass*. *Bioresource Technology*. 100: 10–18.

⁴⁷ Sun Y, Cheng JY. 2002. *Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review*. *Bioresour Technol*. 83: 1–11.

5. Oksidativni proces - uključuje delignifikaciju i strukturni poremećaj lignoceluloze obradom oksidirajućeg agensa poput vodikovog peroksida, ozona, kisika ili zraka. Po potrebi se postupak oksidacije izvodi s dodatkom alkalnog katalizatora. Oksidanti razbijaju monomere lanca lignina, a oksidacijski procesi koji se odvijaju kisikom ili zrakom s vodom na visokoj temperaturi 150 °C - 350 °C i tlaku (5 MPa - 20 MPa) obično se nazivaju vlažnom oksidacijom. Međutim, tijekom izvedbe ovog procesa produkti razgradnje lignina kao što je karboksilna kiselina, nastaje i kao degradacijom hemiceluloze.
6. Ugljikodioksidna eksplozija - predobrada biomase sa ugljikodioksidom pri visokim temperaturama, pritisku i oslobađanjem od pritiska eksplozivnom dekompresijom narušava strukturu lignoceluloze i poboljšava površinu celuloze. Drugi način korištenja ugljikodioksida je u njegovom nadkritičnom tekućem obliku. Superkritična tekućina odnosi se na fluid u plinovitom obliku, ali na temperaturama iznad kritične kompresije do gustoće tekućine. Cilj ovog procesa je stvaranje ugljične kiseline koja pomaže hidrolizi mase, ali je ipak nepovoljan za lignocelulozne materijale, jer su prinosi šećera niski, učinkovitost često nije zadovoljavajuća i relativno su skupi.
7. Ionska tekućina - su rastopljene soli s talištem blizu temperature okoline. Sastoje se od iona koji su zadržane principom Coulombovog zakona. Dostupne su razne vrste ionskih tekućina koje zajedničko karakterizira što se sastoje od organskog kationa i organsko anorganskog aniona. Svojstva ionskih tekućina su kemijska inertnost, niska isparljivost, termička stabilnost, zanemarljiv tlak para i sposobnost otapanja što ih čini važnom alternativom otapala za obradu lignoceluloze. Kao selektivna otapala mogu djelovati lignin ili (hemi) celuloza. Ovaj proces omogućava poboljšanu dostupnost celuloze bez upotrebe kiselihih otopina. Ipak, nemaju sve ionske tekućine sposobnost otapanja lignocelulozних komponenti i njihova učinkovitost može značajno varirati.

Biološke predobrade uključuju upotrebu mikroorganizama koji razgrađuju lignocelulozu za izmjenu materijala. Takvi biokatalizatori mogu razgraditi hemicelulozu i lignin, ali celulozu ostavljaju netaknutom, povećavajući na taj način probavljivost sirovine. Glavne prednosti biološke predobrade su niska potreba za energijom, blagi radni uvjeti, izbjegavanje uporabe opasnih kemikalija, ne nastajanje štetnih otpadnih proizvoda i ekološki su prihvatljivije. Ali stope predobrade uglavnom su vrlo niske i potrebno je duže vrijeme (nekoliko dana). Isto tako za kontroliranje rasta mikroorganizama potreban je znatno veći prostor, te razgradnja polisaharida učinila je ovu vrstu predobrade manje komercijalno upotrebljivom.⁴⁸

⁴⁸ Narayanaswamy N, Dheeran P, Verma S, Kumar S. 2013. *Biological Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Enzymatic Saccharification*. Pretreatment Techniques for Biofuels and Biorefineries Green Energy and Technology. 3–34.

Hidroliza polisaharida lignoceluloze može biti u skladu s koncentriranom kiselinom ili enzimskim katalizatorima. Kombinacija razrijeđene kiseline i enzimske hidrolize su najpoželjniji pristup za postizanje visokih prinosa šećera.⁴⁹ Biomase se obrađuje mineralnim kiselinama pri relativno niskim temperaturama i visokom koncentracijom kiselina, zatim dolazi do hidrolize (hemi) celuloze, oslobađajući šećere u proizvodu hidrolize s time da se lignin ostavi u krutom obliku. Prinos šećera hidrolizom koncentriranih kiselina obično je značajno veći u usporedbi s razrijeđenom hidrolizom kiselina. Kada se koristi razrijeđena kiselina, potrebna je naknadna hidroliza enzima, dok to nije potrebno hidrolizom koncentrirane kiseline. Hidroliza koncentrirane kiseline fleksibilna je u pogledu izbora sirovina, što znači da se može primijeniti na bilo koju vrstu biomase. Razrijeđena i koncentrirana hidroliza nude dobru učinkovitost obnavljanja šećera. Ali postoji nekoliko nedostataka, oslobođeni šećeri bi se dalje razgrađivali u nusproizvode, a također bi nastali i produkti razgradnjom lignina. Koncentrirane kiseline su visoko korozivne, otrovne i opasne, te im je potrebna oprema otporna na koroziju. Isto tako se potrošena kiselina mora oporaviti kako bi se proces mogao učiniti ekonomski održivim, a za neutralizaciju pH vrijednosti proizvoda hidrolize potrebna je velika količina alkalija, što rezultira stvaranje krutog otpada. S obzirom utjecaja na okoliš, visokih troškova ulaganja i održavanja, proces hidrolize koncentrirane kiseline ograničen je u komercijalne interese.⁵⁰

Enzimaska hidroliza je učestalija od hidrolize koncentrirane kiseline radi mnogo više prednosti i zbog složene kemijske strukture lignoceluloze za razgradnju njegovih ugljikohidratnih polimera kojima je potrebno više enzima. Enzimaska hidroliza ima višestupanjsku heterogenu reakciju podijeljenu na primarnu hidrolizu i sekundarnu hidrolizu u kojoj uključuje sinergiju djelovanja tri različita razreda enzima:⁵¹

1. endoglukanaza
2. egzoglukanaza
3. beta-glukozidaza.

U primarnoj enzimskoj hidrolizi, endoglukanaza razbija regije s niskom kristalnošću celuloznih vlakana i formira nove slobodne krajnje lance, a egzoglukanaza dalje cijepa celulozne lance kako bi oslobodila jedinice celobioze. Ovaj se postupak odvija na čvrstoj površini supstrata i u tekućoj fazi oslobađa se topljivi šećer.⁵²

⁴⁹ Kumar P, Barret DM, Delwiche MJ, Stroeve P. 2009. *Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production*. Ind Eng Chem Res. 48: 3713–29.

⁵⁰ Wyman CE. 1996. *Handbook on Bioethanol, Production and Utilization*. Taylor & Francis, Washington DC.

⁵¹ Bhat MK. 2000. *Cellulases and related enzymes in biotechnology*. Biotechnology Advances. 18: 355–383.

⁵² Binod P, Janu KU, Sindhu R, Pandey A. 2011. *Hydrolysis of Lignocellulosic Biomass for Bioethanol Production*. In *Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes*. Eds Ashok Pandey, Christian Larroche, Steven C Ricke. Academic Press. 229-250.

Sekundarna enzimaska hidroliza odvija se u tekućoj fazi, koja uključuje jedinice beta-glukozidaze u molekule glukoze. Sinergetska endo-egzo depolimerizacija je korak koji ograničava brzinu za cijeli proces hidrolize celuloze. Tijekom hidrolize karakteristike supstrata variraju, kombinacijom djelovanja endoglukanaze i egzoklunaze mijenjaju se karakteristike površine celuloze, što rezultira promjene brzine izvođenja hidrolize.⁵³

Glavne prednosti enzimske hidrolize uključuje visoki prinos šećera, za reakciju je potrebna umjerena temperatura, ne stvara probleme u vezi korozije opreme i stvaranje nusproizvoda je minimalan. Nedostatak enzimske hidrolize su relativno visoki troškovi, a reakcijske stope su male i to može utjecati na inhibiciju enzimskih proizvoda. Međutim, postoje razni faktori koji utječu na enzimsku hidrolizu celuloze poput:⁵⁴

- vrsta predobrade
- modifikacije kemijske strukture koje se događaju u sirovini za vrijeme predobrade
- veličina čestica
- količina i sastav lignina koji je prisutan u predobrađenoj biomasi - lignin u biomasi utječe na stvaranje topljivih šećera tijekom enzimske hidrolize, a celuloza se nepovratno veže za lignin kroz hidrofobne interakcije koje uzrokuju gubitak aktivnosti enzima
- koncentracija supstrata - može ometat prijenos mase
- vrsta korištenih enzima
- aktivnost enzima, njihovo punjenje i sinergija sa lignocelulozom
- uvjeti hidroliza - pH vrijednost, temperatura i miješanje.

Nakon izvršene predobrade i enzimske hidrolize, lignoceluloza je obogaćena šećerom i spremna za fermentaciju. Lignoceluloza se fermentira u etanol koristeći različite vrste mikroorganizama. Pivski kvasac je najčešće korišten i komercijalno dominantan organizam koji se koristi za tu svrhu, ali također se mogu upotrijebiti i bakterije poput *Zymomonas mobilis*, *Escherichia coli* i termofilne bakterije kao što su *Clostridium thermocellum* i *Clostridium thermohydrosulfuricum*.⁵⁵ Prednost pivskog kvasca je što daje velike prinose etanolu, odnosno ima visoku toleranciju na etanol i opće inhibitore, zato ga se smatra komercijalnim standardom jer je pouzdan u

⁵³ Binod P, Janu KU, Sindhu R, Pandey A. 2011. *Hydrolysis of Lignocellulosic Biomass for Bioethanol Production*. In *Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes*. Eds Ashok Pandey, Christian Larroche, Steven C Ricke. Academic Press. 229-250.

⁵⁴ Ibidem.

⁵⁵ Lynd LR. 1989. *Production of ethanol from lignocellulosic materials using thermophilic bacteria: Critical evaluation of potential and review*. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*. 38: 1-52.

proizvodnji alkohola. Ipak glavni mu je nedostatak što ne može koristiti jednostavne šećere pentoze. Fermentacija se odvija u tri režima:⁵⁶

1. šaržnom
2. krmnom
3. kontinuiranom.

U režimu šaržiranja mikroorganizam se inokulira na određenu količinu medija i fermentacija se vrši sve dok se šećer ne potroši. Takav režim je jednostavan, jeftin, sadrži mali rizik od oneišćenja i posjeduje mogućnost učinkovitog korištenja šećera. Nedostaci kultivacije šarže su da se prilikom upotrebe hidroliziranih lignoceluloznih stanica izlažu izravno visokoj koncentraciji inhibitora lignoceluloze. Isto tako su intenzivne, dugotrajne pa je potrebno dodavati svježe medije, čistiti, sterilizirati i prikupljati stanice za svaku šaržu, a ukupna produktivnost je niska.⁵⁷

Fermentacija u krmnom režimu znači neprekidno dodavanje novih medija u fermentaciju da se može održavati niska koncentracija supstrata, te tako mikroorganizmi mogu izbjeći izlaganje visoko toksičnim koncentracijama koje proizvodi hidrolizirana lignoceluloza. Nedostatak krmnog režima je što se maksimalna radna zapremina fermentacijske posude ne koristi cijelo vrijeme.⁵⁸

Kao alternativa za fermentaciju koristi se kontinuirani režim u kojem se medij kontinuirano dodaje u fermentacijsku posudu i istim se postupkom uklanja nepotreban proizvod. Na taj se način volumen fermentacije održava konstantnim i za razliku od šaržijskog režima, etanol se proizvodi kontinuirano. Ipak glavni nedostaci su što se stanice neprestano ispuštaju iz reaktora, prisutni su problemi kontaminacije i genetske nestabilnosti. Ali poboljšanje režima se može postići kontinuiranom fermentacijom s flokulirajućim kvascem ili staničnom imobilizacijom. Međutim, prilikom konfiguriranja postupka fermentacije potrebno je uzeti u obzir sljedeće parametre:⁵⁹

- prinos etanola - treba biti visok
- produktivnost etanola - treba biti visok
- cijena opreme - treba biti niska.

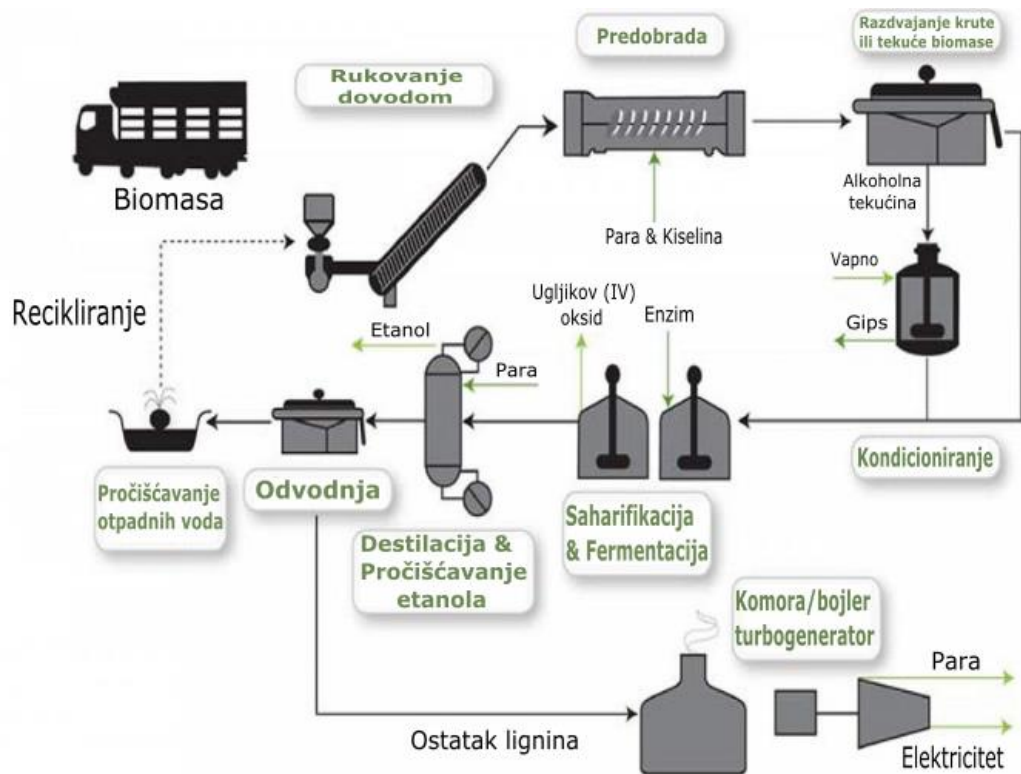
Slika 14. prikazuje shemu odvijanja procesa biokemijske pretvorbe biomase u biogorivo.

⁵⁶ Nilsson A, Gorwa-Grauslund MF, Hahn-Hägerdal B, Lidén G. 2005. *Cofactor Dependence in Furan Reduction by Saccharomyces cerevisiae in Fermentation of Acid-Hydrolyzed Lignocellulose*. Appl. Environ. Microbiol. 71(12): 7866–7871.

⁵⁷ Nilsson A, Gorwa-Grauslund MF, Hahn-Hägerdal B, Lidén G. 2005. *Cofactor Dependence in Furan Reduction by Saccharomyces cerevisiae in Fermentation of Acid-Hydrolyzed Lignocellulose*. Appl. Environ. Microbiol. 71(12): 7866–7871.

⁵⁸ Ibidem

⁵⁹ Palmqvist E, Hahn-Hägerdal B. 2000. *Fermentation of lignocellulosic hydrolysates. I: inhibition and detoxification: review*. Bioresource Technol. 74: 17–24.



Slika 14. Proces biokemijske pretvorbe biomase

Izvor: NREL Transforming Energy. Preuzeto sa: <https://www.nrel.gov/bioenergy/biochemical-conversion-techno-economic-analysis.html> [Pristupljeno 22. 06. 2020]

3.2.2 Sekundarne tehnologije

Sekundarne tehnologije za proizvodnju biogoriva su:⁶⁰

1. parna turbina
2. plinska turbina
3. motor s unutarnjim izgaranjem
4. Stirling motori
5. gorivni članak.

Parne turbine sa kogeneracijskim postrojenjem se koriste u proizvodnji biogoriva. Za kongeneracijska parno turbinska postrojenja mogu se primjenjivati protutlačne parne turbine ili kondezacijske turbine s reguliranim oduzimanjem pare, ali ipak postrojenja s protutlačnim parnim turbinama su jednostavnija i učinkovitija. Međutim, proizvodnja električne energije kod takvih postrojenja ovisi o potrebi toplinske energije.⁶¹ Ako nema potrošnje toplinske energije ne može se proizvoditi električna energija. S protutlačnim turbinama zadovoljava se potreba za toplinskom energijom, ali u slučaju manjka, električna se energija preuzima iz vanjske

⁶⁰ Ante, J.: *Obnovljivi izvori energije: Biomasa*, Fakultet kemijskog inženjstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2020. (prezentacija)

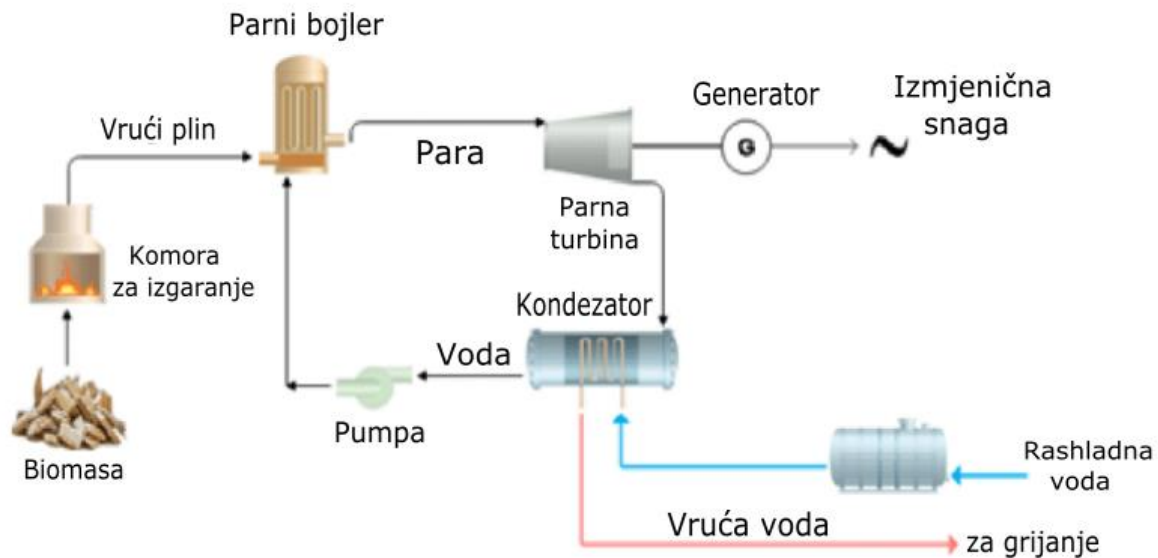
⁶¹ Branko S.; Zmagoslav P.; Ivan J.: *Analiza učinkovitosti kogeneracijskoga parno-turbinskog postrojenja snage 5,7 MW_e*, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2010.

elektroenergetske mreže ili se u slučaju viška isporučuje u elektroenergetsku mrežu. Postrojenja s kondenzacijskim turbinama uz regulirana oduzimanja pare su složenija i manje učinkovita u odnosu na postrojenja s protutlačnim turbinama. Ali za razliku od postrojenja s protutlačnim turbinama u njima se može proizvoditi toplinska i električna energija kada nema potrebe za toplinskom energijom. Ovakva se postrojenja obično ugrađuju kada se želi iz vlastita izvora snabdijevati s potrebnom toplinskom i električnom energijom bez ovisnosti od jave elektroenergetske mreže.⁶² Kogeneracijsko parno turbinsko postrojenje sastoji se od kondenzacijske turbine s jednim nereguliranim i jednim reguliranim oduzimanjem pare iz turbine i koriste se za tehnološke potrebe u proizvodnim postrojenjima. Svježa para iz generatora pare dovodi se u turbinu i ekspandira do neregularnog oduzimanja gdje se oduzima dio pare za toplinske potrošače višeg tlaka. Ostali dio pare ekspandira do reguliranog oduzimanja gdje se uzima dio pare za toplinske potrošače nižeg tlaka. Ostatak pare ekspandira do tlaka u kondenzatoru gdje se kondenzira. Iz kondenzatora se kondenzat, uz pomoć kondenzatne pumpe odvodi u otplinjač i dalje s napojnim pumpama u regenerativni zagrijač te u generator pare.⁶³ U otplinjaču se izdvaja kiski uz napojne vode da se što više moguće spriječi korozija u generatoru pare. Parno turbinsko postrojenje ima redukcijsku stanicu za redukciju tlaka svježe pare na tlak nereguliranoga oduzimanja, te redukcijsku stanicu za redukciju tlaka do tlaka reguliranoga oduzimanja. Redukcijskim stanicama omogućen je rad toplinskih potrošača pri ispadu turbine iz pogona ili tijekom njena remonta. Turbina ima pet akcijskih stupnjeva koji se sastoje od statorskih i rotorskih lopatica. Statorske lopatice su ugrađene u razdjelne stijene. Rotorske lopatice su ugrađene u rotorska kola. Iza prvoga stupnja turbine izvedeno je neregulirano oduzimanje pare. Regulirano oduzimanje pare izvedeno je iza drugoga stupnja turbine. Primjenom zakretne dijafragme skraćuje se turbina u odnosu na izvedbu s regulacijskim ventilima. Neregulirano oduzimanje je jednostavnije u odnosu na regulirano oduzimanje, ali kod njega se tlak pare mijenja s opterećenjem turbine dok tlak pare reguliranoga oduzimanja ostaje konstantan. Neregulirano oduzimanje pare obično se primjenjuje kada je količina oduzimate pare manja od 30 % protočne količine. Rotor turbine je postavljen na dva radijalna klizna ležaja. Prednji ležaj je kombinirani radijalno-aksijalni za sprječavanje pomaka rotora u aksijalnom smjeru. Parna turbina pomoću reduktora brzine vrtnje, pogoni električni generator koji je spojen s krutom spojkom. Također je ugrađen zasebni uljni sustav za podmazivanje ležajeva turbine, reduktora i generatora, kao i za potrebe regulacije. Kroz ventile svježe pare i regulacijske ventile dovodi se svježa para u turbinu. U prvom stupnju para u turbini ekspandira gdje se dio pare neregulirano oduzima za tehnološke potrebe. U drugom stupnju preostala para ekspandira iz kojega se dio pare regulirano oduzima, isto tako i za tehnološke potrebe, a preostali dio pare ekspandira u ostalim stupnjevima do tlaka u kondenzatoru. Rashladna voda za kondenzator dobavlja se iz rashladnih tornjeva.

⁶² Branko S.; Zmagoslav P.; Ivan J.: Analiza učinkovitosti kogeneracijskoga parno-turbinskog postrojenja snage 5,7 MW_{el}, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2010.

⁶³ Ibidem

Parni kondenzator je površinski izmjenjivač topline koji je projektiran tako da se jedna njegova polovica može čistiti dok druga normalno radi. Slika 15. prikazuje shemu rada parne turbine sa kogeneracijskim postrojenjem za biomasu.⁶⁴



Slika 15. Princip rada parne turbine sa kogeneracijskim postrojenjem za biomasu

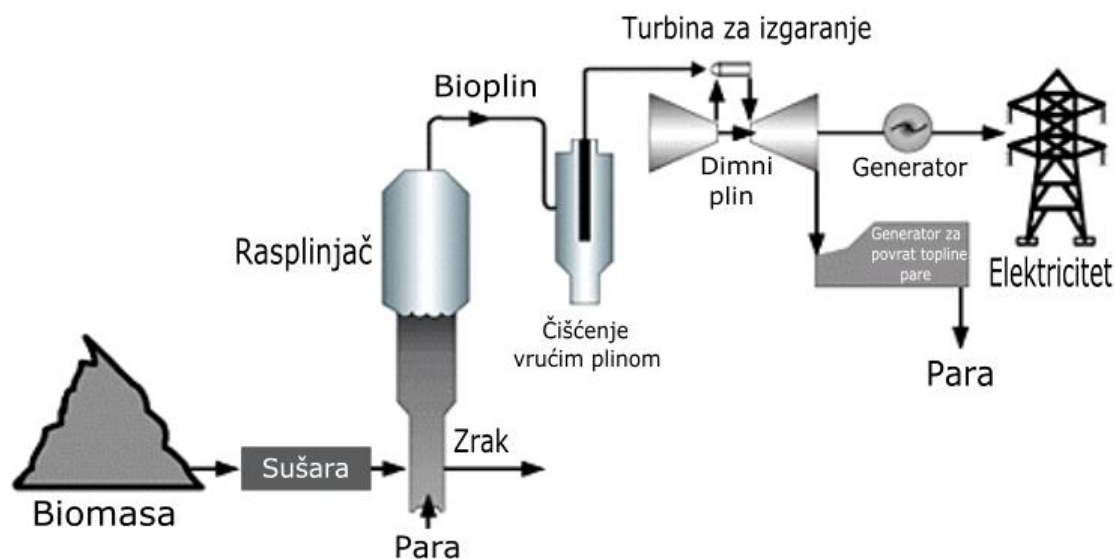
Izvor: *ResearchGate*. Preuzeto sa: https://www.researchgate.net/figure/Principle-of-operation-of-a-steam-turbine-biomass-cogeneration-plant_fig1_336103944 [Pristupljeno 24. 06. 2020]

Plinska turbina se temelji na klasičnom procesu kojeg karakterizira kompresija zraka iz okoline koji se dogrijava u izmjenjivaču, odnosno regeneratoru sa ispušnim plinom iz turbine, te odlazi u komoru izgaranja za plin ili tekuće gorivo gdje se stvaraju plinovi izgaranja. Plinovi u turbini ekspandiraju i oslobađaju energiju za pogon kompresora i električnog generatora.⁶⁵ Nakon što ispušni plinovi izađu iz turbine, oni se hlade u regeneratoru gdje se zagrijava zrak iz kompresora čime se smanjuje potrošnja goriva i povećava stupanj korisnosti. Ali za korištenje energije biomase u plinskoj turbini potrebno je dograditi vanjske instalacije za izgaranje biomase čija se energija direktno ili indirektno uvodi u turbinu. Za direktno izgaranje biomase na postojeću komoru izgaranja turbine dograđuje se vanjsko tlačno ložište iz kojeg plinovi izgaranja odlaze u turbinu, pri čemu se u turbinu unosi i dio letećeg pepela biomase koji stvara naslage i koroziju lopatica turbine koje mogu uzrokovati havariju turbine. Kako bi se izbjegle neželjene posljedice korištenja biomase za rad plinske turbine koristi se indirektni način korištenja energije biomase pri čemu se biomasa koristi za zagrijavanje zraka prije ulaska u turbinu i tako se osigurava da plinska turbina radi sa čistim zrakom što osigurava idealne uvjete rada turbine.⁶⁶ Slika 16. je shematski prikaz rada plinske turbine.

