



# TEHNIČKE MOGUĆNOSTI RETROFITA INDUSTRIJE KORIŠTENJEM BIOENERGIJE

***PRIRUČNIK – 2. IZDANJE***



---

Autori:	Dominik Rutz <sup>2</sup> , Rainer Janssen <sup>2</sup> , Patrick Reumerman <sup>1</sup> , Jurjen Spekreijse <sup>1</sup> , Doris Matschegg <sup>3</sup> , Dina Bacovsky <sup>3</sup> , Arne Gröngröft <sup>4</sup> , Stephanie Hauschild <sup>4</sup> , Niels Dögnitz <sup>4</sup> , Emmanouil Karampinis <sup>5</sup> , Dimitrios-Sotirios Kourkoumpas <sup>5</sup> , Panagiotis Grammelis <sup>5</sup> , Kristian Melin <sup>6</sup> , Heidi Saastamoinen <sup>6</sup> , Ana Isabel Susmozas Torres <sup>7</sup> , Raquel Iglesias <sup>7</sup> , Mercedes Ballesteros <sup>7</sup> , Göran Gustavsson <sup>8</sup> , Daniella Johansson <sup>8</sup> , Anes Kazagić <sup>9</sup> , Ajla Merzić <sup>9</sup> , Dino Trešnjo <sup>9</sup> , Hans Dagevos <sup>11</sup> , Siet J. Sijtsema <sup>11</sup> , Machiel J. Reinders <sup>11</sup> , Marieke Meeusen <sup>11</sup> (brojevi u superskriptu odgovaraju brojevima partnera na Projektu na stranici 4)
Recenzenti:	Edgar Ahn (BDI Holding GmbH), Nicholas LaPointe <sup>2</sup>
Prevoditelj:	nLogic Sarajevo i JP Elektroprivreda BiH d.d. - Sarajevo
Prevodi:	Izvorni jezik priručnika je engleski. Ovaj je priručnik dostupan i na sljedećim jezicima: bosanski, holandski, njemački, grčki, španski, švedski
ISBN:	978-3-936338-80-5
Objavljeno:	© 2022 WIP Renewable Energies, Minhen, Njemačka
Izdanje:	2. izdanje
Kontakt:	WIP Renewable Energies, Sylvensteinstr. 2, 81369 Minhen, Njemačka <a href="mailto:Dominik.Rutz@wip-munich.de">Dominik.Rutz@wip-munich.de</a> Tel.: +49 89 720 12 739 <a href="http://www.wip-munich.de">www.wip-munich.de</a>
Web-stranica:	<a href="http://www.BIOFIT-h2020.eu">www.BIOFIT-h2020.eu</a>
Autorska prava:	Sva prava zadržana. Nijedan dio ove knjige se ne smije reproducirati u bilo kojem obliku ili na bilo koji način, u komercijalne svrhe bez odobrenja izdavača u pisanom obliku od izdavača. Autori ne jamče za ispravnost i / ili cijelovitost informacija i podataka koji su uključeni ili opisani u ovom priručniku.
Izjava o odricanju odgovornosti:	Ovaj projekat dobio je sredstva iz programa Europske unije Horizon 2020 za istraživanje i inovacije prema sporazumu o grantu br. 817999. Autori su jedini odgovorni za sadržaj ovog izvještaja. To ne odražava nužno mišljenje Europske unije, niti Europske izvršne agencije za klimu, infrastrukturu i životnu sredinu (CINEA). Ni CINEA ni Europska komisija nisu odgovorni za bilo kakvu upotrebu informacija sadržanih u ovom priručniku.

## ***Priznanja***

Ovaj priručnik je izrađen u okviru projekta BIOFIT. Autori se zahvaljuju Europskoj komisiji na podršci projektu. Za dozvolu za upotrebu informacija i grafikona, autori se zahvaljuju sljedećim kompanijama i saradnicima: Bioenergy Europe, Baza podataka KnowPulp, C-Green Technology AB, Arbaflame, Yilkins, UPM Biogoriva, Valmet, WTS AB Powder Burners, PetroBio, Hawkins Wright i projektnim partnerima.

## **BIOFIT projekat**

Bioenergija je važan oblik obnovljive energije, i učesvuje sa približno 60% u trenutnoj opskrbi obnovljivom energijom u EU28. Potaknute inovacijama, bioenergetske tehnologije postaju sve naprednije i raznovrsnije, što dovodi do energetski učinkovite proizvodnje energije, toplote i hlađenja i raznih transportnih goriva. Retrofit - što znači zamjena dijela postojećeg objekta ili postrojenja najsavremenijom opremom - može biti ekonomično rješenje za širenje upotrebe bioenergije u određenim industrijama. Retrofit je jedan od brzih načina za povećanje udjela obnovljive energije u Europi čineći proizvodnju energije u postojećim industrijskim postrojenjima održivjom.

Projekat BIOFIT, podržan programom Europske unije Horizon 2020, ima za cilj olakšati proces uvođenja retrofita bioenergijom u europske industrije. Retrofit često znači niže kapitalne troškove, kraće vrijeme isporuke, bržu implementaciju, manje gubitke u vremenu proizvodnje i niže rizike. Projekat olakšava retrofit bioenergijom u pet specifičnih sektora<sup>1</sup>, i to:

- Industrija biogoriva prve generacije
- Celuloza i papirna industrija
- Fosilne rafinerije
- Proizvodnja energije iz fosilnih goriva
- Kombinovana proizvodnja toplote i električne energije (CHP)

Preciznije, ciljevi projekta BIOFIT su:

- Razviti 10 konkretnih prijedloga (studija slučaja) za retrofit bioenergijom za svaku od navedenih industrija, zajedno s industrijskim i tržišnim akterima koji su opredijeljeni za provedbu rezultata BIOFIT-a.
- Dobiti tačan i cjelovit pregled opcija za retrofit bioenergijom u ciljanim industrijama, kao i uvid u uslove pod kojima je svaka vrsta retrofita upotreboom bioenergije izvodiva i to predočiti ciljnim skupinama.
- Uključiti i podržati sudionike i tržišne aktere, posebno iz industrije, iznoseći rezultate, šireći znanja, pružajući mogućnosti za dijalog i razvoj najboljih praksi i alata.
- Procijeniti okvirne uslove (pravne, institucionalne i političke) kako bi se identificirale opće i industrijske barijere i pokretači.
- Dati savjete kreatorima politika na nacionalnom i regionalnom nivou koji će služiti kao ulaz za informisanje politike, podršku tržištu i finansijske okvire.

Temeljne akcije u BIOFIT-u uključuju širenje postojećih primjera najbolje prakse i razvoj 10 studija slučaja refrofita u suradnji s industrijskim partnerima. Paralelno s tim, šira industrija će se angažovati i podržavati kroz pet industrijskih foruma (radnih grupa).

Trogodišnji projekat započeo je u oktobru 2018. Konzorcij BIOFIT sastoji se od četrnaest partnera iz osam europskih zemalja: Švedske, Nizozemske, Njemačke, Španije, Finske, Austrije, Bosne i Hercegovine i Grčke. Konzorcij se sastoji od industrijskih partnera i akademskih / istraživačkih partnera.

---

<sup>1</sup> Odabir ovih industrija je u skladu sa specifikacijom teksta poziva u programu Horizon 2020, pod kojim je BIOFIT bio prijavljen u pozivu za dostavu prijedloga projekata.

**Projektni konzorcij i nacionalne kontakt tačke:**



**BTG Biomass Technology Group BV**, Nizozemska<sup>1</sup>  
 Patrick Reumerman [reumerman@btgworld.com](mailto:reumerman@btgworld.com)  
[www.btgworld.com](http://www.btgworld.com)



**WIP Renewable Energies**, Njemačka<sup>2</sup>  
 Dominik Rutz [Dominik.Rutz@wip-munich.de](mailto:Dominik.Rutz@wip-munich.de)  
[www.wip-munich.de](http://www.wip-munich.de)



**BEST – Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH**, Austrija<sup>3</sup>  
 Dina Bacovsky [Dina.bacovsky@bioenergy2020.eu](mailto:Dina.bacovsky@bioenergy2020.eu)



**DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH**,  
 Njemačka<sup>4</sup>  
 Arne Gröngröft [Arne.Groengroeft@dbfz.de](mailto:Arne.Groengroeft@dbfz.de)  
[www.dbfz.de](http://www.dbfz.de)



**Centre for Research & Technology, Hellas**, Grčka<sup>5</sup>  
 Manolis Karampinis [karampinis@certh.gr](mailto:karampinis@certh.gr)  
[www.certh.gr](http://www.certh.gr), [www.cperi.certh.gr](http://www.cperi.certh.gr)



**VTT Technical Research Centre of Finland Ltd**, Finska<sup>6</sup>  
 Heidi Saastamoinen [heidi.saastamoinen@vtt.fi](mailto:heidi.saastamoinen@vtt.fi)  
[www.vttrresearch.com](http://www.vttrresearch.com)



**Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas**,  
 Španija<sup>7</sup>  
 Mercedes Ballesteros [m.ballesteros@ciemat.es](mailto:m.ballesteros@ciemat.es)  
[www.ciemat.es](http://www.ciemat.es)



**ESS – Energikontor Sydost AB**, Švedska<sup>8</sup>  
 Daniella Johansson [daniella.johansson@energikontorsydost.se](mailto:daniella.johansson@energikontorsydost.se)  
[www.energikontorsydost.se](http://www.energikontorsydost.se)



**JP Elektroprivreda BiH d.d.-Sarajevo**, Bosna i Hercegovina<sup>9</sup>  
 Anes Kazagic [a.kazagic@epbih.ba](mailto:a.kazagic@epbih.ba)  
[www.epbih.ba](http://www.epbih.ba)



**Technip Benelux B. V.**, Nizozemska<sup>10</sup>  
 Mark Wanders [mark.wanders@technipfmc.com](mailto:mark.wanders@technipfmc.com)  
[www.TechnipFMC.com](http://www.TechnipFMC.com)



**Stichting Wageningen Research**, Nizozemska<sup>11</sup>  
 Marieke Meeusen [marieke.meeusen@wur.nl](mailto:marieke.meeusen@wur.nl)  
[www.wageningenur.nl/lei](http://www.wageningenur.nl/lei)



**Swedish Biofuels AB**, Švedska<sup>12</sup>  
 Andrew Hull [andrew.hull@swedishbiofuels.se](mailto:andrew.hull@swedishbiofuels.se)  
[www.swedishbiofuels.se](http://www.swedishbiofuels.se)



**Hellenic Petroleum S.A.**, Grčka<sup>13</sup>  
 Spyros Kiartzis [skiartzis@helpe.gr](mailto:skiartzis@helpe.gr)  
[www.helpe.gr](http://www.helpe.gr)



**Biocarburantes de Castilla y León S.A.**, Španija<sup>14</sup>  
 Juan María García Alonso [Juan.garcia@vertexbioenergy.com](mailto:Juan.garcia@vertexbioenergy.com)  
[www.vertexbioenergy.com](http://www.vertexbioenergy.com)

## Sadržaj

<b>Priznanja .....</b>	<b>2</b>
<b>BIOFIT projekat.....</b>	<b>3</b>
<b>1 Uvod .....</b>	<b>7</b>
<b>2 Postupak retrofita.....</b>	<b>8</b>
2.1 Uključeni sudionici.....	8
2.2 Uloge građana i potrošača .....	10
2.3 Motivacija za retrofit .....	14
<b>3 Izvori bioenergije za industriju .....</b>	<b>17</b>
3.1 Potencijal biomase .....	17
3.2 Proizvodi od biomase .....	21
3.3 Logistika i lanci vrijednosti .....	26
3.4 Politika održivosti i certificiranja .....	27
<b>4 Pregled načina pretvorbe biomase .....</b>	<b>30</b>
<b>5 Nadogradnja postrojenja biogoriva prve generacije.....</b>	<b>32</b>
5.1 Pregled sektora .....	32
5.2 Dodatak celuloznog etanola bioetanolu prve generacije.....	33
5.3 Alkoholi u avijaciji .....	35
5.4 Dodaci za otpadna biodizel ulja .....	36
5.5 Pretvaranje glicerola u metanol .....	38
5.6 Biometan.....	39
5.7 Elektrogoriva .....	41
5.8 Zaključci .....	43
<b>6 Nadogradnja i poboljšanje fosilnih rafinerija .....</b>	<b>45</b>
6.1 Pregled sektora .....	45
6.2 Smanjenje emisije ugljika u fosilnim rafinerijama .....	47
6.3 Integracija hidrogeniranih biljnih ulja.....	49
6.4 Integracija piroliznog ulja u fosilne rafinerije .....	53
6.5 Zaključci .....	58
<b>7 Retrofit elektrana na fosilna goriva i kogeneracijskih elektrana.....</b>	<b>59</b>
7.1 Pregled sektora .....	59
7.2 Tehnologije koje se koriste u sektoru .....	60
7.3 Kosagorijevanje biomase (djelomični retrofit s bioenergijom) .....	64
7.4 Konverzija na biomasu - repowering (potpuni retrofit s biogorivom).....	66
7.5 Termički tretirana biomasa .....	70
7.6 Ostale opcije konverzije: Sagorijevanje drvnog praha, bio-ulja i bio-gasovi .....	72

7.7	Zaključne napomene .....	73
<b>8</b>	<b>Retrofit industrije celuloze i papira .....</b>	<b>75</b>
8.1	Pregled sektora .....	75
8.2	Proces proizvodnje celuloze i ostaci iz industrije celuloze i papira .....	76
8.3	Crni/smeđi tekućinasti etanol .....	82
8.4	Gasifikacija crne tekućine u dimetil eter (DME) .....	83
8.5	Metanol iz tvornica celuloze .....	83
8.6	Iskorištenje suspenzija iz procesa dobijanja celuloze I papira .....	84
8.7	Ekstrakcija lignina .....	86
8.8	Hidrotermičko ukapljivanje .....	87
8.9	Zamjena fosilnih goriva u energetskoj proizvodnji u tvornicama papira .....	88
8.10	Aternativna goriva za vaspene peći i gasifikatore kore .....	89
8.11	Obnovljivi dizel iz ostatka talnog ulja u tvornici celuloze .....	89
8.12	Zaključne napomene .....	91
<b>Literatura .....</b>	<b>93</b>	

## 1 Uvod

U posljednjih nekoliko desetljeća sve je jasnije da su resursi fosilnih goriva ograničeni i da njihova upotreba može našteti okolišu i našoj klimi. Povećana proizvodnje iz obnovljivih izvora energije, osim smanjenja emisije CO<sub>2</sub> u skladu s Pariškim sporazumom (2015.), osigurat će veću sigurnost opskrbe, potaknuti inovacije, stvoriti nova radna mjesta i doprinijeti ekonomskom razvoju.

U EU Direktivi o obnovljivoj energiji iz 2009. godine dogovoren su nacionalni ciljevi za obnovljivu energiju koji bi doveli do 20% proizvodnje iz obnovljive energije u EU do 2020. Otada su mnoge države članice doživjele brzi rast proizvodnje iz obnovljivih izvora energije, često čak i izvan preuzetih ciljeva, što pokazuje široki konsenzus u Europi o ovoj temi. U EU paketu „Čista energija za sve Europoljane“ iz 2016. godine, nedvosmislen izbor obnovljivih izvora energije dodatno je utvrđen prihvatanjem obvezujućeg cilja od 27% krajnje potrošnje iz obnovljivih izvora energije do 2030. godine. Cilj je 2018. godine revidiran kako bi se postigao udio od najmanje 32% obnovljivih izvora energije. To je u skladu s Mapom puta EU 2050 koja predviđa postupno ukidanje fosilnih goriva koja će biti zamijenjena obnovljivim izvorima energije.

Bioenergija je važan oblik obnovljive energije, koji je osigurao oko 60% proizvodnje iz obnovljive energije u EU u 2017.<sup>2</sup> godini. U budućnosti će bioenergija ostati važna. Međunarodna agencija za energiju (IEA) u svojoj Mapi puta<sup>3</sup> za 2017. godinu primjećuje da bioenergija igra ključnu ulogu u scenaru 2DS (Scenarij 2°C), pružajući gotovo 20% globalne kumulativne uštede CO<sub>2</sub> do 2060. Bioenergija je složena i ponekad kontroverzna tema. Sve je više razumijevanja da samo bioenergija koja se opskrbљuje i koristi na održiv način ima mjesto u budućnosti s niskim udjelom ugljika.

Savremena bioenergija poprima mnoge oblike. Relativno jednostavne primjene, poput stvaranja toplove izgaranjem drva, proizvodnja bioplina anaerobnom digestijom (AD) i proizvodnja transportnih goriva. Potaknute inovacijama, tehnologije postaju sve naprednije i raznovrsnije, što dovodi do proizvodnje različitih naprednih transportnih goriva (bioetanol prve i druge generacije, biodizel i bio-kerozin), posrednih bioenergetskih nosača i visoko efikasne proizvodnje električne energije, toplove i hlađenja, s niskim emisijama ugljika.

Osim postavljanja potpuno novih postrojenja na bioenergiju, retrofit, što znači zamjena dijelova tvornice ili postrojenja najmodernijom opremom, može biti alternativa zamjeni fosilnih goriva ili nadogradnji zastarjelih tehnologija obnovljivim izvorima energije. Retrofit često znači niže kapitalne izdatke (CAPEX), kraća vremena isporuke, bržu implementaciju, manje gubitke u vremenu proizvodnje i niže rizike u poređenju s potpunim rušenjem starih postrojenja i postavljanjem potpuno novih postrojenja na biogoriva.

Projekat BIOFIT, podržan programom Europske unije Horizon 2020, podržava retrofit biogorivima u industriji biogoriva prve generacije u Europi, industriji celuloze i papira, fosilnim rafinerijama, elektranama na fosilna goriva, te u kombiniranim industrijama za proizvodnju toplove i električne energije (CHP). Odabir ovih djelatnosti rezultat je specifikacije teksta poziva u programu Horizon 2020, pod kojim je BIOFIT bio prijavljen u pozivu za dostavu prijedloga projekata.

Kako bi se prezentirale tehničke mogućnosti retrofita, ovaj priručnik „Tehničke mogućnosti retrofita industrije korištenjem bioenergije“ su napisali članovi konzorcija BIOFIT. Ovaj priručnik nudi široku sliku tehničkih rješenja za ciljane industrije, koje su vrlo različite, ali koje se mogu suočiti sa sličnim izazovima. Cilj je pružiti ove informacije sudionicima i donositeljima odluka u relevantnim industrijama koji mogu imati manje tehničkog znanja. Ovaj priručnik trebao bi

<sup>2</sup> <http://www.europeanbioenergyday.eu/>

<sup>3</sup>

[http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Technology\\_Roadmap\\_Delivering\\_Sustainable\\_Bioenergy.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Technology_Roadmap_Delivering_Sustainable_Bioenergy.pdf)

olakšati razumijevanje tehničkih mogućnosti korištenja bioenergije u različitim granama industrije. Predstavljen je jednostavnim jezikom i uključuje brojne, lako razumljive grafove i ilustracije.

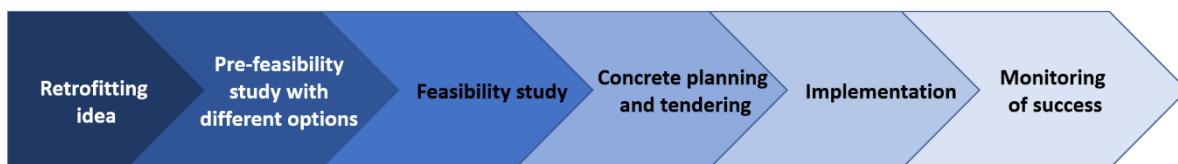
## 2 Postupak retrofita

Retrofit korištenjem bioenergije podrazumijeva zamjenu dijelova tvornice ili postrojenja najsavremenijim tehnologijama korištenja biomase. Na taj način mogu se zamijeniti fosilna goriva ili nadograditi zastarjele tehnologije obnovljivih izvora energije. Alternativa retrofitu bila bi montaža potpuno novih postrojenja na bioenergiju, što uključuje rušenje stare tvornice ili postrojenja. Potencijalne prednosti retrofita mogu biti manji kapitalni izdaci (CAPEX), kraće vrijeme isporuke, brža implementacija, manji gubici u vremenu proizvodnje i manji rizici.

Međutim, u praksi retrofit uveliko ovisi o vrsti industrije i ciljevima. Postupak retrofita može se karakterizirati sljedećim parametrima:

- **Vrsta i veličina industrije:** Vrsta i veličina industrije utiču na mnoge čimbenike retrofita, poput tehnologije, finansiranja, ciljeva itd.
- **Temeljni proizvod industrije:** Biomasa koja se koristi za retrofit može se koristiti kao procesna energija u industriji (npr. u sektoru celuloze i papira) ili može predstavljati proizvod same industrije (npr. biogoriva druge generacije).
- **Broj implementacionih koraka retrofita:** Retrofit može biti jedan projekat koji se provodi u relativno kratkom vremenu, ili može biti postupak u više koraka koji uključuje različite pojedinačne projekte.
- **Kompletност retrofita:** Retrofit može biti cijelovit prelazak sa starog sistema na korištenje samo biomase ili može biti djelomični prelazak na sisteme biomase.
- **Vremenski okvir retrofita:** ovisno o veličini i vrsti industrije, retrofit se može provesti u vrlo kratkom vremenu (npr. u roku od jedne godine) ili unutar dugog vremenskog okvira (nekoliko godina).

Opći koraci retrofit postupka prikazani su pojednostavljeno na Slika 1. Ovisno o veličini mjere retrofita, njena primjena može biti veoma dugotrajna, dugotrajna i kapitalno intenzivna, posebno za velike projekte retrofita.



Slika 1: Pojednostavljena shema retrofit procesa

### 2.1 Uključeni sudionici

Retrofit većih industrija obično uključuje nekoliko sudionika unutar kompanije (interni sudionici) i sudionike koji su izvan kompanije. Potencijalno uključivanje i interes unutarnjih i vanjskih sudionika u postupku retrofita predstavljeni su Tabela 1 i Tabela 2. Posebna uloga građana i potrošača opisana je u poglavlju 2.2. Važno je identificirati relevantne sudionike za svaki proces retrofita i uključiti ih u pravoj fazi provedbe projekta: često je bolje uključiti ih što je prije

moguće i ne prekasno kako bi se predvidjeli ključni koraci za provedbu, kao i moguće prepreke koje je potrebno pravovremeno riješiti.

**Tabela 1: Interni sudionici uključeni u retrofit process**

<i>Interni sudionici</i>	<i>Uključenosti i interes u procesu retrofita</i>
<b>Vrh uprave kompanije (top menadžment)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Donose glavne odluke u kompaniji</li> <li>• Podrška menadžmenta retrofit projektima ovisi o cijelokupnim ciljevima kompanije</li> <li>• Moguće je da treba da se uvjere u prednosti retrofita</li> <li>• Retrofit može doprinijeti dobrom imidžu firme</li> </ul>
<b>Odjel za istraživanje i razvoj</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Često odgovoran za planiranje i provedbu retrofit postupka</li> <li>• Odgovorni za donošenje inovacija u kompaniju</li> </ul>
<b>Drugi odjeli</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ovisno o složenosti retrofita, moguća je potreba za uključivanjem nekoliko odjela preduzeća, poput odjela za finansiranje, nabavku, rad, tehnologije, pitanja zaštite okoliša, itd.</li> </ul>
<b>Operativno osoblje i tehničari</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tehničari i operativno osoblje trebaju doprinijeti sa svojim tehničkim znanjem i iskustvom.</li> </ul>

**Tabela 2: Eksterni sudionici uključeni u process retrofita**

<i>Eksterni sudionici</i>	<i>Uključenosti i interes u procesu retrofita</i>
<b>Donosioci politika i političari</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Define political targets and legislation which could affect the company</li> <li>• Benefit positively from industrial retrofitting as it contributes to political targets</li> <li>• Definirati političke ciljeve i zakone koji bi mogli uticati na kompaniju</li> <li>• Benefiti retrofita u industriji, jer doprinose i političkim ciljevima</li> </ul>
<b>Industrijska udruženja i industrijske lobističke grupe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uticati na političare, ali i odluke preduzeća</li> <li>• Može promovirati ili obeshrabriti aktivnosti po pitanju retrofita, ovisno o ciljevima udruženja / industrijske grupe</li> <li>• Zainteresovani su za pozitivnu sliku o industriji koju predstavljaju</li> </ul>
<b>Zaštitnici životne sredine, nevladine organizacije</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retrofit sa visokim doprinosom prepoznali su zaštitnici životne sredine</li> <li>• Snabdijevanje biogorivima mora biti održivo i izbjegavati negativne uticaje na okoliš</li> <li>• Retrofit sa malim doprinosom zaštitnici životne sredine mogu shvatiti kao „pranje zelenih površina“</li> </ul>
<b>Lokalne vlasti</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Odgovorni je za relevantne dozvole, neophodne za provođenje retrofit aktivnosti</li> <li>• Mogu pružiti podsticaje</li> </ul>

<b>Finansijski instituti, banke</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obezbijediti finansiranje (zajmovi)</li> </ul>
<b>Građani i potrošači</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zainteresovani za niske cijene ekološki prihvatljivih proizvoda (npr. kompanije za daljinsko grijanje žele svojim kupcima prodavati toplotu dobijenu iz biomase umjesto uglja)</li> <li>• Uticati na politike kroz izbor političara</li> </ul>
<b>Isporučiocи tehnologija</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kjučni su za implementaciju retrofit projekata</li> <li>• Žele prodati svoje tehnologije: zainteresovani su za pružanje dobrih usluga za razvoj dobre reputacije i rad bez problema</li> </ul>
<b>Vanjski savjetnici i stručnjaci (kompanije, univerziteti itd.)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presudni su u procesu retrofita, ako industriji nedostaje stručnosti ili ako je vanjska stručnost jeftinija od interne</li> <li>• Želite prodati svoje konsultantske usluge</li> <li>• Za odobrenje tehnologije mogu biti potrebni posebni savjetnici (npr. u vezi sa pitanjima sigurnosti)</li> </ul>
<b>Javna štampa i mediji</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zainteresovani su za priče o uspješnim retrofit projektima</li> <li>• Mogu prenositi informacije u javnost i tako doprinijeti pozitivnoj slici</li> </ul>

## 2.2 Uloge građana i potrošača

Klimatske promjene, gubitak biološke raznolikosti ili emisije stakleničkih plinova posljednjih su godina stekli značajnu društvenu, političku i medijsku pažnju. To je rezultiralo postepenim povećanjem svijesti javnosti o nedostacima i granicama ekonomije koja se temelji na fosilnim gorivima. Alternativna bioekonomija ima za cilj zamjenu fosilnih goriva korištenjem obnovljive biomase u proizvodima i energiji. U širem kontekstu bioekonomije dolazi do pomaka paradigmе koja se razvija prema načinu proizvodnje i potrošnje koji se odgovornije ponašaju prema planeti. Ovdje se posebno ističe Održivi Razvojni Cilj 12, koji se fokusira na odgovornu potrošnju i proizvodnju kroz, između ostalog, promovisanje efikasnosti resursa i energetske efikasnosti.