⁶⁴ Branko S.; Zmagoslav P.; Ivan J.: Analiza učinkovitosti kogeneracijskoga parno-turbinskog postrojenja snage 5,7 MW_{el}, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2010.

⁶⁵ *ENITEH*. Preuzeto sa: <https://www.eniteh.hr/princip.html> [Pristupljeno 24. 06. 2020]

⁶⁶ *Ibidem*



Slika 16. Princip rada plinske turbine za biomasu

Izvor: *BioEnergy Consult*. Preuzeto sa: <https://www.bioenergyconsult.com/tag/gas-turbine/>
[Pristupljeno 24. 06. 2020]

Motor s unutarnjim izgaranjem na biomasu odvija se procesom rasplinjavanja što je također djelomično izgaranje krutog goriva tj. u ovom slučaju biomase. Rasplinjavanje se odvija na temperaturi oko 1000 °C, a reaktor se naziva rasplinjač. Proizvodi koji nastaju potpunim izgaranjem biomase obično sadrže dušik, vodenu paru, ugljični dioksid i kisik.⁶⁷ Međutim, rasplinjavanjem se vrši nepotpuno izgaranje, pa su proizvodi zapaljivi plinovi poput ugljikovog monoksida, vodika, metana i nekorisni proizvodi poput katrana i prašine. Ključan je dizajn rasplinjača, jer on provodi pogodnu temperaturu za proizvodnju biogoriva, odnosno biomasu reducira na drveni ugljen i ugljen pretvara u ugljikov monoksid i vodik. Sustav rasplinjavanja je klasificiran i sličan sustavu za izgaranje. Budući da u rasplinjaču postoji interakcija zraka ili kisika i biomase, rasplinjači sa fiksnim ležajem dijele se prema načinu na koji se zrak ili kisik unosi. Postoje dvije vrste rasplinjača.⁶⁸

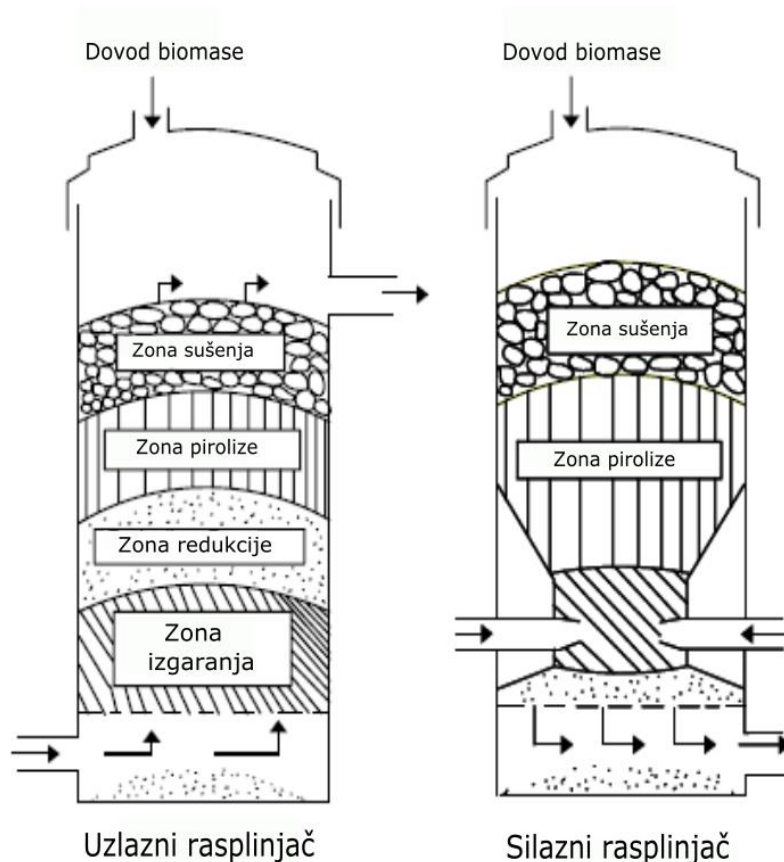
1. silazni rasplinjač
2. uzlazni rasplinjač.

Uzlazni rasplinjač podrazumijeva unos zraka koji prolazi kroz biomasu odozdo, a zapaljivi plinovi izlaze iz vrha rasplinjača, dok se za silazni rasplinjač podrazumijeva usis zraka iz mlaznica u pravcu pada. Krajnji oblik goriva, odnosno njegov konačni, raspoloživ oblik, veličina, vlažnost i sadržaj pepela ovisi o vrsti korištenja rasplinjača. Toplinska učinkovitost goriva nastala iz biomase je usporediva sa dizel gorivom uz male gubitke količine energije. Korištenjem biomase, odnosno proizvedenog plina rezultira smanjenje štetnih emisija koje stvaraju dušikovi oksidi, a to bi značilo da bi

⁶⁷ Hindsgaul C, Schramm J, Gratz L, Henriksen U and Bentzen J D 2000 *Physical and chemical characterization of particles in producer gas from wood chips*. *Bioresource Technology*73: 147–155

⁶⁸ Ibidem.

biomasa mogla u budućnosti zamijeniti dizel gorivo.⁶⁹ Slika 17. prikazuje rad silaznog rasplinjača i uzlaznog rasplinjača.



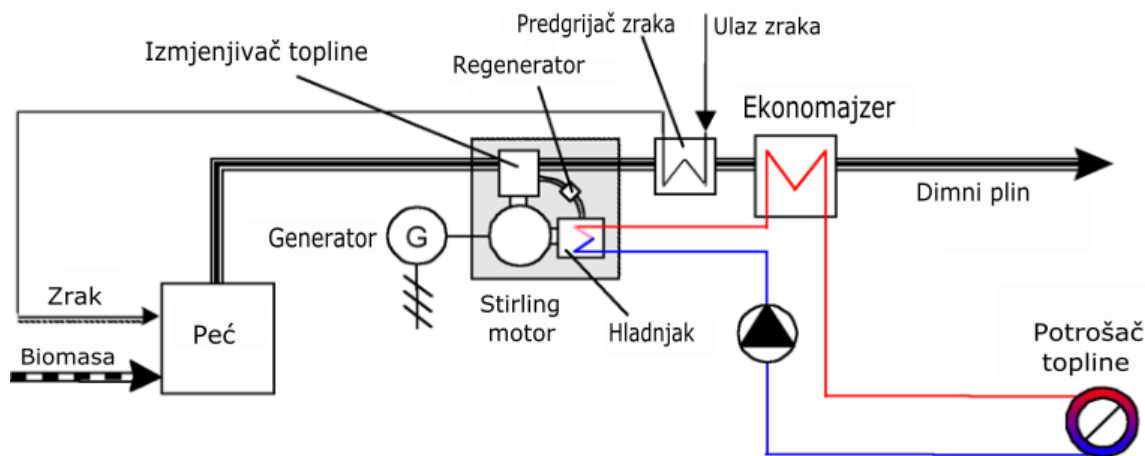
Slika 17. Princip rada rasplinjača kod motora s unutarnjim izgaranjem za biomasu

Izvor: *ResearchGate*. Preuzeto sa: https://www.researchgate.net/figure/Different-kinds-of-gasifier-configurations-Sources-Bhattacharya-and-Salam-2006_fig2_263656314 [Pristupljeno 24. 06. 2020]

Stirling motori temelje se na zatvorenom ciklusu gdje se radni plin naizmjenično komprimira u hladnom volumena cilindra i proširuje vrućim volumenom cilindra. Prednost Stirling motora u odnosu na motore sa unutarnjim izgaranjem je što se toplina ne dovodi u ciklus izgaranjem goriva unutar cilindra, već se prinosi izvana kroz izmjenjivač topline na isti način kao u parnom kotlu. Unos topline izgaranjem goriva prenosi se na radni plin putem vrućeg izmjenjivača topline pri visokim temperaturama. Toplina koja se ne pretvara u rad na osovini odbija se rashladnoj vodi u hladnom izmjenjivaču topline. Problem korištenja goriva proizvedeng iz biomase koncentrirani su na prenošenje topline iz izgaranja goriva u radni plin. Temperatura mora biti visoka kako bi se postigao prihvatljivi specifični učinak snage i učinkovitost, a izmjenjivač topline mora biti dizajniran tako da se problemi sa ispadanjem svode na minimum. Zbog visokih temperatura u komori za izgaranje nije moguće koristiti Stirlingov motor namijenjen prirodnom plinu, jer su uski prolazi u

⁶⁹ Hindsgaul C, Schramm J, Gratz L, Henriksen U and Bentzen J D 2000 *Physical and chemical characteri-zation of particles in producer gas from wood chips*. *Bioresource Technology*73: 147–155

Stirlingovom izmjenjivaču topline blokirani nakon manje od sat vremena rada s gorivima iz biomase. Rizik prilikom izgaranje biomase je posljedica stvaranja aerosola i kondenzacija para pepela kad se dimni plin ohladi. Ali kako bi Stirling motori funkcionirali na gorivima proizvedenim od biomase, dizajnirani su automatski sustavi za čišćenje Stirling izmjenjivača topline koji je naknadno optimiziran tijekom rada postrojenja. Sustav sadrži spremnik zraka pod tlakom i mlaznice za zrak na svakoj ploči izmjenjivača topline. Mlaznice su opremljene magnetskim ventilima. Ventili se otvaraju u redovitim intervalima, a zrak se upuhuje u izmjenjivač topline i čisti cijevi od taloga. Pepeo se zatim uvlači u dimni plin i nakon toga skuplja talog pepela. Isto tako je i razvijen sustav za smanjenje vibracija Stirling motora.⁷⁰ Slika 18. prikazuje rad Stirling motora za biomasu.



Slika 18. Princip rada Stirling motora za biomasu

Izvor: *BIOS Bioenergy*. Preuzeto sa: <https://www.bios-bioenergy.at/en/electricity-from-biomass/stirling-engine.html> [Pristupljeno 24. 06. 2020]

Gorivni članak je elektrokemijski uređaj koji služi za neposrednu konverziju kemijske energije, sadržane u nekom kemijskom elementu ili spoju, u istosmjernu električnu struju.⁷¹ Kao i baterija sastoji se od dvije elektrode uronjenih u isti elektrolit, na anodi oksidira gorivo, odnosno neki kemijski element ili spoj visokog sadržaja unutrašnje energija. Elektroni koji su proizvedeni oksidacijom goriva, odvede se od anode vanjskim krugom vodiča preko trošila do katode. Na katodi se nalazi neki drugi element ili spoj koji se reducira zahvatom elektrona proizvedenih na anodi. Produkti reakcije su negativni i pozitivni ioni koji se spajaju u elektrolitu, te se nastali produkt odvodi iz uređaja. Uglavnom konačni produkt reakcije je isti kao da je gorivo izgorjelo u oksidansu uz direktnu pretvorbu kemijske u unutrašnju termičku energiju. Također je potrebno reći kako su uređaji gorivnog članka djelotvorni pretvarači energije bez pokretnih dijelova i rade bez stvaranje buke. Energije iz biomase se putem gorivnog članka proizvodi kroz četiri faze:⁷²

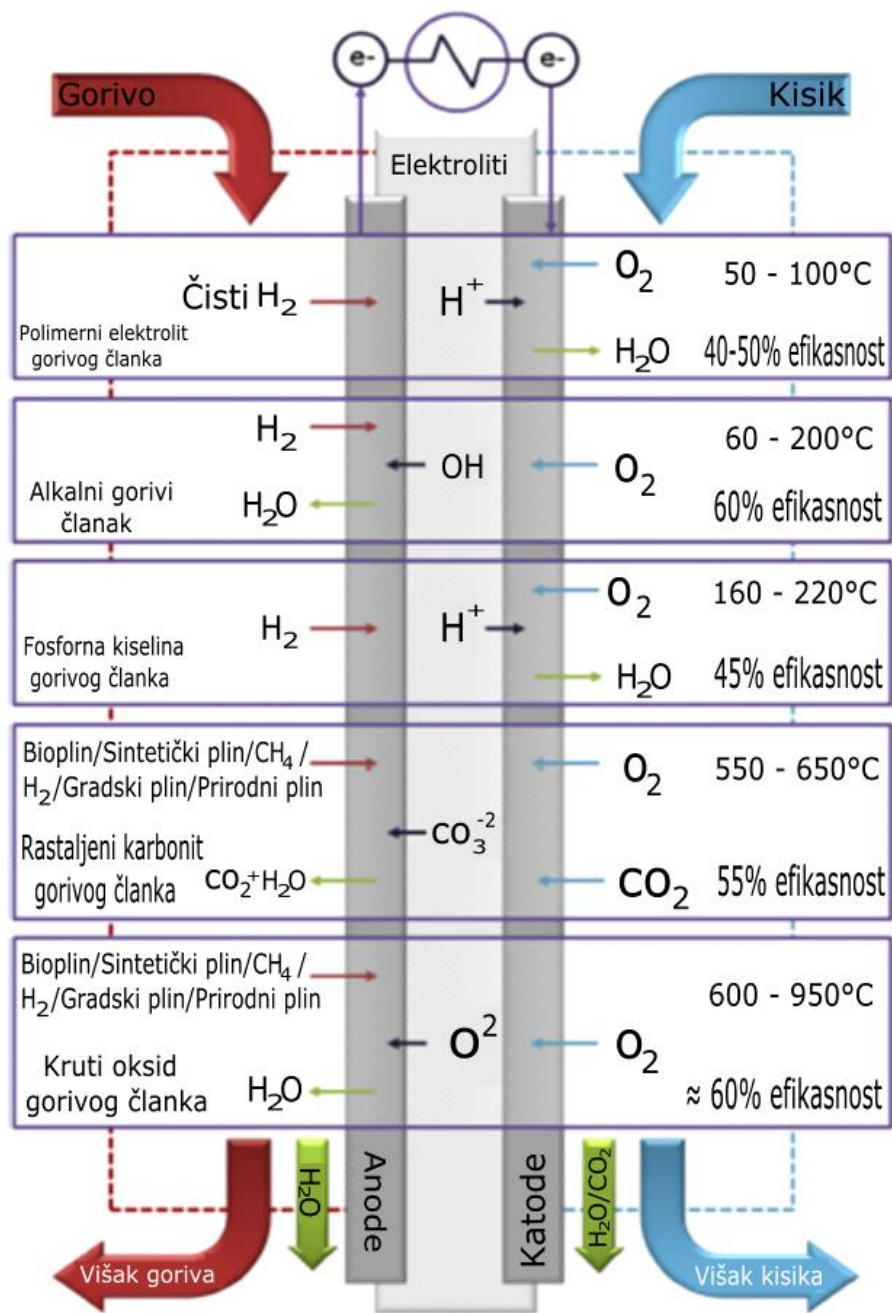
⁷⁰ *BIOS Bioenergy*. Preuzeto sa: <https://www.bios-bioenergy.at/en/electricity-from-biomass/stirling-engine.html> [Pristupljeno 24. 06. 2020]

⁷¹ *Hrastović Inženjering d.o.o.* Preuzeto sa: <https://www.hrastovic-inzenjering.hr/toplinska-energija/gorivni-lanci.html> [Pristupljeno 24. 06. 2020]

⁷² Lee JW. *Advanced biofuels and bioproducts*. New York: Springer Science & Business Media; 2012.

1. Pretvorba sirovina biomase u korisnu kemijsku sirovinu - količina sirovine prolazi kroz obradu rafiniranja (sušenje, sortiranje, homogeniziranje itd.), zatim je potrebno suhu sirovinu i pepeo pročititi od anorganskih tvari, kako bi se dobilo čisto kemijsko gorivo. Pepeo se pročišćava izgaranjem ili vrenjem dok je iz suhe sirovine potrebno izvući kemijsku energiju putem entalpije.
2. Pretvorba kemijske sirovine u sirov plin - potrebno je dodatno obraditi kemijsku strukturu biomase, odnosno lignocelulozu kako bi se povećala učinkovitost, pa se obavlja proces rasplinjavanja
3. Pretvorba sirovog plina u goriv plin - potrebno je neobrađenu sirovinu koja je ostala dodatno pročititi da se dobije upotpuno rafinirano gorivo, tj. gorivo potražnje. Odvaja se specifičan plin iz miješanog goriva, odnosno sadržaj metana u boplinu za ekstrakciju i čišćenje.
4. Pretvorba gorivog plina u električni pogon pomoću gorivog članka - da bi se stvorila električni pogon, potrebno je dobiveni gorivi plin oksidirati pomoću gorivog članka kako bi se ostvarila pretvorba kemijske u unutrašnju termičku energiju, odnosno proizvela funkcionalna jedinica električne snage.

Slika 19. je shematski prikaz principa rada gorivog članka za biomasu.



Slika 19. Princip rada gorivog članka za biomasu

Izvor: Sophie A. Archer, Robert Steinberger-Wilckens, *Systematic analysis of biomass derived fuels for fuel cells*. Centre for Fuel Cell and Hydrogen Research, School of Chemical Engineering, University of Birmingham, Edgbaston, B15 2TT, UK 2018.

4. KONCEPT OPSKRBNOG LANCA ZA BIOMASU

Kako bi opsluživanje lučkih terminala sa biomasom funkcioniralo, razvijanjem specifičnog opskrbnog lanca namijenjenog za biomasu od dobavljača do krajnjeg korisnika, te stvaranje različitih procesa i usluga unutar tog opskrbnog lanca koji je specifično namijenjen za biomasu opisano je u potpoglavljima *Struktura opskrbnog lanca za biomasu*, *Karakteristike opskrbnog lanca za biomasu* i *Procesi opskrbnog lanca za biomasu*.

4.1 Struktura opskrbnog lanca za biomasu

Opskrbni lanac je kretanje materijala od izvora do krajnjeg korisnika koji se sastoji od četiri entiteta:⁷³

1. dobavljač
2. proizvođač
3. distribucijski centar
4. kupac

Upravljanje opskrbnim lancem fokusira se na integraciju svih entiteta tako da su krajnji proizvodi proizvedeni i distribuirani u pravoj količini, u pravo vrijeme, na pravo mjesto, pružajući željenu kvalitetu i razinu usluge uz minimalne razine ukupnih troškova sustava. Izvedba opskrbnog lanca ovisi o stupnju koordinacije i integracije između entiteta, zajedno sa učinkovitim protokom proizvoda i informacija.⁷⁴

Opskrbni lanac za biomase se sastoji od nekoliko diskretnih procesa koji mogu uključivati pripremu tla i sadnju, uzgoj, žetvu, rukovanje, skladištenje, prijevoz i obradu biomase kako bi se stvorio oblik pogodan za uporabu u postrojenju za pretvaranje energije. Također potrebno je napomenuti da točna struktura opskrbnog lanca biomase ovisi o vrsti i karakteristikama biomase, tehnologiji koja se koristi za pretvorbu energije i dizajnu sustava. Svaka vrsta biomase dobiva se u obliku koji je obično neprikladan za uporabu u postrojenju za pretvorbu energije ili za prijevoz. Isto tako tehnologija koja se koristi za pretvorbu energije obično određuje oblik i homogenost pogonskog goriva, te ako sustav ima nekoliko jedinica manjih veličina, u opskrbni lanac biomase može se dodati veza za korištenje centraliziranog skladištenja. Glavne aktivnosti koje se odvijaju u opskrbnom lancu za biomasu bit će detaljno objašnjene u potpoglavlju *Procesi opskrbnog lanca za biomasu*.⁷⁵

⁷³ Beamon B.M. *Supply chain design and analysis: models and methods*. International Journal of Production Economics 1998;55(3): 281–94.

⁷⁴ Ibidem

⁷⁵ Allen, J., Browne, M., Hunter, A., Boyd, J. and Palmer, H. (1998) *Logistics management and costs of biomass fuel supply*, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 28 (6), 463–77

4.2 Karakteristike opskrbnog lanca za biomasu

Opskrbni lanac za biomasu ima nekoliko karakteristika koje ga razlikuju od tipičnog opskrbnog lanca. Mnoge vrste biomase obično karakteriziraju sezonska raspoloživost. Razdoblje kada su dostupne pojedine vrste biomase je ograničeno i određeno radzobljem berbe usjeva, vremenskim uvjetima koji mogu ograničiti pristup i potrebi ponovne sadnje polja. Iako se iskorištavanje energije biomase koristi jedinstvenim izvorom biomase, ipak postoji potreba da se pohranjuju vrlo velike količine biomase za značajno vrijeme ako se želi postići rad postrojenja tijekom cijele godine. Iz toga proizlaze visoki zahtjevi za skladištenjem, što utječe na troškove sustava i potencijalne mogućnosti gubitka materijala biomase i propadanje kvalitete. Preveliko zadržavanje biomase u skladištu može negativno utjecati na materijal, odnosno raspadanje pri velikim temperaturama, što se posebno odnosi na gubitke suhe tvari i razine vlažnosti biomase. Ograničeni vremenski okvir prikupljanja velikih količina biomase također dovodi do značajnih sezonskih potreba za resursima, opremom i radnom snagom. Sezonska potražnja može povećati troškove pribavljanja tih resursa, vodeći do nedovoljnog korištenja resursa, posebno skladišnog prostora i specijalizirane opreme. Problem sa sezonskom dostupnošću biomase može se izbjeći korištenjem izvora biomase koji je dostupan tijekom cijele godine, iako su u praksi vrlo rijetki. Korištenjem različite biomase može značajno umanjiti takav problem zato što imaju povećanu mogućnost očuvanja vlažnosti, pri čemu također neće doći do raspadanja suhe tvari i smanjit će se troškovi sustava oko 15% - 20% u obziru na korištenje samo jedne vrste biomase, iako su povećani troškovi proizvodnje. Iz navedenih stavki može se zaključiti kako je skladištenje prvenstveno za držanje sigurnosnih zaliha i da bi se stvorila mogućnost neprestanog rada postrojenja za pretvorbu energije, a korištenjem različite biomase ima očigledan potencijal za smanjenje potrebe za skladišnim prostorom.⁷⁶

Iduća karakteristika opskrbnog lanca za biomasu je održavanje materijala niske gustoće, zbog kojih se osim skladišnog prostora, povećava potreba za prijevozom i opremom za rukovanje. Ovakav problem se dodatno pogoršava niskom grijanom vrijednošću zbog povećane vlage većine vrsta poljoprivredne i šumske biomase. Niska gustoća biomase dodatno povećava troškove sakupljanja, rukovanja, transporta i skladištenja. Iz tog razloga se zahtijeva obrada biomase kako bi se povećala gustoća materijala ili smanjila sadržaj vlage.⁷⁷

Također nekoliko vrsta biomase zahtijevaju prilagođenu opremu za prikupljanje i rukovanje. Postoje različiti zahtjevi za rukovanje i transportnu opremu i konfiguraciju prostora za skladištenje ako se biomasa nabavlja u obliku bala, palica, trupaca ili sječki. Oblik biomase određuje investicijske i operativne troškove odgovarajućeg

⁷⁶ Skoulou, V. and Zabaniotou A. (2007) *Investigation of agricultural and animal wastes in Greece and their allocation to potential application for energy production, Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11 (8), 1698–719.

⁷⁷ Allen, J., Browne, M., Hunter, A., Boyd, J. and Palmer, H. (1998) *Logistics management and costs of biomass fuel supply, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 28 (6), 463–77,

sustava iskorištavanja bioenergije, jer utječe na zahtjeve i dizajn opskrbnog lanca za biomasu. Obrada biomase ima cilj dovođenja materijala u oblik s kojim se može koristiti standardizirana oprema i s time olakšati rukovanje, transport i skladištenje biomase.⁷⁸

Svi dosad navedeni čimbenici utječu na povećanje troškova opskrbnog lanca za biomasu, pa je potrebno da postrojenja za pretvaranje energije iz biomase i opskrbeni lanac za biomasu budu strukturirani da smanje negativan utjecaj na financijski prinos cijelog sustava.

4.3 Procesi opskrbnog lanca za biomasu

Zbog vrlo velikog broj dostupnih vrsta biomase i različitih tehnologija za pretvaranje energije nije moguće stvoriti jedinstven dizajn opskrbnog lanca za biomasu koji odgovara svim slučajevima, ali postupci koji se obično izvode su:⁷⁹

1. sječa ili sakupljanje biomase iz polja ili šume, rukovanje i transport
2. ukrcaj i iskrcaj biomase iz cestovnih vozila
3. prijevoz biomase
4. skladištenje biomase
5. obrada biomase.

Slika 20. prikazuje odvijanje procesa unutar opskrbnog lanca za biomasu.



Slika 20. Faze opskrbnog lanca za biomasu

Izvor: Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

4.3.1 Sječa ili sakupljanje biomase iz polja ili šume, rukovanje i transport

Ako se izuzmu postupci pripreme, sadnje i uzgoja tla, sječa ili sakupljanje biomase iz polja ili šume se smatra početni postupak opskrbnog lanca za biomasu. Glavni cilj rukovanja i transporta unutar polja ili šume je sakupljanje biomase od mjesta na kojem se uzgaja, obično se to odvija specijaliziranom opremom za mehanizaciju, te da se premijesti do točke kojoj se može pristupiti vozilima cestovnog prometa. Ovaj postupak ponekad uključuje predobradu biomase poput sječenja ili peletiranja kako bi se homogenizirala ili smanjila veličina prikupljenog materijala.

⁷⁸ I Allen, J., Browne, M., Hunter, A., Boyd, J. and Palmer, H. (1998) *Logistics management and costs of biomass fuel supply*, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 28 (6), 463–77

⁷⁹ Ibidem

Obrada se često izvodi zbog lakšeg rukovanja i sprečavanja gubitka materijala tijekom transporta i rukovanja kao npr. baliranje za labave materijale. Peletiranje je skup i energetski zahtjevan postupak koji proizvodi gorivo visoke gustoće, visoke homogenosti, visoke vrijednosti grijanja i niskog sadržaja vlage. Peletiranje je prikladnije za prijevoz na duže relacije kada je pelet krajnji proizvod ili kada se biomasa koristi u postrojenjima koja se nalaze u urbanim područjima.⁸⁰

4.3.2 Ukrcaj i iskrcaj biomase iz cestovnih vozila

Nakon sječe ili sakupljanja, biomasu je potrebno ukrcati na vozila za cestovni prijevoz do postrojenja za pretvorbu energije, te ju je potrebno iskrcati iz vozila u elektrani. Oprema za ukrcaj i iskrcaj ovisi o obliku, vrsti i obradi biomase. Učinkovitije je dovoditi biomasu u obliku koja to odgovara standardiziranoj opremi za ukrcaj i iskrcaj, tako da se oprema može koristiti i u drugim operacijama koja ne zahtijeva biomasu. Potreba za specijaliziranom opremom rezultirati će povećanjem troškova, te će nastati mogućnost da operacije na biomasu snose puno amortizacijski trošak u slučaju da se ne nađe alternativa za tu opremu. Primjenjiva opcija je upotreba standardizirane opreme s malim brojem zamjenjivih dijelova kako bi se bolje uklopile specifikacije biomase. Za otpad primjenjuju se dvije mogućnosti. Prva mogućnost odnosi se za prijevoz kraćih relacija, odnosno vozila za prikupljanje otpada odvoze otpad izravno u postrojenja za pretvorbu energije, bez potrebe za ukrcajnom opremom. Druga mogućnost je prijevoz veće količine otpada na većim relacijama, u kojem je slučaju potreban iskrcaj vozila za sakupljanje otpada i ukrcaj na prijevozna vozila.⁸¹

4.3.3 Prijevoz biomase

S obzirom na mjesta dostupnosti biomase i zbog prometne infrastrukture, cestovni prijevoz je jedini potencijalni način prikupljanja i transport goriva. Ostali čimbenici koji utječu na korištenje cestovnog prijevoza su kraće relacije kojima se gorivo prevozi i ima veća iskoristivost u usporedbi s ostalim načinima prijevoza. Ostali načini prijevoza poput brodova ili vlakova mogu se koristiti za transport biomase na većim relacijama.⁸² Prijevoz biomase na većim relacijama nije presudan s financijske perspektive, jer se biomasa može nabavljati i kupiti po nižim cijenama, ali veće transportne relacije mogu uzrokovati veće emisije opskrbnog lanca za biomasu čime se u određenoj mjeri smanjuju ekološke prednosti proizvodnje

⁸⁰ I Allen, J., Browne, M., Hunter, A., Boyd, J. and Palmer, H. (1998) *Logistics management and costs of biomass fuel supply*, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 28 (6), 463–77

⁸¹ Sims, R. (2002) *The Brilliance of Bioenergy in Business and in Practice*, London, James & James (Science Publishers) Ltd.