Obzirom na to da su prakse retrofita i njihove ekonomske prednosti i zasluge u održivosti centralne, važno je shvatiti i da industrije ne djeluju u društvenom vakuumu. Pored dimenzija *Profita i Planete, Trostruki P* je zaokružen sa *Populacijom*. Ideja Trostruki P sugerire da su inovativne prakse retrofita posvećene boljem iskorištenju ne-fosilnih goriva više nego samo poboljšanju tehnološke izvedivosti i ekonomske održivosti. Retrofit, dakle, nije samo stvar uspješnosti poslovanja i smanjenja uticaja na okoliš, već i društvene odgovornosti i prihvatanja javnosti. Važno je istražiti da li i kako retrofit aktivnosti doprinose ciljevima efikasnosti (Profita) i održivosti (Planeta), a također je važno istražiti da li i u kojoj mjeri se inicijative i investicije u retrofit mijere društveno cijene ili ih **građani-potrošač**<sup>4</sup> smatraju društveno i moralno odgovornim (Populacija).

<sup>4</sup> Kroz ovo poglavlje prvenstveno koristimo riječ **potrošač**, a povremeno je koristimo i naizmjenično s građaninom-potrošačem. Pod pojmom potrošača ovdje se misli na sinonim za građane ili opću javnost. Svjesni smo da se pojmovi potrošač i građanin često interpretiraju kao binarni par i definišu u skladu sa različitim behavioralnim motivima i ciljevima - potrošači su prikazani kao individualistički i kratkoročno orijentisani, dok se prototipični građani predstavljaju kao više kolektivističke prirode i

Doduše, ta društvena perspektiva bioekonomije još nije glavna i lako je shvaćena kao dalekovidna („Koja je veza između opšte javnosti i retrofit prakse u bioenergetskim postrojenjima?“). Sljedeći odjeljci, međutim, pružaju nekoliko argumenata i razmatranja koja ilustriraju da je uzimanje u obzir potrošača važno za daljnji razvoj rastuće bioekonomije, kao i za bioenergetski retrofit.

### 2.2.1 Važnost potrošača u bioekonomiji

Nekoliko je argumenata korisno u zagovaranju važnosti potrošnje i potrošača u vezi sa zelenim ekonomijom.

Živimo u potrošačkom društvu koje karakterizira ekonomski, socijalni i kulturni značaj potrošnje. Ekonomski rast i prosperitet izuzetno ovise o **nivoima potrošnje**. Socijalno-kulturni značaj potrošnje očituje se u identitetu i simboličkoj vrijednosti robe široke potrošnje za savremene ljude: „vi ste ono što kupujete“. Obzirom na ključnu ulogu potrošnje u današnjem društvu, čovek se može staviti van stvarnosti kada je potrošnja zanemarena. Zato, kako bi bioekonomija uspjela, podržavajući potrošački angažman ne smije se zanemariti. Kao rezultat prihvatanja javnosti i legitimite, potrošači i društvo pružaju kompanijama dozvolu za rad. Opće tendencije poput povećane pažnje kompanija prema društvenoj odgovornosti preduzeća (CSR – engl. corporate social responsibility), rješavanje društvenih izazova, kao i prepoznavanje u poslovnim krugovima da je društvena podrška ključna za ekonomsku održivost, možda su još važnije u slučaju izgradnje nekonvencionalne bioekonomije koja ima za cilj zamjenu dobro poznate ekonomije koja se temelji na fosilnim gorivima. Stvaranje alternative konvencionalnom pristupu podrazumijeva konfrontaciju i otpor, tranzicija nikada nije jednostavna. Istraživačka usredotočenost na pozicije koje potrošači zauzimaju i na puteve koje vole da slijede u bioekonomskoj tranziciji stoga je dodana vrijednost našem razumijevanju društvenih temelja na kojima počivaju. Angažiranje potrošača moglo bi poslužiti kao katalizator ili ozbiljan izazov za “ozelenjivanje” ekonomije i bioenergetskog retrofita kao dijela ove tranzicije.

Drugi argument da se ne izgube iz vida potrošačke preferencije i prioriteti može se naći u ideji da tranzicija nije samo pitanje tehnoloških inovacija, već i društvene posvećenosti i promjena ljudskog ponašanja.

Vainio i dr. (2019.) izričito su podijelili stavku „priroda promjena“ na **tehnološku promjenu** s jedne strane i **promjenu načina života** s druge. Tehnološke promjene i promjene načina života nisu nužno u suprotnosti i često su međusobno povezane. Međutim, pravljenje razlike među njima pokazuje jasnije što građani-potrošači vjeruju da bi mogli učiniti sami i šta bi bioekomska tranzicija mogla značiti u smislu tehnoloških mogućnosti i posljedica. Ovaj rad nudi inspiraciju za ideju da istraživanje orijentirano na potrošača ima smisla kada je u pitanju tranzicija u bioekonomiji. To pomaže da se bioekomska tranzicija sagleda šire i da se shvati da se ne radi samo o preuzimanju mjera efikasnosti, već da se u konačnici ima za cilj pozitivan uticaj na “ozelenjivanje” sistema proizvodnje i potrošnje. Prema tome, građani-potrošači su učesnici u ovom procesu, imaju mišljenja i vizije o njemu i važni su sudionici u pružanju potrebnog legitimite i podrške bioekonomiji.

Iako ove izjave u posljednje vrijeme dobivaju odobrenje, u bioekonomiji i diskursima cirkularne ekonomije još uvijek nije uobičajeno usredotočiti se na **ponašanje potrošača** i njihov angažman. S druge strane, mora se shvatiti da su rasprave prije svega usmjerene na tehnologiju i usredotočene na tehnološke inovacije. Tranziciji na fosilna goriva bazirane ekonomije u održiviju ekonomiju još se prije svega pristupa kao pitanju poboljšanja proizvodnje i/ili logističkih procesa. Rekavši to, među akademicima i donosiocima politika u posljednje

---

uglavnom uzimaju u obzir dugoročne posljedice svog ponašanja i odabira. Pojam građanin-potrošač se u znanstvenoj literaturi koristi za nijansiranje ili neutraliziranje ove podjele. U ovom poglavlju se nećemo temeljito baviti time, već ćemo jednostavno napomenuti da kada koristimo pojam angažman potrošača, svako je slobodan da to čita kao građanski ili javni angažman.

vrijeme se sve više ističe da su potrošači dio te tranzicije. Potrošače doživljavaju u svjetlu društvene osnove za "ozelenjivanje" ekonomije, ili radi njihove kupovne moći da kupuju „zelene“ proizvode. Potrošači se obično smatraju prilično pasivnim akterima, a ne proaktivnim agentima promjena. Ukratko, sve se više vjeruje da potrošači imaju svoju ulogu, ali ostaje često nejasno kakav je zapravo njihov doprinos tranziciji i kakav on može biti (vidjeti također Kirchherr i dr., 2017). To ne znači da se devalviraju nedavni pokušaji uključivanja potrošača i potrošnje, posebno u kružnu ekonomiju (Sijtsema i dr., 2020).

## 2.2.2 *Percepcija i segmentacija potrošača*

U nedavnim studijama o potrošačima u području bio-temeljene ekonomije zaključeno je da **percepcije potrošača** o bio-temeljenoj ekonomiji općenito i nekoliko konkretnih potrošačkih dobara utemeljenih na biološkoj osnovi nisu jasne, da su nedvosmislene i nisu stabilne (Onwezen i dr., 2017; Pfau i dr., 2017; Sijtsema i dr., 2016). Ovakve studije sugeriraju da mnogi potrošači nisu upoznati s bioekonomijom, nerazumiju je ili imaju nejasne predodžbe u vezi s tim. Sve u svemu, dosadašnja istraživanja pokazuju da postoji jaz između percepcije potrošača i bioekonomskog preokreta. U tom pogledu izgleda da se nije mnogo promijenilo od ranije studije koja je ukazivala na „nedostatak znanja i adekvatan protok informacija; i nedovoljne percepcija i prihvatanja“ kao glavnog netehničkog izazova u domenu zasnovanom na biološkoj osnovi (Rösch i Kaltschmitt, 1999: 347). Obzirom na trenutnu situaciju u kojoj bioekonomija ne predstavlja glavnu brigu potrošača, informisanje i podizanje svijesti i dalje su preduslovi za uspostavu potrošačke posvećenosti. Informacije i uključenost neophodni su koraci za potrošače kako bi postali stvarni pokretači bioekonomije.

Očekuje se da se potrošači razlikuju u svom angažmanu i entuzijazmu kako bi podržali "ozelenjivanje" ekonomije. Ljudi se često nerado mijenjaju i više vole stvari kakve sui bile ranije (vidjeti npr. Kahneman & Tversky, 1979., ili Samuelson & Zeckhauser, 1988. za ranije studije). Ova takozvana **pristranost statusu quo** dovoljno je razumljiva kada se shvati da promjene mogu podrazumijevati više neizvjesnosti, nepredvidivosti, rizika, troškova i napora.

Za razliku od ove prirodne negativne percepcije, promjene se mogu odnositi i na **pozitivne percepcije** poput privlačnosti, uzbudjenja, poboljšanja i vrijednosti. Potrošači su također zainteresovani za novosti i vjeruju u napredak. S tim u vezi, kategorije posvojitelja prema Rogersu (1962.) još su poučne. Razlikovano je pet kategorija, od inovatora i ranih korisnika (vizionara), do rane većine i do kasne većine, i na kraju onih koji zaostaju. Prvi su osjetljivi na inovacije. Inovatori i rani korisnici koji su spremni i sposobni su da se nose sa nesigurnostima i da preuzmu rizike koji prate inovacije. Za razliku od ovih avangardnih vođa, angažman i podrška kasnih većina i onih koji zaostaju u inovacijama je niska i spora. Daljnja razlika može se izvršiti između urođene inovativnosti, koja se može definirati kao osobina ličnosti koja odražava urođenu sklonost pojedinca da traži nova iskustva (Hirschman, 1980.), i inovativnosti specifične za domenu, koja obuhvata predispoziciju pojedinca prema određenim domenima interesa i odražava tendenciju brzog usvajanja novih proizvoda ili ideja iz ove domene (Bartels & Reinders, 2011; Goldsmith & Hofacker, 1991). Inovativnost koja se odnosi na domenu često je usko povezana sa uključenošću i poznavanjem određene domene proizvoda. Na primjer, neki pojedinci su jako zainteresovani za tehnološke uređaje, dok drugi pokazuju interes za hranu, automobile ili kućanske aparate, samo nekoliko primjera.

Obje sklonosti mogu se smatrati dvjema temeljnim ljudskim tendencijama: **neofibija** (tj. strah od noviteta) i **neofilija** (tj. poriv za novitetom). Kao rezultat, ljudi se izmjenjuju između prihvatanja i izbjegavanja inovacija. Takva izmjena može izazvati ambivalentne osjećaje koji utjiču, na primjer, na osjetljivost ljudi na uočene rizike ili neprirodno inovativne proizvodne procese ili utjiču na njihovu namjeru kupovine i konzumacije krajnjih proizvoda proizvedenih tehnološkim inovacijama. To se direktno odnosi na drugi aspekt mišljenja potrošača i reakcije na inovacije.

Pored neofibijskog oklijevanja i neofilijskog prihvatanja inovacije, moglo bi biti relevantno napraviti razliku između **inovativnih proizvodnih procesa i inovacija utjelovljenih u novim proizvodima široke potrošnje**. Posljednje će u pravilu biti konkretnije za potrošače i pružiti im mogućnost kupovine i korištenja tih proizvoda. Inovacije koje se odnose na tehnološke proizvodne procese općenito će biti apstraktnije za potrošače i/ili im pružati utisak da je uloga koju mogu igrati manje uticajna. Što se tiče angažmana potrošača i prihvatanja retrofita, čini se da je važno imati na umu i ovu razliku. Retrofit se, prije svega, odnosi na inovacije proizvodnih procesa, a ne na potrošačke proizvode. To, u principu, odvraća potrošače od inicijativa za retrofit.

Šira svrha retrofita je održivost, te je prema tome angažiranje potrošača potrebno promatrati sa stajališta **održive potrošnje**. Ovo cvjetajuće polje istraživanja rezultiralo je obilnim dokazima da potrošački izbori nisu samo vođeni egocentričnim, cjenovno osviještenim ili motivima fokusiranim na udobnost, već da su potrošači često svjesni mogućih štetnih posljedica koje bi njihovi izbori mogli imati, svjesno uzimaju u obzir ekološke ili društvene faktore i nastoje usvojiti odgovarajući stil "zelene" potrošnje.

Utvrđeno je da se potrošačka posvećenost održivosti razlikuje i mogu se razlikovati različiti segmenti potrošača. Na primjer, studija segmentacije okoliša koju je napravila Defra (2008.) pronašla je sedam klastera s različitim uvjerenjima o pitanjima zaštite okoliša i ponašanju prema okolišu. Segmenti pokrivaju *Pozitivno zelene* i *Zabrinute potrošače* na „zelenoj“ strani i *Oprezne učesnike* ili *liskreno isključene* na niskom potencijalu i nevoljnjo „ne zelenoj“ strani spektra.

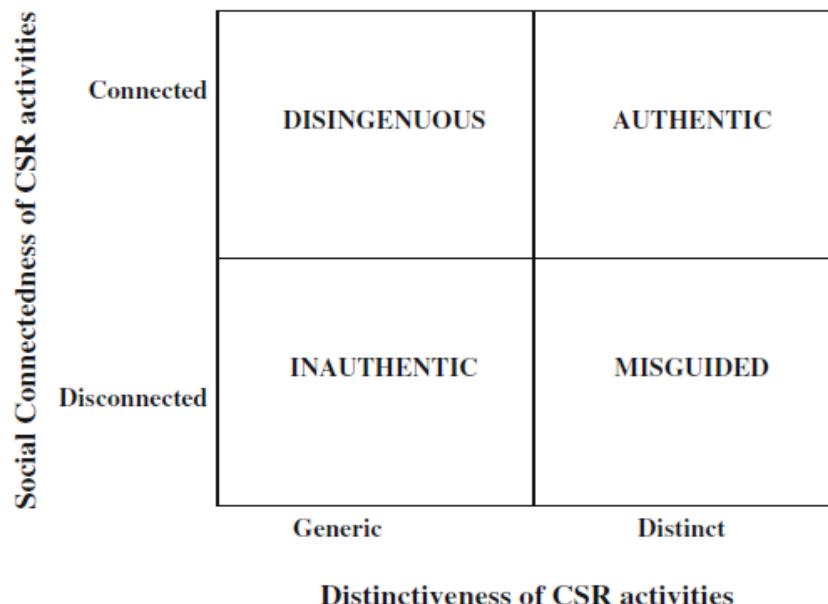
### 2.2.3 Istraživanje uloge potrošača u procesima retrofita

U ovom je poglavlju opisano kako se istražuje interes potrošača i podrška za zelenu ekonomiju te, konkretnije, napor u retrofitu bioenergijom. Pristup se zasniva na preferencijalima i prioritetima ljudi u pogledu održivosti, tehnoloških inovacija i odgovornosti industrije za "ozelenjivanje" ekonomije. Važno je istražiti šta potrošači lično smatraju važnim i vrijednim (Koliko su „zeleni“ sami potrošači?), te šta potrošači očekuju od industrije, kao i vjeruju li društvenoj odgovornosti poslovnih politika kompanije (Koliko potrošači žele da kompanije budu odgovorne i pouzdane u "ozelenjivanju" ekonomije?).

Odobravanje i prihvatanje potrošača može se ispitati procjenjivanjem povjerenja i nepovjerenja potrošača i njihove percepcije prema "zelenom pranju" kompanije (Cho, 2006.; Leonidou i Skarmeas, 2017.). Od potrošača se može tražiti da odgovore na izjave kao što su:

- Kompanije (s riječima ili vizualizacijom) dovode u zabludu oko ekoloških značajki svojih proizvodnih praksi ili krajnjih proizvoda.
- Kompanije daju nejasne ili naizgled nedokazive ekološke tvrdnje za svoje metode proizvodnje.
- Kompanije pretjeruju ili preuveličavaju ekološke karakteristike svojih proizvodnih procesa.
- Kompanije izostavljaju ili skrivaju važne informacije o stvarnim ekološkim karakteristikama svojih proizvodnih procesa.
- Kompanije promovišu koristi potrošača, kao i svoje vlastite koristi.
- Kompanije posluju odgovorno i pouzdano.

To se može dalje istražiti uzimajući u obzir okvir Mazutis & Slawinski (2015.) u kojem su definisane dvije dimenzije autentičnosti CSR aktivnosti, prepoznatljivost i društvena povezanost (Slika 2). Oni opisuju percepciju sudionika o društveno odgovornom poslovanju (CSR).



**Slika 2.** Percepcija autentičnosti napora CSR (Mazutis i Slawinski, 2015.: 144)

Iako je ova konceptualizacija uglavnom razvijena za CSR napore, može biti korisna u konkretnim slučajevima bioenergetskog retrofita. Čini se da je za **prihvatanje javnosti** i angažman potrošača od značajne važnosti da li neka industrija **komunicira** ili ne - i dokazuje u praksi - jasno da su njene aktivnosti retrofita dio društvene odgovornosti industrije i da ne se poduzimaju radi vlastitog poslovnog interesa, već viših ciljeva. S druge strane, nije teško zamisliti da simpatije potrošača i podrška naporima retrofita neke industrije olakšava poslovna strategija koja izričito govori o njenoj opredijeljenosti i povezanosti za rješavanje društvenih izazova. Iz ove perspektive, industrija će se smatrati pouzdanim ako su društvene odgovornosti preduzeća dio identiteta kompanije i izražene u poslovnim odlukama (autentično). Inicijative za bioenergetski retrofit bez javne komunikacije mogu bi dovesti do cinizma i sumnje među potrošačima (nepoštenih). Poslovne aktivnosti koje nisu fer, pravedne, transparentne ili održive u društvenom kontekstu, smatraju se nepoštenim ako pripadaju temeljnim vrijednostima i svrsi kompanije (pogrešno vođene). Kompaniju koja se izričito povezuje s CSR-om, a da to ne shvataju ozbiljno u poslovnoj praksi, osim što će donijeti izolirane odluke o očuvanju svoje reputacije ili „filantropske prirode“, potrošači će negativno ocjenjivati u smislu “zelenog pranja” (neistinitog).

Percepcija potrošača također ovisi o **anonimnosti** nasuprot **poznavanju** industrije koja primjenjuje bioenergetski retrofit. Potrošači koji žive u blizini i koji su možda čak ekonomski ovisni o industrijskom postrojenju u kojemu je implementiran bioenergetski retrofit, mogu reagovati drugačije od onih za koje je retrofit apstraktan i dalek fenomen. Uz to, percepcija potrošača ovisi o tome da li se i u kojoj mjeri percepcija i prioriteti potrošača razlikuju obzirom na različite industrije koje su uključene. Na primjer, da li potrošači imaju veća očekivanja što se tiče celulozne i papirne industrije ili vjeruju da, na primjer, fosilne rafinerije imaju obavezu da preuzmu vodeću ulogu u “ozelenjivanju” ekonomije?

### 2.3 Motivacija za retrofit

Motivacija industrija za ulaganje u retrofit može biti višestruka. Industrije se moraju pridržavati zakona i moraju biti ili ekonomski profitabilne, ili barem ne bi trebale stvarati gubitke. Javna preduzeća ponekad ne smiju ostvarivati profit, dok privatne kompanije obično žele ostvarivati

profit koji se dijeli među vlasnicima kompanija, ili koji se ponovno ulaže da bi posao mogao rasti.

Pored toga, sljedeći strateški ciljevi mogu biti važni kompanijama da se odluče za bioenergetski retrofit:

- Dugoročni rast tržišta
- Tehnološko liderstvo
- Kratkoročna profitabilnost
- Finansijski povrat za vlasnike
- Sigurnost lokalne opskrbe sirovinama
- Pitanja zaštite životne sredine

### 2.3.1 *Usklađenost sa zakonodavstvom*

Budući da se industrije moraju pridržavati zakonodavstva, svaka zakonska mjera može biti vrlo moćan alat za motiviranje industrija za bioenergetski retrofit. **U istraživanjima se čak navodi da je zakonodavstvo glavni razlog retrofita** (Nuhoff-Isakhanyan i dr., 2019.). Pravni aspekti za bioenergetski retrofit opisani su u izveštaju BIOFIT-a „Okvirni uslovi za retrofit evropske industrije bioenergijom“ (Rutz et al., 2019.).

Ako se ne uzmu u obzir **eksternalije**, upotreba fosilnih goriva obično je vrlo jeftina. U prošlosti, pa čak i danas, fosilna energija često se podržava, bilo direktno ili indirektno, zanemarivanjem eksternalija. Vlade uglavnom imaju mandat da osiguraju uključivanje eksternalija u konačne cijene industrijskih usluga i proizvoda. Stoga bi mogli donijeti odgovarajuće zakonodavstvo koje bilo zabranjuje energiju iz fosilnih goriva, uključujući vanjske troškove, npr. kroz poreze na CO<sub>2</sub> ili kroz podršku obnovljivim izvorima energije. Pariškim sporazumom o ublažavanju klimatskih promjena nekoliko vlada u Evropi nedavno je razvilo takvo zakonodavstvo kojim postepeno idu prema ekonomiji koja ne uključuje ugljik. Općenito, prepoznato je da su važni koraci ka većoj održivosti obično povezani sa uvođenjem odgovarajućih zakona.

Konkretni primjer primjerenog zakonodavnog sredstva mogao bi biti **oporezivanje emisija CO<sub>2</sub>**. Radi manjih emisija, cijene biomase bi mogle biti niže u poređenju s cijenama uglja. Drugi primjer je postepena zabrana upotrebe fosilnih goriva, koju primjenjuju neke evropske vlade.

### 2.3.2 *Ekonomski pitanja*

**Direktne ekonomске koristi** mogu biti važna motivacija za retrofit bioenergijom. To je slučaj ako su kapitalni izdaci (CAPEX) za tehnologiju i operativni troškovi (OPEX) za upotrebu biomase jeftiniji od upotrebe postojeće tehnologije tokom čitavog životnog vijeka tehnologije. Ove ekonomski koristi mogu nastati zbog povećane efikasnosti nove opreme ili zbog nižih cijena sirovina.

Prepreka za bioenergetski retrofit je relativno **visok CAPEX** instalacija u odnosu na fosilne tehnologije. To se može ublažiti vladinim podsticajima.

OPEX ovisi o cijenama fosilnih i obnovljivih sirovina, što je teško predvidjeti. U studiji (Nuhoff-Isakhanyan i dr., 2019.) nekoliko je sudionika spomenulo da niži porez na biomasu u poređenju s porezom na ugalj stvara mogućnost provođenja retrofita. U studiji je čak spomenuto da neki projekti ne bi bili izvedivi bez poreza na CO<sub>2</sub>.

**Neizravne ekonomski koristi** povezane su s povećanom potražnjom za održivim proizvodima ili boljim imidžom industrije korištenjem obnovljivih izvora energije. Pri tome je važno koristiti retrofit mjere samo sa velikim poboljšanjima zaštite okoliša u marketinške svrhe, jer bi se u protivnom moglo smatrati „zelenim pranjem“ što bi moglo imati suprotan uticaj, stvarajući negativan imidž na industriju.

### 2.3.3 Strategije za ublažavanje rizika

Svaka promjena tehnologija može donijeti dodatne rizike, ali potencijalno može umanjiti i rizike. Sljedeća lista opisuje nekoliko rizika koji bi se mogli uzeti u obzir u bilo kojim projektima retrofita:

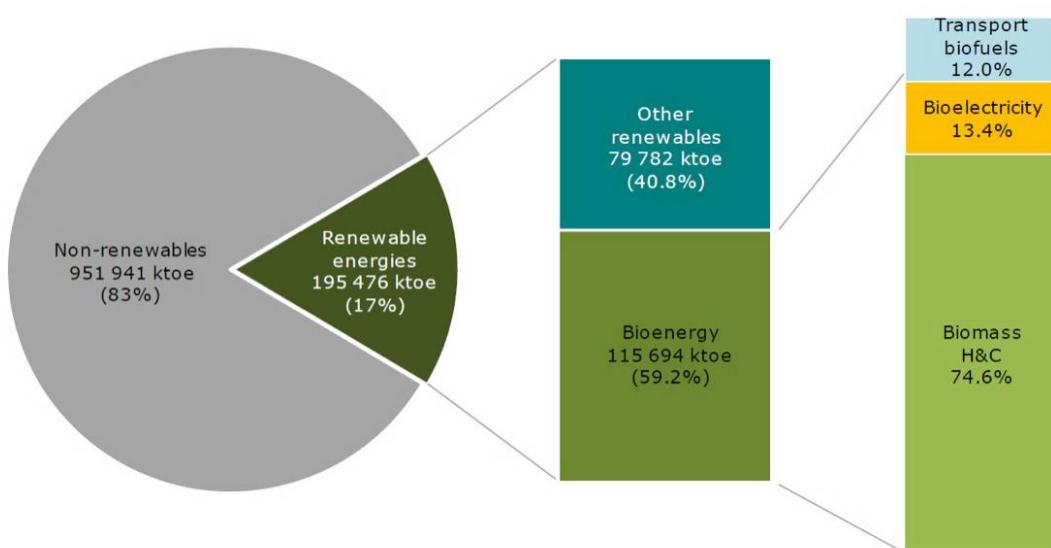
- **Fluktuirajuće cijene biomase:** Što se više biomasa koristi u bioenergetske svrhe, to je veća i konkurenčija za biomasu. Ovo bi moglo povećati cijene biomase u budućnosti. S druge strane, što se više koristi biomasa, to je bolja logistička infrastruktura koja bi mogla dovesti do nižih cijena biomase.
- **Fluktuirajuće cijene fosilne energije:** Fosilni resursi (nafta, plin, ugalj) smanjuju se radi njihove upotrebe. Očekuje se da će se cijene dugoročno stalno povećavati, ali s otkrićem novih nalazišta, kratkoročne cijene mogu stagnirati ili čak pasti.
- **Sigurnost opskrbe sirovinama iz biomase:** Snabdijevanje sirovinama iz biomase treba osigurati što je moguće više dugoročnim ugovorima.
- **Sigurnost opskrbe fosilnom energijom:** Potrošnja fosilnih rezervi može povećati rizik opskrbe fosilnim gorivima.
- **Osjetljivost i pouzdanost tehnologije:** Tehnologije biomase mogu biti pouzdane kao i tehnologije fosilne energije, ali to ovisi o samoj tehnologiji i treba je procijeniti pojedinačno za svaku tehnologiju.
- **Rezervna oprema:** Za bilo kakve energetske instalacije, mogu biti potrebni rezervni sistemi za ublažavanje rizika od kvara.
- **Promjene sigurnosti:** Pitanja sigurnosti moraju postati visoki prioritet u bilo kojem projektu retrofita. Ovisno o zamijenjenoj tehnologiji i novoj tehnologiji biomase, sigurnosni rizici (npr. opasnost od eksplozije) mogu se povećavati ili smanjivati.
- **Ovisnosti o drugim industrijama:** Svaka ovisnost o drugim industrijama stare ili retrofit tehnologije može imati različite rizike.
- **Razmatranje ostalih obnovljivih izvora energije koji se ne baziraju na sirovinama:** Bilo koja druga tehnologija obnovljivih izvora energije koja ne zavisi od materijala kao ulaza, poput solarne toplotne energije, fotonaponske energije, energije vjetra, trebalo bi razmotriti u svrhe dopune tehnologija biomase.
- **Promjena politika:** Politike se trenutno više mijenjaju u korist obnovljivih izvora energije nego u korist fosilnih goriva. Generalno, retrofit industrije s biomasom trenutno je mjera za smanjenje rizika od promjena politike.

### 3 Izvori bioenergije za industriju

#### 3.1 Potencijal biomase

U EU28, **poljoprivreda** je najveći sektor opskrbe biomasom<sup>5</sup> s relativnim udjelom od oko 65% (od 13% u Finskoj do 90% u Grčkoj, Malti, Mađarskoj i Kipru), a slijedi **šumarstvo** s 34% udjela suhe tvari (od 8% na Malti do 87% u Finskoj). Relativna udio sektora **ribarstva** je prilično mali (manje od 1%). U poljoprivredi, usjevi predstavljaju gotovo 62% opskrbe biomase sa sakupljenim ostacima usjeva (23%) i ispašnom biomasom (15%). Dominantni izvor **šumske** biomase je primarna drvna biomasa koja čini gotovo 70% ukupnog iznosa (Gurría i dr. 2017.).

Bioenergija se dobija iz širokog spektra sirovina, kao što je biomasa iz poljoprivrede, šumarstva i druge vrste ostataka i otpada biomase. Šumarstvo je glavni izvor biomase za energiju. Bioenergija i dalje ostaje glavni izvor obnovljive energije u EU u smislu bruto finalne potrošnje, kako to prikazuje Slika 3 (Scarlat et al., 2019.).



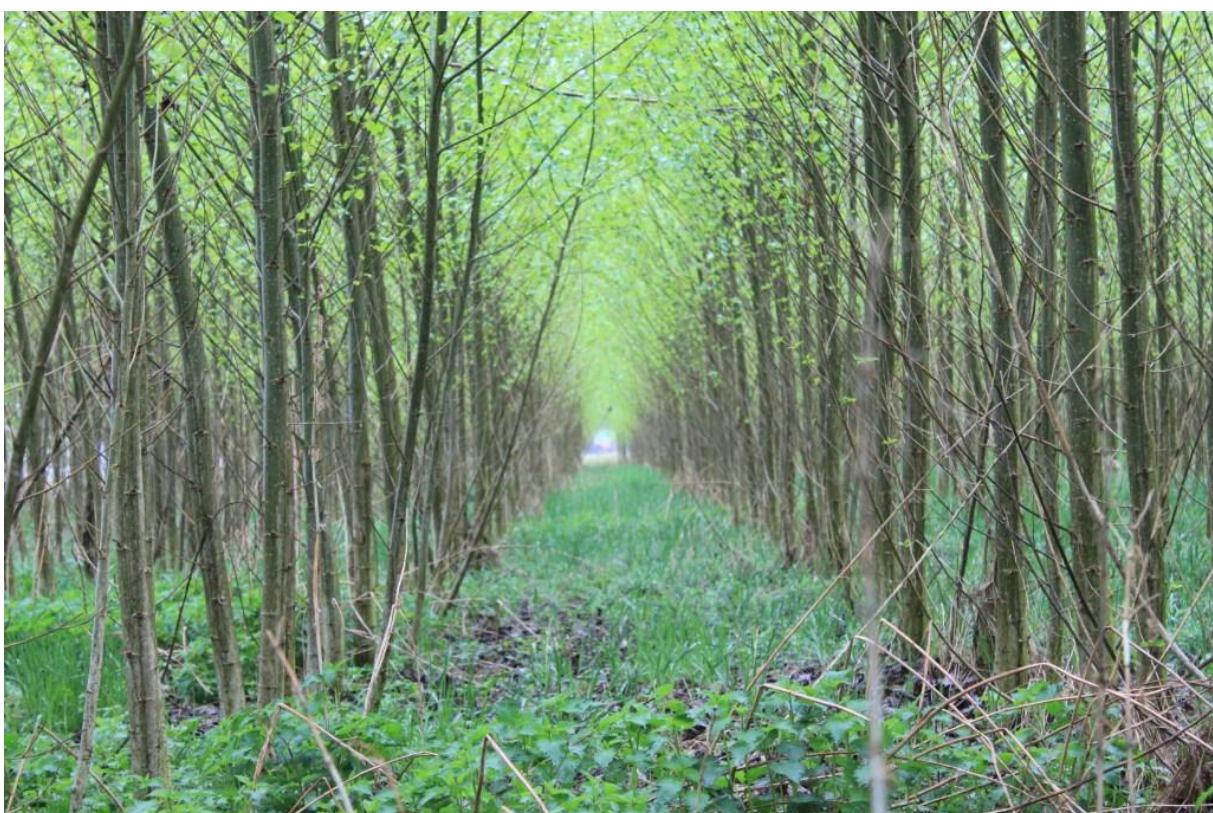
Slika 3: Udio obnovljivih izvora u bruto finalnoj potrošnji energije u EU za 2016. i analiza doprinosa bioenergije (Scarlat et al., 2019.).

Ukupna opskrba europske **poljoprivredne biomase** iznosi otprilike 765 milijona tona suhih ekvivalenta biljne biomase, podijeljeno kako slijedi (Gurría i dr. 2017.):

- Proizvodnja usjeva procjenjuje se na 478 milijona tona suhe tvari ( $t_{dm}$ ) biomase u EU-28 za 2013. godinu (tj. približno 2 milijarde tona svježe biomase).
- Sakupljeni ostaci usjeva daju dodatnih 100 miliona  $t_{dm}$  biomase.
- 19 miliona tona biomase dobiveno je iz ispaše pašnjaka i livada.
- Oko 10 miliona dodatnih tona suhe materije biljnih usjeva moglo bi se sakupiti bez ometanja proizvodnje ekosistemskih usluga kao što su očuvanje ugljika u tlu, održavanje plodnosti, zadržavanje vode itd.
- Uvozi se oko 67 milijuna  $t_{dm}$  ekvivalenta biljne biomase, 53% u obliku usjeva (neproizvedenih), 25% u obliku prehrambenih proizvoda, a ostatak u obliku biomaterijalnih proizvoda (oko 22%).

<sup>5</sup> uključujući biomasu za hranu, prehranu za životinje, proizvode i energiju

U poljoprivredi, glavni izvori primarnih ostataka potiču od obradivih kultura (usjeva) u obliku slame i održavanja trajnih usjeva poput voća i drveća sa bobicama, orašastih plodova, maslina, vinograda i agruma. **Slama** - kao nusproizvod proizvodnje žitarica - potencijalna je sirovina za proizvodnju energije. Slama se obično ostavlja na terenu kao gnojivo ili se koristi kao leglo, a zatim kao gnojivo u smislu kružne ekonomije. Ostavljanje slame na polju nudi mnoge prednosti, među ostalim, opskrbu hranjivim tvarima i stvaranjem humusa. Međutim, kad pšenica prati uljanu repicu, berba slame mogla bi biti korisna jer manje biljnog materijala ostaje na polju da truli. Stoga se mora odlučiti za svaki pojedinačni slučaj, ima li smisla i upotreba slame. Nadalje, bilans hranjivih sastojaka mogao bi se poboljšati recirkulacijom pepela od slame ili drvenim pepelom kao đubrivotom, ako je to zakonski dozvoljeno (npr. u Švedskoj).



Slika 4: Brzorastuća šikara sa stablima topole (Izvor: Rutz D.)

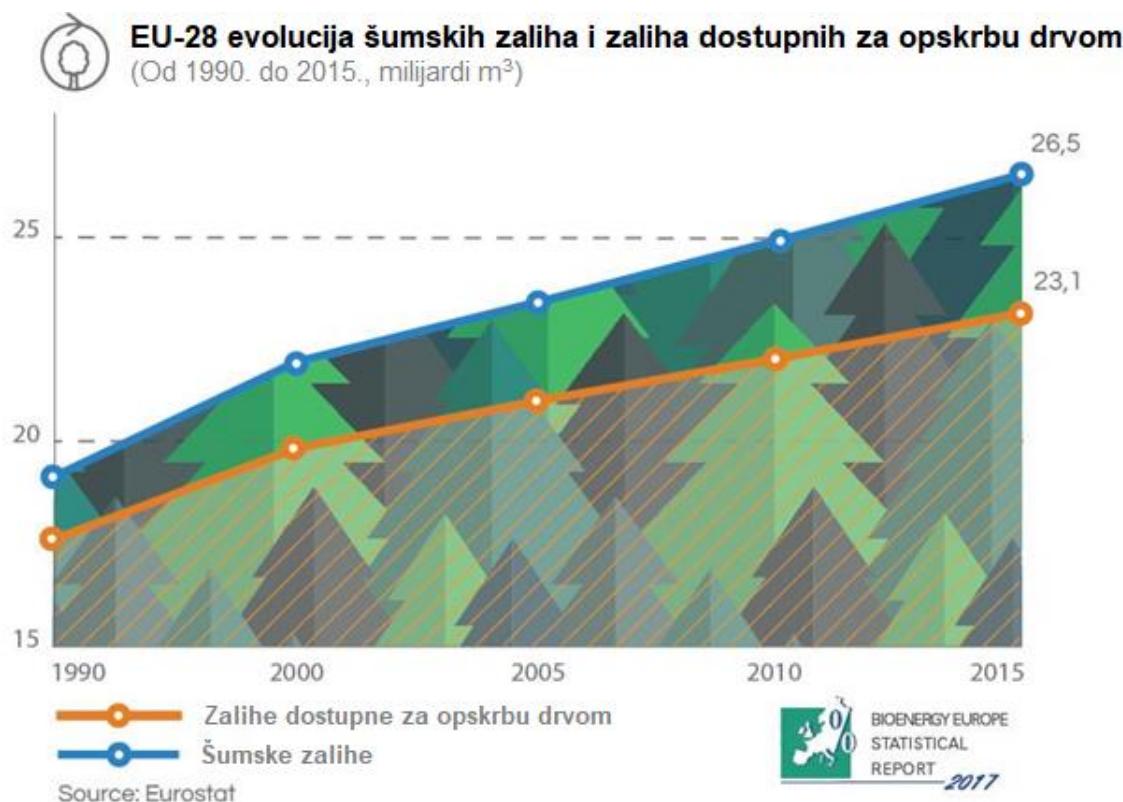
Nadalje, **brzorastuća šikara** (SRC) (Slika 4) i namjenski energetski usjevi mogu predstavljati obećavajuću sirovinu za proizvodnju bioenergije. Upravljanje SRC-om na obradivom zemljištu je opsežan oblik korištenja zemljišta radi male potražnje gnojiva i pesticida u poređenju s drugim usjevima. Vrste drveća koje brzo rastu (vrbe, topola, paulovnija, robinia itd.) mogu se koristiti kao energetski usjev u višegodišnjim ciklusima žetve. Vrijeme rotacija (razdoblje ciklusa berbe) ovisi o grupi sadnje, intenzitetu upotrebe, namjeravanoj upotrebi sirovine i danim uslovima na zemljištu. Kad drveće bude spremno za žetvu (nakon dvije do osam godina), sječe se, usitnjava i transportuje. Neke se vrste mogu koristiti i na osiromašenim zemljištima kao npr. za rekultivaciju površina bivših rudnika uglja. Na primjer, robinia (*Robinia pseudoacacia*) je vrlo pogodna vrsta drveća za suha zemljišta sa niskim sadržajem ugljika.

**Namjenski energetske usjevi** poput miscanthusa također imaju vrlo male potrebe za gnojivom. Njihov uzgoj i žetva mogu biti slični ostalim poljoprivrednim kulturama. Međutim, površina koja se trenutno obrađuje namjenskim višegodišnjim energetskim usjevima u EU28

ograničena je na 117,401 ha, a uključuje uglavnom topolu, vrbu i miscanthus (Bioenergy Europe, 2019.).

**Šumska biomasa** u EU28 ukupno se procjenjuje na gotovo 370 miliona t<sub>dm</sub>. Ukupni procijenjeni odvoz iz šume primarnog drva u EU28 iznosi oko 252 miliona t<sub>dm</sub>, dok se neto uvoz okruglog drva procjenjuje na oko 6,8 miliona t<sub>dm</sub>. Ostaci iz šuma činilo je 78.6% industrijskog okruglog drveta i 21.4% ogrjevnog drveta. Procjenjuje se da se drvo za ogrjev sastoji od 33% drveća stabljike i 67% ostalih drvnih komponenti (grane, krošnje). Pored količina koje su klasificirane kao ogrjevno drvo, ukupna količina drvne biomase koja se koristi za energiju u bilansi drvnih resursa uključuje i sekundarne ostatke od prerađe drveta, crnih pića, ostataka izvan šuma, uvezenih sekundarnih ostataka i drvene pelete, ostaci nakon upotrebe drveta i također dio drvene celuloze klasificiran kao industrijsko okruglo drvo. Neto uvoz nusproizvoda i dodatnih proizvoda (uključujući drvene pelete) iznosi oko 8 miliona tona suhe tvari, dok neto uvoz drvene pulpe iznosi 13 miliona tona (Gurría i dr. 2017.).

U 2015. godini, **šuma i šumovita površina** u EU28 iznosila je približno 181 miliona ha, što odgovara 42% ukupne površine zemljišta. To je otprilike ekvivalent površini zemljišta koja se koristi u poljoprivredi u EU28. Šumska površina na raspolaganju za opskrbu drvom iznosi 134 miliona hektara. Sljedećih 7 pobrojanih država članica EU28 imale su u 2015. najmanje polovinu kopnene površine prekrivene šumama i drugom šumovitom zemljom: Portugal, Španija, Latvija, Estonija, Slovenija, Švedska i Finska. U posljednjih nekoliko decenija šumska površina u EU28 povećala se: između 1990. i 2015. godine površina šumskog pokrivača i drugog šumskog zemljišta povećala se za 5.2%. To je također predstavljeno povećanjem volumena šumskog fonda na Slika 5. U prosjeku se koristi samo oko 63% godišnjeg priraštaja šuma (Bioenergy Europe, 2019.).



Slika 5: Evolucija šumskih zaliha u EU-28 i zaliha dostupnih za opskrbudrvom (Izvor: Bioenergy Europe, 2017.)

**Vlasnička struktura** šumskog područja razlikuje se u svakoj zemlji. Šume EU28 podijeljene su na mala porodična imanja, šume u državnom vlasništvu i velika imanja u vlasništvu kompanije. Ukupno je oko 60% šuma EU28 bilo u privatnom vlasništvu u 2010. godini. Ovaj

postotak je najviši (98.4%) u Portugalu, a najmanji u Bugarskoj (13.2%) (Bioenergy Europe, 2019.). m<sup>3</sup>

Drvo direktno iz šume čini oko 38% čvrste biomase koja se koristi za proizvodnju energije u EU28. Nadalje, drvna industrija (industrijski nusproizvodi i peleti) daje preko 50% čvrste biomase koja se koristi za bioenergiju (Bioenergy Europe, 2019.). Opskrba drvne biomase iz industrije bazirane na šumarstvu ovisi o stanju na tržištu. Na primjer, što se više proizvodi isplijene drvne sirovine, više je dostupnih nusproizvoda.

Osim toga, **uvoz čvrstih goriva iz biomase** povećao se u posljednjem desetljeću i iznosi 8,5% ukupne proizvodnje primarne energije iz krutih biogoriva u 2016. Uglavnom peleti koji se koriste kao gorivo u elektranama uvoze se izvan EU28, posebno iz SAD, Kanade i Rusije (Bioenergy Europe, 2019.).

Postoji jasan **potencijal za intenziviranje iskorištavanja šuma za proizvodnju energiju** u EU28 jer se, kao što je već spomenuto, koristi samo 60–70% godišnjeg priraštaja šuma u EU. Trenutno se oko 42% žetve na kraju koristi za energiju; ostaci obrade veće vrijednosti imaju značajan udio. Nedavne projekcije za 2030. godinu kvantificiraju održivo ostvariv potencijal drveta za proizvodnju energije iz šuma EU28 od čak 675 miliona kubnih metara (146 miliona toe) godišnje, pod uslovom da se poduzimaju intenzivni napor na mobilizaciji drva (Europska komisija, 2019.).

Hrana i prehrambeni proizvodi su najvažnija kategorija u pogledu **upotrebe biomase**, i čine preko 60% ukupne biomase. Bioenergija čini oko 19% ukupne biomase u EU-28. Međutim, važno je napomenuti da biopljin i bio-struja nisu uzeti u obzir u ovome. Biomaterijali su treća najveća skupina (Gurría i dr. 2017.).

Biomasa koja se koristi za **hranu i prehrambene proizvode** gotovo je u potpunosti poljoprivrednog porijekla. 71% ukupne opskrbe biomasom u poljoprivredi (izraženo suhoj tvari) koristi se kao hrana i prehrambeni proizvodi: 69% koristi se kao hrana za životinje i za proizvodnju hrane na bazi životinja, a ostatak se izravno konzumira kao biljna hrana (Gurría i dr. 2017.).

Većina biomase koja se koristi u **bioenergiji** dobiva se iz šumske proizvoda. U 2013. godini procijenjeno je da je za energiju utrošeno direktno ili indirektno prikupljenih 178.7 t<sub>dm</sub> drva. Samo 2% poljoprivredne opskrbe u EU-u prerađuje se u održiva biogoriva za transport. Ostatak se koristi kao biomaterijal ili kao otpad. Potrošnja biogoriva u transportnom sektoru EU u 2013. iznosila je 12,0 ktoe u energetskom pogledu. Obični ratarski usjevi imali su najveći doprinos ukupnoj biomasi koja je isporučena u sektoru transporta, sa više od 90% u 2013. Na osnovu raspoloživih podataka, količina domaćih ratarskih usjeva isporučenih u sektoru transporta procjenjuje se na 15 milijuna t<sub>dm</sub> u 2013. godini. Njemačka je bila glavni dobavljač sa 12 miliona t<sub>dm</sub>, a slijede Slovačka (668 hiljada t<sub>dm</sub>) i Rumunija (475 hiljada t<sub>dm</sub>) (Gurría i dr. 2017.).

Gotovo svi **bio-materijali** imaju porijeklo u šumarskim aktivnostima, a najveća komponenta su proizvodi od čvrstog drveta. U 2013. godini za bio-materijale je utrošeno 189,9 miliona tona suhe tvari drveta. EU-28 je i neto izvoznik proizvoda od čvrstog drveta (14.3 miliona t<sub>dm</sub>).

Projekt Biomass Energy Europe (BEE)<sup>6</sup> uporedio je više od 70 procjena potencijala biomase. Zaključeno je da se procjene u velikoj mjeri razlikuju radi različitih definicija potencijala i radi različitih primjenjenih metoda. Ipak, većina studija slaže se da su **potencijali biomase iz šumarstva i otpada s vremenom relativno stabilni**. Značajna neizvjesnost postavlja se pitanjem koliko bi biomase za energiju EU poljoprivreda mogla opskrbiti? Čini se da je poljoprivreda ključna za istinsko i veliko širenje opskrbe biomasom (Europska komisija, 2019.).

Procjene za **potencijal energetskih usjeva** kreću se od 79 do 377 Mtoe (3.3 – 15.8 EJ). Stvarni potencijal ovisi o zemljištu koje se razmatra za proizvodnju, raznolikosti usjeva i

<sup>6</sup> <http://www.eu-bee.eu/>

selekciji vrsta kao i intenzitetu upravljanja poljoprivredom. Sigurnost hrane i izuzeće područja očuvanja prirode također su razmatrana (Faaij, 2018.).

Potencijal **poljoprivrednih ostataka** kreće se između 45 i 67 Mtoe (1.9 – 2.8 EJ) i ovisi o vrsti ostataka koji se koriste za energiju (samo slama i ostaci od kukuruza ili razidbeni ostataci), uticaju vremenskih prilika i mjera zaštite tla (Faaij, 2018.).

Što se tiče šumske biomase, procjene obzirom na aktivno održivo upravljanje šumama i resursno učinkovitu upotrebu ostataka iz drvoradivačke industrije dosežu i do 174 Mtoe (7.3 EJ) (Faaij, 2018.).

Dostupnost **biorazgradivog otpada** veoma ovisi o tome kako se primjenjuju prakse upravljanja otpadom u odgovarajućim sektorima; kreću se od 40 do 119 Mtoe (1.7 - 5 EJ) (Faaij, 2018.).

### 3.2 Proizvodi od biomase

#### Peleti

Drveni peleti sa ili bez aditiva predstavljaju komprimirani sirovinski materijal, obično cilindričnog oblika izlomljenih krajeva, dužine obično 5-40 mm i promjera najviše 25 mm. Sadržaj vlage u drvenim peletima obično je manji od 10%, a sadržaj pepela iznosi i do 3%. Peleti se obično proizvode u mlinu za pelete.

Prednosti peleta u odnosu na drvo za ogrijev ili drvnu sječku su između ostalog: mogućnost optimizacije sagorijevanja radi jednoobraznog goriva, smanjeni troškovi transporta radi povećane zapreminske gustoće goriva i poboljšanja termičkih i gorivnih svojstava.

Uobičajeni peleti **prave se od drvene biomase**, poput piljevine, drvne sječke ili šumskega ostataka, ali postoje razne sirovine koje se mogu peletizirati kao što je prikazano na Slika 6. Neki primjeri su proizvodi od papira, otpadna biomasa, kukuruz, sjeme pamuka, konoplja, Miscanthus, trštična kanarska trava, slama, žitarice, niskokvalitetno sijeno itd. Gorivna svojstva peleta proizvedenih od **alternativnih sirovina** razlikuju se od peleta napravljenih od drvene biomase, obično pokazuju veći sadržaj pepela. Određena svojstva goriva mogu se postaviti miješanjem različitih sirovina u odgovarajućim količinama.

Međunarodni standard (ISO 17225-2: 2014 „Čvrsta biogoriva - Specifikacije goriva i klase - dio 2: Gradirani drveni peleti“) definira standarde kvalitete drvenih peleta. Postoje tri različite klasifikacije peleta: A1, A2 i B. Razlike su vezane za korištene sirovine i njihovu kvalitetu. Većina malih potrošača (npr. domaćinstva) koriste drvene pelete A1, dok se klase niže kvalitete koriste u vecim instalacijama, uključujući i elektrane. Još jedan međunarodni standard (ISO 17225-6: 2014 „Čvrsta biogoriva - Specifikacije goriva i klase - dio 6: Gradirani nedrvni peleti“) definiše klase kvaliteta za **pelete od agrobiomase**.

EU-28 je i najveći proizvođač i potrošač drvenih peleta na svijetu. Stanje se razlikuje po državama. Italija, Njemačka i Francuska troše drvene pelete uglavnom na tržištu grijanja za stanove, Danska i Švedska u kogenerativnim elektranama, dok ih Velika Britanija, Belgija i Nizozemska većinom koriste u elektranama koje su prvo bitno radile na ugalj (vidjeti poglaviju **Error! Reference source not found.**). Sjeverna Amerika (SAD, Kanada) neto je izvoznik drvenih peleta u Evropu, dok je također zanimljivo primijetiti rastuću potražnju u zemljama istočne Azije, kao što su Japan i Južna Koreja.



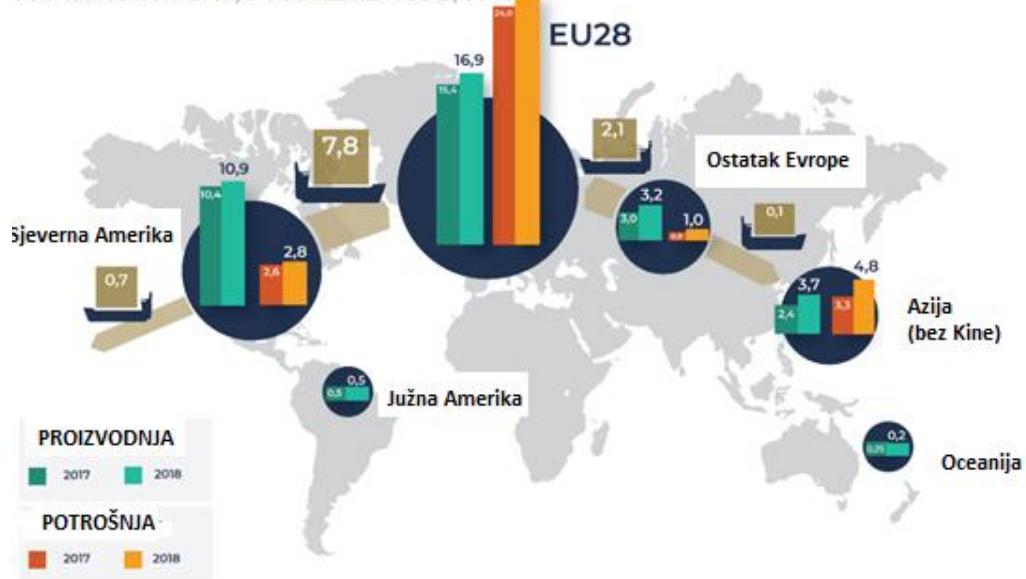
Slika 6: Primjeri peleta proizvedenih iz različitih materijala i procesa (Izvor: DBFZ)

## MEĐUNARODNA MAPA PELETA I TRGOVINSKIH TOKOVA

(u 2018, mil. tona, %) Izvor: EPC istraživanje 2018.  
HAWKINS WRIGHT, FUTUREMETRICS, FAO<sup>26,1</sup>

Bioenergy Europe  
EUROPEAN PELLET COUNCIL  
STATISTICAL REPORT 2018

EUROPEAN PELLET COUNCIL  
STATISTICAL REPORT 2018



Slika 7: Međunarodna proizvodnja i trgovina drvenim peletom (Izvor: Bioenergy Europe, 2018.)

### Drvna sječka i miješana drvna strugotina

Da bi se proizvela drvena sječka, drvena biomasa, s namjerom da nakon toga bude spaljena, mora biti sjeckana. Zbog **procesa sjeckanja**, drva sječka predstavlja relativno jednoobrazno gorivo koje može teći i može se automatski dovoditi u kotao. Prosječna dimenzija drvene sječke je 16-45 mm. Radi visokog omjera površine i zapremine, ona se može učinkovito spaljivati. Međutim, u odnosu na drvo za ogrijev, drvena sječka ima nižu gustoću energetske zapremine, što dovodi do većih potreba za prostorom tokom transporta i skladištenja. Kvaliteta drvene sječke ovisi o korištenoj sirovini i drobilici.

**Miješana drvna strugotina** uključuje drvenu sirovinu koja ima komade različitih veličina i oblika; za razliku od drvene sječke, ovo gorivo proizvodi se **lomljanjem** s tupim alatima poput valjka, čekića ili mlatara.

Ovisno o sirovini, drvena sječka se može podijeliti u sljedeće skupine (ETIP Bioenergy, 2019):

- **Šumska sječka** (proizveden od trupca, cijelog drveća, ostataka sječke ili panjeva)

- **Piljevina od drvne sječke** (proizvedena od neobrađenog ostatka drveta, recikliranog drveta, odsječenih drva)
- **Piljevina od reznih ostataka** (proizvedena od ostataka koji nastaju nakon obrade drveta u pilanama)
- **Sječka iz brzorastućih šuma**

Standard ISO 17225-4: 2014 „Čvrsta biogoriva - Specifikacije goriva i klase - dio 4: Gradirana drvna sječka“ pokriva specifikacije drvne sječke za male sisteme (visokokvalitetna svojstva goriva), dok standard ISO 17225-9:2021 “Gradirane strugotine, ostaci od pilana i drvna sječka za industrijsku upotrebu”, obuhvata specifikacije goriva i klase drvne sječke i goriva miješane drvne strugotine namijenjenih za industrijsku upotrebu.