⁸² Hamelinck, C.N., Suurs, R.A.A. and Faaij, A.P.C. (2004) *Large scale and long distance biomass supply chains: Logistics, costs, energy consumption, emission balances*, *2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*, 10–14 May 2004, Rome.

obnovljivih izvora energije. Za odabir vrste prijevoza biomase ovisi prosječna udaljenost prijevoza, gustoća biomase, nosivost i brzina putovanja vozila, te dostupnost odgovarajućih resursa. Također treba napomenuti da dvije mogućnosti utječu na oblikovanje strukture opskrbnog lanca za biomasu, za teška teretna vozila potrebno je sklapanje ugovora s trećim dobavljačem logistike (3PL) i stoga bi operator opskrbnog lanca za biomasu imao jedinstvenu referentnu točku i alternativne izbore poduzetnika. Pri korištenju poljoprivredne opreme, operator mora koordinirati značajan broj poljoprivrednika i vlasnika opreme, što povećava opterećenje upravljanja opskrbnim lancem za biomasu.⁸³

4.3.4 Skladištenje biomase

Za većinu vrsta biomase karakteristična je sezonska dostupnost, jer se određene vrste sakupljaju u određeno doba godine, ali s obzirom da je potrebno stalno napajanje gorivom u elektrani tijekom cijele godine, stoga ih je potrebno skladištiti. Mjesto skladištenja može biti na farmi, šumi ili drugom sabirnom mjestu, u postrojenju za pretvorbu energije ili drugom posrednom mjestu. Skladištenje biomase je kritična veza unutar opskrbnog lanca za biomasu. Prilikom skladištenja treba uzeti u obzir grijanje biomase u slučaju potrebnih obrada, sadržaj vlage unutar biomase i mogućnost gubitka materijala tijekom skladištenja.⁸⁴ Skladištenje na terenu ima prednost s niskim troškovima, ali s druge strane, gubitak materijala iz biomase je značajan i sadržaj vlage unutar biomase se ne može kontrolirati i smanjiti na željenu razinu, što dovodi do potencijalnih problema tijekom pretvorbe energije. Isto tako postoji opasnost od stvaranja spora, gljivica i samozapaljenja zbog povećane vlage.⁸⁵ Također treba napomenuti da poljoprivrednici vjerojatno neće dopustiti skladištenje biomase na farmama dulje vrijeme, jer se mora pripremiti zemlja za sljedeći usjev. Međutim, u nekim slučajevima uobičajeno skladištenje na licu mjesta, poput šumske biomase, gdje se trupci ostavljaju na neko vrijeme, jer smanjuje njihov sadržaj vlage. Za sva goriva proizvedena iz biomase u kojima je modelirana upotreba privremenog skladištenja, gorivo se mora dvaputa prevoziti cestovnim vozilima, prvo s farme, šume ili sabirnog mjesta u središte skladišta, a zatim iz skladišta u skladište postrojenja za pretvorbu energije. To će rezultirati većim troškovima isporuke za razliku od sustava u kojem se koristi samo jedna operacija cestovnog prijevoza, odnosno izravno od farme, šume ili mjesta sakupljanja do postrojenja za pretvorbu energije. Zbog navedenih razloga međuprostorna ili posredna skladišta koja se trebaju nalaziti između farmi ili polja i postrojenja za pretvorbu energije povećavaju troškove isporuke biomase u regiji za 10% - 20% uz dodatne troškove prijevoza i

⁸³ Tatsiopoulou, I.P. and Tolis, A.J. (2003) *Economic aspects of the cotton-stalk biomass logistics and comparison of supply chain methods*, *Biomass and Bioenergy*, 24 (3), 199–214,

⁸⁴ Allen, J., Browne, M., Hunter, A., Boyd, J. and Palmer, H. (1998) *Logistics management and costs of biomass fuel supply*, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 28 (6), 463–77

⁸⁵ Huisman, W., Venturi, P. and Molenaar, J. (1997) *Costs of supply chains of Miscanthus giganteus*, *Industrial Crops and Products*, 6, 353–66.

rukovanja biomasom. Postoji mogućnost postavljanja skladišta pored postrojenja za pretvorbu energije iz biomase. Cilj ovakvog skladištenja je brže smanjenje sadržaja vlage u biomasi kako bi se spriječilo raspadanje materijala, kao i stvaranje gljivica i spora. Korištenje skladišta priključenih na elektranu jedini je održiv način ubrzavanja procesa sušenja biomase, jer se oslobođena toplina može koristiti bez dodatne potrošnje energije. Nadalje, skladištenje u postrojenju za pretvaranje energije uvijek je potrebno za najmanje sigurnosne zalihe, kako bi se odvojilo stvaranje energije od neočekivanih prekida u opskrbi biomasom. Strategija korištenja različitih vrsta biomase u kombinaciji s relativno skupim načinima skladištenja dovodi do većih smanjenja troškova.⁸⁶

4.3.5 Obrada biomase

Biomasa se dodatno prerađuje zbog povećanja učinkovitosti rukovanja biomasom i količine koja se može transportirati. To se postiže povećanjem masene gustoće biomase (npr. pretvaranje šumskog drveta u drvene sječke ili drvene pelete) ili ujedinjavanje biomase u teretne jedinice (npr. formiranje slame u balama). Obrada biomase se može izvršiti u bilo kojoj fazi opskrbnog lanca za biomasu, ali će često prethoditi cestovnom prijevozu i obično je učinkovitija kada se integrira s berbom. Također potreba za obradom može biti prije nego što biomasa postavi u postrojenje za pretvorbu energije. Biomasa se mora obraditi na način da odgovara specifikacijama opreme za dovod goriva u postrojenje za pretvorbu energije glede kvalitete, vlage i veličine. Isto tako se ovaj način obrade može izvesti prije ili nakon pohrane.⁸⁷

⁸⁶ Rentizelas, A., Tolis, A. and Tatsiopoulos, I.P. (2009a) *Logistics issues of biomass: The storage problem and the multi-biomass supply chain*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 13 (4), 887–94,

⁸⁷ Ibidem

5. PLANIRANJE I KLJUČNE ZNAČAJKE TERMINALA ZA BIOMASU

S obzirom na svojstva biomase i koncept opskrbnog lanca za biomasu, također je specifična izgradnja terminala za biomasu, ali što obuhvaća proces planiranja terminala, te što je potrebno sve uzeti u obzir prije same izgradnje terminala za biomasu i što takva vrsta terminala obuhvaća opisano je u potpoglavljima *Pojam planiranja*, *Planiranje terminala za biomasu* i *Ključne značajke za planiranje terminala za biomasu*.

5.1 Pojam planiranje

„Planiranje je aktivnost kojom se određuju zadaci koji bi trebali biti ostvareni u budućnosti“.⁸⁸ Internacionalizacija i globalizacija prometa su jedni od najvažnijih trendova danas. Za luku je bitno da uvijek osim osnovnih funkcija, pruža i dodatne usluge, jer to ju čini jačim konkurentnom u odnosu na druge obližnje luke.

Važan zadatak planiranja je da pomoću raspoloživih informacija i procjene uvjeta poslovanja u budućnosti odabere između dvije ili više mogućih varijanti onu koja je najpovoljnija, a kvaliteta planiranja biti će rezultirana uspjehom poslovanja luke u odnosu na predviđena događanja tokom planiranja, te koliko tok događanja suprotan od predviđenog. Potreba za planiranjem postoji u svim zemljama zbog stalnog napretka znanosti, tehnike i tehnologija što zahtjeva svjesno upravljanje i organiziran pristup budućnosti. Planiranje obuhvaća:⁸⁹

- istraživanje čimbenika koji će u planskom razdoblju izravno ili neizravno utjecati na poslovanje, te izradu ekonomsko-tehničke analize uvjeta poslovanja u planskom razdoblju
- izradu planova, tj. određivanje zadataka, ali i mjera i sredstava za ostvarivanje planskih zadataka
- utvrđivanje, kontrolu ostvarivanja i analizu ostvarivanja planova.

Također planiranje se dijeli na dvije funkcije, a to su:⁹⁰

1. vremenska (kratkoročno, srednjoročno, dugoročno)
2. prostorna (skladište, vodna ili kopnena vrata).

Osim planiranja i planovi moraju obuhvaćati sljedeća obilježja:⁹¹

- svi planski zadaci moraju obavezno biti kvantitativno definirani u neutralnim i vrijednosnim pokazateljima,
- svi planovi moraju biti usmjereni na optimalne mogućnosti privređivanja

⁸⁸ Natalija, K.: *Uvjeti za planiranje i projektiranje luka*, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2018. (prezentacija)

⁸⁹ Z. Zenzerović, *Optimizacijski modeli planiranja kapaciteta morskih luka*, doktorska disertacija, Ekonomski fakultet Rijeka, Rijeka 1995.

⁹⁰ Ibidem

⁹¹ Ibidem

- svi planski zadaci moraju biti vremenski determinirani,
- planovi moraju predvidjeti konkretna sredstva i mjere za izvršavanje planskih zadataka
- planovi moraju biti kompleksni i obuhvatiti cjelinu reprodukcije, a plan za svaki dio poslovnog procesa mora biti usklađen s ostalim planovima.

5.2 Planiranje terminala za biomasu

Terminali su potrebni za uravnoteženje vremenskih razlika između ponude i potražnje u opskrbnom lancu. Potreba za terminalima za biomasu je najveća kada su najveće sezone grijanja i žetve. Prilikom planiranja terminala za biomasu uzimaju se različiti čimbenici. Troškovi za osnivanje terminala su prilično visoki i životni vijek terminala trebao bi biti što duži, pa je stoga potrebno kvalitetno početno planiranje u svezi s uređenjem prostora. Aspekti koji utječu na tehnološki izbor i profitabilnost terminala, te koji bi se trebali uzeti u obzir prilikom planiranja terminala za biomasu su:⁹²

- poslovni modeli terminala
- mogući partneri u suradnji
- geografski i regionalni položaj terminala
- površina i kapacitet terminala
- zahtjevi za skladištenje (sirovina i goriva) i proizvodni kapacitet
- utjecaj na okoliš i izdavanje dozvola
- regionalni potencijali sirovih materijala za proizvodnju goriva
- regionalna potražnja goriva (termoelektrane i elektrane u regiji)
- načini prijevoza proizvedenog goriva
- terminalna oprema i strojevi
- izgled područja terminala
- investicijski i operativni troškovi terminala
- profatibilnost i alternativni način rada.

U slučaju velike potražnje terminali za biomasu proširuju spektar dostupnih opcija opskrbe nudeći velike ekonomične pohrane i obrade biomase za osiguravanjem opskrbe gorivom u svim uvjetima. Terminali za biomasu postavljaju se između skladišta na cesti i postrojenja, jer nedostaje dovoljno prostora za skladištenje ili rukovanje biomasom, te također mogu poboljšati prijevozne sposobnosti omogućujući intermodalnost ili izravnavanje nestabilne potrebe za transportnim kapacitetom. Terminal za biomasu označava se kao dodatna logistička faza koja povećava troškove opskrbnog lanca, te se uspostavlja kada jedan ili više sljedećih faktora budu značajni u nabavi biomase, a to su:⁹³

⁹² Virkkunen M, Kari M, Hankalin V, Nummelin J. *Solid biomass fuel terminal concepts and a cost analysis of a satellite terminal concept*. Scandinavian Journal of Forest Research. 2016;31(2):175-182.

⁹³ Sikanen L et. al. *Energy Biomass Supply Chain Concepts Including Terminals*. Helsinki: Luke; 2016.

1. faktori ravnoteže - izravna opskrba biomase značajno varira i ne može istovremeno ispuniti redovitiju potražnju
2. faktori resursa/kapaciteta - opskrbeni lanac može raditi s manje resursa (vozila, strojeva, radne snage) potrebnih za postizanje iste željene usluge nego opskrbeni lanac bez terminala
3. faktori kvalitete - terminal može poboljšati kvalitetu opskrbnog lanca za biomasu na temelju izravnih isporuka
4. sinergetski faktori - terminal se može koristiti u druge poslovne svrhe za vrijeme sezonskih skladištenja biomase ili kao povratni transport nekog drugog proizvoda
5. zakonodavni faktori - ako je skladištenje na cesti povremeno zabranjeno zbog ekoloških razloga ili je terminal preduvjet za dobivanje dozvole za izgradnju novog postrojenja (npr. u urbanom području).

Budući da je biomasa zahtjevna i glomazna, potrebne su učinkovitije logističke metode. Terminal za biomasu nudi sigurnost opskrbe za korisnika goriva i može poravnati količinu goriva i količinu fluktuacije. Osim što terminali za biomasu imaju važnu ulogu uravnoteživanja ponude i potražnje biomase, također s kvalitetnim planiranjem lokacijama i funkcijama mogu povećati učinkovitost logistike. Terminali za biomasu s velikim količinama i isplativim radnjama ne uzrokuju nužno dodatne troškove opskrbnog lanca, već u nekim slučajevim mogu biti ekonomičniji od tradicionalnih izravnih opksrbnih lanaca biomase.⁹⁴

Količina proizvedenog goriva poznata je za godišnju, mjesečnu i dnevnu upotrebu, a potrebna proizvodnja i rukovanje opremom i mehanizacijom može se izračunati na temelju kapaciteta mehanizacije i opreme. Minimalna površina terminala može se procijeniti prema zahtjevima za prostorom koja će biti navedena u idućem potpoglavlju *Ključne značajke za planiranje terminala za biomasu*. Korisno je imati dodatno područje rezervirano u slučaju da se aktivnosti terminala povećaju tijekom radnog vijeka terminala, kao što je i također potrebno dodatno skladište.⁹⁵

5.3 Ključne značajke za planiranje terminala za biomasu

Ključne značajke koje su obvezne prilikom planiranja terminala za biomasu su:⁹⁶

1. lokacija terminala
2. položaj terminala
3. kapacitet terminala
4. zahtjevi područja terminala.

⁹⁴ Virkkunen M, Kari M, Hankalin V, Nummelin J. *Solid biomass fuel terminal concepts and a cost analysis of a satellite terminal concept*. Scandinavian Journal of Forest Research. 2016;31(2):175-182.

⁹⁵ Ibidem

⁹⁶ Ibidem

5.3.1 Lokacija terminala

Geografski položaj terminala određuje se poslovnim modelom terminala, u slučaju kada se terminal uglavnom koristi za proizvodnju goriva i napajanja određene elektrane. Također je uobičajeno da se terminal nalazi što je moguće bliže postrojenju, odnosno ima funkciju feeder terminala koji je sabirno-distribucijski terminal preko kojega se opslužuju, linijski ili kružno, manji terminali ili centri locirani u okruženju (eng. *Feeder* - hranitelj).⁹⁷

U slučaju da terminalom upravlja proizvođač goriva, položaj terminala definira regionalna dostupnost goriva i potražnja za gorivom. Pri optimizaciji položaja terminala moraju se uzeti u obzir transportne udaljenosti sirovina do terminala i udaljenosti isporuke proizvedenog goriva do korisnika.⁹⁸

5.3.2 Položaj terminala

Terminali za biomasu su stacionirani na područjima jama za pijesak ili šljunak ili na drugim mjestima za vađenje tla ili na drugim postojećim industrijskim područjima koja su ostala bez uporabe. Također se nalaze izvan urbanih područja koja imaju postojeću i razvijenu cestovnu mrežu, eventualno razvijenu željezničku mrežu. U naseljenim područjima terminali za biomasu mogu se nalaziti unutar industrijskih područja koja već imaju slične aktivnosti. Omogućen je cestovni prijevoz, kao i druge usluge (struja, osvjjetljenje, gospodarenje otpadom itd). Neiskorišteni asfaltni ili asfaltirani prostor znatno smanjuje troškove uspostave terminala za biomasu.

Suradnja s drugim lokalnim kompanijama unutar industrijskog područja može se također pokazati korisnom, jer omogućuju usluge održavanja, kombiniranu uporabu i vlasništvo opreme za ukrcaj i kombinirano zapošljavanje osoblja.⁹⁹

5.3.3 Kapacitet terminala

Veličina terminala određuje se godišnjim učinkom proizvodnje materijala od vremena koje je potrebno za transport biomase iz terminala za biomasu do proizvodnje konačnog proizvoda goriva u elektranama (TWh/a, m³/a). U fazi planiranja također se mora definirati površina područja terminala za biomasu. Na to utječe odabrani operativni model (vrijeme rotacije skladištenja, uvjeti skladištenja za proizvedeno gorivo) i površina skladišta za sirovine isporučene iz šume. Tijekom planiranja površine također se mora uzeti u obzir prostor za prolaz kamiona (krcatelja), mehanizacije (strojevi za sječu ili drobljenje) i transportera.

Glavna ograničenja za obavljanje operacija terminala za biomasu uzrokuje lokalna dostupnost biomase, te potrebe za gorivom lokalnih elektrana (npr. tražena količina u godišnjim ugovorima o isporuci) koji su također pod utjecajima drugih

⁹⁷ Virkkunen M, Kari M, Hankalin V, Nummelin J. *Solid biomass fuel terminal concepts and a cost analysis of a satellite terminal concept*. Scandinavian Journal of Forest Research. 2016;31(2):175-182.

⁹⁸ Ibidem

⁹⁹ Ibidem

regionalnih čimbenika poput različitih korisnika i dobavljača biogoriva koji svojom potražnjom utječu na dostupnost biomase. Veličina područja za nabavu sirovina i lokacija korisnika utječe na troškove proizvodnje goriva unutar elektrana i profitabilnost opskrbnog lanca terminala za biomasu u cjelini.

Pomoću unaprijed određenog godišnjeg protoka goriva i potrebnih operacija za rad terminala za biomasu, može se dimenzionirati potrebna mehanizacija i oprema za obavljanje određenih operacija na terminalu za biomasu. Stacionarna mehanizacija i oprema olakšavaju rad tijekom cijele godine, dok sezonski i periodični radovi se mogu optimalno izvoditi pokretnom mehanizacijom i pokretnim strojevima. Visoka stopa korisnosti ovisi o stacionarnoj mehanizaciji s visokim kapitalnim troškovima, zbog čega bi izvođenje operacija u dvije smjene rezultiralo većom stopom korisnosti, odnosno povoljnijim i ekonomičnijim radom stacionarne mehanizacije na terminalu za biomasu.¹⁰⁰

5.3.4 Zahtjevi područja terminala

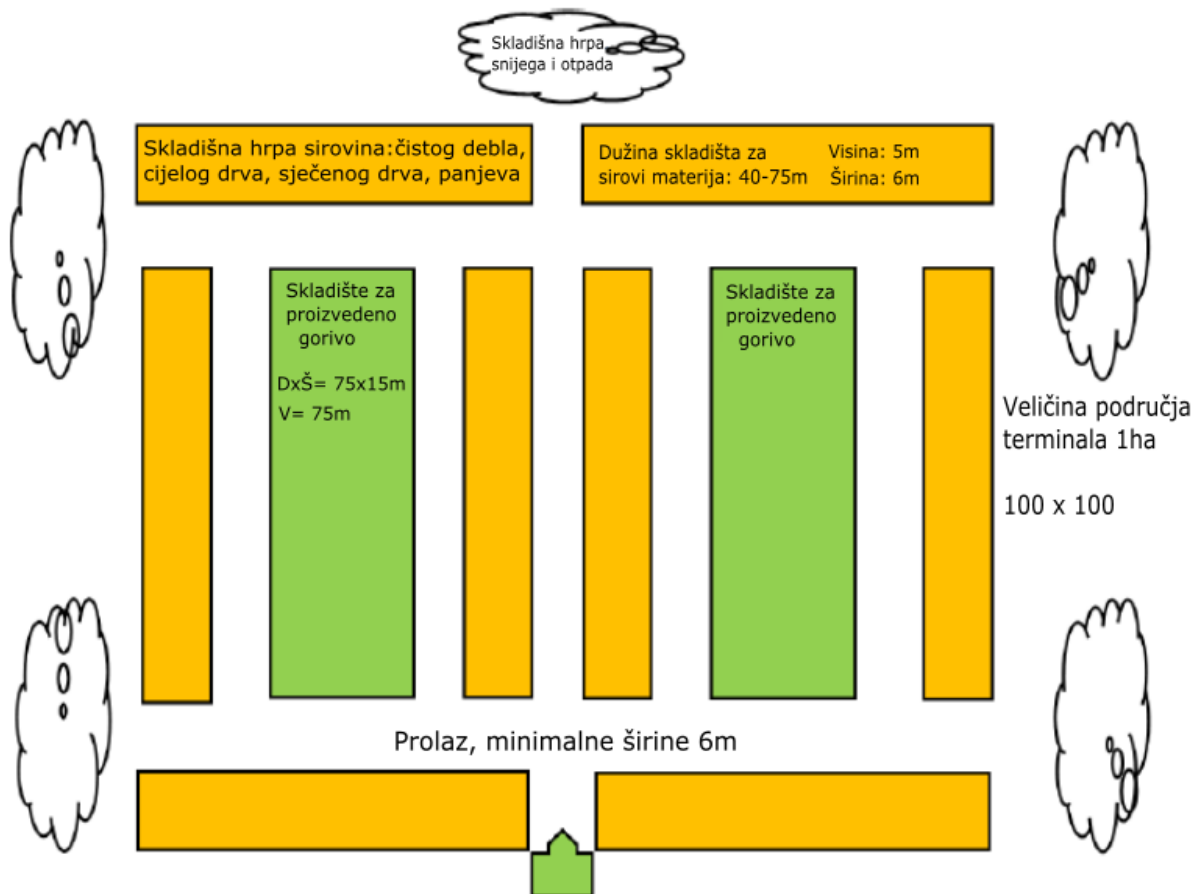
Zahtjevi područja gdje se planira terminal za biomasu određuje se količinama skladištenog goriva i sirovina, te vrijeme potrebno za skladištenje goriva i sirovina. Potreban je dodatni prostor za prolaz mehanizacije i ostale opreme, te prilikom dizajniranja terminala za biomasu ključno je odrediti položaj nepomične mehanizacije (strojevi za sječu ili drobljenje) unutar terminala za biomasu zbog dovoda sirovine ili goriva. Također je potrebno osigurati dovoljno prostora da se kamioni ili vlakovi mogu izravno isprazniti za usitnjavanje i dovoljno prostora za proizvedenog gorivo koje se može izravno ubaciti iz transporterera ili privremene skladištiti u blizini mehanizacije.

Zbog stacionarne mehanizacije veličina raspoloživog volumena privremenog skladištenja za proizvedeno gorivo je ograničena, odnosno nepomična mehanizacija i oprema utječe na visinu uranjanja, određivanje polumjera spojnice kod transporterera ili zapreminu kod skladištenja proizvedenog goriva. Otjecanje materijala sa terminala za biomasu utječe na dimenzioniranje sve dosad navedene infrastrukture.

Tijekom korištenja pokretne mehanizacije za redukciju (drobljenje) materijala, korištenje prostora mora biti kvalitetno planirano. Pokretna mehanizacija se može kretati i raditi pored uskladištenih jedinica, a samo punjenje mehanizacije obavlja se pomoću krcatelja sa drobilice ili stroja za sječu ili kamiona. Ako je mehanizacija za drobljenje ili usitnjavanje opremljena sa teleskopskim podizno-vučnim transporterima, veličina skladišta za drvenu sječku se može povećati. Slika 23. prikazuje shematski izgled skladišta terminala za biomasu.¹⁰¹

¹⁰⁰ Virkkunen M, Kari M, Hankalin V, Nummelin J. *Solid biomass fuel terminal concepts and a cost analysis of a satellite terminal concept*. Scandinavian Journal of Forest Research. 2016;31(2):175-182.

¹⁰¹ Ibidem



Slika 21. Shema planiranja skladišta za biomasu

Virkkunen M, Kari M, Hankalin V, Nummelin J. *Solid biomass fuel terminal concepts and a cost analysis of a satellite terminal concept*. Scandinavian Journal of Forest Research. 2016;31(2):175-182.

Na terminalu za biomasu se u bilo kojem trenutku mogu pohraniti drvene sječke ili proizvedeno gorivo s dimenzijama i rasporedom iznad 7 GWh. Maksimalan kapacitet skladištenja drva kao sirovinu biomase na 1 ha terminalnog područja iznosi 14 GWh. Ako se kao materijal skladište ostaci od sječe, panjevi ili cijela stabla, energetski sadržaj pohranjenog materijala je značajno niži oko 7-10 GWh zbog manjeg koeficijenta gustoće. Pravilno planiranje i dimenzioniranje prostora za pohranu terminala iznosi oko 2 MWh/m². Za prijevoz kamiona i rukovanje mehanizacijom za drobljenje ili sječu potrebno je najmanje 6 m širine prolaza. Skladište sirovina može se istodobno skladištiti kako se skladišni prostori ispraznjuju. Prostor potreban za skladištenje određenih količina sirovine ovisi o visini i obliku skladišne hrpe, kao i o gustoći materijala (npr. koliko se materijala krute biomase u m³ ili MWh može skladištiti u određeno područje).¹⁰² Tablica 3. prikazuje zahtjeve prilikom planiranja skladišnog prostora za različite materijale biomase s različitim koeficijentima gustoće, a tablica 4. prikazuje zahtjeve prilikom planiranja skladišnog prostora za različite energetske sadržaje skladištenog goriva.