**Slika 8: Lijevo – drvna sječka iz šume (Izvor: Rutz D.), Desno – drvna strugotina od obrezivanja stabala maslina (Izvor: Karampinis E.)**

### Termički prethodno obrađena biomasa

Izraz „termički prethodno obrađena biomasa“ može se koristiti za pokrivanje različitog skupa tehnologija čiji je cilj povećati gustoću energije biomase i učiniti je hidrofobičnom. Glavni je cilj proizvesti **materijal sličan uglju** koji se može direktno koristiti za zamjenu uglja u energetskim primjenama.

Najčešće tehnologije dostupne za proizvodnju termički prethodno obrađene biomase su **torefikacija**, parna eksplozija i hidrotermalna karbonizacija; dodatne pojedinosti nalaze se u poglavljju **Error! Reference source not found.** ovog Priručnika. Obično se termički prethodno obrađena biomasa podvrgne koraku peletizacije kako bi se dodatno poboljšala njena gustoća energije i homegenizirao konačni proizvod.

Postoji Međunarodna tehnička specifikacija (ISO/TS 17225-8:2016<sup>7</sup>) koja definiše primjenu i specifikacije termički obrađenih peleta iz biomase.

Uprkos prednostima koje termički prethodno obrađeni peleti biomase mogu ponuditi i uprkos činjenici da su mnogi proizvođači tehnologije postavili proizvodna postrojenja komercijalne proizvodnje, tržište za ove posredne nosioce bioenergije još nije čvrsto uspostavljeno. „Horizon 2020“ projekat MUSIC (Market Uptake Support for Intermediate Bioenergy Carriers)<sup>8</sup> namjerava dalje proširiti tržište za takve nadograđene frakcije biomase, zajedno s piroliznim uljem i mikrobnim uljem.

<sup>7</sup> DIN EN ISO 17225-8:2016 Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 8: Graded thermally treated and densified biomass fuels

<sup>8</sup> [www.music-h2020.eu](http://www.music-h2020.eu)



**Slika 9: Termički tretirani peteti biomase. Lijevo: parom ekplodirani drveni peleti Arbacore (Izvor: Arbaflame). Desno: toreficirani drvni peleti (Izvor: Yilkins)**

### Bio-ulje

Brojni istraživački i demonstracijski projekti i kompanije razvijaju inovativne procese za pretvaranje širokog spektra biomase (šumski ostaci, ostaci usjeva, otpadni papir i organski otpad) pirolizom/termohemijском pretvorbom u postojano, koncentrirano bio-ulje (biocrude) ili bio-gnojnicu (ulje s čadi) koja je kompatibilna s postojećom rafinerijskom tehnologijom i može se pretvoriti u napredna biogoriva (ETIP Bioenergy, 2019). Više informacija o procesu pirolize dato je u 5. Poglavlju.



**Slika 10: Bio-ulje, bio-otpad, bale slame (Izvor: Rutz D.)**

### Bio-otpad

Biootpad se definiše kao biorazgradivi vrtni i perivojski otpad, hrana i kuhinjski otpad iz domaćinstava, restorana, ugostiteljskih i maloprodajnih prostora, te usporedni otpad iz postrojenja za preradu hrane. Ne uključuje šumske ili poljoprivredne ostatke, stajski gnoj, mulj za kanalizaciju ili drugi biorazgradivi otpad poput prirodnog tekstila, papira ili prerađenog drveta. Također se isključuju oni nusproizvodi proizvodnje hrane koji nikad ne postaju otpad. (Evropska komisija, 2019c)

Bilo koji organski ostaci / biološki otpadni materijali mogu se termohemiskim, biohemiskim ili hemijskim procesima pretvoriti u napredna biogoriva. Sve više postrojenja za preradu ili proizvodnju koja pretvaraju biomasu u hranu, građevinske materijale, papir i druge bioproizvode koriste biorefinerijski pristup - maksimizirajući pretvaranje sirovina i tokova otpada u vrijedne nusproizvode, energiju i biogoriva. Ali i komunalni čvrsti otpad može se pretvoriti u tekuća i plinovita biogoriva za proizvodnju toplote i energije ili se koristiti kao transportno gorivo. Drveni otpad i šumski ostaci također su obećavajuće sirovine za napredna biogoriva (ETIP Bioenergy, 2019).

### Bale slame

Slama - kao nusproizvod proizvodnje žitarica - potencijalna je sirovina za proizvodnju energije. Slama se obično ostavlja na terenu kao gnojivo ili se koristi kao đubrivo, a zatim kao gnojivo u

smislu kružne ekonomije. Osiguranje kvalitete i minimiziranje troškova opskrbe zahtijevaju optimizaciju cijelog logističkog lanca od polja do skladišta. Zbog glomaznosti slame, prikladan nivo zbijanja je posebno važan za smanjenje potreba za skladišnim prostorom (= bala slame). Kod normalnih sistema sabijanja, spektar gustoće kreće se od 80 do 160 kg m<sup>-3</sup>.



**Slika 11: Sistem napajanja balama slame za mrežu daljinskog grijanja u Danskoj (Izvor: D.Rutz)**

### Biljna ulja

Uljni usjevi su osnova za proizvodnju biodizela. U Evropi je uljana repica najčešća sirovina za proizvodnju biodizela. Biljno ulje proizvodi se prešanjem ili ekstrakcijom iz uljarica (uljana repica, sjemenke suncokreta itd.), Koja se može koristiti i sirova i rafinirana, ali hemijski nepromijenjena kao gorivo (ETIP Bioenergy, 2019).

### Korištena ulja za kuhanje i otpadne masti

Korišteno ulje za kuhanje, salo, slanina, žuta mast, pileća mast, odvajači masnoća i nusprodukti proizvodnje Omega-3 masnih kiselina iz ribljeg ulja sve se češće koriste kao sirovine za biodizel (ETIP Bioenergy, 2019).

### Energetske kulture (žitarice, šećer, ligno-celuloza)

**Sirovine na bazi škroba** uključuju žitarice, poput kukuruza ili pšenice, i gomolje poput (slatkog) krompira i kasave. Ove sirovine sadrže duge složene lance molekula šećera. Škrob se lako može pretvoriti u fermentirajuće šećere. Šećer se zatim može pretvoriti u etanol ili "drop-in" goriva. Vlknasti dio biljaka (npr. pšenična slama ili kukuruzna ljuška) može se pretvoriti u napredna biogoriva. U Evropi je pšenica trenutno glavna škrobna kultura za proizvodnju bioetanola (ETIP Bioenergy, 2019).

**Usjevi šećera**, poput šećerne trske, šećerne repe i slatkog sireka, mogu se koristiti kao sirovine i za konvencionalna biogoriva (etanol pomoću fermentacije šećera) i / ili napredna biogoriva. Ostatak celuloze i bagasa (vlknasti materijal preostao nakon ekstrakcije šećera iz trske ili sirk) mogu se koristiti za proizvodnju celuloznog etanola. Fermentirajući šećeri se također mogu pretvoriti u "drop-in" biogoriva pomoću biotehnologije ili hemijske katalize (ETIP Bioenergy, 2019).

**Lignocelulozna biomasa** uključuje drvo iz šumarstva, brzorastućih šuma i usjeva lignocelulozne energije, poput energetskih trava i trske (npr. Miscanthus). Lignocelulozna biomasa se uglavnom ne može koristiti kao hrana ili prehrana za životinje, što znači da nema ili je ograničena konkurenčija u krajnjoj upotrebi hrane / prehrane. Lignocelulozni materijali mogu se koristiti kao sirovina za napredna dizel goriva i "drop-in" biogoriva (termohemijskom pretvorbom) i za proizvodnju celuloznog etanola (biohemijskom pretvorbom). Međutim, prodor ovih tehnologija na tržište zasad je relativno ograničen. Lignocelulozne kulture uglavnom su okarakterisane višom efikasnošću kada su u pitanju stakleničkih gasova od rotacijskih ratarskih usjeva jer imaju niže potrebe za ulaznom sirovinom, a energetski prinos po hektaru je mnogo veći (ETIP Bioenergy, 2019).

### 3.3 Logistika i lanci vrijednosti

Logistika biomase uveliko ovisi o vrsti biomase i načinu njene prethodne obrade (u slučaju npr. ulja, peleta, itd.). Biomasa često ima **nisku nasipnu gustoću** (npr. drvna sječka, slama), te su prema tome potrebne velike količine. Tipična biomasa za energetski lanac opskrbe sastoji se od sljedećih procesnih koraka: sadnja, uzgoj, sječa, rukovanje, skladištenje, transport u polju / šumi, cestovni prijevoz i korištenje goriva u elektrani / rafineriji. Aktivnosti potrebne za opskrbu biomasom od proizvodnog mjesta do elektrane su sljedeće (Rentzelas i dr., 2009):

- **Sječa** / prikupljanje biomase u polju / šumi
- Obrada u polju / šumi i **transport** za premještanje biomase do mjesta na kojem se mogu koristiti vozila za cestovni prijevoz
- **Skladištenje**. Za mnoge vrste biomase karakteristična je sezonska dostupnost, jer se beru u određeno doba godine, ali su neophodne na cjelogodišnjoj osnovi. Skladište se može nalaziti na farmi / šumi, na prerađivačkoj stanici ili nekom prelaznom mjestu.
- **Transport** uključujući utovar i istovar: Uzimajući u obzir tipične lokacije izvora goriva iz biomase (tj. na farmama ili šumama), prometna infrastruktura je obično takva da je cestovni prijevoz jedini mogući način prikupljanja i prijevoza. Kada se ispituje prijevoz biomase na velike udaljenosti, mogu se razmotriti i druga sredstva za prijevoz, poput broda ili voza.
- **Obrada** biomase radi poboljšanja učinkovitosti rukovanja i količine koja se može transportovati. To može uključivati povećanje nasipne gustoće biomase (npr. obrada šumskog drva ili stabljika šikare u drvene sječke) ili objedinjavanje biomase (npr. obrada slame ili Miscanthusa u balama). Prerada se može dogoditi u bilo kojoj fazi lanca opskrbe, ali često prethodi cestovnom prijevozu i obično je jeftinija ako se integrira s berbom.

Lanac opskrbe biomasom ima nekoliko vrlo specifičnih karakteristika za razliku od ostalih opskrbnih lanaca. Tipove poljoprivredne biomase obično karakterizira **sezonska dostupnost**. Stoga je potrebno **pohraniti** vrlo velike količine biomase za značajno vremensko razdoblje, ako se želi tokom cijele godine proizvoditi bioenergija. Još jedna karakteristika lanca opskrbe biomasom jeste ta da se mora nositi s **materijalima niske gustoće**. Kao rezultat toga, povećana je potreba za prijevoznom opremom i opremom za rukovanje, kao i skladišnim prostorom. Ovaj problem je pojačan i **niskom toplinskom vrijednošću**, što je dijelom posljedica povećane vlage većine vrsta poljoprivredne biomase. Niska gustoća biomase dodatno povećava troškove faze prikupljanja, rukovanja, transporta i skladištenja u lancu opskrbe (Rentzelas i dr., 2009). Ove karakteristike predstavljaju **značajne prepreke lancu opskrbe biomasom na velike udaljenosti**. Međutim, ti se izazovi mogu riješiti bilo (1) dizajniranjem sistema za prijevoz, rukovanje i skladištenje koji mogu smjestiti različite vrste i formate sirove biomase ili (2) oblikovanjem biomase kako bi bila kompatibilna s postojećom infrastrukturom (Searcy i dr., 2014). Forma u kojoj će se nabavljati biomasa često određuje

investiciju i operativne troškove odgovarajućeg sistema iskorištavanja bioenergije, jer utiče na zahtjeve i dizajn lanca opskrbe biomasom (Rentzelas i dr., 2009).

Pored ovog tipičnog lanca vrijednosti sakupljane biomase, logistika otpada iz biomase obično je vrlo različita. Za korišteno ulje za kuhanje (UCO) ili organski čvrsti komunalni otpad (MSW), glavni logistički izazov jeste **upravljanje otpadom** i način sakupljanja otpada. Pri tome industrijska ili privatna potrošačka svijest i ponašanje igraju važnu ulogu kako bi se olakšalo uspostavljanje takvog lanca vrijednosti biomase. Konačno, također se moraju uzeti u obzir sigurnosni i higijenski aspekti.

### 3.4 Politika održivosti i certificiranja

**Prva direktiva o obnovljivim izvorima energije** (2009/28 / EC) utvrdila je sveukupnu politiku za proizvodnju i promociju energije iz obnovljivih izvora u EU. Od EU-a se traži da najmanje 20% svojih ukupnih energetskih potreba zadovolji iz obnovljivih izvora do 2020. godine - što bi se moglo postići dostignućem pojedinih nacionalnih ciljeva. Sve zemlje EU-a također moraju osigurati da najmanje 10% njihovih transportnih goriva dolazi iz obnovljivih izvora do 2020. Direktivom 2009/28 / EC određuju se nacionalni ciljevi za obnovljive izvore energije za 2020. godinu za svaku zemlju, uzimajući u obzir njenu početnu poziciju i ukupni potencijal u obnovljivim izvorima. Ovi ciljevi kreću se od prilično niskih iznosa od 10% za Maltu do visokih 49% za Švedsku. Zemlje EU definisale su kako planiraju ispuniti ove ciljeve za 2020. godinu i opći tok politike obnovljivih izvora energije u nacionalnim akcionim planovima za obnovljive izvore energije. Napredak prema nacionalnim ciljevima mjeri se svake dvije godine kada zemlje EU objave nacionalne izvještaje o napretku implementacije obnovljivih izvora energije (Europska komisija, 2019b).

U decembru 2018. na snagu je stupila **revidirana direktiva o obnovljivim izvorima energije** 2018/2001/EU, u sklopu Paketa Čista energija za sve Europske, čiji je cilj zadržati EU kao globalnog lidera u obnovljivim izvorima energije, pomažući EU da ispunji svoje obaveze vezane za smanjenje emisija prema Pariškom sporazumu. Novom direktivom uspostavljen je novi obvezujući cilj za EU u obnovljivoj energiji do 2030. od najmanje 32%, s klauzulom o mogućoj reviziji i povećanju ovog udjela 2023. godine (Europska komisija, 2019.b).

RED II također definiše niz kriterija održivosti i emisija stakleničkih gasova koja biogoriva korištena u transportnom sektor moraju ispunjavati. Neki od ovih kriterija su isti kao u izvornom RED-u, dok su drugi novi ili preformulisani. Pored toga, RED II uvodi kriterije održivosti i emisije stakleničkih plinova za kruta i gasovita goriva iz biomase, kao i posebne zahteve po pitanju električne energije iz biogoriva (Europska komisija, 2019.b).

Biogoriva, biotečnosti i biomasa iz poljoprivrede se ne smiju proizvoditi iz sirovina koje potiču od (Europska komisija, 2019b):

- **Zemljišta visoke biološke raznolikosti** (od januara 2008.), uključujući primarne šume; područja određena za zaštitu prirode ili zaštitu rijetkih i ugroženih ekosistema ili vrsta; i visoko bioraznolike travnjake;
- **Zemljišta sa visokim udjelom ugljika** koje je nakon 2008. promijenilo upotrebu iz močvarnih područja, neprekidno pošumljenog zemljišta ili drugih šumovitih područja s drvećem višim od pet metara i prekrivenosti krošnjama između 10% i 30%;
- **Zemljištu koje je bilo tresetište** u januaru 2008.

Kriteriji održivosti primjenjuju se na postrojenja s ukupnom ulaznom topotnom snagom iznad 20 MW za instalacije koje proizvode električnu energiju, grijanje, hlađenje ili goriva iz krute biomase i na postrojenja čija je ukupna ulazna topotna snaga jednaka ili veća od 2 MW za instalacije koje koriste plinovita goriva iz biomase. (Evropska komisija, 2019.b).

RED II je uvela nove kriterije održivosti šumskih sirovina i mandata da se sječa vrši na osnovu zakonskih dozvola, da razina sječe ne prelazi stopu rasta šume i da se vrši obnova šuma.

Pored toga, biogoriva i bioenergija iz šumskih materijala moraju biti u skladu sa zahtjevima koji odražavaju principe sadržane u EU **Uredbi o korištenju zemljišta, promjeni upotrebe zemljišta i šumarstvu** (LULUCF). Kriteriji za „šumarstvo“ primjenjuju se ili na razini države ili na razini područja šumskih izvora: Komisija će definisati smjernice za implementaciju do 31. januara 2021. (Europska komisija, 2019.b).

U okviru 14% pod-kriterija za transport postoji poseban cilj za napredna biogoriva proizvedena iz određenih sirovina. Tim se gorivima mora opskrbiti najmanje 0,2% transportne energije u 2022., 1% u 2025. i povećati se na najmanje 3,5% do 2030. Biogoriva i bioenergija proizvedena iz otpada i ostataka trebaju samo udovoljavati kriteriju održivosti emisija stakleničkih plinova (Europska komisija, 2019b).

Maksimalan doprinos biogoriva proizvedenih iz usjeva hrane i prehrane za životinje bit će zakovan na razini potrošnje 2020. godine plus dodatnih 1% s maksimalnom gornjom granicom od 7% goriva za cestovni i željeznički transport u svakoj državi članici. Ako je ukupni udio konvencionalnih biogoriva manji od 1% do 2020. godine u bilo kojoj državi članici, gornja granica za te zemlje i dalje će biti 2% u 2030. Dalje, ako je gornja granica usjeva hrane i prehrane za životinje u nekoj državi članici manja od 7%, ta zemlja može smanjiti željeni cilj u segmentu transporta za taj isti iznos (na primjer, zemlja s ograničenjem usjeva za hranu i stočnu prehranu od 5% mogla bi postaviti cilj u segmentu prijevoza na 12%). „Srednji usjevi“ kao što su pokrovni i postrni usjevi su izuzeti od ove gornje granice. Goriva proizvedena iz sirovina s „visokim indirektnim rizikom promjene korištenja zemljišta“ bit će ograničena restriktivnijim ograničenjem na razinu potrošnje u 2019. godini, a potom će se postepeno ukinuti do 0% do 2030. godine, osim ako se određene serije specificiraju sa „niskim indirektnim rizikom promjene korištenja zemljišta“. „Niske indirektnе promjene rizika korištenja zemljišta“ uključuju one koji se proizvode na zemljištu koje prethodno nije obrađeno. Goriva korištena u zračnom i pomorskom sektoru mogu se uključiti u doprinos prometnom cilju od 14%, ali nisu podložna obavezi (Europska komisija, 2019.b).

Dalje, niz drugih shema (direktiva i propisa) na razini EU posredno utiče na održivost brojnih vrsta biomase važnih za proizvodnju bioenergije, jer se tiču relevantnih područja kao što su šumarstvo, poljoprivreda, zaštita staništa, očuvanje okoliša itd. te tako formiraju cjelovit okvir. Među najznačajnijim shemama relevantnim za nacionalno zakonodavstvo su (ENERGY BARGE, 2017):

- Nekoliko propisa i direktiva u okviru **zajedničke poljoprivredne politike**. Zajednička poljoprivredna politika (CAP) je politika EU u poljoprivrednom sektoru, a uvedena je 1962. Od tada je više puta izmijenjena. Ciljevi CAP-a su povećati produktivnost u poljoprivrednom sektoru i osigurati pošten životni standard poljoprivrednicima. Dalje, cilj je stabilizirati tržišta i osigurati dostupnost zaliha i razumne cijene za potrošače. Reforma CAP-a iz 2013. ima za cilj povećati konkurentnost poljoprivrede u EU, pružiti veću održivost i poboljšati njene ekološke performanse.
- **Direktiva o staništima EU (92/43 / EC)**
- **Propisi o zaštićenim prostorima**, posebno NATURA 2000
- **Strategija EU za biološku raznolikost 2020**
- **EU uredba odrvnoj sirovini (995/2010 / EC)**

U pogledu **šumarske politike**, u 2013. razrađena je nova EU šumska strategija za šume i sektor koji se temelji na šumama (COM (2013) 659). Iako EU već dugi niz godina doprinosi implementaciji održivog upravljanja šumama u odgovarajućim državama članicama, jedinstvena politika na razini EU za šume i šumski sektor ne postoji. Utvrđena je potreba za zajedničkim političkim okvirom kako bi se osigurala i koordinirala usklađenost politika povezanih sa šumama u zemljama EU. U tom pogledu će zajednički okvir na razini EU-a, između ostalog, osigurati održivo upravljanje šumama, upravljanje sve većom potražnjom

sirovina i obnovljivih izvora energije, te zaštitu šuma i biološke raznolikosti (Europska komisija, 2013.).

**Direktiva o kvaliteti goriva** (FQD) (2009) obvezuje države članice da do 2020. smanje emisije stakleničkih gasova vezanih za potrošnju transportnih goriva za 10% (Europska komisija, 2009).

Godine 2015. na snagu je stupila **Direktiva o smanjenju indirektnih promjena u korištenju zemljišta za biogoriva i tečna biogoriva** ((EU) 2015/1513). Ova takozvana Direktiva iLUC izmijenila je zakone o biogorivima - posebno RED i FQD – kako bi se smanjio rizik od indirektnih promjena u korištenju zemljišta i pripremio prelazak na napredna goriva. Između ostalog, Direktiva ograničava udio biogoriva iz usjeva užgajanog na poljoprivrednom zemljištu koje se može pribrojiti ciljevima za obnovljivu energiju do 2020. na 7%, uskladjuje popis sirovina širom EU čiji bi se doprinos brojao dvostruko prema cilju 2020. od 10% za obnovljive izvore energije u prometu i zahtijeva da biogoriva proizvedena u novim postrojenjima ispuštaju najmanje 60% manje stakleničkih plinova od fosilnih goriva.

**Direktivom o energijskoj efikasnosti** (Direktiva 2012/27 / EU) postavlja se okvir za povećanje energijske efikasnosti u EU kako bi se postigao cilj od 20% do 2020. Sve zemlje članice moraju efikasnije koristiti energiju u svim fazama energetskog lanca, od proizvodnje do finalne potrošnje.

Da bi se ispunili zahtjevi za različite zalihe biomase implementirane u zakonodavstvu, sheme certificiranja predstavljaju korisno sredstvo. Biogoriva i tečna biogoriva koja se koriste u EU moraju ispunjavati zahtjeve održivosti. Da bi se to osiguralo, kompanije mogu učestovati u **dobrovoljnim shemama održivosti** koje provjeravaju usklađenost sa kriterijima održivosti koje je postavila EU. Za postupak certifikacije, neovisni revizori pregledavaju cijeli proizvodni lanac. Većina shema verifikacije se privatno pokreće, ali ih je odobrila Europska komisija. Priznanja mogu trajati do pet godina (ENERGY Barge, 2017b). Program održive biomase (SBP)<sup>9</sup> je primjer sheme certificiranja održivosti, uglavnom za drvne pelete idrvnu sječku koji se koriste u industrijskoj proizvodnji velikih količina energije. Shema SBP ima za cilj da provjeri jesu li takve frakcije drvne biomase dobivene iz održivih i zakonitih izvora.

Sheme certifikacije kvaliteta goriva imaju za cilj pružiti povjerenje u svojstva goriva na biomasu malim i srednjim potrošačima, koji ne mogu sami provesti opsežan nadzor nad svojstavima goriva. Najpoznatija shema je **ENplus®<sup>10</sup>**, koja ima za cilj kontrolu kvalitete drvnih peleta duž cijelog lanca snabdijevanja, počev od proizvodnje do isporuke krajnjem kupcu. Trenutno je **ENplus®** vodeća svjetska shema certificiranja kvalitete drvnih peleta, s procjenom od 11,6 miliona tona certificiranih peleta proizvedenih u 2019. Ostali programi certificiranja kvalitete goriva uključuju **GoodChips®<sup>11</sup>** zadrvnu sječku i gorivo i **BIOmasud®<sup>12</sup>**, koji pokrivaju različite vrste mediteranskih čvrstih biogoriva (npr. košpice masline, ljuške oraha itd.).

<sup>9</sup> [www.sbp-cert.org](http://www.sbp-cert.org)

<sup>10</sup> [www.enplus-pellets.eu](http://www.enplus-pellets.eu)

<sup>11</sup> [www.goodchips.eu](http://www.goodchips.eu)

<sup>12</sup> [www.biomasud.eu](http://www.biomasud.eu)

## 4 Pregled načina pretvorbe biomase

Načini pretvorbe biomase su okarakterisani vrstama sirovine, tehnologijama konverzije i finalnim proizvodima. Nakon žetve, biomasa se može koristiti direktno za pretvorbu u energiju ili nastaviti dalje da se prerađuje. FAO (2019)<sup>13</sup> govori o dvije glavne vrste (ili oblike) biomase: primarna (neobrađena) biomasa i sekundarna (prerađena) biomasa.

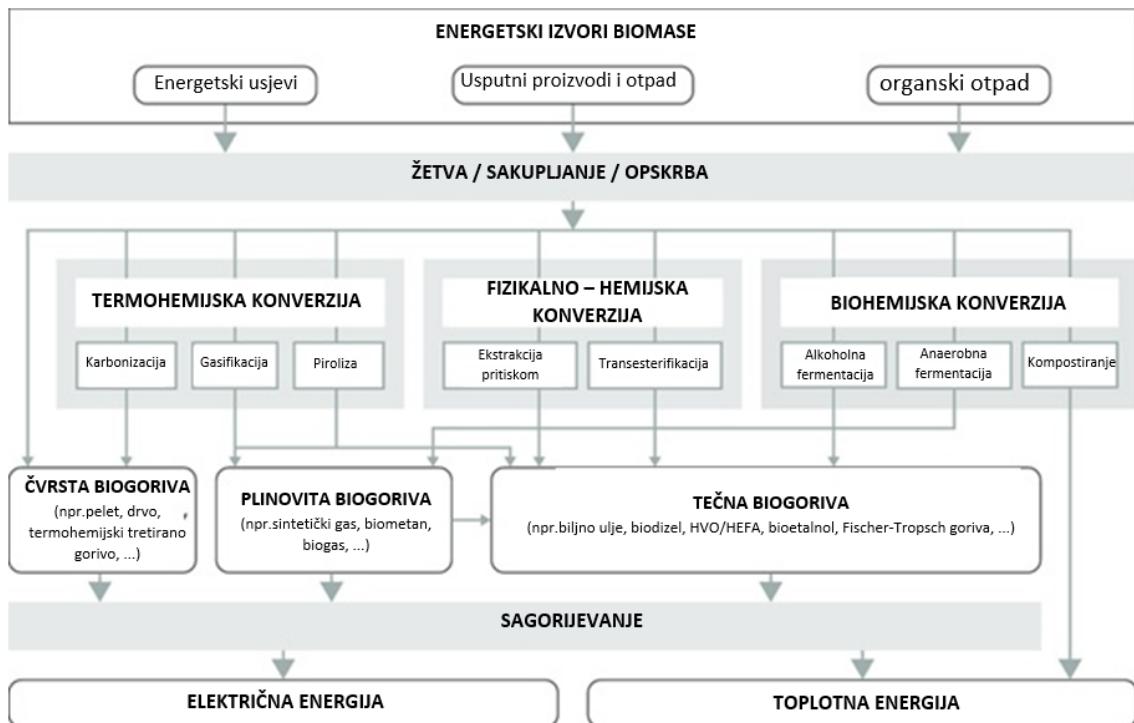
- **Primarna** (neobrađena) biomasa: organski materijal koji se koristi pretežno u svom prirodnom obliku (kao ubran; npr. sječka, cjepanice). Takva se biomasa izravno izgara za stvaranje energije za kuhanje, grijanje prostora, opskrbu električnom energijom, parom i procesnom toplinom.
- **Sekundarna** (prerađena) biomasa: može biti u obliku krutih tvari (npr. drvni ugalj, torificirana biomasa, pelete), tekućine (npr. etanol, biljno ulje) ili gasovi (npr. biogas, biometan, bio-H<sub>2</sub>) može se koristiti u različitim sektorima, uključujući transport i visokotemperaturne industrijske procese.

Pored toga, nedavno je uveden relativno novi pojam za neku sekundarnu biomasu, i to takozvani posredni nosioci bioenergije (IBC). Nastaju kada se biomasa prerađuje u energetski gušće, sa mogućnošću skladišenja i prenosive proizvode slične uglju, nafti i gasnim fosilnim gorivima. Ovi IBC-ovi mogu se dalje rafinirati do krajnjih bioenergetskih ili bio-baziranih proizvoda ili izravno koristiti za proizvodnju topline i energije. Primjeri IBC-a su pirolizno ulje ili torificirana biomasa. No, izraz IBC nije službeno definiran, a neka biomasa, kao što je npr. pelet se također može smatrati IBC-om.

Obrada biomase ima za cilj pružiti biomasi jasno definirane karakteristike. To osigurava tehnički jednostavnu i ekološki prihvatljivu pretvorbu u korisnu energiju. Standardizirana biomasa se tada može koristiti s manje poteškoća da bi se efikasnije i udobnije ispunio zadatak snabdijevanja. Načini konverzije mogu se podijeliti u tri glavna procesa pretvorbe:

- **Termo-hemijska konverzija** predstavlja sve procese pretvorbe biomase pomoću toplinske energije: sagorijevanje, gasifikacija, piroliza, torifikacija i karbonizacija
- **Fizikalno-hemijska konverzija** pretvara biomasu na temelju fizičkih (npr. presovanja, mljevenja itd.) i hemijskih procesa (npr. esterifikacija, hidrotermalna obrada). To uključuje npr. presovanje peleta, ali i presovanje uljanih sjemenki, uključujući ekstrakciju ulja i presteterifikaciju ovog ulja na metil ester masne kiseline. Nadalje, nekoliko metoda prethodne obrade za pretvaranje lignocelulozne biomase u uporabu biogoriva druge generacije.
- **Biohemijska pretvorba** predstavlja procese konverzije koristeći biološke procese koji uključuju mikroorganizme. To može biti anaerobna probava za proizvodnju bioplina ili fermentacija za proizvodnju etanola.

<sup>13</sup> <http://www.fao.org/3/j4504E/j4504e06.htm> pri čemu FAO koristi riječ „biogoriva“ umjesto „bioenergije“



Slika 12: Načini konverzije biomase (Izvor: Thrän i dr. 2015)

Mnogo je razloga zbog kojih se određena tehnologija preferira u odnosu na drugu, ali jedno od glavnih razlika je sadržaj vlage u biomasi. Kad je biomasa „suha“, termohemijske tehnologije su općenito poželjne jer je potrebno manje zagrijavati vodu. Kad je biomasa „vlažna“ - sadrži puno vlage, biochemicalne tehnologije pretvorbe poput anaerobne probave ili fermentacije mogu biti prikladnije.

U sljedećim poglavljima predstavljene su najvažnije tehnologije pretvorbe koje su relevantne za BIOFIT industrije.

## 5 Nadogradnja postrojenja biogoriva prve generacije

### 5.1 Pregled sektora

Prva generacija (1G) biogoriva u Evropi uključuje proizvodnju biodizela (metilnih estera masnih kiselina - FAME), hidrogeniziranog biljnog ulja (HVO) i bioetanola iz različitih prehrambenih proizvoda. FAME i HVO proizvode se od uljarica koje sadrže uljanu repicu. Bioetanol se proizvodi iz usjeva koji sadrže šećer ili škrob, poput šećerne repe, žitarica i pšenice. Glavna prednost ovih goriva je što se mogu miješati sa uobičajenim gorivima za transport.

U Evropi je proizvodnja **biodizela** važnija od proizvodnje **bioetanola** sa proizvodnjom od 11,5 miliona tona godišnje biodizela u 2015., nasuprot 1,9 miliona m<sup>3</sup> bioetanola godišnje. Te količine se proizvode iz namjenskih zasađenih biljki širom Evrope. Količina proizvodnje biogoriva, uglavnom biodizela i bioetanola, posljednjih godina u Evropskoj uniji je stabilna, nakon rasta koji se dešavao do 2013. Podrška vlada za proizvodnju biogoriva se smanjila posljednjih godina (npr. Španija je smanjila zahtjevi za mješavine). Nedoumice u pogledu održivosti se pokušavaju riješiti uvođenjem sistema certificiranja održivosti za biogoriva, što se ne može smatrati modelom i za ostale sektore. Ipak, neizvjesnosti u pogledu interakcije proizvodnje prve generacije biogoriva sa proizvodnjom hrane i raspoloživosti zemlje ostaju. Prema tome, politički je poželjno dopuniti i potencijalno zamijeniti prvu generaciju biogoriva sa **drugom generacijom**, jer druga generacija uključuje neprehrambene kulture poput lignoceluloznih sirovina i otpadnih ulja. U mnogim slučajevima imaju bolju ravnotežu stakleničkih gasova i ne podliježu ograničenju biogoriva iz usjeva hrane koje tretira revidirana Direktiva o obnovljivoj energiji (RED II).

Osim sveobuhvatnog cilja o obnovljivim izvorima energije u transportnom sektoru, RED II je također ažurirala i skup kriterija održivosti kako bi se osiguralo korištenje biogoriva koja doista smanjuju intenzitet ugljika. Novo u RED II je da postoje i kriteriji održivosti šumske biomase i da postoje kriteriji stakleničkih plinova za gorivo iz biomase. Za transportna goriva minimalno smanjenje stakleničkih plinova ovisi o dobi postrojenja za proizvodnju biogoriva:

**Tabela 3: Minimalna granica ušteda emisije stakleničkih gasova za biogoriva prema RED II**

Početak rada postrojenja	Granica ušteda emisija stakleničkih gasova prema RED II
Prije oktobra 2015	50%
Poslije oktobra 2015	60%
Poslije januara 2021	65%
Poslije januara 2026	65%

Ostali važni aspekti RED II direktive su:

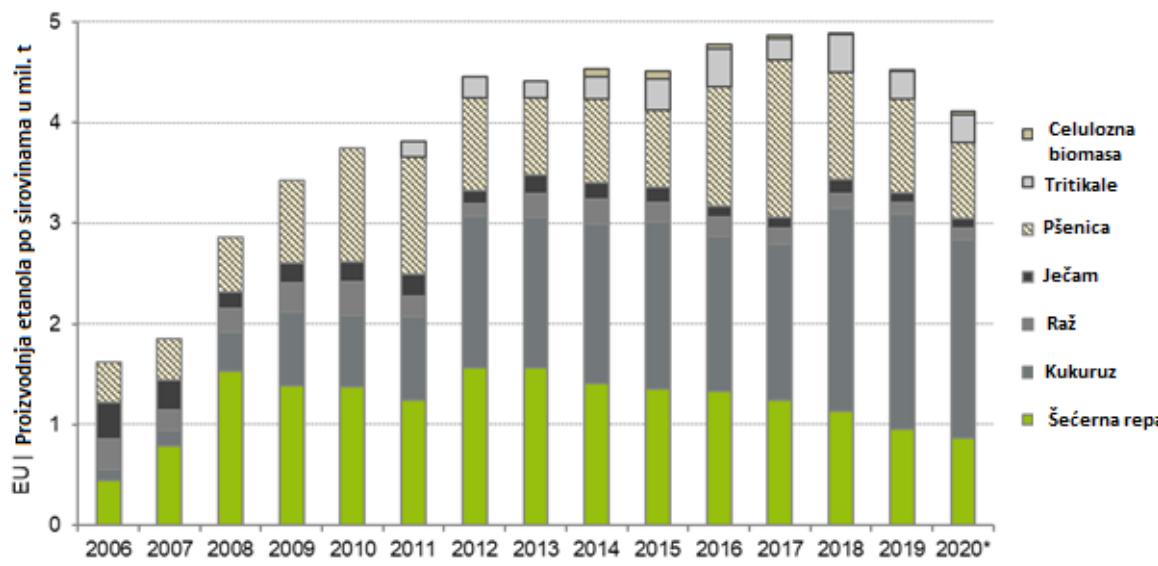
- Prestanak podrške biogorivima proizvedenim iz određenih visoko cijenjenih vrsta zemljišta, poput zemljišta visoke biološke raznolikosti, zemljišta s visokim udjelom ugljika i treseta.
- Namjenski cilj za takozvana napredna biogoriva, koja su biogoriva proizvedena iz (definiranih) ostataka. Ovaj se cilj povećava s 0,2% prometne energije 2022. na 1% u 2025. i konačno na najmanje 3,5% do 2030. godine

Za EU, paket RED II je usmjeren na održavanje uloge EU-a kao svjetskog lidera u obnovljivim izvorima energije, istovremeno pomažući EU-u da ispuni svoje obaveze smanjenja emisija u skladu s Pariškim sporazumom<sup>14</sup>. Strukturirani pregled trenutnih propisa u sektoru goriva dali su Schröder et al. (2022).

Prilike za nadogradnju su konverzija postrojenja prve generacije da proizvode više ili samo konverzija biogoriva druge generacije na npr. dodatke celuloznog etanola, dodaci za otpadna ulja biodizela ili dodatke bioplina. Primjeri najbolje prakse jest nadogradnja postrojenja za biodizel od biljnog ulja na životinjske masti i ulja za kuhanje u Volosu u Grčkoj, a naručila ga je tvrtka BDI iz Austrije i konverzija postrojenja koje je koristilo aditive bioplina na etanol na bazi šećerne repe u Anklamu u Njemačkoj od Suiker Unie. Ostale mogućnosti nadogradnje uključuju poboljšanje ravnoteže stakleničkih plinova (npr. proizvodnja bioplina iz otpada) ili naprednija poboljšanja elektro-goriva.

## 5.2 Dodatak celuloznog etanola bioetanolu prve generacije

Bioetanol nastaje fermentacijom s kvascem iz biomase koja sadrži dovoljne količine šećera. Iz **usjeva šećera** poput šećerne repe i šećerne trske, sokovi koji se fermentiraju lahko se izdvajaju u procesu koji je vrlo sličan prvim fazama proizvodnje šećera. Također je moguće dobiti fermentacijsku otopinu šećera iz **škrobnih kultura** poput pšenice ili kukuruza. Škrob je biopolimer nastao molekulama glukoze koji se toplinskim i enzimskim tretmanom zvanim saharifikacija može razgraditi u fermentabilne šećere. Sjemenke se melju da bi se dobilo brašno koje je se miješa sa vodom i enzimima i obrađuje na temperaturi do oko 90°C. Slika 13 prikazuje količine proizvodnje bioetanola. Nakon toga, bioetanol se danas proizvodi uglavnom iz kukuruza, šećerne repe i žitarica (posebno pšenice).



Database: GAIN reports "EU biofuels annual", \* Forecast

© DBFZ 01/2022

**Slika 13: Proizvodnja bioetanolnog goriva u EU u milionama tona godišnje (Podaci također dostupni u Schröder et al., 2022)**

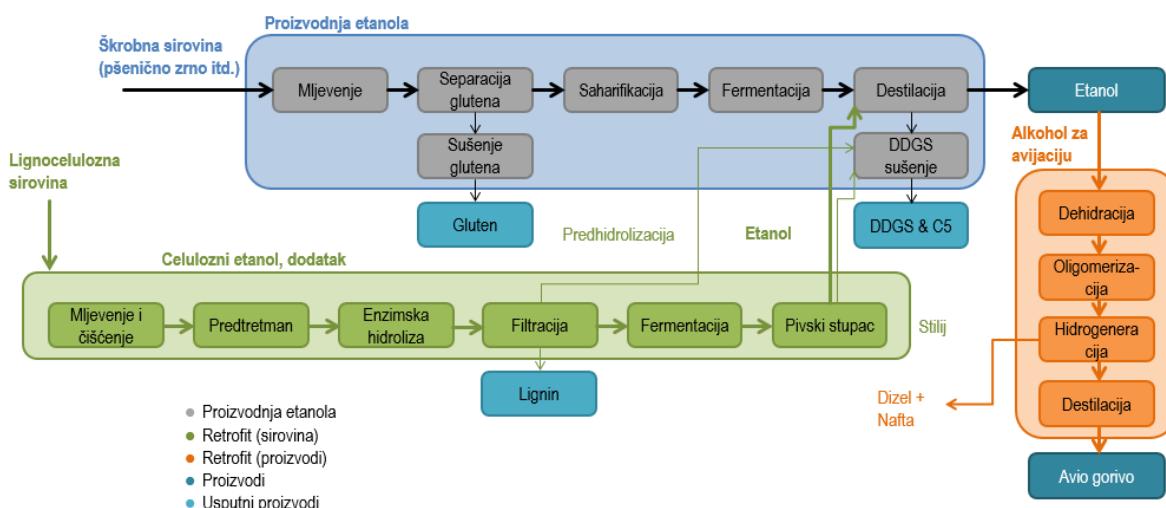
Proizvedene otopine šećera fermentiraju se s kvascem, čime se dobiva kaša s 12-16% etanola u procesu koji je sličan industrijskom varenju. Za dobivanje čistog etanola (> 99,5%) iz kaše primjenjuju se destilacija i druge metode pročišćavanja. Osim etanola, nakupljuju se i ostaci fermentacije. Za postupke koji koriste sirovine škroba ili šećera kao sirovine, ti se ostaci

<sup>14</sup> <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive>

nazivaju vinski talog. Sadržaj vode u tim nusproizvodima obično se smanjuje isparavanjem ili sušenjem da bi se povećala vrijednost kao stočni proizvod. Osobito stil koji se suši na **zrncima i topivima u destilerijama** (DDGS) važan je nusproizvod i daje dodatni prihod postrojenjima etanola prve generacije.

Daljnji potencijali biomase mogu se koristiti za proizvodnju etanola pomoću tehnologija druge generacije koje koriste lignocelulozne sirovine (Slika 14). Lignocelulozna biomasa poput drveta ili slame sastoji se uglavnom od celulozne, hemicelulozne i ligninske komponente. Celuloza je i biopolimer koji se temelji na glukoznim monomerima. Međutim, celuloza se teže saharificira i dobija fermentirajuća otopina šećera. Postojeće tehnologije za proizvodnju bioetanola druge generacije obično koriste termički postupak prethodne obrade poput eksplozije parom kako bi uništile kompozit lignin - celuloza - hemiceluloza. Ovaj predtretman ima za cilj olakšati naknadnu enzimsku saharifikaciju celuloze. Opet, etanol se fermentira iz otopine šećera i pročišćava slično silaznim procesima u lancima vrijednosti proizvodnje etanola prve generacije.

Budući da tehnologije etanola druge generacije i dalje trpe neizvjesnu ekonomsku održivost, dodatna rješenja za postrojenja sa etanolom prve generacije mogla bi rezultirati sinergijom i uštedom troškova (Macrelli i dr. 2014, Watanabe i dr. 2015). Mogu se razviti različiti koncepti za integraciju etanola druge generacije u postojeće pogone, pri čemu je jedan od njih nedavno istražen i procijenjen u BIOFIT studiji slučaja CIEMAT-a i Biocarburantes De Castilla Y León S A. Sinergija bi mogla biti rezultat korištenja lignoceluloznih dijelova usjeva škroba (npr. pšenične mekinje), dijeljenjem silaznih sekcija, prilagođavanjem sadržaja šećera fermentacije miješanjem kaše, dijeljenjem opće infrastrukture na mjestu biljke ili korištenja lignina kao obnovljivog izvora za proizvodnju toplinske energije.



**Slika 14:** Koncept kombinirane proizvodnje etanola prve i druge generacije sa dodatnom proizvodnjom mlaznog goriva

Aktivnosti na lansiranju lignoceluloznog etanola nedavno su se odvijale uglavnom u SAD-u i Brazilu. Glavni fokus bio je na integraciji u postojeća proizvodna mjesta. Na primjer, razvijeni su planovi za širenje lokacije Patriot Renewable Fuels u Annawanu, Illinois, (sada CHS Inc.) tehnologijom Inbicon lignocelulozne etanole. Postrojenje koje proizvodi oko 380.000 t/god etanola iz zrna, prošireno je za proizvodnju dodatnih 75.000 - 90.000 t/god etanola iz kukuruzne slame (Lane, 2019). Postojeća biorefinerija POET u Emmetsburgu u Iowi također je proširena postrojenjem za lignocelulozni etanol u zajedničkom ulaganju između kompanija POET-a i Royal-DSM-a. Novi dio postrojenja dizajniran je za pretvaranje 300.000 t/god kukuruzne slame u oko 60.000 t/god etanola (DSM; 2013). Kukuruznim vlaknima i etanolu kao pričvrstnoj otopini dodato je postrojenje za obrađivanje bioetanola Quad County Corn Processors. Ovdje je primijenjen takozvani "celeralni proces".

Na primjer, u Brazilu, Raízen, zajedničko ulaganje između proizvođača šećera Cosan i grupe mineralnih ulja Royal Dutch Shell, naručio je prvo od osam planiranih proširenja postrojenja u 2014. Kao rezultat širenja, dodatnih 32.000 t/god etanol se može proizvesti iz bagasa i slame šećerne trske na lokalitetu Piracicaba u São Paulu. Glavna biljna područja (predobrada, enzimska hidroliza i fermentacija) osigurala je kompanija Iogen Energy. Glavne prednosti integracije s postojećom tvornicom šećera su pristup jeftinim bagasima i slami, niži troškovi ulaganja zbog korištenja postojeće opreme i niži operativni troškovi. Planirano je drugo proširenje postrojenja sa proizvodnim kapacitetom od oko 95.000 t/etanola.

Koncept je upotrebe bagasa kao sirovine za etanol druge generacije i vraćanje ostataka lignina u kotao na licu mesta radi opskrbe energijom. Značajne integracijske mogućnosti vide se zajedničkim smještajem mlinu za šećernu trsku, koji uključuje:

- Pristup bagasu po niskim cijenama, pripremljen za upotrebu i stalnu opskrbu
- Pristup slami od šećerne trske trenutno preostale na terenu
- Značajne uštede kapitalnih troškova korištenjem postojeće opreme i druge infrastrukture
- Ušteda troškova poslovanja zbog dijeljenja iste lokacije.

Poznato je nekoliko studija koje se odnose na dodatke celuloznog etanola u evropskoj industriji etanola. U sklopu istraživačkog projekta "Biorefinery2021 - Energy from Biomass - New Paths to the Integrated Biorefinery", istraženi su različiti pristupi optimizaciji postrojenja za etanol. Razvijeni su koncepti koji uzimaju u obzir samostalnu i povezanu proizvodnju lignoceluloznog etanola (Gröngröft i dr., 2011). Također su razvijeni početni koncepti biljaka za kombinovanu preradu pšenice i pšenične slame. Utvrđeno je da se specifična ulaganja u izgradnju postrojenja za lignocelulozni etanol mogu umanjiti integrirajući ih u postojeće pogone (Gröngröft i dr., 2011).

Stoga se teško mogu naći studije o integraciji LC-etanola u postojeće evropske proizvodne pogone i njihove sirovine. Konkretno, kombinacija etanola lignoceluloze s etanolom repe i proizvodnjom šećera još nije istražena.

U okviru projekta BIOFIT, projektni partneri Biocarburantes de Castilla y Leon i CIEMAT istražuju integraciju proizvodnje 30 miliona litara etanola druge generacije iz neiskorištenih komponenti trenutnih sirovina u postojeći pogon za proizvodnju etanola na bazi žitarica u Babilafuenteu, Španija.

### 5.3 Alkoholi u avijaciji

Da bi se dodale dalje mogućnosti korištenja bioetanola, zrakoplovna goriva mogu se proizvesti iz alkohola u takozvanom postupku alkohol-mlaz (ATJ – alcohol to jet) (Slika 14). U ovom se procesu kratkolančani alkoholi (etanol, propanol ili butanol) pretvaraju u dugolančane ugljikovodike i razdvajaju u različitim frakcijama goriva.

ATJ proces započinje sa pročišćenim alkoholima. Etanol se proizvodi na gore opisani način i drugi alkoholi slično, ali s različitim mikroorganizmima i silaznim tehnologijama. Postoje različiti procesi za proizvodnju alkola u avijaciji, koji se malo razlikuju. Tipični koraci prikazani su na slici 14. Pri visokim temperaturama i pod visokim pritiskom OH grupe molekula alkohola dehidriraju (uklanjanje OH grupe), a zatim se pretvaraju u duže ugljikovodike (oligomerizacija). Rezultirajuća smjesa ugljikovodika različite dužine destilirana je u žljene frakcije, a preostale dvostruke veze zasićene su korištenjem vodika. (Diederichs i dr., 2016)

Kao proizvodi iz ATJ destilacije kerozina, najčešće nastaju frakcije dizela i nafte. Ovisno o putu procesa u ATJ-procesu, rezultirajuća frakcija kerozina može se proizvesti ili kao sintetički parafinski kerozin (ATJ-SPK) ili kao sintetički kerozin sa aromatima (ATJ-SKA). Prvo spomenuto gorivo je već odobreno za komercijalnu upotrebu u ASTM D7566, Aneks 5 i stoga se može koristiti kao komponenta za miješanje (do 50% zapremine) sa konvencionalnim

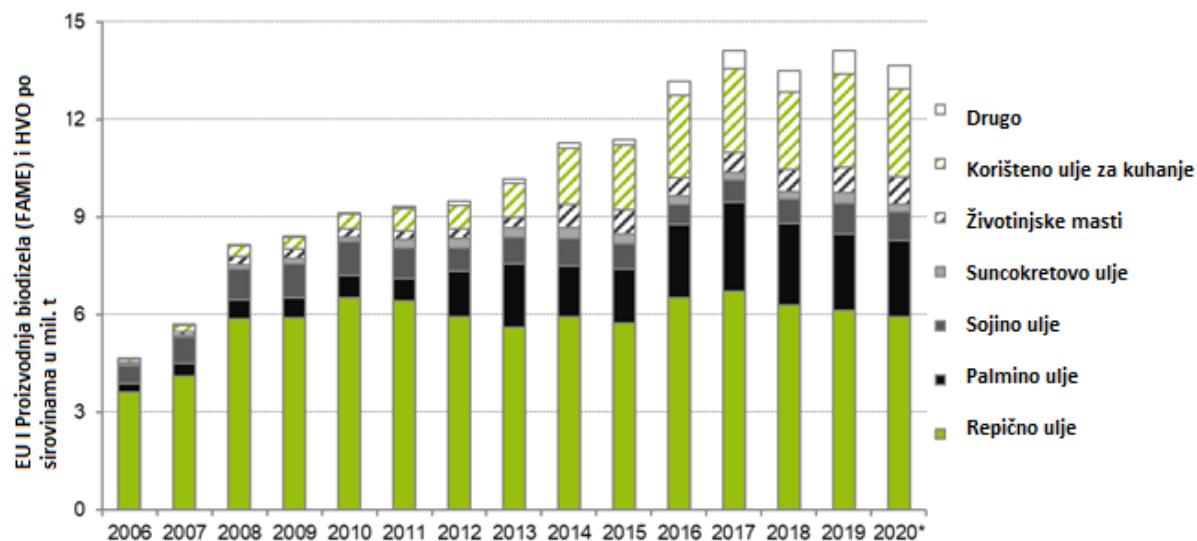
mlaznim gorivom. Odobrenje ATJ-SKA i stopa miješanja iznad 50% zapremine je trenutno pod istragom.

Konverzija 1G etanola u ATJ-SPK- još nije komercijalna, ali trenutno rade demonstraciona postrojenja i napravljeni su letni testovi s rezultirajućim kerozinom. Može se očekivati da će ATJ biti važan proces za buduću proizvodnju alternativnih avio goriva. U okviru projekta BIOFIT tim predvođen DBFZ-om i u suradnji sa Swedish Biofuels proveo je studiju slučaja o prednostima integracije ATJ-SKA tehnologije sa postojećim 1G postrojenjima za bioetanol. Procjena predviđa da bi naknadno opremanje svih postrojenja sa upotrebom etanola širom svijeta s naknadnim ATJ procesom moglo proizvesti oko 20% godišnje potražnje zrakoplovne industrije za gorivom (Reals, 2012).

Atraktivna alternativa korištenju etanola prve generacije u ATJ procesima bila bi upotreba viših alkohola poput **izobutanola**, jer oni brže stvaraju duže molekule u oligomerizaciji. Jedan od mogućih načina proizvodnje je proizvodnja izobutanola uz pomoć posebnih kvasca koje implementira GEVO Inc. Izazov je postići stabilan proces fermentacije koristeći genetski modificirane kvasce. Druge inovativne tehnologije proizvodnje alkohola također se razmatraju u vezi s ATJ-om. Na primjer, LanzaTech je razvio prikladnu fermentaciju plina na bazi procesa fermentacije. Ovdje se etanol može proizvesti iz otpadnih gasova sa poteškoćama otapanja dovoljno gasa u tečnosti. (Geleynse, 2018.)

#### **5.4 Dodaci za otpadna biodizel ulja**

Do 2010. godine biodizel u EU bazirao se uglavnom na uljnoj repici. Od tada se povećao udio ostalih uljnih kultura poput soje, suncokreta i palme. Ipak, ukupna proizvodnja biodizela iz uljnih sjemenki nije se značajno povećala od 2010. godine. Povećanje proizvodnje u posljednjim godinama uglavnom se temeljila na dodatnoj proizvodnji biodizela iz korištenog ulja za kuhanje (UCO), životinjskih masti i drugih. Na slici 15 prikazan je ovaj trend proizvodnje biodizela (FAME) i HVO u Evropi od 2006. (Naumann i dr. 2019.)