¹⁰² Virkkunen M, Kari M, Hankalin V, Nummelin J. *Solid biomass fuel terminal concepts and a cost analysis of a satellite terminal concept*. Scandinavian Journal of Forest Research. 2016;31(2):175-182.

Tablica 3. Zahtjevi skladišnog prostora za različite sirove materijale biomase s različitim koeficijentima gustoće

| Koeficijent gustoće [solid-m ³ /loose-m ³] | Kapacitet skladišta terminala | | | | |
|--|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------|--------|---|
| | Vrsta sirovog materijala | Solid-m ³ /m ² | MWh/m ² | GWh/ha | Zahtjevi površine [m ² /GWh] |
| 0.7 | Pulpa | 1.75 | 3.5 | 35 | 286 |
| 0.6 | Pulpa | 1.5 | 3 | 30 | 333 |
| 0.5 | Čisto deblo | 1.25 | 2.5 | 25 | 400 |
| 0.4 | Drvene sječke | 1 | 2 | 20 | 500 |
| 0.35 | Cijelo drvo | 0.875 | 1.75 | 17.5 | 571 |
| 0.3 | Cijelo drvo | 0.75 | 1.5 | 15 | 667 |
| 0.25 | Ostaci sječe | 0.625 | 1.25 | 12.5 | 800 |
| 0.2 | Ostaci sječe | 0.5 | 1 | 10 | 1000 |

Izvor: izadio autor prema: Virkkunen M, Kari M, Hankalin V, Nummelin J. Solid biomass fuel terminal concepts and a cost analysis of a satellite terminal concept. Scandinavian Journal of Forest Research. 2016;31(2):175-182.

Tablica 4. Zahtjevi skladišnog prostora za različite energetske sadržaje skladištenog goriva

| Koeficijent gustoće [solid-m ³ /loose-m ³] | Vrsta sirovog materijala | Veličina skladišta terminala [GWh] | | | | | | |
|--|--------------------------|------------------------------------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 50 | 100 | 300 | 400 | 500 | 800 | 1000 |
| 0.7 | Pulpa | 1.4 | 2.7 | 8.6 | 11.4 | 14.3 | 22.9 | 28.6 |
| 0.6 | Pulpa | 1.7 | 3.3 | 10.0 | 13.3 | 16.7 | 26.7 | 33.3 |
| 0.5 | Čisto deblo | 2.0 | 4.0 | 12.0 | 16.0 | 20.0 | 32.0 | 40.0 |
| 0.4 | Drvene sječke | 2.5 | 5.0 | 15.0 | 20.0 | 25.0 | 40.0 | 50.0 |
| 0.35 | Cijelo drvo | 2.9 | 5.7 | 17.1 | 22.9 | 28.6 | 45.7 | 57.1 |
| 0.3 | Cijelo drvo | 3.3 | 6.7 | 20.0 | 26.7 | 33.3 | 53.3 | 66.7 |
| 0.25 | Ostaci sječe | 4.0 | 8.0 | 24.0 | 32.0 | 40.0 | 64.0 | 80.0 |
| 0.2 | Ostaci sječe | 5.0 | 10.0 | 30.0 | 40.0 | 50.0 | 80.0 | 100.0 |

Izvor: izadio autor prema: Virkkunen M, Kari M, Hankalin V, Nummelin J. Solid biomass fuel terminal concepts and a cost analysis of a satellite terminal concept. Scandinavian Journal of Forest Research. 2016;31(2):175-182.

Visina skladišnih hrpa bitno utječe na zahtjeve prilikom planiranja slobodnog prostora (skladišta) terminala za biomasu. Ako se visina skladišnih jedinica smanji na 4 m, potrebno je 25% više skladišnog prostora da se ukloni isti energetska sadržaj goriva, prirast visine na 6 m vodi do povećanja zapreminskog kapaciteta od 20%. Ako se mogu primijeniti prolazi širine 5 m, onda zahtjevi za skladišnom površinom za istu količinu energije smanjuje se za 8.3%. Promjena širine skladišnih jedinica nema veliki utjecaj kao promjena visine, zbog toga ako se npr. širina skladišta smanji sa 6

m na 5 m, zahtjevi skladišnog prostora za isti sadržaj energije u skladištu povećava se za 10%.¹⁰³

Također treba napomenuti da u skladištima gdje se skladište sirovine biomase za proizvodnju goriva nisu uvijek potrebni prolazi za mehanizaciju i ostalu opremu, jer se sirovina biomase može skladištiti u većim skladišnim jedinicama jedan pored drugog, a skladište može biti distribuirano s jedne strane, najčešće s one koja je prva bila skladištena. Kod primjene ovakve vrste sheme skladišta, mora se uzeti u obzir da bez prolaza za mehanizaciju i ostalu opremu sušenje sirovina biomase za proizvodnju goriva neće biti učinkovita kao kod skladišta koja posjeduju prolaze, zbog toga što takva skladišta osiguravaju učinkovit protok zraka za sušenje.¹⁰⁴

¹⁰³ Virkkunen M, Kari M, Hankalin V, Nummelin J. *Solid biomass fuel terminal concepts and a cost analysis of a satellite terminal concept*. Scandinavian Journal of Forest Research. 2016;31(2):175-182.

¹⁰⁴ Ibidem

6. TERMINAL ZA KRUTO RASUTU BIOMASU U LUCI

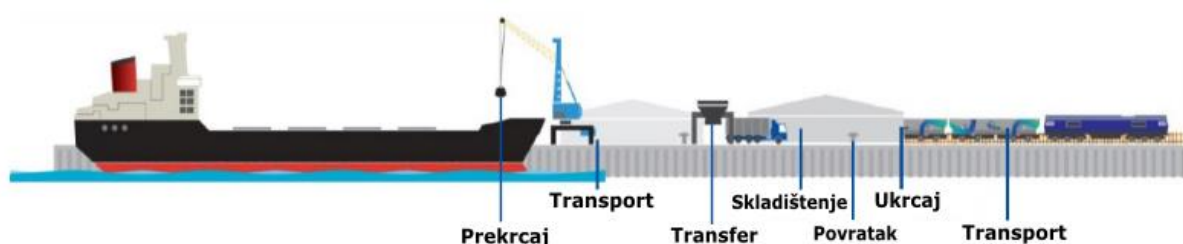
Proces otpreme i dopreme kruto rasute biomase, uz dodatnu pripremu za daljnji transport sa prilagođenom mehanizacijom za lakše rukovanje kruto rasute biomase, zajedno sa različitim prilagođenim povratnim sustavima radi dobivanja željenog oblika kruto rasute biomase nakon skladištenja i prijenosa unutar lučkog terminala za kruto rasutu biomasu opisan je u potpoglavljima *Funkcije i prekrcajna mehanizacija terminala za kruto rasutu biomasu*, *Povratni sustavi uskladištene kruto rasute biomase* i *Sustavi ukrcaja kruto rasute biomase s obzirom na vrstu transporta*.

6.1 Funkcije i prekrcajna mehanizacija terminala za kruto rasutu biomasu

Funkcije i operacije rukovanja na terminalu za kruto rasutu biomasu u luci biti će detaljno objašnjene pojedinačno, te korištenje određene prekrcajne mehanizacije unutar svake funkcije zasebno. Funkcije terminala za kruto rasutu biomasu su:¹⁰⁵

1. Prekrcaj - tranzicija biomase iz transportnih sredstava u sredstva zadužena za skladištenje ili obrnuto. Prekrcajna brzina biomase varira.
2. Transport - prijevoz sirovina biomase unutar ili kroz opremu, gdje brzina prijevoza biomase konstantna.
3. Transfer - prijenos biomase s jednog dijela opreme na drugi. Brzina prijenosa biomase nije konstantna.
4. Skladištenje - čuvanje biomase na određenom skladišnom prostoru ili u skladišnoj opremi. Brzina kretanja biomase unutar skladištu jednaka je nuli.

Slika 22. prikazuje različite faze rukovanja krutom rasutom biomasom unutar navedenih funkcija terminala za kruto rasutu biomasu u luci. Nakon skladištenja, kruto rasutu biomasu je potrebno povratiti i ukrcaj na transportna sredstva koja će isporučiti kruto rasutu biomasu na određena mjesta.



Slika 22. Shematski prikaz faza rukovanja krutom rasutom biomasom na terminalu

Izvor: Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

¹⁰⁵ Prof. dr. ir. G. Lodewijks and dr. ir. D. Schott. WB3419-03 *Characterization and Handling of Bulk Solid Materials*. TU Delft, 2013.

Također je potrebno napomenuti da se za prekrcavanje toreficiranih peleta ne upotrebljava specijalizirana prekrcajna mehanizacija, već standardizirana zbog toga što se toreficirani peleti prevoze u manjem broju. Koristi se postojeća infrastruktura, jer se s toreficiranim peletima može rukovati kao i s ugljenom.

6.1.1 Prekrcaj kruto rasute biomase

Prekrcaj je prva faza pri rukovanju biomasom u kruto rasutom obliku na lučkom terminalu. Prekrcaj se obavlja iskrcavanjem biomase iz transportnog plovila koje može biti brod ili barža, te iz kamiona ili vlaka. Prekrcaj se može obavljati različitom prekrcajnom mehanizacijom poput različitim grabilicama, vertikalnim transporterom, pneumatskim sustavima, vjedričarem ili samoiskrcivačem.

Ne postoje specifične grabilice za prekrcaj kruto rasute biomase, već postoje vrste koje su prikladne za prekrcaj takvog oblika biomase. Slika 23. prikazuje primjer zatvorene zahvatne grabilice koja se koristi za prekrcaj kruto rasuto biomase.



Slika 23. Zatvorena zahvatna grabilica

Izvor: *Verstegen*. Preuzeto sa: <https://www.verstegen.net/bulk-materials/biomass/>
[Pristupljeno 13. 07. 2020]

Tijekom korištenja grabilica za iskrcaj kruto rasute biomase, potrebno je obratiti pažnju na dodatno smanjenje razgradnje peleta. Također korištenjem zatvorenih zahvatnih grabilica umjesto pneumatskih sustava odvija se i lomljenje peleta što smanjuje razgradnju za 50%. Zatvoreni zahvatni dizajn grabilica isto tako smanjuje emisiju prašine i lomljenja.¹⁰⁶ Takav dizajn se još može koristiti za rukovanje otpadom. Za razliku od skladištenja drvenih peleta, drvene sječke zahtijevaju tri puta više prostora uzimajući u obzir isti sadržaj energije, te se isto tako i razlikuje dizajn grabilica za drvene sječke. Za prekrcaj drvnih sječki koriste se višečeljusne grabilice koje imaju visoki kapacitet od 60m³. Višečeljusne grabilice su upotpunosti zatvorene kako bi se smanjilo prosipanje materijala.¹⁰⁷ Slika 24. prikazuje višečeljusnu grabilicu za prekrcaj kruto rasute biomase.

¹⁰⁶ Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

¹⁰⁷ Ibidem



Slika 24. Višečeljusna grabilica

Izvor: *Peiner Smag*. Preuzeto sa: <https://peiner-smag.com/en/products/peiner-grabs/orange-peel-grabs/four-rope-orange-peel-grabs/> [Pristupljeno 13. 07. 2020]

Pneumatski prekrcajni sustav čini vakuumski iskrcavač koji se uglavnom koristi na brodovima. Idealno bi bilo minimizirati korištenje brodskih pneumatskih iskrcavača gdje je to moguće, zbog toga što uzrokuju veliku degradaciju čestica. Ali prednost brodskih vakuumski iskrcavača je što mogu postići visoku propusnost svojim fleksibilnim dizajnom.¹⁰⁸ Slika 25. prikazuje brodski vakuumski iskrcavač.



Slika 25. Brodski vakuumski iskrcavač

Izvor: *Walinga*. Preuzeto sa: <https://walinga.com/ship-unloader> [Pristupljeno 13. 07. 2020]

Poželjno je izbjegavati brodove sa pneumatskim sustavima koji sadrže sendvič-iskrcavače, jer je pretvrd za drvene pelete i uzrokuje veliku degradaciju čestica. Također zatvorene zahvatne grabilice ili pužni transporteri mogu oštetiti drvene pelete. Brodovi samoiskrcavači su najpogodniji za prijevoz drvenih peleta, jer koriste posebno ugrađena ležišta s odvodima živog dna koji se iskrcajavu pomoću sendvič-

¹⁰⁸ Gregory D PhD Williams, Jan C. PhD Jofriet, and Kurt A. PhD Rosentrater. *Biomass Storage and Handling : Status and Industry Needs Types of Biomass*, 2008. ASABE.

remena u brodove samoiskrcivače, tako da podiže drvene pelete prema gore i van broda.

Iskrcaj biomase iz kamiona može se obaviti na dva načina, jedan je da se kamion ukrca u prijemni bunker, a drugi da se kamion nagne. U slučaju da je kamion sam po sebi teret, potreban je dodatni kamion za iskrcaj, ali prednost je što je takav kamion upotpunosti zatvoren i zaštićen od prašine, te je kompaktan i s malom potrošnjom energije. U slučaju da je kamion nagnut, prednost je u povećanju brzine odlaganja i propusnosti biomase zbog većeg kuta naginjanja, te smanjuje potrebu za nabijanjem palube kada se biomasa zaglavi.¹⁰⁹ Slika 26. i slika 27. prikazuju dva načina iskrcavanja kamiona.



Slika 26. Iskrcaj biomase iz kamiona sa poluprikolicom

Izvor: Samson, *Biomass Logistics: Solutions from Forest to Ports and Power Plants* 2017.



Slika 27. Iskrcaj biomase naginjanjem kamiona

Izvor: Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

¹⁰⁹ Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

6.1.2 Transport i transfer kruto rasute biomase

Nakon prihvata kruto rasute biomase, potrebno ju je transportirati u skladište. Transport kruto rasute biomase se obavlja transporterima koji mogu biti tračni, vrećasti ili cijevni, ali kao njihova alternativa za transport mogu se upotrijebiti kosa dizalica sa skipom i pužni transporteri.

Trakasti transporteri su isplativiji na velikim udaljenostima, jer imaju veliku propustnost uz korištenje relativno male snage tijekom transporta, mogu se upotpunosti zatvoriti, što poboljšava kontrolu prašine, te se mogu koristiti za transport drvnih sječki, drvenih peleta i tofificiranih peleta. Nedostaci trakastih transportera je skupa ugradnja samog sustava i problematično iskrcavanje. Prilikom odabira trakastog transportera za transport drvenih peleta treba izbjegavati sustave koji potiču udarce ili trljanje, klinove ili brušenje, jer takvi sustavi mogu prouzrokovati štetu na drvenim peletima. Obavezno je minimizirati točke prijenosa transportera kako bi se umanjile točke udara, te transporteri trebaju biti opremljeni sensorima topline, dima i plamena, prskalicama i opremom za suzbijanje požara.¹¹⁰ Slika 28. prikazuje transport drvenih peleta pomoću trakastog transportera.



Slika 28. Trakasti transporter

Izvor: *Made-in-China*. Preuzeto sa: <https://kingoropelletmachine.en.made-in-china.com/product/IFKEMjVcfmWD/China-Belt-Conveyor-for-Biomass-Pellets-Making.html>
[Pristupljeno 14. 07. 2020]

Vrećasti transporteri za razliku od tračnih transportera tijekom transporta drvenih peleta ne trebaju poklopac za zaštitu od vjetra, prosipanja, onečišćenja, kiše i takva vrsta transportera poboljšava kontrolu prašine. Ali za razliku od tračnih transportera, vrećastim transporterima se ne mogu transportirati drvene sječke zbog debljine drva koja je preko 75mm. Također vrećasti transporteri smatraju se drugom najboljom opcijom glede postizanja najvećeg mogućeg nagiba tijekom transportiranja biomase. Slika 29. prikazuje vrećasti transporter.¹¹¹

¹¹⁰ Louise Dodds-Ely. *Biomass: the next big thing? Dry Cargo Int. Issue No.169*, pages 63–91, 2014.

¹¹¹ Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.



Slika 29. Vrećasti transporter

Izvor: *ResearchGate*. Preuzeto sa: https://www.researchgate.net/figure/Pouch-conveyor-Image-courtesy-of-ContiTech-AG_fig3_327992427 [Pristupljeno 14. 07. 2020]

Cijevni transporteri su idealni za transport biomase, upravo zbog toga što mogu prihvatiti biomasu kao teret u horizontalnom i vertikalnom položaju, te tako minimizirati broj transportnih točaka.¹¹² Nedostatak cijevnih transportera je taj što je nezgodan za korištenje transporta velike količine biomase na samom terminalu upravo zbog toga što takav sustav transportera je poprilično skup, a glavni razlog povećanju troškova čini dodatno prekrivanje udaljenosti svakih 10m za potrebno otvaranje i zatvaranje cijevi.¹¹³ Osim toga cijevni transporteri se ne mogu zamijeniti brodove samoiskrcivače koji imaju odgovarajuće bunkere duž operativne obale. Međutim, cijevni transporteri kao i vrećasti transporteru su u potpunosti zatvoreni i štite pelete od vjetra, prosipanja, onečišćenja, kiše i poboljšava kontrolu prašine. Slika 30. prikazuje izgled cijevnog transportera.¹¹⁴



Slika 30. Cijevni transporter

Izvor: *IndiaMart*. Preuzeto sa: <https://www.indiamart.com/proddetail/pipe-conveyor-belt-14868670512.htmlunloader> [Pristupljeno 14. 07. 2020]

¹¹² Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

¹¹³ Mi-Rong Wu. *A Large-scale Biomass Bulk Terminal*. Dissertation, Delft University of Technology, 2012.

¹¹⁴ Ibidem

Kose dizalice sa skipom koriste pojedinačne ljestve za podizanje materijala okomito iz dovoda i pražnjenje ljestvi pri vrhu u žljebovima za iskrcaj. Ove vrste dizalica imaju mogućnost rukovanja svim vrstama materijala tako da su prikladne i za rukovanje kruto rasutom biomasom. Prednosti kose dizalice sa skipom je u tome što zahtijeva minimalni tvornički prostor, te ima malu potrošnju energije, podnošljivo održavanje i može se pokriti za kontrolu prašine.¹¹⁵ Slika 31. prikazuje kosu dizalicu sa skipom.



Slika 31. Kosa dizalica sa skipom

Izvor: *IndiaMart*. Preuzeto sa: <https://www.indiamart.com/proddetail/material-handling-bucket-elevator-8769165733.html> [Pristupljeno 14. 07. 2020]

Pužni transporteri koriste se za rukovanje homogenim gorivima ispod 50mm poput toreficiranih peleta od skladišta do komore, ali drvene sječke također mogu biti transportirane većim pužnim transporterima.¹¹⁶ Prednosti pužnih transportera su jeftin, fleksibilan, zatvoren transportni sustav i takva vrsta transportera može prevladati udaljenost do 45m, ali im je potrebno veliko napajanje. Isto tako treba izbjegavati udarne točke, trljanje, klinove ili brušenje, kao i prijenosnike unutar pužnih transportera koji mogu oštetiti pelete.¹¹⁷ Slika 32. prikazuje pužni transporter.

¹¹⁵ Gregory D PhD Williams, Jan C. PhD Jofriet, and Kurt A. PhD Rosentrater. *Biomass Storage and Handling : Status and Industry Needs Types of Biomass*, 2008. ASABE.

¹¹⁶ Roberto García Fernández, Consuelo Pizarro García, Antonio Gutiérrez Lavín, Julio L Bueno de Las Heras, and José Juan Pis. *Influence of physical properties of solid biomass fuels on the design and cost of storage installations. WasteManag.*, 33(5):1151–7, May 2013.

¹¹⁷ The Robson and Airglide Belt. *Airglide Conveyors Airglide Conveyor Specification* (brochure). Geo. Robson & Co. Ltd, 2014.



Slika 32. Pužni transporter

Izvor: *Biomass Magazine*. Preuzeto sa: <http://biomassmagazine.com/articles/10845/all-the-right-moves> [Pristupljeno 14. 07. 2020]

Prilikom obavljanja transfera, odnosno prijenosa drvenih peleta potrebno je da broj prijenosnih točaka bude što je moguće manje kako bi se smanjile točke udara, razgradnja čestica i emisija prašine. Prijenosni dizajni koji se koriste za transfer drvenih peleta (biomase) prikazani su na slici 33., slici 34. i slici 35. Slika 33. prikazuje prijenosni dizajn *Hood & Spoon* u kojem se može izbjeći izbacivanje prašine iz toka i može smanjiti degradaciju čestica. Slika 34. prikazuje prijenosni dizajn pomoću spiralnog uređaja za ukrcaj zajedno sa ugrađenim ventilatorima. Spiralni žljebovi omogućuju da se drveni peleti pri padu s velike visine u silosu ne slome, a ventilator stvara negativan pritisak koji usmjerava prašinu u spremnik spiralnog uređaja, a ne okolo. Slika 35. prikazuje prijenosni dizajn u kojem se koristi dodatna tehnologija filtracije radi postizanja smanjenja emisija prašine. Ova vrsta prijenosnog dizajna filtrira prašinu do 70% iz materijala pri protoku od 23.000m³/h.¹¹⁸

¹¹⁸ Ingwald Obernberger and Gerold Thek. *The Pellet Handbook*. Earthscan, 2010. ISBN 9781844076314.



Slika 33. Hood and spoon dizajn

Izvor: Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.



Slika 34. Prijenosni dizajn s spiralnim uređajem i ugrađenim ventilatorima

Izvor: Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.



Slika 35. Prijenosni dizajn s ugrađenim filterom

Izvor: Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

6.1.3 Skladištenje kruto rasute biomase

Postoji pet vrsta različitih skladišta za skladištenje kruto rasute biomase:¹¹⁹

1. silosi
2. bunkereri
3. specijalizirane kutije za biomasu
4. skladišne platforme
5. kupolasta skladišta

Skladišta za kruto rasutu biomasu moraju biti zatvorena zbog visokog sadržaja vlage materijala koji se skladišti (npr. drvene sječke), te također zatvorena skladišta sprječavaju širenje prašine. Nadalje, skladišta moraju biti dovoljno velika zbog sezonskih fluktuacija potražnje energije.¹²⁰

Silos je konstrukcija u kojoj je visina konstrukcije veća od promjera konstrukcije, a ravnina pucanja materijala presijeca zid konstrukcije. Kod konstruiranih silosa za pelete, promjer je veći u odnosu na njihovu visinu. Sustav iskrcaja i ukrcaja kod silosa je vrlo ekonomičan, učinkovit i većinom se koriste u elektranama. Konstrukcija silosa se može izgraditi od betona ili čelika. Betonski silosi su napravljeni korištenjem metoda skočnog ili kliznog oblika, a čelični silosi su obično zabravljeni ili zavareni glatkim čelikom, ali mogu biti zabravljeni ili zavareni valovitim čelikom. Međutim, valovite metalne i tamne boje poželjno je izbjegavati zbog mogućnosti povećanja asporpcije topline i smanjenja prijenosa topline. Betonsko skladište je poželjnije zbog visoke propusnosti i neusporedive trajnosti, za razliku od čeličnih silosa koji su ekonomičniji, ali ne i izdržljiviji. Postoje dvije vrste silosa za pelete poput silosa sa suženim dnom i silosa sa ravnim dnom.¹²¹ Slika 36. prikazuje silos sa suženim dnom, a slika 37. prikazuje silos sa ravnim dnom.

¹¹⁹ Gregory D PhD Williams, Jan C. PhD Jofriet, and Kurt A. PhD Rosentrater. *Biomass Storage and Handling : Status and Industry Needs Types of Biomass*, 2008. ASABE.

¹²⁰ Wolfgang Stelle. *Guideline : Storage and Handling of Wood Pellets*, 2012. Danish Technological Institute.

¹²¹ Ibidem



Slika 36. Silos sa suženim dnom

Izvor: Bizator. <http://www.bizator.com/advert/m0217-2006017592-granary-silo-with-a-tapered-bottom.html> [Pristupljeno 15. 07. 2020]



Slika 37. Silos sa ravnim dnom

Izvor: Prado SPS. Preuzeto sa: <https://www.pradosps.com/silos/flat-bottom-silos/> [Pristupljeno 15. 07. 2020]

Bunkerji su dizajnirani kao plitka skladišna struktura gdje se biomasa skladišti (odlaže) i služe kao nosači zidne strukture. Konstrukcija bunkera je relativno jeftina, jer se može izvesti pomoću prefabrikovanih segmenata, kao što je lijevani čelik. Međutim, troškovi su začajno visoki za sustav ukrcanja i iskrcaja.¹²² Slika 38. prikazuje bunker kao skladište za biomasu.

¹²² Gregory D PhD Williams, Jan C. PhD Jofriet, and Kurt A. PhD Rosentrater. *Biomass Storage and Handling : Status and Industry Needs Types of Biomass*, 2008. ASABE.



Slika 38. Bunker za skladištenje kruto rasute biomase

Izvor: *Wellons*. Preuzeto sa: <http://www.wellons.com/fueelfloor.html> [Pristupljeno 15. 07. 2020]

Specijalizirane kutije za biomasu vrlo su tipične kao dio sustava za prihvrat ili kao dio sustava za rukovanje, te su složenije skladišne strukture. Uglavnom su izrađene od čelika, ali mogu se izraditi i od betona.¹²³ Slika 39. prikazuje specijalizirane kutije za biomasu.



Slika 39. Specijalizirane kutije za skladištenje kruto rasute biomase

Izvor: *Meiko Green*. Preuzeto sa: <https://www.meiko-green.com/en/solutions/pump-systems/storage-tanks/> [Pristupljeno 15. 07. 2020]

Skladišne platforme za biomasu postavljene su unutar građevinskih konstrukcija koje se sastoje od visokih zidova u obliku metalnih bunkera ili se preko vrha potpornih zidova postavlja građevina strukturirana u obliku obruča. Zbog oblika ravnih platformi ukrcaj biomase je automatiziran, ali je iskrcaj prilično zahtjevan i skup. Zapremina ove vrste skladišta može se kretati u rasponu od 15.000m³ - 100.000m³ u kojem se iskrcaj peleta na dno obavlja pomoću transportera ili prednjih ukrcavača, te na taj način gomilavanjem peleta formira se hrpa. Pražnjenje se uglavnom vrši sa prednjim ukrcavačem ili sustavom za dovod u kotao (na području

¹²³ Gregory D PhD Williams, Jan C. PhD Jofriet, and Kurt A. PhD Rosentrater. *Biomass Storage and Handling : Status and Industry Needs Types of Biomass*, 2008. ASABE.

elektrane), te ovisno o potrebi daljnjeg transporta na kamione, vagone ili plovila.¹²⁴ Slika 40. prikazuje platformu za skladištenje biomase.



Slika 40. Skladišna platforma kruto rasute biomase

Izvor: Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

Kupolasta skladišta za biomasu su betonske građevine koje služe za skladištenje velikog kapaciteta biomase. Ovakva struktura skladištenja zahtijeva povratni sustav, odnosno povrat pohranjenog materijala.¹²⁵ Slika 41. prikazuje četiri betonske kupole koje mogu pohraniti 75.000t biomase.