Database: GAIN reports "EU biofuels annual", \* Forecast

© DBFZ 01/2022

**Slika 15 Proizvodnja biodizela u EU (FAME i HVO/HEFA) u milionima tona godišnje**

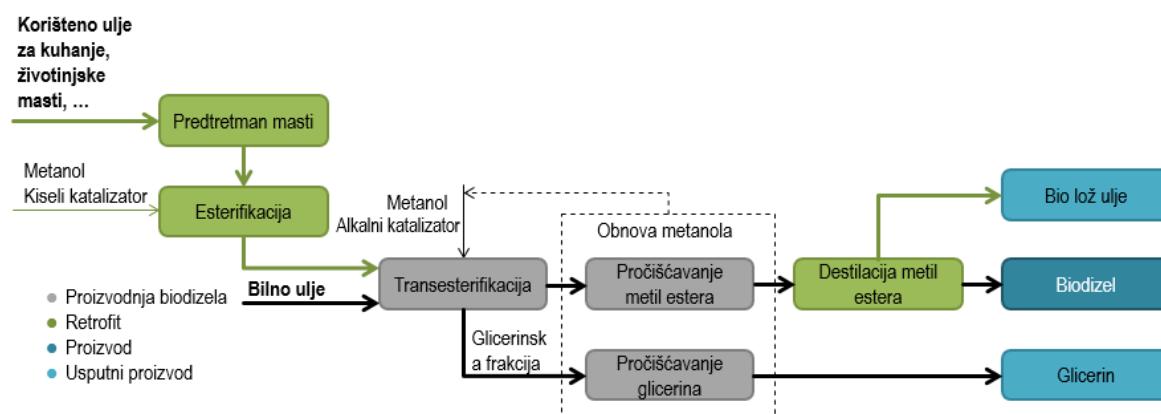
Kao sirovina za proizvodnju biodizela koriste se ulja ili masti, koja su se inicijalno dobijali iz biljaka koje sadrže ulje. Podijeljeni su na plodove ulja sa jezgrom koje sadrži ulje (uljna palma ili maslinovo drvo) i sjemenke koja sadrže ulje (repica, suncokret, lan ili soja).

Ulje se najprije mora izvući iz uljnih sjemenki koje se nalazi u različitim vrstama uljarica. Izvlačenje ulja se može vršiti hladnim presovanjem, vrućim i ekstrakcijskim presovanjem.

Tokom prerade uljanog sjemena proizvodi se presani kolač koji sadrži proteine, a koji se prodaje kao visoko kvalitetna stočna hrana.

Naknadni **procesi transesterifikacije** ulja razlikuju se prvenstveno u pogledu korištenih katalizatora i uvjeta procesa ( $T$ ,  $p$ ,  $t$ ). Nakon transesterifikacije biodizel se mora oprati i osušiti. Nusproizvod glicerol se obrađuje i, ovisno o korištenom katalizatoru, i dobija se sol. Metanol, koji je dodan u višku može se povratiti stupcem za ispravljanje.

Postrojenja za biodizel izgrađena za preradu biljnih ulja mogu se naknadno opremiti u pogone biodizela za otpadno ulje koje prvenstveno mogu prerađivati korišteno jestivo ulje (UCO) i otpadne životinjske masti. U poređenju sa uljima od uljane repice, ove vrste sirovina imaju nehomogeniji sastav sa različitim nivoima triglicerida, većim udjelom slobodnih masnih kiselina (FFA), kao i povećanim nivoom nečistoća poput plastike, fosfora, dušika i komponenata sumpora. Iz tog razloga, nemoguće je prerađivati korišteno ulje i otpadne životinjske masti u postrojenjima za biodizel, koja su izgrađena za biljna ulja bez promjene sastojaka. Stoga se u postupku moraju dodati koraci predobrade za razdvajanje nečistoća u tim vrstama sirovina (Slika 16). Nadalje, dodatni esterifikacijski reaktori - npr. s kiselinskim katalizatorom poput sumporne kiseline - smanjenje visokog sadržaja slobodnih masnih kiselina moraju biti integrисани u sistem proizvodnje biodizela. Nakon reakcije esterifikacije odvajanje sirovog biodizela i glicerolne faze provodi se sedimentacijom ili centrifugiranjem. Odvojene faze se zatim mogu integrisati u postojeći proces. Možda će biti potrebno i preoblikovati destilacijske dijelove za biodizel na osnovu otpada kako bi se mogli zadovoljiti kriteriji kvalitete EN14214 (evropski standard kvalitete biodizela).



Slika 16: Procesni koncept dodatka za otpadna biodizel ulja

Drugi specifični problem korištenim uljem za kuhanje i otpadnih životinjskih masti iz procesa topljenja je onečišćenje polimerom. Razlog tome nalazimo u procesu sakupljanja korištenog ulja zakuhanje. Korišteno ulje za kuhanje se obično sakuplja u posudama od polietilena ili polipropilena. Dijelovi ovih polimera se otapaju i ne mogu se ukloniti filtracijom. U slučaju životinjskih masti, plastika npr. ušne oznake domaćih životinja kontaminiraju životinjsku masnoću tokom postupka dostavljanja.

Rezultat tih plastičnih onečišćenja su naslage na izmjenjivačima topline i na dnu stupaca, kao i povećani sadržaj polimera u biodizelu ili glicerolnoj fazi. Raznim dodatnim inženjerskim metodama i postupcima, kao što je upotreba hidrogela s naknadnom filtracijom, upotreba poroznih membrana ili dodavanje zemlje za izbjeljivanje i aktivnog ugljena, koncentracija polimera u korištenim uljima za kuhanje i otpadnoj životinjskoj masti može se smanjiti. (Braune, 2016.)



Slika 17: Biodizel, mješavina biodizela i fosilni dizel (Izvor: DBFZ)

### 5.5 Pretvaranje glicerola u metanol

**Glicerol** je bezbojna viskozna tekućina bez mirisa koja je prisutna u svim prirodnim mastima i masnim uljima poput estera masnih kiselina (triglycerida). To je nusproizvod iz proizvodnje masnih kiselina ili biodizela i može se upotrebljavati na različite načine, npr. u kozmetičkoj industriji, kao dodatak hrani i za proizvodnju plastike ili biogasa.<sup>15</sup>

**Metanol** je najjednostavniji alkohol i lagana, hlapljiva, bezbojna i zapaljiva tekućina. Trenutno se većina metanola proizvodi katalitičkom pretvorbom sinteza iz fosilnih izvora. Korištenje glicerola kao sirovine omogućuje proizvodnju biometanola.<sup>16</sup>

Tokom procesa proizvodnje biodizela, glicerol se proizvodi kao nusproizvod u sličnim količinama koliko je potrebno metanolu za proizvodnju. Zbog sve veće potražnje biodizela, povećavat će se i proizvodnja glicerola, kao i potražnja za metanolom. Da bi se riješilo to pitanje, razmatra se reformiranje glicerola u metanol. (van Bennekom, Venderbosch, & Heeres, 2012)

#### Opis procesa

Postoje različiti načini reforme glicerola radi stvaranja metanola. U sljedećim poglavljima dva su ukratko opisana.

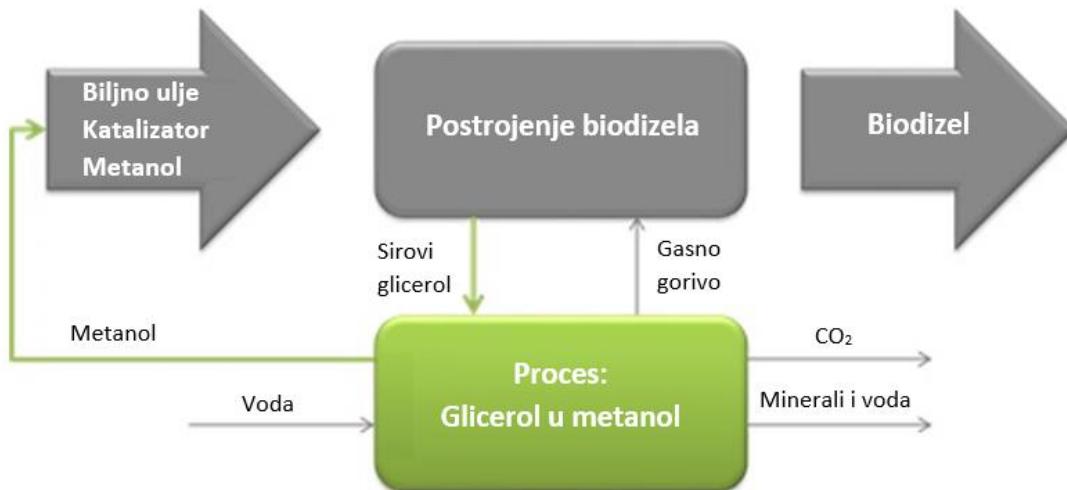
Proizvodnju metanola iz glicerola već je dokazala na industrijskom nivou firma iz Nizozemske, pod nazivom BioMCN. U svom procesu, sirovi glicerol se pročišćava i prolazi kroz promjenu pare. Proizvedeni sintetički gas pretvara se u metanol u uobičajenom reaktivnom reaktoru za sintezu metanola. BioMCN nudi na tržište i prodaje industrijske količine biometanola. Međutim, ova kompanija više ne koristi glicerol kao sirovinu, već metan.

U drugom načinu proizvodnje, proces glicerol-metanol (GtM), vlažni tok biomase (glicerol) pretvara se u sintetički gas reformom u nadkritičnoj vodi (RSCW). Nakon toga se dalje pretvara u metanol sintezom metanola pod visokim pritiskom. Projekat Supermetanol istražio je GtM proces i proveo nekoliko eksperimenata s integracijom postrojenja za biodizel (van Bennekom, Venderbosch, & Heeres, 2012). Slika 18 prikazuje ovaj GtM postupak s relevantnim koracima za proizvodnju biodizela prikazan sivom bojom, a onaj za GtM postupak prikazan zelenom bojom. Proizvodnja metanola integrirana je sa postrojenjem za biodizel kako bi se proizveo

<sup>15</sup> <https://www.chemie.de/lexikon/Glycerin.html>

<sup>16</sup> <http://www.etipbioenergy.eu/value-chains/products-end-use/products/methanol>

metanol iz nusproizvoda sirovog glicerola u proizvodnji biodizela i ponovno upotrijebio u postrojenju.



**Slika 18: Postupak glicerol u metanol (GtM)**

Kao što je gore spomenuto, jedna od primjena metanola je proizvodnja biodizela. Uz to, metanol je važan za hemijsku industriju za proizvodnju formaldehida, ocatne kiseline, polimera i boja. Može se koristiti i kao nosilac energije ili u malim postotcima u benzinskim mješavinama. (van Bennekom, Venderbosch, & Heeres, 2012)

Metanol proizveden iz sirovina biomase ima okolinskih benefita i može dugoročno dovesti do smanjenja troškova, ako cijena nafte poraste. Integriranje u biodizelsko postrojenje moglo bi poboljšati energetsku ravnotežu, učinke ugljika, održivost i ukupnu ekonomiju proizvodnje biodizela. Proizvođači manje ovise o tržišnoj cijeni metanola, postoje (djelomična) sigurnost opskrbe metanolom, pa se njihov nusproizvod koristi kao zelena, održiva sirovina (van Bennekom, Venderbosch, & Heeres, 2012). Tehnologija je uspješno testirana na pilot projektima, ali još uvijek nisu izgrađene demonstracijske jedinice.

Kao što je prikazano na slici 15, postojeća postrojenja za proizvodnju biodizela mogu se naknadno opremiti integriranjem jedinice glicerol u metanol, pri čemu se većina metanola reciklira nazad u proces biodizela.

## 5.6 Biometan

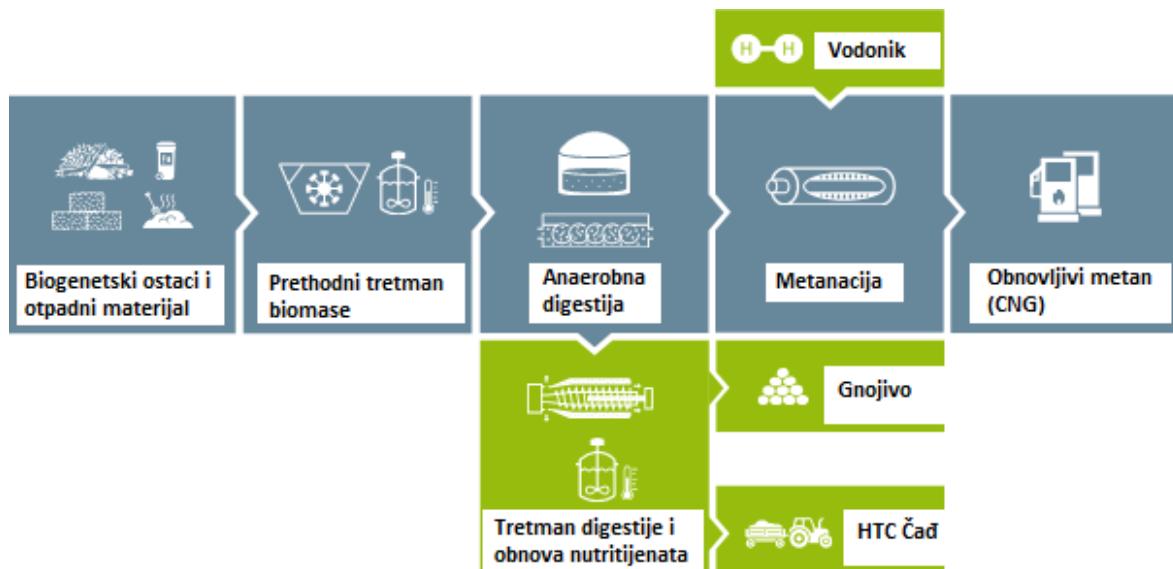
**Biogas** se može proizvesti anaerobnom digestijom probavljive sirovine. Biopljin se sastoji od otprilike 50-60% metana ( $\text{CH}_4$ ) i 40-50% ugljičnog dioksida ( $\text{CO}_2$ ) i malih količina sumporovodika ( $\text{H}_2\text{S}$ ), vode i siloksana. Biogas se ili koristi za kombinovanu proizvodnju toplote i električne energije sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem ili se metan može pročistiti nadogradnjom biogasa. Budući da je anaerobna digestija robustan proces, može se primijeniti na veliki broj različitih vrsta biomase. Osim korištenja namjenskih usjeva, veliku pažnju povlači i konverzija ostataka iz drugih postrojenja za preradu biomase. Stoga proizvodnja biogasa također može biti moguća retrofit opcija ili dodatak postojećim postrojenjima za konverziju biomase, npr. postrojenja na bioetanol. Posebno vlažni ostaci kao što su vinasa ili pulpa šećerne repe mogu se efikasno pretvoriti u biogas kao dodatni energet.

Kroz **tehnologije unapređenja biogasa**, većina  $\text{CO}_2$  se može odvojiti i može biti prikladan izvor ugljika za naknadnu obradu obnovljivim vodonikom, npr. do → elektrogoriva. Dobiveni pročišćeni gas naziva se biometan, koji se može kondicionirati prema istim standardima kao i fosilni prirodni plin, a zatim se ubrizgati u mrežu prirodnog plina. Može se koristiti kao zamjena za prirodni plin za transportne primjene kao komprimirani biogas (CBG) ili tečni biogas (LBG), pri čemu je ovaj posljednji posebno zanimljiv za sektor teškog transporta.

Na tržištu je dostupno mnogo različitih tehnologija za nadogradnju postrojenja na prirodni gas, uključujući pročišćavanje amina, apsorpciju promjene pritiska, ribanje vodom, organski fizikalni piling, kriogenu destilaciju i odvajanje membrane.

U DBFZ-u se trenutno instalira pilotska platforma s efikasnim procesima konverzije biogenih ostataka u obnovljivi metan (Slika 19). Ista sadrži:

- tehnike prethodnog tretmana poput usitnjavanja ili hidrotermalne obrade koje se mogu primijeniti na širok spektar različitih ostataka
- različite veličine anaerobnih posuda za fermentaciju kao što su CSTR reaktori i reaktori sa utikačem, pogodni za biomasu na različitim nivoima vlage
- katalitička metanacija CO<sub>2</sub> frakcije u biogasu, za povećanje količine metana
- tehnike za obradu digestata koje se sastoje od vijačnih presa, filter presa i dekanternih centrifuga za separaciju čvrstih tekućina, membranske filtracije za odvajanje tečnosti od tečnosti i sušara i autoklava za sušenje ili karbonizaciju čvrstih ostataka.



Slika 12: Pojednostavljena procesna shema pilot platforme za obnovljivi metan na DBFZ-u

Prema Evropskom udruženju za biopljin (2019.), u Evropi je do kraja 2017. djelovalo 17.783 postrojenja na biogas i 540 postrojenja na biometan. Ukupni instalirani električni kapacitet (IEC) u Evropi nastavio se povećavati u 2017. godini, rastući za 5% na dostižući ukupno 10.532 MW, dok je proizvedena električna energija iz bioplina iznosila ukupno 65.179 GWh. Proizvodnja biometana također se povećala na ukupno 19.352 GWh ili 1,94 bcm u 2017. godini.

Kao što FNR navodi, (2013), nadogradnja bioplina u biometan posljednjih je godina značajno dobila na značaju. Za razliku od kogenerativne proizvodnje na mjestu proizvodnje, postoji nekoliko prednosti koje se nude pretvorbom biogasa u biometan, nakon čega se uvodi u mreže prirodnog gasa, a zatim se koristi gdje god je potrebno. Korištenjem biogasa na mjestu gdje je velika potražnja za grijanjem, pretvorba biogasa u biometan doprinosi značajnom rastućem udjelu toplinske energije koja se koristi izvana; to zauzvrat dovodi do povećanja ukupne učinkovitosti korištenja biogasa.

Kako su tehnologije za nadogradnju posljednjih godina pojeftinile, prilika za operatere biogasnog postrojenja mogla bi biti prenamjena postrojenja za biopljin instaliranjem

nadogradnje u kojoj se proizvodi biometan. Postrojenja sa biometanom također se mogu smatrati rješenjima za naknadno opremanje za mnoge druge industrije na biološkoj osnovi (npr. Poljoprivreda, prerada hrane, celuloza i papir), jer se mogu koristiti na velikom broju vlažnih ostataka iz biološke baze.

### 5.7 Elektrogoriva

Električna goriva su goriva proizvedena sa vodikom koji je dobiven elektrolizom vode. Ostali izrazi koji se koriste za ovu vrstu goriva i za pretorbene načine su: el.energija u gas (power-to-gas, PtG), el.energija u tečnost (power-to-liquid, PtL), el.energija u x (power-to-x, PtX) i e-goriva. Vodik dobiven elektrolizom tada se koristi ili kao takav ili koristi za reakciju s CO ili CO<sub>2</sub> za stvaranje plinovitih ili tekućih ugljikovodika, npr. sintetička goriva za transport. Sintetička goriva putem elektrolize vode mogu se koristiti na sličan način kao i ona proizvedena drugim (fossilnim ili biobaziranim) putevima konverzije koji ne uključuju elektrolizu. Tabela 4 prikazuje različite vrste elektrogoriva. (Philibert, 2018.)

**Tabela 4: Pregled sintetičkih goriva**

	Bez ugljika	Sa ugljikom (elektrogoriva bazirani na ugljiku)
<b>Gasovi</b>	Vodik (H <sub>2</sub> )	Metan (CH <sub>4</sub> )/LNG
<b>Tečnosti</b>	n.a.	Metanol (CH <sub>3</sub> OH) FT goriva (C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> ) DME (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O)

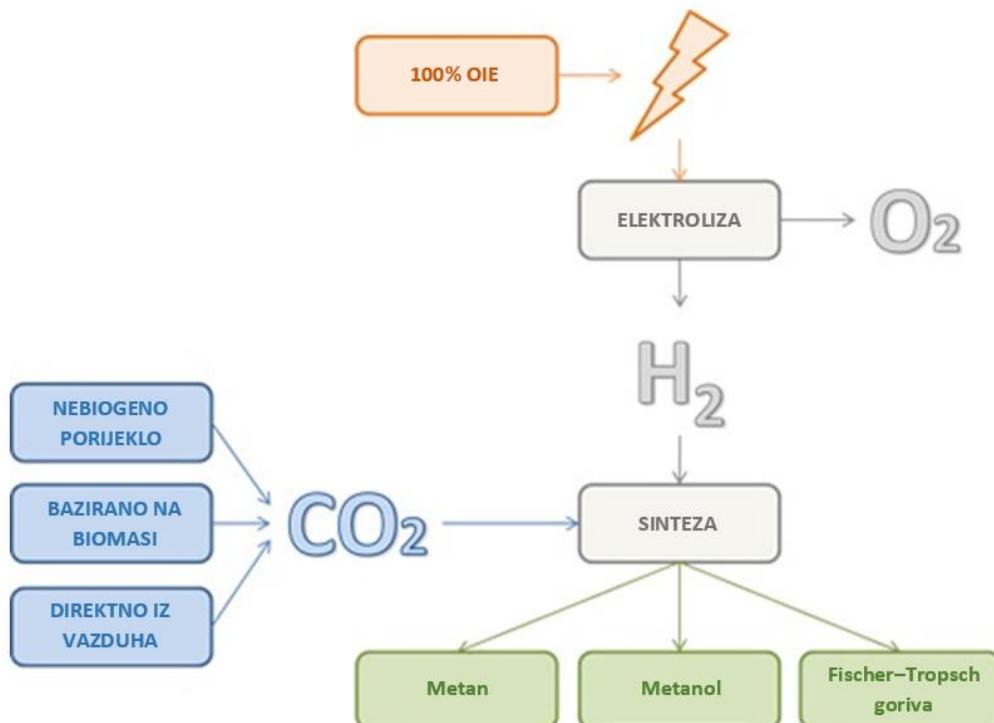
Održivost takvih elektrogoriva određena je porijeklom korištene električne energije, bilo da je obnovljiva ili ne. Nadalje, emisije stakleničkih gasova iz elektrogoriva na bazi ugljika ovise o porijeklu ugljika. U slučaju 1G sektora biogoriva, ugljik se hvata iz postrojenja koje prerađuje biomasu i proizvodi CO<sub>2</sub> kao dio proizvoda ili kao nusproizvod. Primjeri za ove tokove bogate CO<sub>2</sub> su fermentacijski otpadni plinovi iz proizvodnje etanola ili bioplina (sa naknadnom obradom biometanom), kao i otpadni plin iz adsorpcije s promjenama pritiska (PSA) npr. biobazirane gasne frakcije. Ova vrsta elektrogoriva na bazi biomase smatra se neutralnim po pitanju ugljika. Nadalje, što je relevantnije za druge sektore (kao što je sektor sagorijevanja fosilnih goriva ili fosilnih rafinerija), jeste recikliranje ugljika iz dimnih plinova izgaranja fosilnih goriva. U tom slučaju, CO<sub>2</sub>, koji bi inače bio ispušten, hvata se i ponovo koristi. Ova vrsta elektrogoriva se naziva **elektrogorivom od nebiogenog CO<sub>2</sub>**. Ali, ugljenik se takođe može direktno uhvatiti iz vazduha (**direktno hvatanje vazduha - DAC**). Ovaj proces zahtijeva električnu energiju i toplinu i, zbog niske atmosferske koncentracije CO<sub>2</sub>, energetski je intenzivniji od hvatanja ugljika iz biljne emisije. Ova vrsta elektrogoriva se smatra neutralnim po pitanju ugljika (Philibert, 2018).

Opseg do kojeg se električna goriva mogu računati kao obnovljiva goriva s obzirom na Direktivu o obnovljivoj energiji (RED-II) ovisi o udjelu obnovljivih izvora energije koji se koriste u proizvodnji električne energije koja se koristi za proizvodnju vodika. Ako nema izravne veze od potpuno obnovljive proizvodnje električne energije do postrojenja za proizvodnju elektrogoriva, uzima se u obzir nacionalni miks električne energije.

Za proizvodnju elektro goriva na bazi ugljika potrebna je električna energija i ugljični dioksid. Na slici 19 prikazani su načini pretvorbe u elektrogoriva na bazi ugljika. Tokom elektrolize, električna energija koristi se za cijepanje vode na kisik i vodik. Vodik se može koristiti kao gorivo ili se može kombinirati sa zarobljenim ugljičnim dioksidom radi daljnog pretvaranja vodika u ugljikovodike kroz procese sinteze. Ovisno o željenom proizvodu, ti postupci sinteze

koriste različite katalizatore za proizvodnju npr. metana, metanola, dimetiletara (DME) ili Fischer-Tropsch (FT) tekućina.

Druga opcija za korištenje tokova bogatih CO<sub>2</sub> na biobaziranoj osnovi bila bi direktna upotreba singasa iz gasifikacije biomase, parnog biometana ili reformisanja biogasa ili drugih puteva proizvodnje singasa. Sinteza se sastoji od vodonika, CO i CO<sub>2</sub>, a što se tiče elektrogoriva, sintezom se mogu proizvesti različiti proizvodi (vidi Tabelu 4). Dodavanje vodonika u odgovarajući proces može dodatno povećati izlaz proizvoda. Ako se vodik dodaje u proces anaerobne fermentacije, mikroorganizmi (hidrogenotrofni metanogeni) mogu izvršiti biološku metanaciju, što dovodi do većeg prinosa metana.



**Slika 19: Načini proizvodnje elektrogoriva**

Budući da pojam elektrogoriva uključuje različite vrste goriva, mogućnosti za krajnju upotrebu su svestrane. Neki krajnji načini korištenja su sljedeći:

- Kako bi se nadopunile druge tehnologije proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora, u otočnim sistemima (npr. u Japanu) često se razmatra korištenje električnih goriva (vodika) s visokim troškovima isporuke fosilnih goriva.
- Da bi se olakšala upotreba vodika u manjim industrijskim i zgradama, može se ubrizgati u plinsku mrežu miješanjem s prirodnim plinom ili metanom. Postoji i mogućnost korištenja čistog vodika u plinskim mrežama, ali to se i dalje suočava s poteškoćama, poput visokih troškova ili problema s učinkovitošću.
- Upotreba elektro-goriva (ili drugih sintetičkih goriva) u transportu (npr. cestovni, brodski, zračni) omogućava visoke uštede u emisijama. Za cestovna vozila postoji nekoliko mogućnosti, poput upotrebe FT-goriva kao goriva u konvencionalnim vozilima, upotrebe metana ili metanola u prilagođenim vozilima ili upotrebe vodika u vozilima s gorivim čelijama. U pomorskom sektoru vodik se smatra za kraća putovanja, ali ne i za brodove koji idu duga putovanja preko oceana. U avijaciji, FT goriva se prema ASTM D7566, Aneks 1, mogu koristiti u mješavinama sa konvencionalnim mlaznim gorivom do 50% po volumenu.

Električna goriva su i tekuća i plinovita goriva, pa je primjena svestrana. **Prednosti** elektrogoriva su, između ostalog, mogućnost dugotrajnog skladištenja, potencijalno mali intenzitet stakleničkih plinova i njihova primjena u konvencionalnim vozilima. Međutim, visoki gubici pretvorbe i visoki troškovi transporta i distribucije čine elektro-goriva prilično skupim. (Philibert, 2018.)

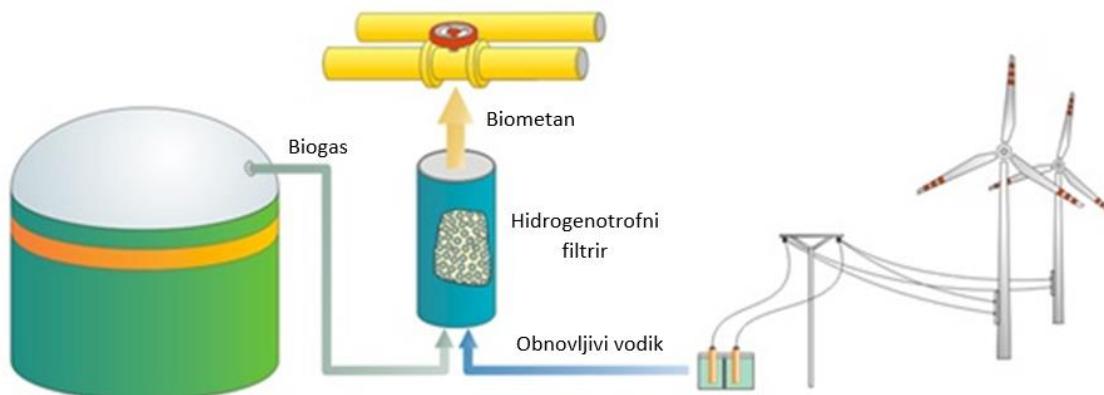
### **Prilike za nadogradnju**

Postojeća postrojenja za proizvodnju etanola ili bioplina mogu se naknadno opremiti (produžiti) 'hvatanjem' CO<sub>2</sub> iz procesa fermentacije i kombiniranjem ovog CO<sub>2</sub> s vodikom dobivenim elektrolizatorom. Naknadna sinteza može stvoriti metan, methanol, DME ili FT-tekućine.

Postojeće jedinice za uplinjavanje biomase mogu se naknadno opremiti dodavanjem vodika u sirovi sintetički gas, mijenjajući omjer vodik u ugljični monoksid i djelomično ili u potpunosti zamjenjujući reakciju promjene plina vode. Kao rezultat toga, iz ugljika u biomasi može se proizvesti više goriva.

Existing biogas facilities can be retrofitted with a second reactor fed with hydrogen and biogas. **Biological methanation** is capable of converting most of the carbon dioxide in the raw biogas to additional methane.

Postojeća postrojenja za biopljin mogu se naknadno opremiti drugim reaktorom koji se napaja vodikom i biopljinom. Biološka metanacija može pretvoriti većinu ugljičnog dioksida u sirovom biopljinu u dodatni metan.



**Slika 20:** Biološka metanizacija (Izvor: Rachbauer i dr. 2016)

### **5.8 Zaključci**

Kada se porede ciljevi za smanjenje emisija u sektoru transporta s razvojem održivih alternativa, postaje jasno da treba izgraditi mnogo proizvodnih kapaciteta. Iako se to radi, naknadno opremanje uglavnom bi imalo smisla kada se proizvodi dodatno gorivo, kada se efikasnost procesa može povećati, ili životni ciklus stakleničkih emisija poboljšati. Promjena iz jedne sirovine na biološkoj osnovi (prve generacije) u druge biomasne sirovine (druge generacije) može dovesti do proizvodnje biogoriva koje se smatra održivijim, ali ne doprinosi značajnom smanjenju fosilnih goriva u transportnom sektoru.

Općenito, evropska postrojenja za biogorivo prilično su nova, budući da su većina izgrađena nakon 2005. Stoga se skupa ulaganja u mjere opremanja postojeće infrastrukture mogu činiti rano s gledišta operatora postrojenja. Ipak, budući da biogoriva proizvedena od usjeva za hranu i stočnu hranu podliježu ograničenju unutar EU (1G), korištenje naprednih sirovina za biogoriva kao što je spomenuto u Aneksu IX RED II (2G) nudi bolje tržišne mogućnosti, posebno nakon 2030. godine.

Neke druge preporuke su konkretnije:

- Propisi značajno utječu na sektor biogoriva. Ovi propisi također imaju veliki utjecaj na ekonomiju ulaganja u nadogradnju. Stoga bi se izmjene propisa morale provoditi s oprezom kako bi se očuvalo povjerenje operatora postrojenja u njihove poslovne planove. Čini se da se rizik od promjene propisa smatra vrlo velikim, što očito koči ulaganja u sektor biogoriva.
- **Politička podrška** biogorivima je opala u posljednjih nekoliko godina u poređenju sa drugim inovacijama u sektoru transporta, kao što su elektromobilnost ili upotreba vodonika koji su privukli više pažnje u političkoj debati. Podrška biogorivima, koja su danas komercijalno dostupna, mogla bi značajno doprinijeti dekarbonizaciji transportnog sektora. Ovaj nedostatak političke podrške predstavlja veliku neizvjesnost za industriju biogoriva koja mora odlučiti hoće li u budućnosti investirati ili ne.
- Kako bi se biometan iskoristio kao obnovljivo gorivo za transport, potrebno je poticati i podržavati izgradnju **infrastrukture** za njegovo korištenje. Veći udio vozila sa pogonom na CNG omogućio bi korištenje biometana u hiljadama postrojenja za biopljin, od kojih bi mnoga mogli koristiti bio-ostatke kao sirovinu.
- Biobazirani ugljik je vrijedan resurs i stoga ga treba razumno prerađivati i tokom konverzije koristiti u potpunosti. Pogotovo što se svi transportni sektori ne mogu uzeti u obzir za elektrifikaciju ili konverziju u gorivne ćelije u trenutnom stanju, postojeća postrojenja za preradu biomase bi trebala razmotriti zatvoreni ciklus ugljika, npr. u smislu međusektorskih biorafinerija ili hibridnih pristupa sa elektrogorivima.
- Proizvođači biogoriva trenutno nemaju direktni pristup kupcima i malo su mogućnosti oglašavanja prednosti njihovih proizvoda. Shodno tome, namjenski proizvodi biogoriva na pumpama mogu pružiti mogućnost kupcu da biraju održiva goriva.
- **Emisije CO<sub>2</sub>** različitih goriva (fosilnih i biogoriva) trebaju biti vidljivi kupcu na pumpi.
- Proizvodnja naprednih biogoriva kao što su npr. bioetanol je energetski intenzivan proces. Upotreba obnovljive energije u procesu se snažno preporučuje za smanjenje emisija stakleničkih gasova i povećanje koristi za okoliš.

## 6 Nadogradnja i poboljšanje fosilnih rafinerija

### 6.1 Pregled sektora

Rafinerije fosilnih goriva pretvaraju sirove nafte u gotove proizvode tako što ih razgrađuju i prerađuju u nove proizvode poput goriva za transport.

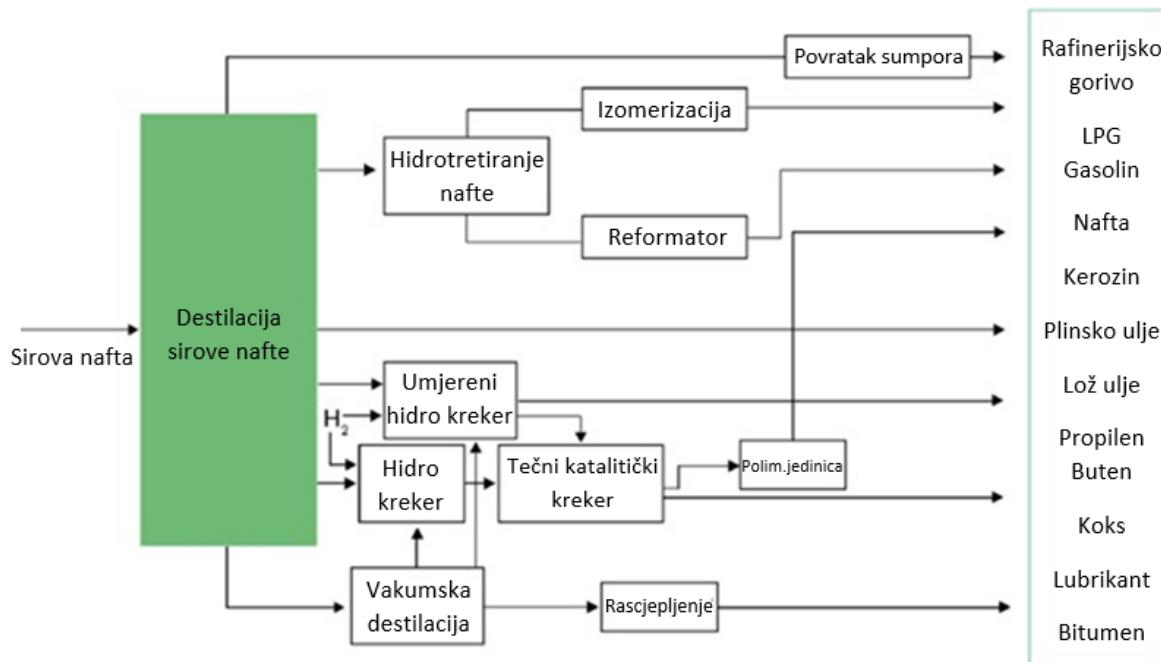
Sirova nfta se izvlači iz zemlje. Postoji mnogo vrsta sirovie nafte, sa mnogo različitih komponenti. Većina tih sastojaka su ugljikovodici (molekule koje se sastoje od elemenata ugljika i vodika). Ostale komponente u sirovoj nafti sastoje se od kombinacije ugljikovodika i male količine drugih elemenata, poput sumpora, azota i metala.

Rafinerije su velika i kapitalno zahtijevna postrojenja koja pretvaraju sirovu naftu u konačne proizvode. U evropskim rafinerijama oko 65% proizvoda su goriva za transport, poput dizela, benzina, kerozina, teške nafte i gasa u tečnom stanju. 25% proizvoda napravljeno je za druge namjene, kao što su bitumen, maziva, lož ulje i koks. 10% proizvoda je petrohemijska sirovina koja se koristi u hemikalijama, sintetičkim gumama i raznim plastikama.



**Slika 21:** Fosilne rafinerije su veliki industrijsku kompleksi gdje se proizvode različite vrste goriva za transport, kao i drugi proizvodi (Izvor: Rafinerija Hellenic Petroleum u Solunu)

Glavni procesi u rafineriji su 1) odvajanje sirove nafte u različitim frakcijama i 2) obrada tih frakcija u različite proizvode. Na slici 22. prikazani su neki osnovni procesi tipične rafinerije. 'Srce' svake rafinerije je atmosferska destilacija. U destilacijskom dijelu sirova nfta se zagrijava, a razdvajanje se provodi na temelju tačke ključanja. Gasoviti proizvodi (sa najnižim tačkama ključanja) napuštaju kolonu s vrha, a teške frakcije (s visokim tačkama ključanja) napuštaju kolonu sa dna.



**Slika 22:** Tipičan process u rafineriji

Svaka rafinerija jedinstvena je zbog razlika u geografskom položaju, specifikacijama sirove nafte, tržišta, specifikacijama proizvoda itd. Rafinerije proizvode različite proizvode na temelju njihovih ulaznih materija i potreba tržišta. Rafinerije mogu i mijenjaju sastav proizvoda i količine kontinuirano na temelju faktora unutar fizičkih ograničenja svojih rafinerijskih procesa. Zbog složenosti njihovog poslovanja i međusobne povezanosti različitih procesa, koriste se matematički modeli za podešavanje rafinerijskih parametara tako da se mogu proizvesti proizvodi u pravim količinama i specifikacijama.

Rafinerije se mogu klasificirati Nelsonovim indeksom složenosti. Nelsonovom indeks složenosti je brojčana vrijednost koja označava koliko postrojenja za preradu u rafineriji ima nakon destilacije sirove sirovine, čija je složenost 1. Mogu se podijeliti u sljedeće kategorije:

**Tabela 5: Klasifikacija fosilnih rafinerija prema Nelsonovom indeksu složenosti**

Konfiguracija	Vrsta procesa
<b>Osnovni</b>	Nema jedinica za konverziju izvan destilacije sirove nafte
<b>Konfiguracija 1</b> (kompleksnost <2), dolivanje rafinerija	Najjednostavniji tip rafinerije nafte, koji se sastoji od destilacijske jedinice, nafto-reformatora i potrebnog tretmana
<b>Konfiguracija 2</b> (kompleksnost 2 – 6), hidro skidajuće rafinerije	Kao konfiguracija 1, ali sa vakuum destilatom i katalitičkim krekerom
<b>Konfiguracija 3</b> (kompleksnost 6 – 12) rafinerije za konverziju	Opremljen hidro-krekerom, maksimizirajući proizvodnju benzina i srednjih destilata
<b>Konfiguracija 4</b> (kompleksnost >12, rafinerije za duboku konverziju)	Uključuje i jedinice za hidrokrekiranje i katalitičko krekiranje i koks jedinice za pretvaranje najtežih frakcija sirove nafte u lakše proizvode

Mnoge rafinerije u EU imaju relativno malu složenost (konfiguraciju 1 i 2), dok mnoge rafinerije u SAD-u, Indiji i Perzijskom zaljevu imaju mnogo veće složenosti. Veća složenost znači veće kapitalne troškove, ali i veću fleksibilnost i mogućnost izrade proizvoda veće vrijednosti.

Sa kapacitetom rafiniranja od oko 13,2 milijuna barela dnevno<sup>17</sup>, što predstavlja 13% ukupnog globalnog kapaciteta<sup>18</sup>, EU je drugi najveći proizvođač naftnih derivata u svijetu nakon Sjedinjenih Američkih Država<sup>19</sup>. U EU-ovih 90 rafinerija direktno je zaposleno 120.000 ljudi, a indirektno 1,2 miliona ljudi. Sektor transporta u EU trenutno se pogoni tekućim (fosičnim) gorivima<sup>20</sup>, a odgovoran je za više od 25% emisija stakleničkih gasova u EU<sup>21</sup>.

U posljednjem desetljeću - otprilike od 2007. pa nadalje, rafinerijski sektor EU-a zabilježio je tržišno smanjenje uslijed promjene tržišne potražnje i konkurenциje modernijih rafinerija izvan Europe. Ukupno je oko 20 rafinerija zatvoreno ili pretvoreno u biorafinerije, a neke su također smanjile svoje kapacitete. To je rezultiralo smanjenjem broja rafinerija sa 110 na 90.

Počevši od 2015., marže su povećane, usporavajući zatvaranje europskih rafinerija. Modernizacija europskih rafinerija omogućila im je preradu težih i kontaminiranih nafta.

## 6.2 Smanjenje emisije ugljika u fosičnim rafinerijama

Zbog potrebe za smanjenjem emisija ugljika u okolinu, kako je dogovoren Pariškim sporazumom iz 2016., EU je nastojala razviti obnovljive alternative fosičnim transportnim gorivima, poput biogoriva. Biogoriva su tečna ili gasovita transportna goriva kao što su biodizel i bioetanol koji se proizvode iz biomase. Oni služe kao obnovljiva alternativa fosičnim gorivima u transportnom sektoru EU, pomažu u smanjenju emisija stakleničkih gasova i poboljšavaju sigurnost opskrbe EU.

Direktivom o obnovljivim izvorima energije (RED) (2009/28/EC) bilo je predviđeno da će EU do 2020. godine 10% transportnog goriva svake zemlje EU-a dobiti iz obnovljivih izvora, kao što su biogoriva. Od dobavljača goriva također se traži da u 2020. godini smanje intenzitet stakleničkih gasova za 6% u odnosu na 2010.

Izvorni RED ažuriran je 2018. godine Revidiranim direktivom o obnovljivoj energiji (RED II) (2018/2001/EU)<sup>22</sup>, koja je objavljena kao dio paketa 'Čista energija za sve Europoljane'. U RED II propisano je da svaka država članica treba osigurati dobavljačima goriva da osiguraju da udio obnovljive energije u konačnoj potrošnji energije u prometnom sektoru bude najmanje 14% do 2030. godine.

Prihvaćeno je - i unutar samog sektora - da je glavni izazov sektora rafiniranja kako upravljati tranzicijom u ekonomiji sa niskim udjelom ugljika<sup>23</sup>. Europska platforma rafinerija, FuelsEurope, izdala je vlastiti dokument o viziji „Vision 2050“<sup>24</sup> u 2018. godini u kojem iznose svoju viziju budućnosti s niskim udjelom ugljika za rafinerijsku industriju. Glavne stavke ove vizije su:

- Rafinerijska industrija EU-a izjavljuje da su posvećeni doprinosu cilju EU, tj. voditi svijet u rješavanje problema globalnih klimatskih promjena nastavljajući smanjivati

<sup>17</sup> <https://www.concawe.eu/refineries-map/>

<sup>18</sup> [https://www.eni.com/docs/it\\_IT/eni-com/azienda/fuel-cafe/WORLD-OIL-REVIEW-2018-Volume-1.pdf](https://www.eni.com/docs/it_IT/eni-com/azienda/fuel-cafe/WORLD-OIL-REVIEW-2018-Volume-1.pdf)

<sup>19</sup> <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/oil-gas-and-coal/oil-refining>

<sup>20</sup> [www.fuels-europe.eu](http://www.fuels-europe.eu)

<sup>21</sup> <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases/transport-emissions-of-greenhouse-gases-10>

<sup>22</sup> [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2018.328.01.0082.01.ENG&toc=OJ:L:2018:328:TOC](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.328.01.0082.01.ENG&toc=OJ:L:2018:328:TOC)

<sup>23</sup> <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/Highlights%20%26%20summary%20of%20the%206th%20EU%20Refining%20Forum%20FINAL.pdf>

<sup>24</sup> <https://www.fuels-europe.eu/vision-2050/>

emisiju CO<sub>2</sub> i osiguravati privredama i građanima gorivo s niskim udjelom ugljika i druge proizvode za društvene potrebe.

- Dugoročno očekuju da će obnovljivi ugljikovodik ostati ključan za hemijske sirovine, marine, zrakoplovstvo i dio teških vozila
- Predviđaju veću upotrebu novih sirovina, poput obnovljivih izvora energije, otpada i zarobljenog CO<sub>2</sub> u vrlo učinkovitom proizvodnom centru u sinergiji s drugim sektorima, poput hemikalija i daljinskog grijanja
- Bit će potrebno mnogo tehnologija za proizvodnju tečnosti s niskim udjelom ugljika s mogućnošću isporuke mobilnosti i niskim emisijama tokom životnog ciklusa u svim transportnim segmentima, kao što su održiva biogoriva, CCS/CCU, obnovljivi vodik i dr.
- Očekuju da bi do 2050. tekuća goriva sa niskim udjelom ugljika mogla smanjiti neto emisiju stakleničkih gasova iz privatnih automobila i kombija za 87% u odnosu na 2015. godinu.

Iz ovih glavnih tačaka jasno je da evropski sektor rafinerija želi značajno smanjiti emisiju ugljika, te da se bioenergija i biogoriva smatraju dijelom ovog rješenja. 2020. godine FuelsEurope je objavio potencijalni put ka klimatskoj neutralnosti pod naslovom „Čista goriva za sve”<sup>25</sup>.

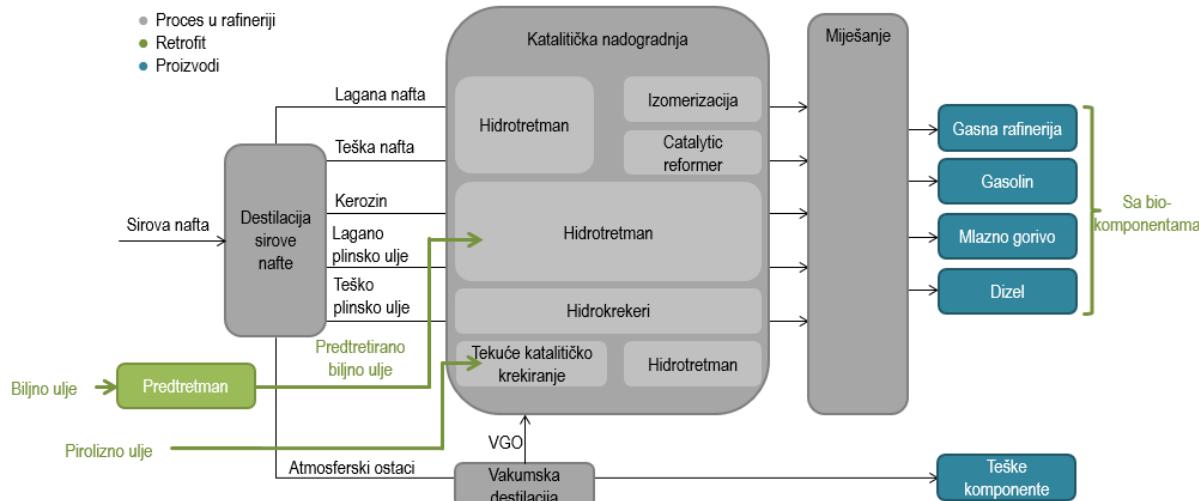
### ***Mogućnosti za nadogradnju***

Kao što je prepoznato iz sektora rafinerija, uvođenje bioenergije način je povećanja proizvodnje obnovljivih transportnih goriva u svom sektoru. Glavna tehnologija za postizanje ovog cilja je **hidroprerada** obnovljivih tekućih ulja, poput palminog ulja i korištenog ulja za kuhanje, te ih nadograditi na obnovljiva transportna goriva u rafinerijama. Ta „zelena biogoriva“ nazivaju se i HVO (hydrogenirana biljna ulja, eng. Hydrogenated Vegetable Oils). Već postoji nekoliko rafinerija koje su opremljene za proizvodnju hydrogeniranih biljnih ulja.

Ostale su tehnologije slabije razvijene. Glavni pravci za pretvaranje lignoceluloznih materijala u goriva uključuju različite oblike termohemijskih transformacija kao što su termička piroliza, katalitička piroliza, hidropiroliza, hidrotermalna likvidacija i ukapljivanje u otapalima ugljikovodika (Perkins i dr. 2019). Jedan od obećavajućih načina za povećanje udjela obnovljivih goriva je **dodavanje obnovljivog biogoriva piroliznom ulju** u rafinerijama.

Te su tehnologije objašnjene u sljedećim poglavljima i prikazane su na slici 23.

<sup>25</sup> <https://www.fuels-europe.eu/clean-fuels-for-all/>



**Slika 23:** Integracija biljnog i piroliznog ulja u procese rafinerija

### 6.3 Integracija hidrogeniranih biljnih ulja

Simoni za HVO (hidrogenirana biljna ulja) je HEFA (hidroprocesirani esteri i masne kiseline, eng. hydroprocessed esters and fatty acids). HVO/HEFA se proizvode drugačije od "tradicionalnog biodizela", koji se također naziva FAME (metil ester masne kiseline, eng. Fatty Acid Methyl Esters). Tradicionalni postupak proizvodnje biodizela uključuje hemijsku reakciju (presteterifikaciju) masti ili ulja metanolom u namjenskim postrojenjima za proizvodnju biodizela. Ova transaterifikacija dovodi do biodizela (FAME) i nusproizvoda - glicerola.

Pojednostavljeni postupak proizvodnje HVO-a prikazan je na slici 24. Sirovine su biljna ulja, korištena ulja za kuhanje ili druga korištena ulja i masti. Nakon predobrade za uklanjanje nečistoće, proizvodnja HVO-a odvija se u dva koraka<sup>26</sup>.

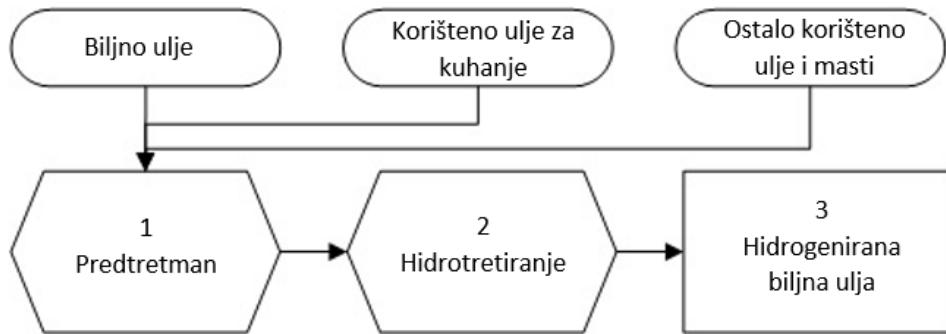
U prvom koraku (slika 25.) - nazvanim hidroprocesom - ulja i masti se pretvaraju u parafine. Parafini su ravni ugljikovodici lanci, koji se nazivaju i alkani. Alkani su relativno jednostavne molekule, sastoje se od zasićenih molekula ugljika i vodika, odakle i naziv ugljikovodici. Ovaj se proces odvija pri reakcijskim temperaturama 300°C i 390°C. Uljima i mastima se dodaje vodik - ovdje prikazani kao trigliceridi - kako bi se doble dvostrukе veze.

Potom se vodik koristi za dijeljenje molekule u ravni lanac, a propan (koji se također naziva bioLPG) kao nusproizvod. Zatim se uklanja kisik u obliku vode (deoksigenacija) ili kao CO<sub>2</sub> (dekarboksilacija).

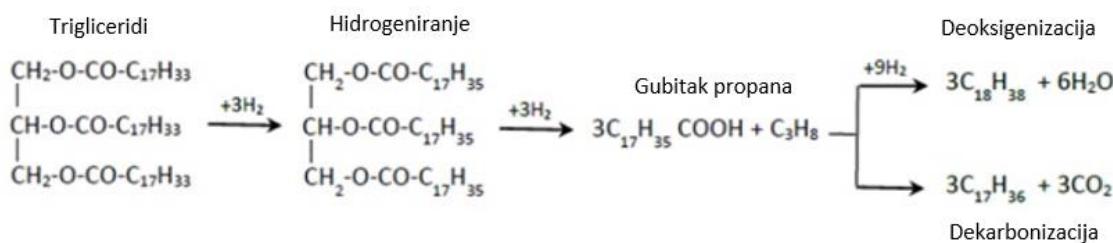
U drugom koraku - nazvanom izomerizacijom - parafini puknu i izomeriziraju se tako da zeleni dizel (glavni proizvod) ispunjava potrebne zahtjeve za hladnim svojstvima. Nusproizvodi su zelena nafta i zeleno mlazno gorivo. HVO-i su mnogo sličniji dizelskoj frakciji u destilaciji sirove nafta nego FAME (metil ester masne kiseline). HVO ne sadrže kisik, nema dvostrukih veza, nema aromatika i nema sumpora (Istraživački centar Jülich, 2019). Pokazano je da su sirovine sa visokim stepenom zasićenosti povoljnije, jer će im biti potrebna manja količina vodika tokom hidrogeniranja. (Mittelbach, 2015.)

<sup>26</sup>

<http://www.etipbioenergy.eu/value-chains/conversion-technologies/conventional-technologies/hydrotreatment-to-hvo>



**Slika 24:** Pojednostavljeni blok dijagrama HVO procesa



**Slika 25:** Hidroprocesiranje ulja i masti, prvi od dva koraka u postupku dobijanja HVO/HEFA.

Proizvodnja HVO-a komercijalno je dokazana, a već postoji nekoliko kompanija koje licenciraju tehnologiju<sup>27</sup>, poput Axens IFP (Vegan), Honeywell UOP (Green Diesel), Neste (NextBTL), Haldor Topsoe (Hydroflex) i ENI (Ecofining).

Za proizvodnju HVO-a može se koristiti širok spektar ulja i masti:

- Biljna ulja, uključujući ulje iz prehrabrenih kultura poput uljane repice, suncokretovog, palminog ulja, ali i nejestiva ulja poput jatrofe i duhanskog ulja
  - Životinjske masti, poput loja, bijele masti i masti od peradi
  - Otpadna ulja, kao što su korišteno ulje za kuhanje (UCO) i žuta mast
  - Mikrobnna ulja

Većina tih sirovina su trigliceridi, što znači da proizvodnja HVO-a daje bioLPG kao nusproizvod. Neke sirovine, poput destilata palminih masnih kiselina (PFAD) i visokog ulja, su ravne masne kiseline i ne daju bioLPG kao nusproizvod<sup>28</sup>.