Slika 41. Kupolasta skladišta za kruto rasutu biomasu

Izvor: Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

¹²⁴ Gregory D PhD Williams, Jan C. PhD Jofriet, and Kurt A. PhD Rosentrater. *Biomass Storage and Handling : Status and Industry Needs Types of Biomass*, 2008. ASABE.

¹²⁵ Ibidem

6.2 Povratni sustavi uskladištene kruto rasute biomase

Nakon skladištenja kruto rasute biomase, javlja se potreba za povratnim sustavima zbog daljnjeg transporta na drugo umjesto unutar luke. Povratni sustavi zahtijevaju prikladne zatvorene skladišne sustave i zatvorene transportne sustave. Postoji nekoliko vrsta povratnih sustava koji se mogu koristiti u zatvorenom načinu skladištenja, te su posebno dizajnirani ili prilagođeni za rukovanje kruto rasute biomase. Povratni sustavi koji se koriste za rukovanje kruto rasute biomase su:¹²⁶

1. sustav uređaja za povrat s pokretnim dnom
2. sustav silosa sa ravnim dnom
3. sustav uređaja za povrat s pužnim transporterom sa dovodnom cijevi
4. sustav uređaja za povrat s trakastim transporterom
5. sustav uređaja za povrat s ljevkastim košem.

Razlikujemo dva sustava uređaja za povrat koja rade na sličnom principu, a to su sustav uređaja za povrat s gurajućim dnom i sustav uređaja za povrat s hodajućim dnom. Sustav uređaja za povrat s gurajućim dnom dizajniran je za teške kruto rasute tvari poput drvnih sječki, drvenih peleta ili toreficiranih peleta, a koristi se za četvrtaste i pravokutne bunkere ili silose. Hidraulički cilindri pričvršćeni su s jedne strane pokretnog dna, te pokreću niz paralelnih pokretnih okvira naprijed i natrag, pa se na taj način premješta sloj materijala iz skladišta na transportnu opremu. Ovaj sustav ima tri osnovne konfiguracije:¹²⁷

1. guranje materijala na jedan kraj bunkera
2. povlačenje materijala na jedan kraj bunkera
3. guranje i povlačenje materijala na sredinu bunkera.

Prednost ovog sustava je što funkcionira na principu *first-in, first-out*. Također troškovi upotrebljavanja i održavanja su niski, te se mogu ugraditi u bunkere sa ravnim dnom. Slika 42. prikazuje sustava uređaja za povrat s gurajućim dnom.

¹²⁶ Mi-Rong Wu. *A Large-scale Biomass Bulk Terminal*. Dissertation, Delft University of Technology, 2012.

¹²⁷ Saxlund. Preuzeto sa: <https://www.saxlund.co.uk/saxlund-sweden-win-new-materials-handling-contract> [Pristupljeno 17. 07. 2020]



Slika 42. Sustav uređaja za povrat s gurajućim dnom

Izvor: *Saxlund*. Preuzeto sa: <https://www.saxlund.co.uk/saxlund-sweden-win-new-materials-handling-contract> [Pristupljeno 17. 07. 2020]

Međutim, postoji i drugi način izvedbe sustava uređaja za povrat s hodajućim dnom. Hodajuće dno u ovom slučaju minimizira oštećenje proizvoda zbog blagih djelovanja prilikom obavljanja određenih funkcija, zato se naziva sustav uređaja za povrat s hodajućim dnom. Izrađeno od niza hidrauličkih paralelnih letvica i ima četiri faze. U prve tri faze svaka se treća letvica pomiče unatrag, tako da je trenje opterećenja preostalo na dva seta letvica koja sprječavaju kretanje tereta. U četvrtoj fazi sve se letvice kreću u skladu i prenose materijal.¹²⁸ Slika 43. prikazuje izgled sustava uređaja za povrat s hodajućim dnom.



Slika 43. Sustav uređaja za povrat s hodajućim dnom

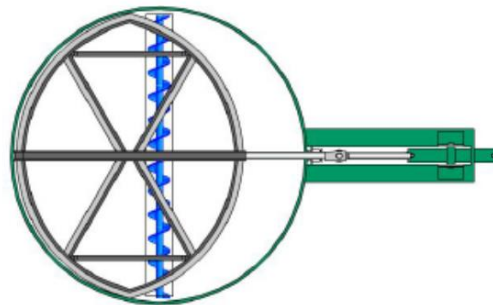
Izvor: *Keith*. Preuzeto sa: <https://www.walkingfloorparts.co.uk/> [Pristupljeno 17. 07. 2020]

Sustav silosa sa ravnim dnom za iskrcaj materijala (drvne sječke) koristi klizni okvir koji se pokreće pomoću snažnih hidrauličkih cilindara na principu naprijed -

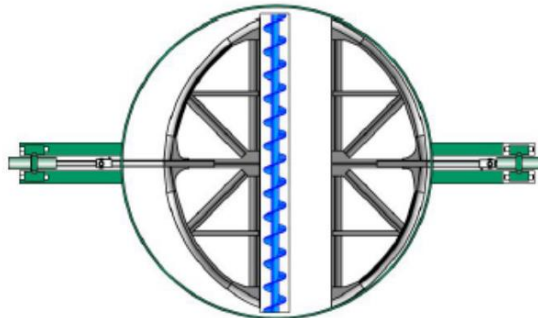
¹²⁸ *Saxlund*. Preuzeto sa: <https://www.saxlund.co.uk/saxlund-sweden-win-new-materials-handling-contract> [Pristupljeno 17. 07. 2020]

nazad. Slika 44. na vrhu prikazuje klizni okvir koji se sastoji od jednog okvira i okreće na dnu silosa. Također postoji dizajniran klizni okvir s dvostrukim okvirom prikazan na dnu slike 44. koji se koristi u većim dizajniranim sustavima silosa sa ravnim dnom. Ova vrsta sustava uređaja za povrat može slomiti sve mostove nastale unutar silosa, te potiče protok kruto rasute biomase na principu *first-in, first-out* u jedan ili više pužnih transportera.¹²⁹

Klizni okvir sastavljen od jednog okvira



Klizni okvir s dvostrukim okvirom



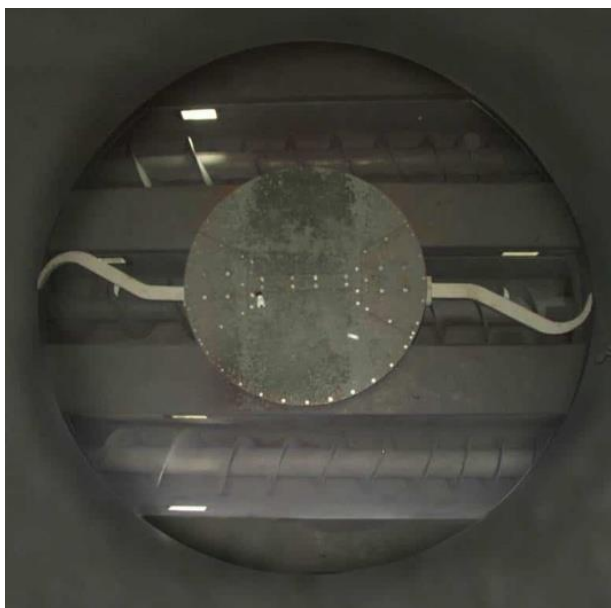
Slika 44. Sustav silosa s klizni okvir

Izvor: Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

Hidraulični rotor koji se koristi za iskrcaj unutar silosa sa ravnim dnom, također se može koristiti za pomicanje masenog protoka na principu *first-in, first-out* za nepristupačne i teško obradive materijale unutar silosa s ravnim dnom.¹³⁰ Kada se u silosu otkrije most, rotor se počinje okretati u uskladištenom materijalu i nakon pola minute, ručica rotora nastoji sav materijal stjerati uz sam zid silosa i potkopati sve mostove koji uzrokuju prepreke unutar silosa. Nakon toga, nasloni valjka vraćaju se u položaj mirovanja. Prednosti iskrcanja pomoću hidrauličnog rotora je što zahtijeva minimalnu snagu i silu uz male troškove i potrebe za održavanjem. Slika 45. prikazuje hidraulični rotor za iskrcaj materijala unutar silosa s ravnim dnom.

¹²⁹ Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

¹³⁰ Saxlund . Preuzeto sa: <https://www.saxlund.co.uk/products/hydraulic-rotor-silo-discharger> [Pristupljeno 17. 07. 2020]



Slika 45. Hidraulični rotor unutar silosa s ravnim dnom

Izvor: Saxlund . Preuzeto sa: <https://www.saxlund.co.uk/products/hydraulic-rotor-silo-discharger>
[Pristupljeno 17. 07. 2020]

Sustav uređaja za povrat s pužnim transporterom sa dovodnom cijevi mogu biti linearni i kružni povratni sustavi. Pužni transporter sa dovodnom cijevi kao dio sustava uređaja za povrat postavlja se na dno gdje se nalazi nagomilan materijal biomase, te radi po principu *first-in, first-out*. Ova vrsta sustava uglavnom se koristi za povrat drvene sječke. Prednost linearnog sustava uređaja za povrat s pužnim transporterom sa dovodnom cijevi je ta što automatski miješa materijal i ima promjenjivu brzinu ulaza i izlaza. Linearni sustav uređaja za povrat s pužnim transporterom sa dovodnom cijevi može se koristiti u pravokutnim bunkerima. Dovodna cijev sastoji se od pužnog transportera unutar zaštićene rotirajuće cijevi. Rotirajuća cijev se okreće u suprotnom smjeru, te ima pravilne otvore što omogućava materijalu koji se nalazi na cijevi da padne na pužni transporter pritom eliminira vanjski statički pritisak materijala na pužni transporter i omogućava ujednačen dovod materijala. Ovakav način rukovanja troši samo 25% energije potrebne za korištenje pužnog transportera kao dio povratnog sustava. Također je smanjeno trošenje mehaničkih djelova, jer je potreban manji zakretni moment, a osim toga smanjena je i degradacija drvene sječke. Kružni sustav uređaja za povrat s pužnim transporterom sa dovodnom cijevi može se koristiti kao rotirajuće svrdlo u silosu s ravnim dnom velikog promjera, gdje djeluje na istom principu kao i linearni sustav uređaja za povrat s pužnim transporterom sa dovodnom cijevi.¹³¹ Slika 46. prikazuje linearni sustav uređaja za povrat s pužnim transporterom sa dovodnom cijevi, a slika 47. kružni sustav uređaja za povrat s pužnim transporterom sa dovodnom cijevi.

¹³¹Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.



Slika 46. Linearni sustav uređaja za povrat s pužnim transporterom sa dovodnom cijevi

Izvor: *Biomass Magazine*. Preuzeto sa: <http://biomassmagazine.com/articles/16877/the-continual-pursuit-of-fiber-consistency> [Pristupljeno 18. 07. 2020]



Slika 47. Kružni sustav uređaja za povrat s pužnim transporterom sa dovodnom cijevi

Izvor: *Terra Source Global*. Preuzeto sa: <http://biomassmagazine.com/articles/16877/the-continual-pursuit-of-fiber-consistency> [Pristupljeno 18. 07. 2020]

Sustav uređaja za povrat s trakastim transporterom, temeljen je djelovanjem gravitacije, a može se koristiti za sve kruto rasute oblike biomase i vrlo je ekonomična vrsta povratnih sustava, jer ima mogućnosti prihvata velikog kapaciteta i male zahtjeve održavanja. Nedostatak ove vrste povratnih sustava je što ima najmanji volumen skladištenja u odnosu na druge vrste povratnih sustava. Slika 48. prikazuje sustav uređaja za povrat s trakastim transporterom.¹³²

¹³² Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.



Slika 48. Sustav uređaja za povrat s trakastim transporterom

Izvor: *Bruks Siwertell*. Preuzeto sa: <https://www.bruks-siwertell.com/storage-reclaiming/cantilever-chain-reclaimer> [Pristupljeno 18. 07. 2020]

Sustav uređaja za povrat s ljevkastim košem funkcioniše na principu gravitacije, tako da se ljevkasti koš postavlja ispod skladišta i minimizira potrošnju električne energije i sustava mehanizacije. Nedostatak je taj što zbog fizičke strukture, ljevkasti koš smanjuje učinkovit volumen skladištenja. Ovaj sustav se može nadograditi sa dovodom prikazanim na slici 49. koji ima dodatne pokretne otvore, te se gibaju naprijed i nazad. S time se stimulira masovni protok, te ima mogućnost primjene na specijalizirane kante za biomasu, silose, teretne brodove i teglenice. Takav kombinirani sustav izbjegava zbijanje i stagnaciju materijala kruto rasute biomase i osigurava pouzdan protok.¹³³



Slika 49. Sustav uređaja za povrat s ljevkastim košem

Izvor: *Pierrelai*. Preuzeto sa: <https://www.pierrelai.com/kamengo> [Pristupljeno 18. 07. 2020]

¹³³ Gregory D PhD Williams, Jan C. PhD Jofriet, and Kurt A. PhD Rosentrater. *Biomass Storage and Handling : Status and Industry Needs Types of Biomass*, 2008. ASABE

6.3 Sustavi ukrcaja kruto rasute biomase s obzirom na vrstu transporta

Posljednji postupak unutar terminala za kruto rasutu biomasu u luci je ukrcaj proizvoda za daljnji transport. Ukrcaj se može obaviti na:¹³⁴

1. kamion
2. vlak
3. brod.

6.3.1 Sustav ukrcaja kruto rasute biomase za transport cestom

Kamion se kreće između 15t - 25t peleta po opterećenju, ali je potrebno reći kako ne postoje posebno dizajnirani kamioni za transport kruto rasute biomase. Trenutno se koriste sljedeći tipovi kamiona za transport drvenih peleta, toreficiranih peleta i drvnih sječki:¹³⁵

- europske cisterne sa pneumatskim napajanjem
- sjevernoamerički *stinger* kamioni
- kamioni samoistovariči (kipper kamioni)
- standardizirani kamioni
- poluprikolice sa hidrauličkim iskrcajem.

Trenutno se prazni ili premalo iskorišteni kontejneri koriste za prijevoz peleta u rasutom stanju u 20' i 40' kontejnerima, uz pogodnost da se kontejneri lako podižu na teretne kamione, isto tako podižu sa teretnih kamiona. Ukrcaj kamiona obavlja se na ukrcajnoj stanici, gdje se nalazi lijevak iznad kolnika. Primjer prikazan na slici 50. predstavlja teleskopski sustav ukrcaja koji je dizajniran za ukrcaj peleta u kamion (teretnu poluprikolicu ili cisternu). Ovaj kontinuirani sustav ukrcaja ima poseban dodatak na dnu ukrcavača kako bi se spriječila emisija prašine i curenje.¹³⁶

¹³⁴ Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

¹³⁵ Ingwald Obernberger and Gerold Thek. *The Pellet Handbook*. Earthscan, 2010. ISBN 9781844076314.

¹³⁶ Ingwald Obernberger and Gerold Thek. *The Pellet Handbook*. Earthscan, 2010. ISBN 9781844076314.

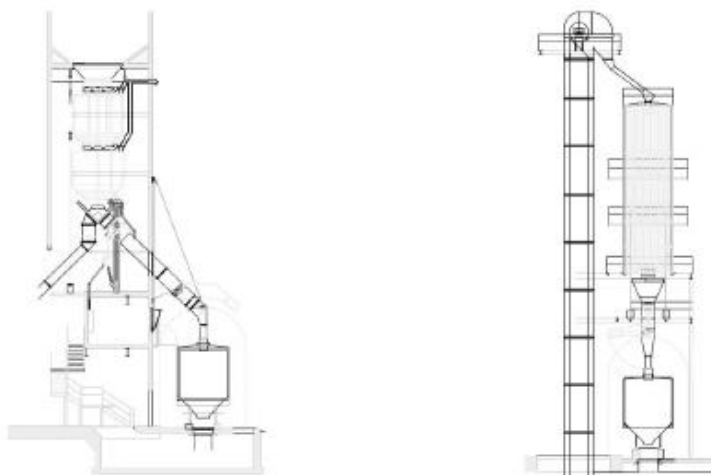


Slika 50. Teleskopski sustav ukrcanja biomase u kamion

Izvor: *World Industrial Reporter*. Preuzeto sa: <https://www.pierrelai.com/kamengo>
[Pristupljeno 19. 07. 2020]

6.3.2 Sustav ukrcanja kruto rasute biomase za transport željeznicom

Drugi način transporta može se odvijati željeznicom. Željezničke stanice za ukrcaj slične su stanicama za ukrcaj kamiona. Na slici 51. prikazana su dva primjera sustava osovinskog opterećenja s visokom propusnošću. Oba su bazirana na djelovanju gravitacije, te se sastoje od lijevka i cjevovoda kroz koje prolazi kruto rasuta biomasa.¹³⁷



Slika 51. Sustavi osovinskog opterećenja željeznice s visokom propusnošću

Izvor: Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014

¹³⁷ Gregory D PhD Williams, Jan C. PhD Jofriet, and Kurt A. PhD Rosentrater. *Biomass Storage and Handling : Status and Industry Needs Types of Biomass*, 2008. ASABE

Slika 52. prikazuje drugi sustav ukrcanja kruto rasute biomase na željeznicu pomoću *stormajor* dovoda, koji ukrcava drvene sječke ili pelete u željeznički vagon prekrivenim transporterom s nagibom.



Slika 52. Sustav ukrcanja kruto rasute biomase na željeznicu pomoću stormajor dovoda

Izvor: Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014

Željeznički vagoni za biomase su posebno dizajnirani, te je njihov kapacitet gotovo 30% veći od standardnih vlakova. Svaki željeznički vagon može transportirati 71.6t peleta po opterećenju. Također prednost željezničkih vagona je u tome što imaju učinkovit sustav ukrcanja i iskrcanja, ali isto tako i zaštitu od vremenskih prilika.¹³⁸ Slika 53. prikazuje željeznički vagon za transport kruto rasute biomase.



Slika 53. Željeznički vagon za transport kruto rasute biomase

Izvor: *Railway Gazette*. Preuzeto sa: <https://www.railwaygazette.com/traction-and-rolling-stock/drax-unveils-high-volume-biomass-wagon/38505.article> [Pristupljeno 19. 07. 2020]

6.3.3 Sustav ukrcanja kruto rasute biomase za transport plovilom

Za transport drvenih peleta i drvnih sječki na plovnim putovima ili morima odvija se na brodovima za rasuti teret (eng. *Bulk carriers* - brodovi za rasuti teret). Takvi

¹³⁸ *Railway Gazette*. Preuzeto sa: <https://www.railwaygazette.com/traction-and-rolling-stock/drax-unveils-high-volume-biomass-wagon/38505.article> [Pristupljeno 19. 07. 2020]

brodovi uglavnom imaju više brodskih skladišta sa prekrivenim otvorima, gdje je kruto rasuta biomasa (drveni peleti, drvene sječke) zaštićena od prodora vode. Brodovi za rasuti teret kategorizirani su na četiri skupine ovisno kojom rutom plove, a to su:¹³⁹

1. Handysize (20.000 - 35.000 dwt)
2. Handymax (35.000 - 50.000 dwt)
3. Panamax (50.000 - 80.000 dwt)
4. Capesize (100.000 - 300.000 dwt).

Najčešće za transport drvenih peleta i drvnih sječki se koriste Handysize i Handymax brodovi za rasuti teret zbog lokalne otpreme i malih luka. Također te dvije kategorizirane skupine brodova za rasuti teret neovisne su o obalnoj mehanizaciji, jer obično imaju vlastitu mehanizaciju za ukrcaj i iskrcaj.¹⁴⁰ Slika 54. prikazuje brod za rasuti teret koji služi za transport drvenih peleta i drvnih sječki.



Slika 54. Brod za transport rasutog tereta

Izvor: *Hellenic Shipping News*. Preuzeto sa: <https://www.hellenicshippingnews.com/dry-bulk-carriers-in-high-demand-as-ship-owners-expected-market-rebound/> [Pristupljeno 20. 07. 2020]

Postoje dva načina obavljanja ukrcaja kruto rasute biomase. Ukrcaj se može obavljati s obale na brod ili s broda na brod pomoću plutajuće dizalice. Plutajuća dizalica koristi se u slučaju ukrcaja kruto rasute biomase s broda na brod, te ne zahtijeva lučku infrastrukturu i lučke pristojbe.¹⁴¹ Slika 55. prikazuje plutajuću dizalicu u luci.

¹³⁹ Douglas Bradley, Fritz Diesenreiter, Michael Wild, and Erik Tromborg. *World Biofuel Maritime Shipping Study, 2009*. Climate Change Solutions, EEG, Vienna University of Technology, EBES AG, Norwegian University of Life Sciences.

¹⁴⁰ Ibidem

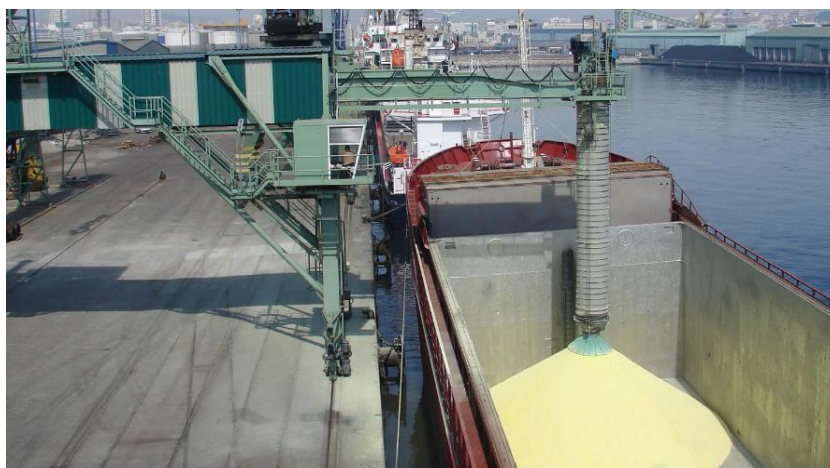
¹⁴¹ Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.



Slika 55. Plutajuća dizalica

Izvor: *Dry Cargo*. Preuzeto sa: <https://www.drycargomag.com/purpose-built-bulk-handling-cranes-from-reel-nkm-noell> [Pristupljeno 20. 07. 2020]

Ukrcaj s obale može se obavljati na više načina. Jedna od opcija je korištenje brodoukrcavača s dovodnom cijevi sa žlijebom prikazanoj na slici 56. koja ima mogućnost pomicanja 1200 metričnih t/h, te omogućava smanjenje prašine prilikom punjenja velikih količina. Ova vrste ukrcajne mehanizacije također se može postaviti unutar skladišta i pogodna je za manipulaciju drvenih peleta i ostalih peletiziranih materijala poput toreficiranih peleta.¹⁴²



Slika 56. Brodoukrcavač s dovodnom cijevi sa žlijebom

Izvor: Cleveland Cascades Ltd. Cleveland Cascades Ltd - *Providing the industry standard for loading solutions (brochure)*, 2014.

Također se ukrcaj s obale može obavljati pomoću dovodne cijevi sa krakom, koja može ukrcati teret na brod s jednog integriranog stroja na visinu do 15 m i to s

¹⁴² Ingwald Obernberger and Gerold Thek. *The Pellet Handbook*. Earthscan, 2010. ISBN 9781844076314.

brzinom ukrcanja od 1500 t/h. Poboljšanje ovog dizajna je mobilni brodoukrcavač koji ima prednost potpune mobilnosti, univerzalne primjene i može obaviti ukrcanj na sve vrste plovila od barži do Capesize brodova za rasuti teret. Ova vrsta mobilnog brodoukrcavača ima kapacitet do 2000 t/h, ali oba sustava se mogu koristiti za ukrcanj drvene pelete i drvnih sječki.¹⁴³ Slika 57. prikazuje sustav ukrcanja dovodne cijevi sa krakom, a slika 58. sustav ukrcanja mobilnog brodoukrcavača.



Slika 57. Sustav ukrcanja dovodne cijevi sa krakom

Izvor: Samson. *Mobile Shiploaders (brochure)*. Aumund Group, 2014b.



Slika 58. Mobilni brodoukrcavač

Izvor: Samson. Preuzeto sa: <https://samson-mh.com/industries/mining-minerals/shiploaders-mining-minerals/> [Pristupljeno 20. 07. 2020]

¹⁴³ Samson. Preuzeto sa: <https://samson-mh.com/industries/mining-minerals/shiploaders-mining-minerals/> [Pristupljeno 20. 07. 2020]

7. TERMINAL ZA TEKUĆU RASUTU BIOMASU U LUCI

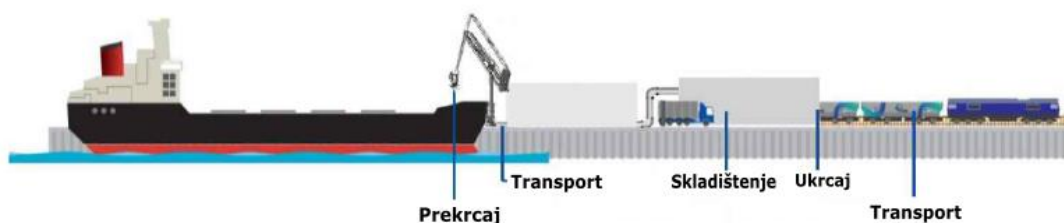
Proces otpreme i dopreme tekuće rasute biomase, uz dodatnu pripremu za daljni transport sa prilagođenom mehanizacijom za lakše rukovanje tekuće rasute biomase, zajedno sa skladištenjem i prijenosom unutar lučkog terminala za tekuću rasutu biomasu, zajedno sa zahtjevima terminala prilikom rukovanja i skladištenja biomase uz najveće terminale u Europi za biomasu, opisan je u potpoglavljima *Funkcije i prekrcajna mehanizacija terminala za tekuću rasutu biomasu, Sustavi ukrcaja tekuće rasute biomase s obzirom na vrstu transporta, Zahtjevi za razvoj terminala biomase i Najveći terminali u Europi za biomasu.*

7.1 Funkcije i prekrcajna mehanizacija terminala za tekuću rasutu biomasu

Funkcije i operacije rukovanja na terminalu za tekuću rasutu biomasu u luci su prilično usporedive sa funkcijama i operacijama na terminalu za kruto rasutu biomasu u luci. Funkcije koje se obavljaju unutar terminala za tekuću rasutu biomasu biti će detaljno objašnjene pojedinačno zajedno sa prekrcajnom mehanizacijom koja se koristi prilikom izvođenja svake funkcije zasebno. Funkcije na terminalu za tekuću rasutu biomasu su:¹⁴⁴

1. Prekrcaj - tranzicija biomase iz transportnih sredstava u sredstva zadužena za skladištenje ili obrnuto. Prekrcajna brzina biomase varira.
2. Transport - prijevoz sirovina biomase unutar ili kroz opremu, gdje brzina prijevoza biomase konstantna.
3. Skladištenje - čuvanje biomase na određenom skladišnom prostoru ili u skladišnoj opremi. Brzina kretanja biomase unutar skladištu jednaka je nuli.

Slika 59. prikazuje različite faze rukovanja tekućom rasutom biomasom unutar navedenih funkcija terminala za tekuću rasutu biomasu u luci. Nakon skladištenja, tekuću rasutu biomasu je potrebno ukrcati na transportna sredstva koja će isporučiti tekuću rasutu biomasu na određena mjesta.



Slika 59. Shematski prikaz faza rukovanja tekuće rasutom biomasom na terminalu

Izvor: Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

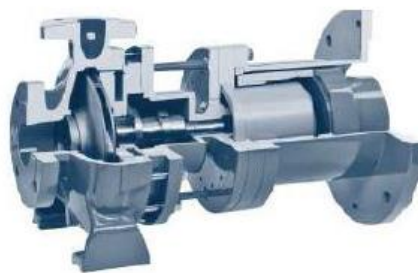
¹⁴⁴ Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

Postrojenja za skladištenje biomase identična su postrojenjima za fosilna goriva, ali potrebno je prilikom odabira mehanizacije za rukovanje tekuće rasute biomase istražiti jesu li svojstva tekućine kojom se manipulira prikladna za odabranu mehanizaciju, kao što je to navedeno za sljedećim primjerima:¹⁴⁵

- biodizel se treba skladištiti na određenoj temperaturi, pa je stoga cisterne i cijevi potrebno izolirati i zagrijati
- vrsta tekućine može utjecati na određene materijale mehanizacije ili materijali mehanizacije mogu utjecati na kvalitetu tekućine, pa se za oba slučaja treba odabrati pravi tip mehanizacije.

7.1.1 Prekrcaj tekuće rasute biomase

Većina luka koje se bave tekućim gorivima, nude prekrcajnu mehanizaciju za manipulaciju teretom za ukrcaj i iskrcaj brodova. Ova vrsta mehanizacije koja se koristi za prekrcaj tekuće rasute biomase može se prilagoditi drugom teretu ovisno o njenom prosječnom volumenu razmjene u odgovarajućoj luci. Pumpe za ukrcaj i iskrcaj tekuće rasute biomase nalaze se na operativnoj obali, dok se tankerima pumpe nalaze na palubi. Postoje različite vrste pumpi sa kapacitetom 650 - 1800 m³/h, ovisno o tekućini, odnosno njenoj viskoznosti i načinu uporabe.¹⁴⁶ Za prekrcaj biodizela koriste se centrifugalne pumpe koje se mogu izrađivati od lijevanog željeza ili nehrđajućeg čelika.¹⁴⁷ Centrifugalna pumpa za prekrcaj etanola izrađena je od nehrđajućeg čelika.¹⁴⁸ Ove pumpe mogu imati barijeru topline za temperature do 400 °C, ali kritičan dio centrifugalne pumpe su brtveni sustavi. Trenutna najbolja tehnologija je dvostruka mehanička brtva sa sustavom barijere za tekućinu i detekcijom otjecanja tekućine. Slika 60. prikazuje centrifugalnu pumpu za prekrcaj biodizela, a slika 61. prikazuje centrifugalnu pumpu za prekrcaj etanola.



Slika 60. Centrifugalna pumpa za prekrcaj biodizela

Izvor: Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

¹⁴⁵ Jan-Willem Bots. *Virginia Tech Transportation Institute - Liquid biomass equipment information (interview)*. Virginia Tech Transportation Institute, 2014.

¹⁴⁶ Douglas Bradley, Fritz Diesenreiter, Michael Wild, and Erik Tromborg. *World Biofuel Maritime Shipping Study, 2009*. Climate Change Solutions, EEG, Vienna University of Technology, EBES AG, Norwegian University of Life Sciences.

¹⁴⁷ Manfred Van Ohlen. *Application Guide - Pumps for Biodiesel Production*. SIHI Group BV, 2011b.

¹⁴⁸ Manfred Van Ohlen. *Application Guide - Pumps for Bioethanol Production*. SIHI Group BV, 2011a.



Slika 61. Centrifugalna pumpa za prekrcaj etanola

Izvor: Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

Prekrcaj tekuće rasute biomase također se obavlja i pretakačkim rukama (eng. *Marine loading arm*). Pretakačke ruke imaju promjer 10 cm - 60 cm, a izrađene su od ugljičnog čelika ili nehrđajućeg čelika. Pogonske temperature pretakačkih ruku prilikom obavljanja prekrcaja kreću se 196 °C - 250 °C, te mogu imati sposobnost izolacije i/ili grijanja. Kritični dio sustava mehanizacije pretakačkih ruku su okretni zglobovi, koji omogućuju manevriranje pretakačkim rukama bez otjecanja tekućine.¹⁴⁹ Slika 63. prikazuje prekrcaj pomoću pretakačkih ruku.



Slika 62. Prekrcaj tekuće rasute biomase sa pretakačkim rukama

Izvor: *Kanon*. Preuzeto sa: <https://kanon.nl/marine-loading-arms/> [Pristupljeno 24. 07. 2020]

¹⁴⁹ *Kanon*. Preuzeto sa: <https://kanon.nl/marine-loading-arms/> [Pristupljeno 24. 07. 2020]

7.1.2 Transport tekuće rasute biomase

Nakon prekcaja, potrebno je tekuću rasutu biomasu transportirati cjevovodima iz cisterne u skladišne tankove. Cjevovodi za transport mogu biti opremljeni elementima za izolaciju i/ili za zagrijavanje. Cjevovodi koji transportiraju pirolitičko ulje zahtijevaju fizička poboljšanja i trebaju biti izrađeni od nehrđajućih materijala, zbog djelovanja kiselina i korozije pirolitičkog ulja. Osim što je potrebno zagrijavanje biodizela radi smanjenja viskoznosti, cjevovodi izrađeni od ugljičnog čelika ili nehrđajućeg čelika za transport biodizela i etanola, ne trebaju se prilagođavati.¹⁵⁰ Slika 63. prikazuje cjevovod kojim se transportira tekuća rasuta biomasa.



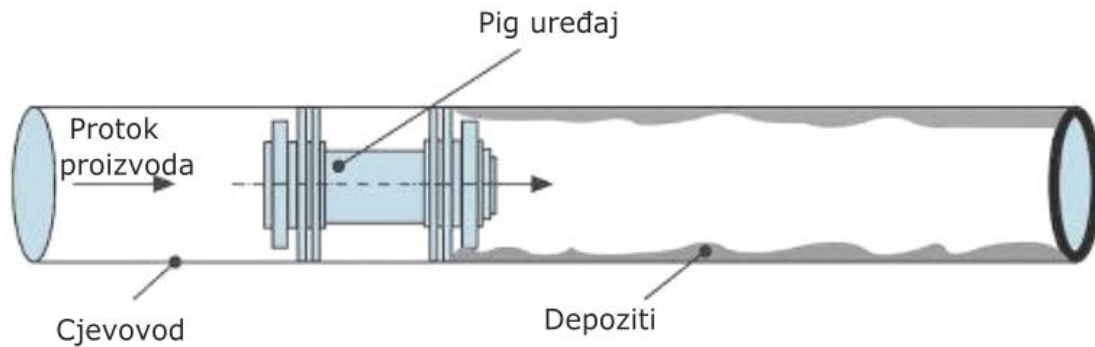
Slika 63. Cjevovod za transport tekuće rasute biomase

Izvor: *Bludwort Marine*. Preuzeto sa: <https://www.vesselrepair.com/shipyard-topside-repairs.html>
[Pristupljeno 24. 07. 2020]

Tijekom upotrebljavanja cjevovoda za transport tekuće rasute biomase, potrebno je provjeravati propusnost cjevovoda. Propusnost cjevovoda provjerava se provlačenjem uređaja pig čistača s kojim se nastoji otkloniti nastala onečišćenja prilikom izvođenja transporta tekuće rasute biomase. Pig uređaj se unutar cjevovoda pokreće pritiskom dušika, te osim funkcije čišćenja cjevovoda može se koristiti i za potrebe održavanja.¹⁵¹ Slika 64. prikazuje shemu principa rada pig uređaja unutar cjevovoda.

¹⁵⁰ Douglas Bradley, Fritz Diesenreiter, Michael Wild, and Erik Tromborg. *World Biofuel Maritime Shipping Study, 2009*. Climate Change Solutions, EEG, Vienna University of Technology, EBES AG, Norwegian University of Life Sciences.

¹⁵¹ Jan-Willem Bots. *Virginia Tech Transportation Institute - Liquid biomass equipment information (interview)*. Virginia Tech Transportation Institute, 2014.



Slika 64. Princip rada pig uređaja unutar cjevovoda

Izvor: *Control Engineering*. Preuzeto sa: <https://www.controleng.com/articles/dirty-pipelines-decrease-flow-production-pig-your-line/> [Pristupljeno 24. 07. 2020]

Postoje i drugi načini održavanja cjevovoda poput:¹⁵²

- ispuhivanja cjevovoda dušikom, ali se onečišćenja ne uklanjaju upotpunosti unutar cjevovoda
- konstruiranja cjevovoda sa nagibom, tako da se cjevovod može isušiti prikupljanjem tekućine na najnižem spušenom mjestu unutar cjevovoda pomoću male pumpe za uklanjanje tekućine
- ispiranja nisko kvalitetnog proizvoda sa visoko kvalitetnim proizvodom, ali time se onda smanjuje vrijednost visoko kvalitetnog proizvoda.

Ventili koji se koriste na cjevovodima zbog reguliranja nadtlaka i podtlaka, mogu biti različiti po veličini i vrsti sa specifičnim karakteristikama. Ventili se odabiru ovisno o funkcijama na terminalu, ali sa potpunom automatizacijom ventila i upravljanjem ventila sa inteligentnim sustavom (upravljanje ventila putem računala) može se spriječiti nastajanje nesreća poput otvarana pogrešnih ventila koji mogu uzrokovati onečišćenje.¹⁵³ Slika 65. prikazuje ventil koji se upotrebljava na cjevovodima tijekom transporta tekuće rasute biomase.



Slika 65. Primjer ventila na cjevovodima

Izvor: Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

¹⁵² Jan-Willem Bots. *Virginia Tech Transportation Institute - Liquid biomass equipment information (interview)*. Virginia Tech Transportation Institute, 2014.

¹⁵³ Ibidem

7.1.3 Skladištenje tekuće rasute biomase

Tekuća rasuta biomasa može se skladištiti u tankovima koji su izrađeni prema postojećim standardima, zbog toga što se tekuća biomasa definira kao opasan teret. Specifikacije dizajna tankova zajedno sa materijalom i prevlakom od kojih se izrađuju tankovi moraju biti usklađeni sa proizvodima koji se u tankove skladište.¹⁵⁴ Najčešći materijal tih tankova je zavareni beton, ali su također za skladišne tankove prikladni materijali poput fluoriranog polietilena, fluoriranog polipropilena, teflona i većina materijala od stakloplastike (tekstilnog vlakna).¹⁵⁵

Etanol, alkohol i zapaljive tvari je potrebno skladištiti u dvostrukim čeličnim tankovima, te obavezno izbjegavati aluminijske tankove zato što etanol korodira s aluminijem kao i sa određenim vrstama plastike, cinkom, gumom i drugim mekim metalima poput mjeda, bakra i olova. Također se etanol lako miješa s vodom, pa je potrebno da se tankovi konstantno pregledavaju zbog vlage, čestica i razlaganja kako bi se osigurala kvaliteta etanola.¹⁵⁶

Čisti biodizel se može transportirati i skladištiti u tankovima namijenjenima za dizelska goriva. Tankovi u kojima se skladište dizelska goriva, uglavnom su izgrađena od cinka i bakra. To predstavlja glavnim problem skladištenja biodizela, zato što biodizel korodira sa cinkom i bakrom, te nastaju nepoželjna onečišćenja. Također je potrebno poduzeti određene mjere prilikom skladištenja i rukovanja biodizelom da se spriječi opadanje temperature ispod točke zamućenja biodizela. Isto tako je potrebno spriječiti prodor vode u biodizel gorivo, jer voda potiče rast sluzi i bakterija u biodizelu, te degradaciju goriva.¹⁵⁷

Pirolitičko ulje je najsloženija vrsta tekuće rasute biomase za rukovanje zbog sljedećih razloga:¹⁵⁸

- ako dugo stoji, pirolitičko ulje će se istaložiti, zbog toga što nije homogena tekućina, iako se može ponovno miješati u masu
- preporučeno je da se pirolitičko ulje prilikom skladištenja odjeljuje od drugog tereta, uz učestalo miješanje oko 10 °C, čak i uz točku tečenja ispod nule
- kao i cjevovodi, tankovi za skladištenje pirolitičkog ulja moraju biti izrađeni od nehrđajućeg čelika zbog pH vrijednosti između 2-3, te zbog utjecaja kiselina i korozije u doticaju materijala sa pirolitičkim uljem.

Slika 66. prikazuje primjer tanka za skladištenje tekuće rasute biomase.

¹⁵⁴ Jan-Willem Bots. *Virginia Tech Transportation Institute - Liquid biomass equipment information (interview)*. Virginia Tech Transportation Institute, 2014.

¹⁵⁵ Douglas Bradley, Fritz Diesenreiter, Michael Wild, and Erik Tromborg. *World Biofuel Maritime Shipping Study, 2009*. Climate Change Solutions, EEG, Vienna University of Technology, EBES AG, Norwegian University of Life Sciences.

¹⁵⁶ *Envirosafe*. Preuzeto sa: <https://abovegroundfuelstoragetanks.com/2011/06/27/ethanol-storage/> [Pristupljeno 27. 07. 2020]

¹⁵⁷ Ibidem

¹⁵⁸ Ibidem



Slika 66. Primjer tanka za skladištenje tekuće rasute biomase

Izvor: *IndiaMart*. Preuzeto sa: <https://www.indiamart.com/proddetail/biomass-tank-19386635048.html>
[Pristupljeno 27. 07. 2020]

7.2 Sustavi ukrcaja tekuće rasute biomase s obzirom na vrstu transporta

Tekuća rasuta biomasa može se ukrcati i prevoziti na dvije vrste brodova, a to su tankeri i kemijski tankeri. Kemijski tankeri se koriste za transport etanola, biodizela i pirolitičkog ulja. Kemijski tankeri opremljeni su s nekoliko zasebnih i odvojenih tankova, ovisno o materijalu i prevlakama tankova moguće je prevoziti različite vrste kemikalija. Pojedini tankeri imaju odvojene pumpe i cijevi za svaki tank, što omogućuje rukovanje različitim vrstama kemikalija bez ikakvog miješanja. Tankovi se također mogu opremiti s bojlerom koji putem grijaćih zavojnica prenosi toplinu u tankove, te tako omogućava viskozitet određenih kemikalija (npr. biodizela) da ostane na određenoj razini. Kada se etanol transportira tankerom, osigurava se dodatna količina dušika unutar tankova zbog sprječavanja prodora vode u doticaj s etanolom da ne bi došlo do toga da etanol apsorbira vodu. Tankovi u kojima je uskladišten etanol moraju biti obloženi sa epoks-fenolnim ili cinkov silikatnim prevlakama. Za transport biodizela potrebni su isti zahtjevi kao i za skladištenje biodizela koji su već objašnjeni u *Skladištenje tekuće rasute biomase*, a zbog male količine, pirolitičko ulje se ne transportira tankerima, već cisternama i vagonima.¹⁵⁹ Slika 67. prikazuje kemijski tanker za prijevoz tekuće rasute biomase.

¹⁵⁹ Douglas Bradley, Fritz Diesenreiter, Michael Wild, and Erik Tromborg. *World Biofuel Maritime Shipping Study, 2009*. Climate Change Solutions, EEG, Vienna University of Technology, EBES AG, Norwegian University of Life Sciences.



Slika 67. Kemijski tanker

Izvor: *Marine Insight*. Preuzeto sa: <https://www.marineinsight.com/shipping-news/tsuneishi-shipbuilding-delivers-its-first-lri-product-chemical-tanker-built-in-china/> [Pristupljeno 29. 07. 2020]

Pretakačka ruka također se može koristiti za ukrcaj kemijskih tankera, ali i za ukrcaj i iskrcaj cisterni i vagona. Cisterne za prijevoz kemikalija i vagoni sa tankovima za prijevoz kemikalija imaju iste zahtjeve za ukrcaj i transport tekuće rasute biomase kao i kemijski tankeri.¹⁶⁰ Slika 68. i slika 69. prikazuju proces ukrcaja tekuće rasute biomase za transport cisternom i vagonom.



Slika 68. Ukrcaj tekuće rasute biomase za transport cisternom

Izvor: *Kanon*. Preuzeto sa: <https://kanon.nl/truck-loading-arms/> [Pristupljeno 29. 07. 2020]

¹⁶⁰ Jan-Willem Bots. *Virginia Tech Transportation Institute - Liquid biomass equipment information (interview)*. Virginia Tech Transportation Institute, 2014.



Slika 69. Ukrcaj tekuće rasute biomase za transport cisternom

Izvor: *Arm-Tex*. Preuzeto sa: <https://www.arm-tex.com/railcar-loading-arms.html>
[Pristupljeno 29. 07. 2020]

7.3 Zahtjevi za razvoj terminala biomase

Nepažljivo rukovanje ili skladištenje može stvoriti znatne probleme, a ključno je da se biomasa ne degradira i održi kvalitetu u cijelom opskrbnom lancu (od stajališta proizvođača, krajnjeg korisnika i trgovca). Problemi koji nastaju pri nepažljivom rukovanju biomase su:¹⁶¹

- degradacija materijala
- unakrsna kontaminacija
- proljevanje
- samozapaljenje i požari
- emisija prašine i eksplozije
- deformacija materijala i korozija
- neželjene kemijske reakcije
- neželjen protok materijala

Zanemarivanjem kritičnih situacija prilikom korištenja mehanizacije zajedno sa okolnim uvjetima ili zanemarivanjem materijalnih karakteristika biomase mogu nastati ozbiljni problemi. Problemi su podijeljeni u dvije vrste:¹⁶²

1. unutarnji problemi
2. vanjski problemi

¹⁶¹ M.R. Wu, D.L. Schott, and G. Lodewijks. Physical properties of solid biomass. *Biomass and Bioenergy*, 35(5): 2093–2105, May 2011.

¹⁶² Ibidem

7.3.1 Unutarnji problemi pri rukovanju biomase

Unutarnji problemi se uglavnom odnose na karakteristike biomase, biološka svojstva biomase, te reakcije koje mogu nastati unutar materijala biomase.

Sva kruto rasuta biomasa, pa tako i drveni peleti imaju čestice heterogene veličine što može uzrokovati slabu protočnost. Drveni peleti su vrlo osjetljivi na vlagu, te u kombinaciji s toplinom i kisikom u skladišnim hrpama to može rezultirati plijesnima, rastom hrpe, samozagrijavanjem, pa čak i samoizgaranjem.¹⁶³ Slika 70. prikazuje primjer rasta skladišne hrpe drvenih peleta.



Slika 70. Problem rasta skladišne hrpe peleta

Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

Drvene sječke imaju malu nasipnu gustoću, što znači da se javlja povećana potreba za prijevozom, rukovanjem i skladištenjem, te povećanim troškovima. Drvene sječke imaju vrlo visok sadržaj vlage, što rezultira niskom vrijednošću zagrijavanja, a u kombinaciji s toplinom i kisikom dovodi do nastanka gljivica. Čestice koje ispadaju tijekom rukovanja biomasom mogu formirati oblake prašine uz mogućnost da se rasprše na velike udaljenosti od izvora i pritom negativno utječu na zdravlje.¹⁶⁴ Slika 71. prikazuje drvene sječke zaražene gljivicama.



Slika 71. Drvene sječke zaražene gljivicama

Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

¹⁶³ M.R. Wu, D.L. Schott, and G. Lodewijks. Physical properties of solid biomass. *Biomass and Bioenergy*, 35(5): 2093–2105, May 2011.

¹⁶⁴ Richard Farnish. *Biomass handling*. *Port Technol. Int.*, pages 111–112, 2006.

Toreficirane pelete vežu isti problemi kao za drvene pelete i drvene sječke. Toreficirani peleti imaju lošu sposobnost protoka i stvaranje emisija prašine što znači da dolazi do rasta skladišne hrpe kao i kod drvenih peleta. Međutim, toreficirane pelete su otpornije od drvenih peleta na sile pritiska, sile udara i sile smicanja.¹⁶⁵

Pri dizajniranju mehanizacije za rukovanje i skladištenje etanola treba izbjegavati materijale poput aluminijske i određenih vrsta plastike, cinka, gume i drugih mekih metala kao što su mjed, bakar i olovo. Ostali problemi s etanolom povezani su s time da je etanol alkoholna i zapaljiva tvar, te se lako miješa s vodom.¹⁶⁶

Tijekom rukovanja i skladištenja biodizela potrebno je izbjegavati doticaj biodizela sa materijalima izrađenog od cinka i bakra. Također mehanizacija za rukovanje i skladištenje biodizela mora imati grijač da se spriječi opadanje temperature biodizela ispod razine točke zamućenja i smanji viskoznost. Visoka viskoznost može utjecati na zahtjeve mehanizacije za rukovanje, odnosno veća viskoznost zahtijeva snažniju pumpu.¹⁶⁷ Međutim, čest problem biodizela je ako dođe u dodir i miješa se s vodom, zato što voda može uzrokovati sluz, rast bakterija i degradaciju goriva kao što je prikazano na slici 72.



Slika 72. Degradacija tekuće tekuće biomase

Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

Pirolitičko ulje ima nekoliko specifičnih karakteristika koje dodatno otežavaju rukovanje s tom vrstom tekuće biomase. Pirolitičko ulje ima pH vrijednost 2.2 - 3.0, što objašnjava da su cjevovodi i tankovi izrađeni od određenih vrsta materijala da se smanji utjecaj korozije koja nastaje prilikom zadržavanja pirolitičkog ulja u tankovima ili protjecanja pirolitičkog ulja kroz cjevovode. Zbog toga nije preporučeno da se pirolitičko ulje zagrijava na 50 °C, jer je malen utjecaj korozije na materijale od nehrđajućeg čelika. Pošto je poznat utjecaj pirolitičkog ulja na metalne materijale,

¹⁶⁵ Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

¹⁶⁶ *Envirosafe*. Preuzeto sa: <https://abovegroundfuelstoragetanks.com/2011/06/27/ethanol-storage/> [Pristupljeno 27. 07. 2020]

¹⁶⁷ M.R. Wu, D.L. Schott, and G. Lodewijks. Physical properties of solid biomass. *Biomass and Bioenergy*, 35(5): 2093–2105, May 2011

kroz sve faze obrade pirolitičkog ulja potrebno je ukloniti ili smanjiti spojeve koje sadrže kisik da se učini pirolitičko ulje manje korozivnim. Pirolitičko ulje je također zapaljivo na ekstremno visokim temperaturama, ali isto tako ima sposobnost samoodržavanja plamena, pa je prvo paljenje pri nižim temperaturama učinkovito.¹⁶⁸ Također još jedna važna karakteristika pirolitičkog ulja je da ako je predugo izloženo stajanju može istaložiti, jer nije homogena tekućina. Obavezno je izbjegavati izloženost od pirolitičkih tekućina i para zato što su jako štetne za zdravlje, ali ako to nije moguće prakticirati, potrebno je koristiti dodatnu zaštitnu opremu prilikom rukovanja i skladištenja pirolitičkog ulja.¹⁶⁹

7.3.2 Vanjski problemi pri rukovanju biomase

Vanjski problemi se uglavnom odnose na probleme koji nastaju prilikom korištenja mehanizacije za rukovanje i skladištenje biomase, te problemi okruženja gdje se te operacije obavljaju.

Mehanizacija za rukovanje biomase obuhvaćena je sustavima prekrcaja, transporta, transfera, te povratnim i ukrcajnim sustavima. Najveći problemi pri rukovanju suhom rasutom biomasom su mogućnost prosipanja, djelovanje neželjenih kemijskih reakcija, stvaranje prašine i eksplozije. Tijekom rukovanja krutom rasutom biomasom s malom gustoćom i visokim koeficijentom vuče stvaraju se značajne količine prašine koje se prenose zrakom. Čestice koje se stvaraju unutar velikih količina prašine, mogu se udisati pri čemu dolazi do iritacija pluća, nosa, dišnog sustava i očiju. Također može utjecati na povećanje alergijskih reakcija i težih bolesti poput raka ako je izloženost tijekom dužeg vremenskog razdoblja. Osim što je prašina opasna za zdravlje također može stvoriti eksplozije, jer je vrlo zapaljiva. Eksplozije se mogu dogoditi u međuprostorima između biomase i zraka, a događaju se utjecajem elektrostatičkog pražnjenja, trenja ili pristutnost vrućih površina. Također pomicanjem peleta pomoću prednjih samoukrcavača postoji rizik od stvaranja prašine i sitnih granula. Isto tako se može dogoditi proljevanje sitnih granula iz suhe biomase, a to se javlja prilikom pokušaja ispiranja tih granula sa vodom ili sprejevima.¹⁷⁰ Problem nastaje kada kruto rasuta biomasa apsorbira vodu, te zbog toga prouzrokuje plijesan, ali isto tako probleme protoka i opasnosti od proklizavanja po podu. Nadalje, biomasa koja je apsorbirala vodu zbog gipkog prijanjanja ne smije se vraćati u sustav mehanizacije za rukovanje, jer bi to uzrokovalo blokiranje sustava. Emisija spora također može uzrokovati opasnost po čovjekovo zdravlje. Prijenosne točke i tornjevi su ključna mjesta glede emisija prašine koje je potrebno izbjegavati radi zaštite radnika od opasnosti udisanja te prašine i

¹⁶⁸ James R Keiser, Michael A Bestor, and C. Stuart Daw. *Corrosion of Containment Materials by Pyrolysis Oils*.(powerpoint). Oak Ridge National Laboratory, 2011.

¹⁶⁹ Care BioTox. Transport, storage and handling of biomass derived fast pyrolysis liquids, 2006. Conversion and resource evaluation ltd.

¹⁷⁰ Wolfgang Stelte. Guideline: *Storage and Handling of Wood Pellets*, 2012. Danish Technological Institute.

spora, ali ih također zaštititi od eksplozija koje mogu prouzrokovati mali požari ili ostaci taložene prašine.¹⁷¹

Uskladištena kruto rasuta biomasa osjetljiva na probleme poput degradacije materijala, samozagrijavanja, neželjenih kemijskih reakcija i neželjenog protoka materijala zbog zgrudnjavanja. Prilikom skladištenja kruto rasute biomase kao što su drveni peleti, drvene sječke i toreficirani peleti mogu se pojaviti brojni problemi poput zasvođavanja materijala preko dovoda. Postoji mehaničko i kohezivno zasvođavanje materijala. Mehaničko zasvođavanje materijala nastaje blokiranjem velikih čestica biomase na izlazu lijevka kojim se prenose u skladište, ali to se u lukama rijetko događa zbog veličine mehanizacije. Kohezivno zasvođavanje nastaje kao rezultat čvrstoće koju materijal ostvari konsolidacijom tijekom skladištenja.¹⁷² Sljedeći problem tijekom skladištenja je vezan za samozagrijavanje biomase kemijskim reakcijama oksidacije i mikrobiološkim raspadanjem. Rizik od samozagrijavanja i samozapaljenja stvara se ako je biomasa svježija i ima visok udio vlage, a samozagrijavanje može nastati ako su skladišne hrpe nepokrivene i skladištene na otvorenom prostoru zbog utjecaja zraka, odnosno dolazi do oksidacije. Zbog sadržaja vlage dolazi do rasta gljivica i bakterija, odnosno mikrobiološkog raspadanja, a veličina i temperatura čestica porast će ovisno o površini uz potreban sadržaj vlage. Mikrobiološko raspadanje može uzrokovati pojačanje temperature do 80 °C ovisno o vrsti mikroorganizama, a kemijska degradacija počinje oko 40 °C. Gljivične spore iz zraka mogu izazvati opasnosti po čovjekovo zdravlje, poput iritacija i alergijskih reakcija duž dišnog sustava, pa treba izbjegavati udisanje onečišćenog zraka i izravan kontakt. U prekrivenim sustavima loša ventilacija može povisiti temperaturu velike i jako zbijene skladišne hrpe, što nakon nekog određenog vremena izaziva zagrijavanje. U nekim se slučajevima tijekom otpreme uključuje ventilacija kako bi se izbjeglo prodiranje vlage u skladište. Sabijanje je metoda koja se primjenjuje tijekom skladištenja ugljena da se prilikom transporta smanji prisutnost kisika unutar skladišnih hrpa i zadrži toplina, ali to potiče samozagrijavanje skladišnih hrpa kruto rasute biomase.¹⁷³ Reakcija kemijske oksidacije ima i drugi negativan učinak, a to se odnosi na opasno oštećenje ugljičnog monoksida i iscrpljivanje kisika. To se može dogoditi tijekom skladištenja i prijevoza oceanom. Ako se skladišna hrpa biomase skladišti preko šest mjeseci, tada biomasa ima tendenciju znatnog propadanja, a to se dešava zbog rasta bakterija i gljivica koje uzrokuju ponovno samozagrijavanje. Također sakupljanje biomase u bunkerima predstavlja problem zbog velikog sadržaja vlage. Osim toga zgrudnjavanje biomase se može dogoditi kada se suha biomasa navlaži i ponovno vrati u sustav. Kada se vlažna biomasa sabije dolazi do zgrudnjavanja. Zgrudnjavanje suhe biomase može uzrokovati probleme u žljebovima

¹⁷¹ Dr NS Khan, Prof MSA Bradley, and Dr RJ Berry. *Best Practice Guide for handling of Biomass Fuels Coal – BiomassMixes*. SHAPA Tech. Bull., 18(4):2–18, 2011.

¹⁷² Ibidem.

¹⁷³ Mi-Rong Wu. *A Large-scale Biomass Bulk Terminal*. Dissertation, Delft University of Technology, 2012.

unutar transportera i ostaloj mehanizaciji za skladištenje, a ako se ne ukloni takav problem na vrijeme također se zgrudnjavanje može rezultirati nastajanjem plijesni.¹⁷⁴

7.3.3 Poboljšani dizajni za rukovanje i skladištenje biomase

Nakon definiranja i utvrđivanja vanjskih i unutarnjih problema pri rukovanju biomase, potrebno je isto tako navesti potencijalna rješenja. Kako bi se sankcionirali navedeni problemi ili smanjili pri rukovanju biomase, potrebno je rekonstruirati, odnosno poboljšati dizajne mehanizacije za rukovanje biomase i dizajne skladišta za skladištenje biomase.

Prašina se formira fizičkim trošenjem drvenih ili toreficiranih peleta, ali uz pažljivo rukovanje može se smanjiti mogućnost formiranja prašine. Također zbog toga treba izbjegavati velike visine, zavoje, dovode i prijenosne točke. Posebnu pažnju treba obratiti na dizajnu prijenosnih žljebova i nastojati optimizirati *Hood and spoon* dizajn kako bi se smanjili udari i formiranje prašine. Kruto rasuta biomasa ima puno problema s stvaranjem prašine i samozagrijavanjem, što može utjecati na stvaranje eksplozija i požara. Zapaljenje je posljedica iskrenja koja je nastala komadima metala ili kamenja koji dolaze u dodir s biomasom ili pregrijavanjem motora, transportnih traka, ležajeva zbog visokog trenja. Zapaljenje se može izbjeći pomoću uređaja za detekciju iskre, monitora za praćenje razine prašine i sustava za gašenje požara. Glavni cilj je smanjiti da formiranje prašine bude jednako nuli, ali to nije izvedivo, posebno ako su u pitanju drveni peleti. Sustavi za suzbijanje prašine pomoću pjene su poželjniji za korištenje, jer sadrže mali postotak vode i pritom se znatno smanjuje unošenje vlage, zgrudnjavanje i stvaranje plijesni. Međutim je i dalje važno provjeriti:¹⁷⁵

- dovoljno nizak sadržaj vlage i da se ne skuplja u bilo kojim susjednim područjima
- operativni troškovi sustava (uključujući i sustave za suzbijanje prašine pomoću pjene)
- pouzdanost opreme.

Prijenosne točke i tornjevi su najosjetljivije karike unutar opskrbnog lanca, jer privlače vlagu pri padanju kiše, a prašina se može proširiti propuhom. Zato je važno da se prijenosne točke i tornjevi zaštite od vlažnih propuha. Ako struktura prijenosnih tornjeva nije pravilno dizajnirana može doći do začepjenja. Zato je potrebno primijeniti sljedeće opcije dizajna:¹⁷⁶

- letve se moraju eliminirati
- grede roženice trebaju biti prekrivene i obložene tankim pokrivačem

¹⁷⁴ Mi-Rong Wu. *A Large-scale Biomass Bulk Terminal*. Dissertation, Delft University of Technology, 2012.

¹⁷⁵ Dr NS Khan, Prof MSA Bradley, and Dr RJ Berry. *Best Practice Guide for handling of Biomass Fuels Coal – BiomassMixes*. *SHAPA Tech. Bull.*, 18(4):2–18, 2011.

¹⁷⁶ Richard Farnish. *Biomass handling*. *Port Technol. Int.*, pages 111–112, 2006.

- sustavi za usisavanje prašine trebaju biti opremljeni na izloženim gredama i ravnim površinama
- postavljanje centraliziranog vakuumskog sustava za čišćenje koji redovito čisti od nakupljanja prašine
- ugradnja kaskada ili presretajućih ploča za hvatanje protoka odbjeglih čestica.

Slika 73. prikazuje prijenosni toranj povezan sa transporterima za dovođenje biomase u skladište.



Slika 73. Prijenosni toranj

Izvor: Casey. Preuzeto sa: <https://www.caseyind.com/projects/biomass-cogeneration-facility-savannah-river-site/attachment/15-transfer-tower-web/> [Pristupljeno 03. 08. 2020]

Općenito je potrebno u potpunosti zatvoriti protok kruto rasute biomase kad god je to moguće kako bi se spriječilo emitiranje prašine. Preferira se cjelovito zatvaranje s otvorenom točkom prijenosa transportera, ali ako to nije moguće uvijek se može razmotriti postavljanje sustava za odvod prašine iako je to skuplje i manje učinkovito.¹⁷⁷

Fizička svojstva također utječu na dizajn i konstrukciju skladišne opreme, posebno tijekom javljanja velikih protoka, potrebe za iskrcajem i izbjegavanjem zasvođavanja materijala. Sljedeća fizička svojstva potrebna su za projektiranje i planiranje opreme za skladištenje biomase:¹⁷⁸

- praktična veličina i raspon
- nasipna gustoća

¹⁷⁷ Dr NS Khan, Prof MSA Bradley, and Dr RJ Berry. *Best Practice Guide for handling of Biomass Fuels Coal – BiomassMixes*. SHAPA Tech. Bull., 18(4):2–18, 2011.

¹⁷⁸ Roberto García Fernández, Consuelo Pizarro García, Antonio Gutiérrez Lavín, Julio L Bueno de Las Heras, and José Juan Pis. *Influence of physical properties of solid biomass fuels on the design and cost of storage installations*. *WasteManag.*, 33(5):1151–7, May 2013.

- odnosi tlaka i gustoće (za osjetljivo zbijanje i konsolidaciju tlaka kruto rasute biomase)
- sadržaj vlage
- kut unutarnjeg trenja
- koeficijent trenja (trenje od zid)
- kohezija i funkcija protoka.

Navedena fizička svojstva nisu jedini čimbenici koji utječu na dizajn opreme skladišne opreme. Također bi sljedeći čimbenici trebali biti važni i uključeni u planiranje i projektiranje dizajna i konstrukcije skladišne opreme:¹⁷⁹

- troškovi izgradnje (investicijski troškovi)
- trajnost (vijek trajanja)
- protok (broj ciklusa)
- operativni troškovi (razina automatizacije).

Prije skladištenja preporuča se sušenje materijala iz kruto rasute biomase. Također se preporučuje sortirati kruto rasutu biomasu s obzirom na veličinu čestica materijala. Skladištenje homogenih sastava kao skladišne hrpe može smanjiti mikrobiološke aktivnosti, učiniti ravnomjerniju ventilaciju zraka i umanjiti rizik od samozagrijavanja. Nedostatak sušenja prije skladištenja je ta što se stvara slobodno ispuštanje čestica iz skladišnih hrpa i nastaje dodatna prašina, ali pravilno održavanje i čišćenje mogu umanjiti rizik od eksplozije čestica i prašine. Mješavine kruto rasute biomase također treba izbjegavati kako bi se smanjilo samozagrijavanje.¹⁸⁰

Zatvoreno skladištenje je poželjnije od otvorenog skladištenja zbog toga što se zatvorenim skladištenjem sadržaj vlage može bolje kontrolirati kvalitetnom ventilacijom. Prozračivanje se obavlja vrućim zrakom, jer to pomaže u izbjegavanje degradacije biomase, smanjuje se sadržaj vlage i time povećava udio energije. Materijali biomase mogu biti stabilni ako se skladište ispod određenog sadržaja vlage od obično 14%. Nadalje, treba izbjegavati skladišne hrpe, jer oni dovode do koncentracije vlažnih mjesta i samozagrijavanja mikrobiološkom aktivnošću. Dodatno samozagrijavanje apsorpcijom topline uz prisutnost valovitog metala i tamnih boja unutar skladišta, kao što su to silosi, može se izbjeći postavljanje glatke bijele površine.¹⁸¹

Oblik skladišnih hrpa je bitan kod skladištenja kruto rasute biomase tijekom tri mjeseca. Važno je da se vrijeme skladištenja kruto rasute biomase umanjuje zbog rizika od fermentacije ili konsolidacije. Ovisno o vrsti materijala kruto rasute biomase koja čini skladišne hrpe, te postavljanje i dimenzioniranje skladišnih hrpa u širinu i visinu

¹⁷⁹ Gregory D PhD Williams, Jan C. PhD Jofriet, and Kurt A. PhD Rosentrater. *Biomass Storage and Handling: Status and Industry Needs Types of Biomass*, 2008. ASABE.

¹⁸⁰ Wolfgang Stelte. *Guideline : Storage and Handling of Wood Pellets*, 2012. Danish Technological Institute

¹⁸¹ M.R. Wu, D.L. Schott, and G. Lodewijks. Physical properties of solid biomass. *Biomass and Bioenergy*, 35(5): 2093–2105, May 2011.

utječe na stvaranje samozagrijavanja. Kod skladišnih hrpa drvnih sječki, širina utječe na samozagrijavanje više nego visina. Preporučeno dimenzioniranje skladišnih hrpa drvnih sječki je da širina ne smije biti veća od 8 m i visinom koja ne prelazi 4 m s maksimalnim zapreminskim volumenom od 1000 m³.¹⁸² Savjetuje se da mehanizacija za rukovanje i skladišna oprema bude opremljena uređajima za praćenje temperature, iskrenja, ugljikovog monoksida, dušičnih oksida i ubrizgavanje plina na dnu kako bi se izbjegle opasnosti od požara. Temperatura drvenih peleta u silosu treba biti manja od 45 °C, a prije nego što se pohrane u skladišnu opremu, skladište je potrebno dodatno ventilirati kako bi se spriječila opasnost od gušenja nastalih plinova.¹⁸³

Oblik skladišne opreme mora poticati masovni protok pri povratu kruto rasute biomase. Masovni protok je poželjan, jer se svaka čestica kruto rasute biomase kreće kada se neki materijal izvadi iz dovoda metodom *first in, first out*. Dizajn bunkera može potaknuti masovni protok i time eliminirati premošćivanja, cjevaste rupe i , kohezivna ili mehanička zasvođavanja. Kada se postigne masovni protok, mlačenje materijala se može upotrijebiti za pomicanje materijala i smanjenje zgrudnjavanja materijala.¹⁸⁴ Slika 74. i slika 75. prikazuju probleme zasvođavanja i stvaranja cjevastih rupa materijala biomase unutar lijevka.



Slika 74. Problem zasvođavanja biomase unutar lijevka

Izvor: Auburn Systems. Preuzeto sa: https://www.auburnsys.com/blog/how-triboelectric-monitoring-can-alert-to-cyclone-hopper-bridging-and-overflow-in-a-cyclone-dust-collector?utm_content=52831064&utm_medium=social&utm_source=twitter

[Pristupljeno 03. 08. 2020]

¹⁸² M.R. Wu, D.L. Schott, and G. Lodewijks. Physical properties of solid biomass. *Biomass and Bioenergy*, 35(5): 2093–2105, May 2011.

¹⁸³ Ingwald Obernberger and Gerold Thek. *The Pellet Handbook*. Earthscan, 2010. ISBN 9781844076314.

¹⁸⁴ Dr NS Khan, Prof MSA Bradley, and Dr RJ Berry. *Best Practice Guide for handling of Biomass Fuels Coal – BiomassMixes*. *SHAPA Tech. Bull.*, 18(4):2–18, 2011.



Slika 75. Problem stvaranje cjevastih rupa biomase unutar lijevka

Izvor: Auburn Systems. Preuzeto sa: https://www.auburnsys.com/blog/how-triboelectric-monitoring-can-alert-to-cyclone-hopper-bridging-and-overflow-in-a-cyclone-dust-collector?utm_content=52831064&utm_medium=social&utm_source=twitter

[Pristupljeno 03. 08. 2020]

Nakon određivanja svojstava materijala kod tekuće rasute biomase, prije skladištenja preporuča se korištenje posebne prevlake za unutarnji sloj tankova. Za skladištenje pirolitičkog ulja, unutarnji sloj skladišnih tankova mora biti izrađen od nehrđajućeg čelika, teflona ili raznih polimera. Poželjno je skladištiti stabilnu tekuću rasutu biomasu, a to se može postići ako se pažnja posveti sljedećim uvjetima skladištenja:¹⁸⁵

- vrijeme (npr. biodizel ne smije biti u skladištu dulje od sedam mjeseci)
- temperatura (npr. viskoznost)
- svojstva skladišnih tankova (npr. materijali za izgradnju tankova)
- uvjeti okoliša (npr. izbjegavati dodir s kisikom, vodom i sunčevom svjetlošću).

7.4 Najveći terminali za biomasu u Europi

Dvije najbitnije luke za transport biomase u Europi su luka Immingham u Velikoj Britaniji i luka Rotterdam u Nizozemskoj.

Luka Immingham je povezana s modernom željezničkom infrastrukturom i upravlja obnovljivim energetske sustavom. Drveni pelete koje zaprima luka Immingham koriste se za proizvodnju električne energije u elektrani Drax u Yorkshireu. U luku Immingham svakodnevno pristiže oko 60.000t drvenih peleta, a u Drax elektranu se transportira oko 20.000t drvenih peleta.¹⁸⁶ Ključna komponenta su

¹⁸⁵ M.R. Wu, D.L. Schott, and G. Lodewijks. Physical properties of solid biomass. *Biomass and Bioenergy*, 35(5): 2093–2105, May 2011

¹⁸⁶ Drax. Preuzeto sa: <https://www.drax.com/technology/5-incredible-numbers-worlds-largest-biomass-port/> [Pristupljeno 02. 09. 2020]

kontinuirani samoiskrcavači brodova koji su sastavljeni od dvije konstrukcije koje se koriste u kombinaciji usisavanja i Arhimedovog transportera, pa mogu iskrcati 2.300t drvenih peleta po satu. Luka Immingham skladišti drvene palete u osam silosa od kojih svaki može skladištiti 25.000t biomase. Također se u luci Immingham može skladištiti bilo koja vrsta biomase između nekoliko dana i nekoliko mjeseci, ovisno o Draxovoj potražnji. Luka Immingham je najveća luka u Europi po količini skladištenja drvenih peleta i ostale biomase. Potrebno je napomenuti da trgovačko društvo Drax investira i ulaže u razvoj luke Liverpool, kao još jedne luke za distribuciju biomase unutar Velike Britanije zajedno sa lukom Immingham.¹⁸⁷

Luka Rotterdam je najvažnija luka za uvoz biomase u Europu zbog svog položaja, prvenstveno za uvoz drvenih peleta koji se najviše koriste u europskom tržištu grijanja i energije. Luka Rotterdam ima izvrsne veze za opskrbu, protok i rukovanje biomasom u luci, te postojeće tokove tereta i specijaliziranih uređaja za prekrcaj i skladištenje, zato se smatra atraktivnim čvorištem za distribuciju biomase. Luka Rotterdam nalazi u srednjem dijelu Europe, te također ima izvrsne veze s Kanadom i SAD-om gdje se trenutno proizvodi većina drvenih peleta. Nadalje, maksimalan gaz luke Rotterdam je 23 m bez ikakvih prepreka poput mostova, što omogućuje pristan najvećim brodovima. Isto tako luka Rotterdam je izvrsno povezana s intermodalnim vezama, pa drvene pelete mogu transportirati do ključnih tržišta u Njemačkoj, Italiji, Belgiji, Austriji i Velikoj Britaniji. U luci Rotterdam se nalaze dvije termoelektrane na ugljen koje imaju mogućnost izgaranje drvne sječke i ostale biomase, te tako pružaju veliku i stalnu opskrbu biomasom u sjeverozapadnoj Europi. Kapacitet skladišta u luci Rotterdam pruža mogućnosti distribucije ili skladištenja za tržište sjeverozapadne Europe.¹⁸⁸

Potrebno je napomenuti da i luka Amsterdam uvozi, prekrcava, skladišti i prerađuje biomasu kao što su biorazgradivi udjeli poljoprivrednih usjeva, šumarstva i sličnih ostataka i otpada. Luka Amsterdam nalazi se na međunarodnom logističkom čvorištu ARA (Amsterdam, Rotterdam i Antwerpen), te je izvrsno povezana unutarnjim plovnim putovima i željezničkim vezama sa zaleđem Europe. Iako je luka Amsterdam još u razvoju za otpremu i dopremu biomase, u kombinaciji s ambicijom da se razvija na održiv način, luka Amsterdam u budućnosti može biti primarna destinacija za distribuciju biomase u Europu.¹⁸⁹

¹⁸⁷ *Drax*. Preuzeto sa: <https://www.drax.com/technology/5-incredible-numbers-worlds-largest-biomass-port/> [Pristupljeno 02. 09. 2020]

¹⁸⁸ *Port of Rotterdam*. Preuzeto sa: <https://www.portofrotterdam.com/en/doing-business/logistics/cargo/dry-bulk/biomass-handling-storage-and-distribution> [Pristupljeno 02. 09. 2020]

¹⁸⁹ *Port of Amsterdam*. Preuzeto sa: <https://www.portofamsterdam.com/en/business/cargo-flows/dry-bulk/biomass> [Pristupljeno 02. 09. 2020]

8. ZAKLJUČAK

Biomasa je biorazgradivi dio proizvoda, ostataka i otpadaka od poljoprivrede, šumarstva i drvne industrije, a u industrijskom smislu služi za dobivanje energije izgaranjem drva i drugih organskih tvari. U prometnom sustavi i u vodnom prometu biomasa se prema vrsti dijeli na krutu i tekuću biomasu. Za održavanje kvalitete biomase zadužene su institucije Europskog povjerenstva za standardizaciju.

Kemijski sastav i strukturu biomase čini lignin, hemiceluloza i celuloza. Tehnologije pretvorbe biomase u energiju se dijele na primarne i sekundarne. U primarnim tehnologijama razlikujemo termokemijske i biokemijske pretvorbe biomase u gorivo. Termokemijske pretvorbe biomase koje se najviše koriste su procesi izgaranja, rasplinjavanja, piroliza i torefakcija, a u biokemijskim pretvorbama biomase to su predobrada, hidroliza i fermentacija. Kod sekundarnih tehnologija najčešće su primjenjive parna turbina, plinska turbina, motor s unutarnjim izgaranjem, Stirling motori i gorivni članak.

Opskrbni lanac za biomasu omogućuje prijenos biomase između entiteta u pravoj količini, u pravo vrijeme, na pravo mjesto, pružajući željenu kvalitetu i razinu usluge uz minimalne razine ukupnih troškova sustava. Opskrbni lanac za biomasu sadrži faze sječe ili sakupljanja biomase iz polja ili šume, rukovanje i transport, ukrcaj i iskrcaj biomase iz cestovnih vozila, prijevoz biomase, skladištenje biomase i obrada biomase.

Prilikom planiranja terminala za biomasu potrebno je kvalitetno odrediti planske zadatke i ciljeve, te uzeti u obzir ključne značajke kao što su lokacija, položaj, kapacitet i zahtjevi područja terminala. Osim ključnih značajki potrebno je uzeti u obzir aspekte i čimbenike koji utječu na tehnološki izbor i profitabilnost terminala.

Terminal za kruto rasutu biomasu u luci obavlja funkcije prekrcanja, transporta, transfera i skladištenja kruto rasute biomase sa adekvatnom mehanizacijom koja je trenutno najprihvatljivija. Nakon skladištenja kruto rasutu biomasu je potrebno dodatno obraditi i pomoću povratnog sustava vratiti na mjesto ukrcanja za daljnji transport ako je to potrebno.

Terminal za tekuću rasutu biomasu u luci obavlja funkcije prekrcanja, transporta i skladištenja tekuće rasute biomase sa adekvatnom mehanizacijom koje je trenutno najprihvatljivija. Tekuću rasutu biomasu ne treba dodatno obrađivati, pa se nakon skladištenja ako se dalje transportira, direktno se ukrcava na transportna sredstva. Tekuću rasutu biomasu se definira opasnim teretom, pa je isto tako potrebna dodatna mjera opreza pri rukovanju takvom vrstom biomase. Pošto je biomasa još uvijek novonastali trend u prometnom sustavu i u vodnom prometu za nju ne postoji specijalizirana mehanizacija i skladišna oprema, već se koristi najprihvatljivija. Zbog toga nastaju vanjski i unutarnji problemi biomase. Vanjski problemi pri rukovanju biomase odnosi se na probleme prilikom korištenja mehanizacije za rukovanje i skladištenje biomase, te problemi okruženja gdje se te operacije obavljaju, a unutarnji problemi odnose se na biološka svojstva biomase, te reakcije koje mogu nastati unutar materijala biomase. Kako bi se problemi smanjili, razvijaju se poboljšani dizajni prekrcajne mehanizacije i skladišne opreme.

LITERATURA

1. Aguado, R.; Olazar, M.; Gaisan, B.; Prieto, R.; Bilbao, J. Kinetic study of polyolefin pyrolysis in a conical spouted bed reactor. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2002, *41*, 4559–4566.
2. Allen, J., Browne, M., Hunter, A., Boyd, J. and Palmer, H. (1998) *Logistics management and costs of biomass fuel supply*, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 28 (6), 463–77
3. Alvira P, Tomás-Pejó E, Ballesteros M, Negro MJ. 2010. *Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review*. *Bioresource Technology*. 101: 4851–4861
4. Ante, J.: *Obnovljivi izvori energije: Biomasa*, Fakultet kemijskog inženjstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2020. (prezentacija)
5. *Arm-Tex*. Preuzeto sa: <https://www.arm-tex.com/railcar-loading-arms.html> [Pristupljeno 29. 07. 2020]
6. Arnaldo Walter, Frank Rosillo-Calle, Paulo B. Dolzan, Erik Piacente, Kamyla Borges da Cunha. *Market Evaluation: Fuel Ethanol*, 2007. IEA Bioenergy.
7. *Auburn Systems*. Preuzeto sa: https://www.auburnsys.com/blog/how-triboelectric-monitoring-can-alert-to-cyclone-hopper-bridging-and-overflow-in-acyclonedustcollector?utm_content=52831064&utm_medium=social&utm_source=twitter [Pristupljeno 03. 08. 2020]
8. *Bašići d.o.o. Koprivnica*. Preuzeto sa:
9. Beamon BM. *Supply chain design and analysis: models and methods*. *International Journal of Production Economics* 1998;55(3): 281–94.
10. Bhat MK. 2000. *Cellulases and related enzymes in biotechnology*. *Biotechnology Advances*. 18: 355–383.
11. Binod P, Janu KU, Sindhu R, Pandey A. 2011. *Hydrolysis of Lignocellulosic Biomass for Bioethanol Production*. In *Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes*. Eds Ashok Pandey, Christian Larroche, Steven C Ricke. Academic Press. 229-250.
12. *BioEnergy Consult*. Preuzeto sa: <https://www.bioenergyconsult.com/tag/gas-turbine/> [Pristupljeno 24. 06. 2020]
13. *Biomass Handling*. Preuzeto sa: <https://www.advancedbiomass.com/2010/10/handling-pellets-things-to-consider/> [Pristupljeno 14. 06. 2020]
14. *Biomass Magazine*. Preuzeto sa: <http://biomassmagazine.com/articles/10845/all-the-right-moves> [Pristupljeno 14. 07. 2020].
15. *BIOS Bioenergy*. Preuzeto sa: <https://www.bios-bioenergy.at/en/electricity-from-biomass/stirling-engine.html> [Pristupljeno 24. 06. 2020]
16. *Biothek ecologic fuel*. Preuzeto sa: <https://biothekecologic.com/ceg-delivers-200-tonnes-of-ceg-biocoal-for-a-european-customer-trial/> [Pristupljeno 14. 06. 2020]
17. *Bizator*. Preuzeto sa: <http://www.bizator.com/advert/m0217-2006017592-granary-silo-with-a-tapered-bottom.html> [Pristupljeno 15. 07. 2020]

18. *Bludwort Marine*. Preuzeto sa: <https://www.vesselrepair.com/shipyard-topside-repairs.html> [Pristupljeno 24. 07. 2020]
19. Brammer, J.G.; Lauer, M.; Bridgwater, A.V. *Opportunities for biomass-derived "bio-oil" in European heat and power markets*. *Energy Policy* 2006, 34, 2871–2880.
20. Branko S.; Zmagoslav P.; Ivan J.: *Analiza učinkovitosti kogeneracijskoga parno-turbinskog postrojenja snage 5,7 MW_{el}*, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2010.
21. Bridgwater, A.V.; Czernik, S.; Piskorz, J. An overview of fast pyrolysis. *Prog. Thermochem. Biomass Convers.* 2001, 2, 977–997.
22. *Bruks Siwertell*. Preuzeto sa: <https://www.bruks-siwertell.com/storage-reclaiming/cantilever-chain-reclaimer> [Pristupljeno 18. 07. 2020]
23. *BTG biomass technology group*. Preuzeto sa: <https://www.btgworld.com/en/rtd/technologies/torrefaction> [Pristupljeno 20. 06. 2020]
24. Care BioTox. *Transport, storage and handling of biomass derived fast pyrolysis liquids*, 2006. Conversion and resource evaluation ltd.
25. Casey. Preuzeto sa: <https://www.caseyind.com/projects/biomass-cogeneration-facility-savannah-river-site/attachment/15-transfer-tower-web/> [Pristupljeno 03. 08. 2020]
26. *CEN*. Preuzeto sa: https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:7:0:::FSP_ORG_ID:19930&cs=17158638AB0C35D5E52A369017E54A1D6 [Pristupljeno 16. 06. 2020]
27. *CEN*. Preuzeto sa: https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:7:0:::FSP_ORG_ID:6003&cs=1FAF2D8F6A6FE92BF5C85E6AAFDBDD16D [Pristupljeno 16. 06. 2020]
28. Chiaramonti, D.; Oasmaa, A.; Solantausta, Y. Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2007, 11, 1056–1086.
29. Cleveland Cascades Ltd. *Cleveland Cascades Ltd - Providing the industry standard for loading solutions (brochure)*, 2014.
30. *Control Engineering*. Preuzeto sa: <https://www.controleng.com/articles/dirty-pipelines-decrease-flow-production-pig-your-line/> [Pristupljeno 24. 07. 2020]
31. Cornelissen, T.; Yperman, Y.; Reggers, G.; Schreurs, S.; Carleer, R. Flash co-pyrolysis of biomass with polylactic acid. Part 1: Influence on bio-oil yield and heating value. *Fuel* 2008, 87, 1031–1041.
32. Demibas, A.; Arin, G. *An overview of biomass pyrolysis*. *Energy Source Part A* 2002, 24, 471–482.
33. Demirbas, A.H. Yields and heating values of liquids and chars from spruce trunkbark pyrolysis. *Energy Source Part A* 2005, 27, 1367–1373.
34. Doug Bradley. *European Market Study for BioOil (Pyrolysis Oil)*, 2006. Climate change solutions.
35. Douglas Bradley, Fritz Diesenreiter, Michael Wild, and Erik Tromborg. *World Biofuel Maritime Shipping Study, 2009*. Climate Change Solutions, EEG, Vienna University of Technology, EBES AG, Norwegian University of Life Sciences.

36. *Drax*. Preuzeto sa: <https://www.drax.com/technology/5-incredible-numbers-worlds-largest-biomass-port/> [Pristupljeno 02. 09. 2020]
37. Dr NS Khan, Prof MSA Bradley, and Dr RJ Berry. *Best Practice Guide for handling of Biomass Fuels Coal – BiomassMixes*. *SHAPA Tech. Bull.*, 18(4):2–18, 2011.
38. *Dry Cargo*. Preuzeto sa: <https://www.drycargomag.com/purpose-built-bulk-handling-cranes-from-reel-nkm-noell> [Pristupljeno 20. 07. 2020]
39. EIHP: *Energija iz biomase*, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 2013. (prezentacija)
40. *Ekokamini*. Preuzeto sa: <https://kamininabioetanol.com/proizvod/bioetanol-3/> [Pristupljeno 15. 06. 2020]
41. *Enciklopedija*. Preuzeto sa: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=36462> [Pristupljeno 19. 06. 2020]
42. *Enciklopedija*. Preuzeto sa: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=24929> [Pristupljeno 19. 06. 2020]
43. *Enciklopedija*. Preuzeto sa: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=11174> [Pristupljeno 19. 06. 2020]
44. *Energetika-net*. Preuzeto sa: <http://www.energetika-net.com/vijesti/obnovljivi-izvori-energije/hrvatske-sume-razmisljaju-o-certifikaciji-drvene-sjeckce-29116> [Pristupljeno 14. 06. 2020]
45. *Energy*. Preuzeto sa: <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/thermochemical-conversion-processes> [Pristupljeno 20. 06. 2020]
46. *ENITEH*. Preuzeto sa: <https://www.eniteh.hr/princip.html> [Pristupljeno 24. 06. 2020]
47. *Envirosafe*. Preuzeto sa: <https://abovegroundfuelstoragetanks.com/2011/06/27/ethanol-storage/> [Pristupljeno 27. 07. 2020]
48. Erik Dahlquist, *Technologies for Converting Biomass to Useful Energy*, UK, 2017.
49. European Commission. *Biomass: Green energy for Europe*, 2005.
50. *European Pellet Council*. Preuzeto sa: <https://epc.bioenergyeurope.org/about-pellets/pellets-basics/pellet-standards/> [Pristupljeno 13. 06. 2020]
51. Gregory D PhD Williams, Jan C. PhD Jofriet, and Kurt A. PhD Rosentrater. *Biomass Storage and Handling : Status and Industry Needs Types of Biomass*, 2008. ASABE.
52. Hamelinck, C.N., Suurs, R.A.A. and Faaij, A.P.C. (2004) *Large scale and long distance biomass supply chains: Logistics, costs, energy consumption, emission balances, 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*, 10–14 May 2004, Rome.
53. Harmsen PFH, Huijgen WJJ, Bermúdez López LM, Bakker RRC. 2010. *Literature Review of Physical and Chemical Pretreatment Processes for Lignocellulosic Biomass*. Energy Research Centre of Netherlands (ECN).
54. *Hellenic Shipping News*. Preuzeto sa: <https://www.hellenicshippingnews.com/dry-bulk-carriers-in-high-demand-as-ship-owners-expected-market-rebound/> [Pristupljeno 20. 07. 2020]

55. Hendriks ATWM, Zeeman G. 2009. *Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass*. *Bioresource Technology*. 100: 10–18.
56. Hindsgaul C, Schramm J, Gratz L, Henriksen U and Bentzen J D 2000 *Physical and chemical characterization of particles in producer gas from wood chips*. *Bioresource Technology* 73: 147–155
57. *Hrastović Inženjering d.o.o.* Preuzeto sa: <https://www.hrastovic-inzenjering.hr/toplinska-energija/gorivni-lanci.html> [Pristupljeno 24. 06. 2020]
58. *Bašići d.o.o. Koprivnica*. http://www.basici.hr/proizvodi_detalji.aspx?id=83 [Pristupljeno 14. 06. 2020]
59. Huisman, W., Venturi, P. and Molenaar, J. (1997) *Costs of supply chains of Miscanthus giganteus, Industrial Crops and Products*, 6, 353–66.
60. *IndiaMart*. Preuzeto sa: <https://www.indiamart.com/proddetail/bio-diesel-additives-18951119491.html> [Pristupljeno 15. 06. 2020]
61. *IndiaMart*. Preuzeto sa: <https://www.indiamart.com/proddetail/biomass-tank-19386635048.html> [Pristupljeno 27. 07. 2020]
62. *IndiaMart*. Preuzeto sa: <https://www.indiamart.com/proddetail/material-handling-bucket-elevator-8769165733.html> [Pristupljeno 14. 07. 2020]
63. *IndiaMart*. Preuzeto sa: <https://www.indiamart.com/proddetail/pipe-conveyor-belt-14868670512.html> [Pristupljeno 14. 07. 2020]
64. *IndiaMart*. Preuzeto sa: <https://www.indiamart.com/proddetail/pyrolysis-oil-13784190333.html> [Pristupljeno 15. 06. 2020]
65. Ingwald Obernberger and Gerold Thek. *The Pellet Handbook*. Earthscan, 2010. ISBN 9781844076314.
66. *ISO*. Preuzeto sa: <https://www.iso.org/committee/47356.html> [Pristupljeno 16. 06. 2020]
67. *ISO*. Preuzeto sa: <https://www.iso.org/committee/554401.html> [Pristupljeno 16. 06. 2020]
68. James R Keiser, Michael A Bestor, and C. Stuart Daw. *Corrosion of Containment Materials by Pyrolysis Oils*. (powerpoint). Oak Ridge National Laboratory, 2011.
69. James R Keiser, Michael A Bestor, and C. Stuart Daw. *Corrosion of Containment Materials by Pyrolysis Oils*. (powerpoint). Oak Ridge National Laboratory, 2011.
70. Jan-Willem Bots. *Virginia Tech Transportation Institute - Liquid biomass equipment information (interview)*. Virginia Tech Transportation Institute, 2014.
71. *Kanon*. Preuzeto sa: <https://kanon.nl/marine-loading-arms/> [Pristupljeno 24. 07. 2020]
72. *Kanon*. Preuzeto sa: <https://kanon.nl/truck-loading-arms/> [Pristupljeno 29. 07. 2020]
73. *Keith*. Preuzeto sa: <https://www.walkingfloorparts.co.uk/> [Pristupljeno 17. 07. 2020]
74. Kumar P, Barret DM, Delwiche MJ, Stroeve P. 2009. *Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production*. *Ind Eng Chem Res*. 48: 3713–29.
75. Lanphen L.S.J.C., *Biomass handling equipment in European ports, an overview of current designs and required design improvements*. Delft: TUDelft; 2014.

76. Lee JW. *Advanced biofuels and bioproducts*. New York: Springer Science & Business Media; 2012.
77. Louise Dodds-Ely. *Biomass: the next big thing? Dry Cargo Int. Issue No. 169*, pages 63–91, 2014.
78. Lynd LR. 1989. *Production of ethanol from lignocellulosic materials using thermophilic bacteria: Critical evaluation of potential and review*. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*. 38: 1-52.
79. M.R. Wu, D.L. Schott, and G. Lodewijks. Physical properties of solid biomass. *Biomass and Bioenergy*, 35(5): 2093–2105, May 2011.
80. *Made-in-China*. Preuzeto sa: <https://kingoropelletmachine.en.made-in-china.com/product/IFKEMjVcfmWD/China-Belt-Conveyor-for-Biomass-Pellets-Making.html> [Pristupljeno 14. 07. 2020]
81. Manfred Van Ohlen. *Application Guide - Pumps for Biodiesel Production*. SIHI Group BV, 2011b.
82. Manfred Van Ohlen. *Application Guide - Pumps for Bioethanol Production*. SIHI Group BV, 2011a.
83. *Marine Insight*. Preuzeto sa: <https://www.marineinsight.com/shipping-news/tsuneishi-shipbuilding-delivers-its-first-lri-product-chemical-tanker-built-in-china/> [Pristupljeno 29. 07. 2020]
84. *Meiko Green*. Preuzeto sa: <https://www.meiko-green.com/en/solutions/pump-systems/storage-tanks/> [Pristupljeno 15. 07. 2020]
85. Mi-Rong Wu. *A Large-scale Biomass Bulk Terminal*. Dissertation, Delft University of Technology, 2012
86. Mohammad I. J.; Mohammad G. R.; Ashfaq A. C.; Nanjappa A.: *Biofuels Production through Biomass Pyrolysis - A Technological Review*, 2012.
87. Mosier N, Wyman C, Dale B, Elander R, Lee YY, Holtzapple M, Ladisch M. 2005. *Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass*. *Bioresource Technol.* 96: 673–686.
88. Narayanaswamy N, Dheeran P, Verma S, Kumar S. 2013. *Biological Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Enzymatic Saccharification*. *Pretreatment Techniques for Biofuels and Biorefineries Green Energy and Technology*. 3–34.
89. Natalija, K.: *Uvjeti za planiranje i projektiranje luka*, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2018. (prezentacija)
90. Nilsson A, Gorwa-Grauslund MF, Hahn-Hägerdal B, Lidén G. 2005. *Cofactor Dependence in Furan Reduction by Saccharomyces cerevisiae in Fermentation of Acid-Hydrolyzed Lignocellulose*. *Appl. Environ. Microbiol.* 71(12): 7866–7871
91. *NREL Transforming Energy*. Preuzeto sa: <https://www.nrel.gov/bioenergy/biochemical-conversion-techno-economic-analysis.html> [Pristupljeno 22. 06. 2020]
92. Palmqvist E, Hahn-Hägerdal B. 2000. *Fermentation of lignocellulosic hydrolysates. I: inhibition and detoxification: review*. *Bioresource Technol.* 74: 17–24.

93. *Peiner Smag*. Preuzeto sa: <https://peiner-smag.com/en/products/peiner-grabs/orange-peel-grabs/four-rope-orange-peel-grabs/> [Pristupljeno 13. 07. 2020]
94. *PennState College of Earth and Mineral Sciences*. Preuzeto sa: <https://www.e-education.psu.edu/egee439/node/664> [Pristupljeno 19. 06. 2020]
95. *Pierrelai*. Preuzeto sa: <https://www.pierrelai.com/kamengo> [Pristupljeno 18. 07. 2020]
96. *Port of Amsterdam*. Preuzeto sa: <https://www.portofamsterdam.com/en/business/cargo-flows/dry-bulk/biomass> [Pristupljeno 02. 09. 2020]
97. *Port of Rotterdam*. Preuzeto sa: <https://www.portofrotterdam.com/en/doing-business/logistics/cargo/dry-bulk/biomass-handling-storage-and-distribution> [Pristupljeno 02. 09. 2020]
98. *Prado SPS*. Preuzeto sa: <https://www.pradosps.com/silos/flat-bottom-silos/> [Pristupljeno 15. 07. 2020]
99. Prof. dr. ir. G. Lodewijks and dr. ir. D. Schott. WB3419-03 *Characterization and Handling of Bulk Solid Materials*. TU Delft, 2013.
100. *Railway Gazette*. Preuzeto sa: <https://www.railwaygazette.com/traction-and-rolling-stock/drax-unveils-high-volume-biomass-wagon/38505.article> [Pristupljeno 19. 07. 2020]
101. *Railway Gazette*. Preuzeto sa: <https://www.railwaygazette.com/traction-and-rolling-stock/drax-unveils-high-volume-biomass-wagon/38505.article> [Pristupljeno 19. 07. 2020]
102. Rentizelas, A., Tolis, A. and Tatsiopoulou, I.P. (2009a) *Logistics issues of biomass: The storage problem and the multi-biomass supply chain*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 13 (4), 887–94,
103. *ResearchGate*. Preuzeto sa: https://www.researchgate.net/figure/Chemical-structure-of-lignin-source-lignoworks_fig1_315348668 [Pristupljeno 19. 06. 2020]
104. *ResearchGate*. Preuzeto sa: https://www.researchgate.net/figure/Different-kinds-of-gasifier-configurations-Sources-Bhattacharya-and-Salam_2006_fig2_263656314 [Pristupljeno 24. 06. 2020]
105. *ResearchGate*. Preuzeto sa: https://www.researchgate.net/figure/Pouch-conveyor-Image-courtesy-of-ContiTech-AG_fig3_327992427 [Pristupljeno 14. 07. 2020]
106. *ResearchGate*. Preuzeto sa: https://www.researchgate.net/figure/Principle-scheme-of-biomass-gasification-plant-for-chp-production_fig1_267842628 [Pristupljeno 20. 06. 2020]
107. *ResearchGate*. Preuzeto sa: https://www.researchgate.net/figure/Principle-of-operation-of-a-steam-turbine-biomass-cogeneration-plant_fig1_336103944 [Pristupljeno 24. 06. 2020]
108. *ResearchGate*. Preuzeto sa: https://www.researchgate.net/figure/Pyrolysis-conversion-process-principles_fig17_309397520 [Pristupljeno 20. 06. 2020]
109. Richard Farnish. *Biomass handling. Port Technol. Int.*, pages 111–112, 2006.
110. Richard Farnish. *Biomass handling. Port Technol. Int.*, pages 111–112, 2006.

111. Roberto García Fernández, Consuelo Pizarro García, Antonio Gutiérrez Lavín, Julio L Bueno de Las Heras, and José Juan Pis. *Influence of physical properties of solid biomass fuels on the design and cost of storage installations. WasteManag.*, 33(5):1151–7, May 2013.
112. Sadaka S.; Donald M. J.: *Biomass Combustion*, University of Arkansas, United States Department of Agriculture and County Governments Cooperating
113. Samson, *Biomass Logistics: Solutions from Forest to Ports and Power Plants* 2017.
114. Samson. *Mobile Shiploaders (brochure)*. Aumund Group, 2014b.
115. Samson. Preuzeto sa: <https://samson-mh.com/industries/mining-minerals/shiploaders-mining-minerals/> [Pristupljeno 20. 07. 2020]
116. Samson. Preuzeto sa: <https://samson-mh.com/industries/mining-minerals/shiploaders-mining-minerals/> [Pristupljeno 20. 07. 2020]
117. Saxlund . Preuzeto sa: <https://www.saxlund.co.uk/products/hydraulic-rotor-silo-discharger> [Pristupljeno 17. 07. 2020]
118. Saxlund. Preuzeto sa: <https://www.saxlund.co.uk/saxlund-sweden-win-new-materials-handling-contract> [Pristupljeno 17. 07. 2020]
119. Saxlund. Preuzeto sa: <https://www.saxlund.co.uk/saxlund-sweden-win-new-materials-handling-contract> [Pristupljeno 17. 07. 2020]
120. Sikanen L et. al. *Energy Biomass Supply Chain Concepts Including Terminals*. Helsinki: Luke; 2016.
121. Sims, R. (2002) *The Brilliance of Bioenergy in Business and in Practice* , London, James & James (Science Publishers) Ltd.
122. Skoulou, V. and Zabaniotou A. (2007) *Investigation of agricultural and animal wastes in Greece and their allocation to potential application for energy production, Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 11 (8), 1698–719.
123. Sophie A. Archer, Robert Steinberger-Wilckens, *Systematic analysis of biomass derived fuels for fuel cells*. Centre for Fuel Cell and Hydrogen Research, School of Chemical Engineering, University of Birmingham, Edgbaston, B15 2TT, UK 2018.
124. Sun Y, Cheng JY. 2002. *Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review*. *Bioresour Technol.* 83: 1–11.
125. Tatsiopoulos, I.P. and Tolis, A.J. (2003) *Economic aspects of the cotton-stalk biomass logistics and comparison of supply chain methods, Biomass and Bioenergy*, 24 (3),199–214,
126. *Terra Source Global*. Preuzeto sa: <http://biomassmagazine.com/articles/16877/the-continual-pursuit-of-fiber-consistency> [Pristupljeno 18. 07. 2020]
127. *Textile Course*. Preuzeto sa: <https://textilecourse.blogspot.com/2018/02/properties-textile-fibers.html> [Pristupljeno 19. 06. 2020]
128. The Robson and Airglide Belt. *Airglide Conveyors Airglide Conveyor Specification* (brochure). Geo. Robson & Co. Ltd, 2014.
129. *Verstegen*. Preuzeto sa: <https://www.verstegen.net/bulk-materials/biomass/> [Pristupljeno 13. 07. 2020]

130. Virkkunen M, Kari M, Hankalin V, Nummelin J. Solid biomass fuel terminal concepts and a cost analysis of a satellite terminal concept. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2016;31(2):175-182.
131. *Walinga*. Preuzeto sa: <https://walinga.com/ship-unloader> [Pristupljeno 13. 07. 2020]
132. *Wellons*. Preuzeto sa: <http://www.wellons.com/fuelfloor.html> [Pristupljeno 15. 07. 2020]
133. Wolfgang Stelte. Guideline : *Storage and Handling of Wood Pellets*, 2012. Danish Technological Institute.
134. Wolfgang Stelte. Guideline: *Storage and Handling of Wood Pellets*, 2012. Danish Technological Institute.
135. *Wordpress*. Preuzeto sa: <https://hemcoind159.wordpress.com/2013/10/07/loading-arms/> [Pristupljeno 24. 07. 2020]
136. *World Industrial Reporter*. Preuzeto sa: <https://www.pierrelai.com/kamengo> [Pristupljeno 19. 07. 2020]
137. Wyman CE. 1996. *Handbook on Bioethanol, Production and Utilization*. Taylor & Francis, Washington DC
138. Z. Zenzerović, *Optimizacijski modeli planiranja kapaciteta morskih luka*, doktorska disertacija, Ekonomski fakultet Rijeka, Rijeka 1995
139. Zakon o energiji (NN 68/01, 177/04, 76/07, 152/08, 127/10)

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1. Drveni peleti | 4 |
| Slika 2. Drvne sječke | 5 |
| Slika 3. Toreficirani peleti..... | 6 |
| Slika 4. Ambalaža za pakiranje bioetanola | 7 |
| Slika 5. Biodizel | 7 |
| Slika 6. Pirolitičko ulje | 8 |
| Slika 7. Kemijska struktura lignina | 10 |
| Slika 8. Kemijska struktura hemiceluloze..... | 11 |
| Slika 9. Kemijska struktura celuloze | 12 |
| Slika 10. Proces izgaranja krute biomase..... | 14 |
| Slika 11. Proces rasplinjavanja biomase | 15 |
| Slika 12. Proces pirolize biomase | 17 |
| Slika 13. Proces torefakcije biomase | 18 |
| Slika 14. Proces biokemijske pretvorbe biomase | 25 |
| Slika 15. Princip rada parne turbine sa kogeneracijskim postrojenjem za biomasu.. | 27 |
| Slika 16. Princip rada plinske turbine za biomasu | 28 |
| Slika 17. Princip rada rasplinjača kod motora s unutarnjim izgaranjem za biomasu. | 29 |
| Slika 18. Princip rada Stirling motora za biomasu | 30 |
| Slika 19. Princip rada gorivog članka za biomasu | 32 |
| Slika 20. Faze opkrsbnog lanca za biomasu | 35 |
| Slika 21. Shema planiranja skladišta za biomasu | 44 |
| Slika 22. Shematski prikaz faza rukovanja kruto rasutom biomasom na terminalu .. | 47 |
| Slika 23. Zatvorena zahvatna grabilica | 48 |
| Slika 24. Višečeljusna grabilica | 49 |
| Slika 25. Brodski vakuumski iskrcavač | 49 |
| Slika 26. Iskrcaj biomase iz kamiona sa poluprikolicom | 50 |
| Slika 27. Iskrcaj biomase naginjanjem kamiona | 50 |
| Slika 28. Trakasti transporter..... | 51 |
| Slika 29. Vrećasti transporter..... | 52 |
| Slika 30. Cijevni transporter..... | 52 |
| Slika 31. Kosa dizalica sa skipom..... | 53 |
| Slika 32. Pužni transporter..... | 54 |
| Slika 33. Hood and spoon dizajn | 55 |
| Slika 34. Prijenosni dizajn s spiralnim uređajem i ugrađenim ventilatorima | 55 |
| Slika 35. Prijenosni dizajn s ugrađenim filterom | 55 |
| Slika 36. Silos sa suženim dnom | 57 |
| Slika 37. Silos sa ravnim dnom..... | 57 |
| Slika 38. Bunker za skladištenje kruto rasute biomase..... | 58 |
| Slika 39. Specijalizirane kutije za skladištenje kruto rasute biomase..... | 58 |
| Slika 40. Skladišna platforma kruto rasute biomase | 59 |
| Slika 41. Kupolasta skladišta za kruto rasutu biomasu | 59 |
| Slika 42. Sustav uređaja za povrat s gurajućim dnom | 61 |

| | |
|--|----|
| Slika 43. Sustav uređaja za povrat s hodajućim dnom | 61 |
| Slika 44. Sustav silosa s klizni okvir | 62 |
| Slika 45. Hidraulični rotor unutar silosa s ravnim dnom | 63 |
| Slika 46. Linearni sustav uređaja za povrat s pužnim transporterom sa dovodnom cijevi..... | 64 |
| Slika 47. Kružni sustav uređaja za povrat s pužnim transporterom sa dovodnom cijevi..... | 64 |
| Slika 48. Sustav uređaja za povrat s trakastim transporterom..... | 65 |
| Slika 49. Sustav uređaja za povrat s ljevkastim košem | 65 |
| Slika 50. Teleskopski sustav ukrcaja biomase u kamion | 67 |
| Slika 51. Sustavi osovinskog opterećenja željeznice s visokom propusnošću..... | 67 |
| Slika 52. Sustav ukrcaja kruto rasute biomasu na željeznicu pomoću stormajor dovoda..... | 68 |
| Slika 53. Željeznički vagon za transport kruto rasute biomase | 68 |
| Slika 54. Brod za transport rasutog tereta | 69 |
| Slika 55. Plutajuća dizalica | 70 |
| Slika 56. Brodoukrcavač s dovodnom cijevi sa žlijebom..... | 70 |
| Slika 57. Sustav ukrcaja dovodne cijevi sa krakom | 71 |
| Slika 58. Mobilni brodoukrcavač | 71 |
| Slika 59. Shematski prikaz faza rukovanja tekuće rasutom biomasom na terminalu | 72 |
| Slika 60. Centrifugalna pumpa za prekrcaj biodizela | 73 |
| Slika 61. Centrifugalna pumpa za prekrcaj etanola | 74 |
| Slika 62. Prekrcaj tekuće rasute biomase sa pretakačkim rukama..... | 74 |
| Slika 63. Cjevovod za transport tekuće rasute biomase | 75 |
| Slika 64. Princip rada pig uređaja unutar cjevovoda | 76 |
| Slika 65. Primjer ventila na cjevovodima | 76 |
| Slika 66. Primjer tanka za skladištenje tekuće rasute biomase | 78 |
| Slika 67. Kemijski tanker..... | 79 |
| Slika 68. Ukrcaj tekuće rasute biomase za transport cisternom | 79 |
| Slika 69. Ukrcaj tekuće rasute biomase za transport cisternom | 80 |
| Slika 70. Problem rasta skladišne hrpe peleta | 81 |
| Slika 71. Drvne sječke zaražene gljivicama..... | 81 |
| Slika 72. Degradacija tekuće tekuće biomase | 82 |
| Slika 73. Prijenosni toranj | 86 |
| Slika 74. Problem zasvođavanja biomase unutar lijevka | 88 |
| Slika 75. Problem stvaranje cjevastih rupa biomase unutar lijevka | 89 |

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Svojstva krute biomase usporedbi s kamenim ugljenom..... | 4 |
| Tablica 2. Svojstva tekuće biomase usporedbi s ekvivalentnim fosilnim gorivima..... | 8 |
| Tablica 3. Zahtjevi skladišnog prostora za različite sirove materijale biomase s različitim koeficijentima gustoće | 45 |
| Tablica 4. Zahtjevi skladišnog prostora za različite energetske sadržaje skladištenog goriva..... | 45 |



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ diplomski rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ diplomskog rada
pod naslovom **Planiranje lučkih terminala za biomasu**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 4.9.2020

Student/ica:

Ivo Berbić
(potpis)