Proizvodnja HVO-a može se izvoditi kao samostalna ili preuređena fosilna rafinerija. Tabela 6 daje pregled trenutnih i planiranih projekata proizvodnje HVO-a<sup>29</sup>:

<sup>27</sup> [https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste\\_renewable\\_diesel\\_handbook.pdf](https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste_renewable_diesel_handbook.pdf)

<sup>28</sup> <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/2/250/pdf>

<sup>29</sup> Argus, HVO production and outlook 2019 map, <https://www.argusmedia.com/en/bioenergy/argus-biofuels>

**Tabela 3: Trenutna i planirana HVO/HEFA proizvodnja u Evropi**

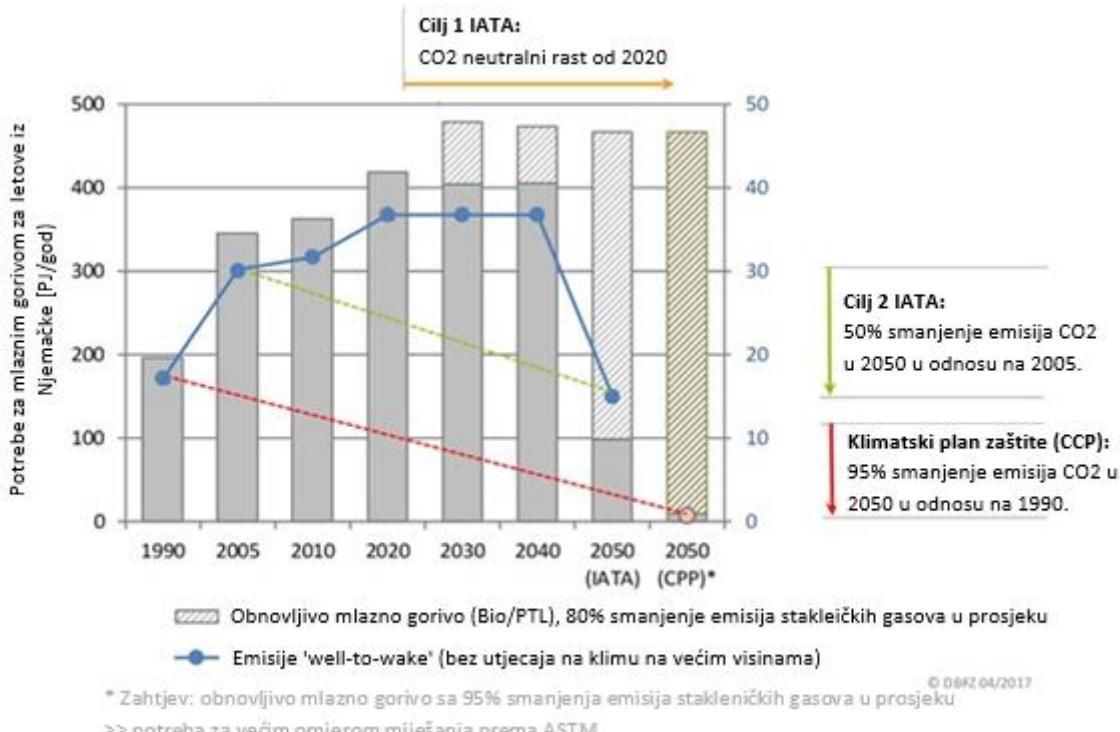
Operator	Lokacija	Tip	Status	Gorivo	Kapacitet (t/god)
<b>ST1+SCA</b>	Gothenburg (Sweden)	samostalna	Planirana	HEFA	200.000
<b>ST1+SCA</b>	Ostrand (Sweden)	samostalna	Planirana	HEFA	300.000
<b>Sunpine</b>	Pitea (Sweden)	samostalna	U pogonu	HVO	100.000
<b>UPM</b>	Lappeenranta	samostalna	U pogonu	HVO	130.000
<b>UPM</b>	Kotka (Finland)	samostalna	Planirana	HVO	500.000
<b>Neste</b>	Porvoo (Finland)	samostalna	U pogonu	HVO/HEFA	580.000
<b>Neste</b>	Rotterdam (Netherlands)	samostalna	U pogonu	HVO/HEFA	1.000.000
<b>Galp</b>	Sines (Portugal)	samostalna	U pogonu	HVO	220.000
<b>Shell</b>	Rotterdam (Netherlands)	samostalna	Planirana	HVO/HEFA	820.000
<b>SkyNRG</b>	Delfzijl (Netherlands)	samostalna	Planirana	HEFA	70.000
<b>Ukupna samostalna proizvodnja – u pogonu</b>					2.330.000
<b>PREEM</b>	Gothenburg (Sweden)	retrofit	U pogonu	HVO	220.000
<b>PREEM</b>	Gothenburg (Sweden)	retrofit	Planirana	HVO	1.080.000
<b>BP</b>	Castellon (Spain)	retrofit	U pogonu	HVO/HEFA	80.000
<b>Repsol</b>	various (Spain)	retrofit	U pogonu	HVO/HEFA	200.000
<b>Cepsa</b>	La Rabida (Spain)	retrofit	U pogonu	HVO	43.000
<b>Cepsa</b>	San Roque (Spain)	retrofit	U pogonu	HVO	43.000
<b>ENI</b>	Venice (Italy)	retrofit	U pogonu	HVO/HEFA	300.000
<b>ENI</b>	Gela (Italy)	retrofit	U pogonu	HVO/HEFA	600.000
<b>Total</b>	Grandpuits (France)	retrofit	Planirana	HVO/HEFA	400.000
<b>Total</b>	La Mede (France)	retrofit	U pogonu	HEFA	100.000
<b>Ukupna proizvodnja rafinerija u pogonu</b>					1.586.000
<b>Ukupni kapaciteti u pogonu i planirani u rafinerijama</b>					3.066.000

Na svojstva HVO-a može se utjecati nadogradnjom reakcija korištenjem različitih vrsta katalizatora i izmjenom reakcijskih uvjeta, poput temperature i pritiska. Stoga se svojstva HVO-a mogu prilagoditi različitim industrijskim potrebama, tako da je moguće dobiti goriva koja udovoljavaju specifikacijama zrakoplovnih goriva.

FAME i HVO imaju različita svojstva materijala. Budući da je FAME ester, njegov se hemijski sastav razlikuje od fosilnog dizela, što u praksi znači da je njegova upotreba u EU-u ograničena na maksimalni postotak od 7% ("zid mješavine"). Taj je maksimum utvrđen zbog mogućih problema u motorima kao što su oštećenja na određenim dijelovima, nakupljanje ugljika u motoru i apsorpcija vode, što bi dovelo do rasta mikroba u spremniku goriva. Ostali nedostaci s FAME-om su njegova relativno visoka tačka smrzavanja. HVO nema ovih problema jer je vrlo sličan fosilnom dizelu.

HVO se može koristiti i za cestovni i za zračni saobraćaj. Primjena HVO-a u zrakoplovnom sektoru dokazana je raznim testovima različitih zrakoplova i kompanija. HVO je već od 2011. certificiran međunarodnim ASTM standardom D7566. Prema ovom standardu, moguća je stopa miješanja od 50% (Isfort i dr., 2012). Iako su tehnologije dostupne, do sada se HVO za zrakoplovstvo proizvodi samo u serijama za namjenske testove. Primjer je test koji sprovodi kompanija Neste Renewable Aviation Fuel u većoj razmjeri, sa 1.187 letova iz Lufthanse između Frankfurta i Hamburga i jednim interkontinentalnim letom u Washington DC u 2011. Unutar tih testova nije došlo do komplikacija i komercijalna upotreba u budućnosti je dokazana. (Neste Oil, 2012).

Zbog nedostatka drugih alternativa, održiva zrakoplovna goriva će u budućnosti biti potrebna za klimatski povoljniji zračni saobraćaj (Zech i dr., 2014). Traži se alternativno gorivo nalik kerozinu s karakteristikama pada, jer zahtijevaju malo ili nikakvu izmjenu u gorivnoj infrastrukturi i zrakoplovima. Zrakoplovna goriva na biološkoj osnovi također omogućuju miješanje kerozina na bazi fosilnih goriva s alternativnim gorivima. Na slici 26. prikazana je potreba za mlaznim gorivom za sve letove koji polijeću iz Njemačke (sive trake) i pridružene emisije CO<sub>2</sub> (plava linija). Za smanjenje emisije CO<sub>2</sub> s povećanjem potrebe za mlaznim gorivom, potrebno je letjeti održivim zrakoplovnim gorivima. Ovo će u budućnosti trebati veliku količinu goriva za održivi zračni saobraćaj za postizanje ambicioznih ciljeva Međunarodnog udruženja za zračni promet (IATA, zelena linija) i plana zaštite klime njemačke vlade (crvena linija).



**Slika 13 Potrebe za mlaznim gorivom za sve letove koji polijeću iz Njemačke (Dietrich i dr., 2017)**

Troškovi proizvodnje HVO-a procijenjeni su u okviru šire studije o troškovima biogoriva<sup>30</sup>. U ovoj studiji utvrđeno je da su troškovi proizvodnje HVO goriva između 600 - 1.100 €/t, odnosno 14-25 €/GJ. Dominirajući troškovi - 60% do 80% - su troškovi za sirovine. Troškovi za HVO nalaze se na donjem kraju spektra u poređenju sa troškovima za ostala biogoriva. Troškovi biogoriva iz biometana mogu biti niži (11-34 €/GJ), ali sva ostala biogoriva - poput celulozognog etanola, FT tekućina itd. - pokazuju veće raspone troškova.

U narednim godinama može se očekivati značajno širenje proizvodnje. Razlozi za to su niska tačka smrzavanja HVO-a, bez „miješanog zida“ i mogućnosti korištenja HVO-a kao zrakoplovnog goriva. Oprema potrebna za proizvodnju HVO-a slična je opremi koja se koristi

<sup>30</sup> EU DG Mobility and Transport, „Building up the future – Cost of Biofuels“ (2018)  
<https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/13e27082-67a2-11e8-ab9c-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF>

za odsumporavanje fosilne sirove nafte. Stoga je ova tehnologija prikladna za nadogradnju fosilnih rafinerija.

Trenutno je udio HVO-a u proizvodnji biodizela u EU-u (2018.) 17%. Tabela 6 pokazuje da, iako je operativni kapacitet u rafinerijama trenutno znatno manji od kapaciteta u pogonu samostalnih psotrojenja, rafinerijski kapacitet u bliskoj budućnosti će se značajno povećati.

Jedan od primjera projekata HVO-a je rafinerija Total refinery La Mède (Francuska). Od 2015.godine ova rafinerija fosilnih goriva je pretvorena u biorefineriju. Danas ima kapacitet od 500.000 tona biodizela tipa HVO. Početak proizvodnje bio je u julu 2019. U budućnosti se može proizvesti i zrakoplovno gorivo (Total, 2019). Drugi primjer je projekt Eni u Geli (Italija). Izvan Europe, količina proizvodnje HVO-a je manja. U Sjevernoj Americi treba se proizvesti 1.155.000 tona 2020. godine, što je slično Aziji. U Aziji se najveća količina (800.000 tona godišnje) proizvodi u postrojenju Neste NExBTL u Singapuru<sup>31</sup>.

Nabavka sirovina ipak će biti vrlo izazovna, budući da RED II ograničava biogoriva iz prve generacije usjeva, a osim toga nekoliko država članica - posebno Francuska i Norveška - prestaju razmatrati goriva na bazi palminog ulja kao biogoriva od 2020. Godine pa nadalje. Sirovine druge generacije koje se temelje na otpadu nisu u velikoj opskribi i zemlje sakupljanja izvan Europe (Kina, SAD, Indija) mogu povećati lokalnu potrošnju biodizela na osnovi otpada.

Općenitiji izazov je promjena mješavine goriva u Europi. Iako će se potrošnja kerozina povećati u sljedećih 10 godina, potrošnja dizela neprestano će opadati, sa 53% sada na 33% u 2050<sup>32</sup>.

#### **6.4 Integracija piroliznog ulja u fosilne rafinerije**

Piroliza je proces u kojem se biomasa zagrijava u nedostatku zraka/kisika. U tim se uvjetima organski materijal raspada, stvarajući paru, trajne gasove i drveni ugljen. Para se može kondenzovati da bi se stvorio glavni proizvod: tečnost za pirolizu. Da bi se povećala proizvodnja te tečnosti, potrebno je brzo zagrijavanje biomase, kao i kondenziranje pare. Odatle i potiče naziv brza piroliza. Pretvaranje biomase može se usmjeriti na proizvodnju drvenog ugljena. U ovom slučaju zagrijavanje je manje brzo, a proces se naziva spora piroliza ili karbonizacija. Potom se obično provodi pri temperaturama nižim od 400°C.

Brza piroliza namijenjena je pretvaranju biomase u maksimalnu količinu tekućine od oko 60 do 70 % sirovine (maseni udio). Dobijeno je jednoliko, stabilno i čisto gorivo, proizvod koji bi mogao poslužiti kao posredni energetski nosač i sirovina za daljnju obradu. Bitni procesni uvjeti brze pirolize za proizvodnju piroliznih tečnosti su:

- vrlo brzo zagrijavanje relativno malih čestica biomase (red veličine: u sekundama),
- kontrolisanje temperature reaktora pirolize na oko 500°C,
- kratko vrijeme zadržavanja isparavanja kako bi se izbjeglo dalje raspadanje u trajne gasove,
- brzo hlađenje svih para kako bi se dobila željena tečnost za pirolizu.



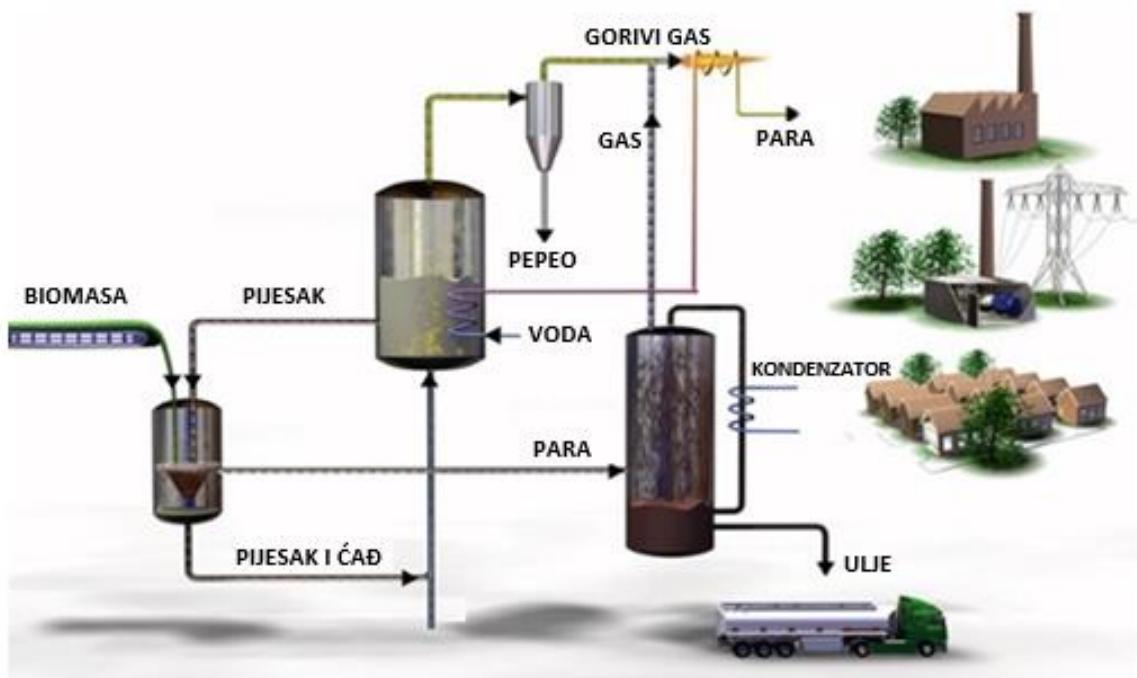
**Slika 27: Pirolizno ulje**

<sup>31</sup> <https://www.chemicals-technology.com/projects/neste-oil-plant/>

<sup>32</sup> Greenea Conference presentation, May 2019, Denver, USA,  
<https://www.greenea.com/en/publications/>

U europskim i američkim laboratorijima testirani su različiti tipovi reaktora. Među njima su vrtložni reaktor, reaktor s rotirajućim noževima, rotirajući konusni reaktor, ciklon reaktor, transportirani slojni reaktor, vakuumski reaktor i reaktor s fluidnim slojem. Tokom 1980-ih i 90-ih uspostavljeno je mnogo pilot postrojenja. Međutim, iz različitih razloga, većina pilot postrojenja više ne radi. S druge strane, pojavilo se i nekoliko uspješnih primjera. Među njima je i Ensynov postupak sa cirkulacijskim fluidom koji se već dugi niz godina koristi za proizvodnju „tekućeg dima“. Savez Ensyna i UOP-a rezultirao je osnivanjem Envergena, koji ima za cilj proizvodnju biogoriva. Drugi uspješan primjer je postupak razvijen u BTG-u pomoću rotirajućeg konusa (slika 28).

Tehnologija koja se temelji na rotirajućem konusu uspješno se primjenjuje u Maleziji na pirolizi u praznim voćnjacima, kao i u Nizozemskoj na pirolizi otpadne drvene biomase (EMPYRO). Postrojenje EMPYRO pušteno je u rad 2015. godine, a najveći dio ulja za pirolizu bio je isporučen u Friesland Campina radi proizvodnje industrijske topline. Nakon tri godine uspješnog pokretanja, EMPYRO postrojenje pokreće u punom kapacitetu, a kupio ga je Twence.



**Slika 28:** Prikaz procesa pirolize baziran na tehnici rotirajućeg konusa (Izvor: BTG)

Piroliza nudi mogućnost odvajanja proizvodnje goriva od rukovanja biomasom u smislu vremena, mjesta i razmjera, lako rukovanje tekućinama i konzistentniju kvalitetu u poređenju sa bilo kojom čvrstom biomasom. Brzom pirolizom dobiva se čista tekućina (slika 27) kao međuproizvod pogodan za široku primjenu, od kojih je jedna u rafinerijama.

Svojstva ulja pirolize (tabela 7) prilično su različita od mineralnih ulja. Ulje obično sadrži malu količinu pepela i značajnu količinu vode (to je emulzija). Volumetrijska gustina energije je 5 do 20 puta veća od početne biomase iz koje se proizvodi. Gustina je veća od loživog ulja i znatno veća od biomase. Gornja toplotna moć piroliznog ulja je 16-23 MJ/l, što je puno niže od loživog ulja koje ima tipičnu vrijednost gornje toplotne moći od 37 MJ/l. Ulje pirolize je kiselo, sa pH vrijednošću od 3. To je crvenkasto-smeđa tečnost sa mirisom koji podsjeća na okus roštilja. Zbog prisutnih velikih količina kisikovih sastojaka, ulje ima polarnu prirodu i ne miješa se lako s ugljikovodicima.

**Tabela 7: Karakteristike piroliznog ulja (Izvor:BTG)**

Svojstvo	Jedinica (maseni udio)	Vrijednost
C	wt%	46
H	wt%	7
N	wt%	<0.01
O (Balans)	wt%	47
<b>Sadržaj vode</b>	wt%	25
<b>Sadržaj pepela</b>	wt%	0.02
<b>Sadržaj čvrstih materija</b>	wt%	0.04
<b>Gustoća</b>	kg/l	1.2
<b>Donja topotna moć</b>	MJ/kg	16
<b>Donja topotna moć</b>	MJ/l	19
<b>pH vrijednost</b>	-	2.9
<b>Kinematska viskoznost (40°C)</b>	cSt	13

Kao nusproizvodi se javljaju proizvodi u obliku ugljika i kondenzacijskih gasova. U industrijskom procesu ova dva nusproizvoda (oba od 10 do 20% masenog udjela) koristila bi se prvenstveno kao gorivo za stvaranje potrebne procesne topline (uključujući sušenje sirovina). No ponekad se proizvodi ugljika također predlažu kao sredstvo za poboljšanje tla ili kao zamjena za metalurški koks u industriji čelika. Alternativno, za posebne svrhe (i razloge), oni se mogu rekombinirati s uljem za brzu pirolizu da bi se dobila kaša od ugljenog ulja.

Plinoviti nusprodukt u osnovi je mješavina CO i CO<sub>2</sub>. Osim emisija dimnih plinova i pepela nastalog izgaranjem ugljika, nema drugih otpada. Pepeo iz biomase bit će uglavnom koncentriran u nusproizvodu ugljika. On se razdvaja kada u procesu izgaranja, tj. za proizvodnju topline za sušenje i grijanje sirovina na biomasu.

Gotovo sve vrste biomase prikladne su kao sirovina za pirolizu. Glavni zahtjevi za postupak brze pirolize su da je biomasa relativno suha (manje od 6-8% sadržaja vlage) i relativno male veličine (nekoliko milimetara).

Drvo i drveni ostaci vrlo su pogodni za pirolizu, ali mogu se koristiti i mnoge druge vrste biomase, poput rižine ljske, bagasa, mulja, duhana, energetskih kultura, ostataka palminog ulja, slame, ostataka maslinovog kamena, pilećeg gnojiva i mnogih drugih. također. Vrsta biomase i ostatak utječe na iskorištenje i kvalitetu piroliznog ulja. Drvena biomasa obično daje najveće prinose.

Budući da samo nekoliko vrsta biomase ispunjava dva kriterija - veličinu i sadržaj vlage - kada se sijeku, komercijalna postrojenja za proizvodnju ulja za pirolizu zahtijevaju predobradu biomase. Dio za predobradu može se napajati pomoću viška topline i snage pirolizne instalacije sve dok sadržaj vlage ne pređe određenu granicu (oko 55-60% masenog udjela).

Proizvodnja piroliznog ulja trenutno se obavlja na nekoliko lokacija u Europi:

- Postrojenje za pirolizu EMPYRO u Hengelu, Holandija pretvara 5 tona na sat suhe drvene biomase u ulje za pirolizu. Postrojenje je dovršeno 2015. godine i dostiglo je

potpunu proizvodnju - 24.000 tona piroliznog ulja godišnje - u 2018. Pirolizno ulje trenutno je kombinovano sa prirodnim plinom za proizvodnju pare u obližnjoj mlijekarskoj tvornici FrieslandCampina u Borculo (Nizozemska).

- Konzorcijum koji stoji iza EMPYRO postrojenja – saradnja između kompanija BTG Bioliquids i Technip<sup>33</sup> - izgradio je dva druga velika postrojenja, jedno u Finskoj<sup>34</sup>, a drugo u Švedskoj<sup>35</sup>.
- Fortum i Valmet implementirali su 50.000 tona postrojenja za proizvodnju piroliznog ulja, integriranog s postrojenjem Joensuu CHP u Finskoj. Postrojenje za pirolizu pušteno je u rad Marketinški naziv pirolizirajućeg ulja Fortuma je Fortum Otso<sup>36</sup>.

Pored ovih postrojenja, postoji nekoliko postrojenja koja rade izvan Europe, a temeljena su na Ensyn/Honeywell UOP platformi. Izgrađena su tri postrojenja za pirolizu koja se odnose na proizvodnju obnovljivih goriva, i to Ontario (Kanada), postrojenje za pirolizu proizvoda Red Arrow Products u Wisconsinu (SAD) i nedavni projekt AE Cote-Nord u Montrealu (Kanada).



**Slika 14: Postrojenje za pirolizu Empyro u Hengelu, Holandija**

### ***Mogućnosti za nadogradnju***

Pirolizno ulje je relativno homogena tekuća biomasa koja se može proizvesti iz različitih vrsta čvrste biomase. Stoga je u principu pogodan za primjenu u rafinerijama, jer rafinerije koriste tekućine i zato što su rafinerije postrojenja velikih razmjera koja zahtijevaju velike količine unosa. Za normalnu pozamašnu biomasu to nameće logističke izazove, ali gustina energije piroliznog ulja je takva da transport na većim udaljenostima postaje ekonomičan.

Sadržaj kisika je važna tehnička barijera primjene piroliznog ulja u rafinerijama. Budući da se pirolizno ulje proizvodi relativno jednostavnom termičkom razgradnjom biomase, puno kisika prisutnog u biomasi također je prisutno u ulju za pirolizu. Taj kisik treba u potpunosti ili djelomično ukloniti kako bi se mogla proizvesti goriva za transport.

Postoji nekoliko načina dodavanja piroliznog ulja u rafinerijama.

- Ulje za pirolizu može se unijeti u FCC (Katalitički krekant fluida) rafinerije. Kompanija Petrobras je to izvela na pilot projektu u Brazilu. U poglavlju 'trenutni status' ovaj postupak je detaljnije objašnjen.
- Prethodno obraditi pirolizno ulje tako da je dio kisika već uklonjen pomoću koraka hidrodeoksigenacije koji se izvodi u procesu katalitičkog hidrotretiranja. Na ovaj način, dostupan je poboljšani oblik piroliznog ulja koje se lahko može upotrijebiti u rafineriji. Budući da puna deoksigenacija zahtijeva prilično malo vodika, alternativni pristup je samo djelomično deoksiniranje piroliznog ulja i dovršavanje pretvorbe u transportno gorivo u postojećoj rafineriji postrojenja sirove nafte.

<sup>33</sup> <https://www.btg-bioliquids.com/>

<sup>34</sup> <https://www.btg-bioliquids.com/plant/green-fuel-nordic-lieksa-finland/>

<sup>35</sup> <https://www.btg-bioliquids.com/plant/pyrocell-gavle-sweden/>

<sup>36</sup> <https://www.fortum.com/products-and-services/power-plant-services/fortum-otsos-bio-oil>

Dokaz koncepta za dovod djelomično nadograđenih piroliznih tekućina u FCC prvi je put demonstriran u EU FP6 projektu BIOCOUP koji je zaključen 2010. To je dodatno razvijeno u EU FP7 projektu FASTCARD, koji je imao za cilj učinkovitiju pretvorbu biomase u biogoriva poboljšavanjem katalizatora. Već je zaključeno da je 'co-FCC nadograđenog piroliznog ulja tehnički moguć. Trenutno (2019.), hranjenje piroliznim uljem u rafinerijama dodatno se istražuje u rafineriji H2020 projekta.<sup>37</sup>

Što se tiče FCC spektra proizvoda, ne pojavljuju se neočekivana odstupanja. To samo ovisi o stepenu poboljšanja ulja pirolize i omjeru dodatka hranjenja. Prinosi koksa i plina obično su sve veći. S obzirom na uslove (pritisak, temperaturu, prostor), u kojoj su tekućine za pirolizu prethodno obrađene u prethodnom koraku hidrotretiriranja, mogu se razlikovati tri vrste sirovina dobivenih pirolizom: (1) potpuno deoksigenirano, (2) djelomično deoksigenirano i (3) neobrađene tekućine od pirolize. Potpuno deoksigenizirane tekućine trebale bi se ponašati slično kao i uobičajena hrana za FCC (vakuum plinsko ulje ili VGO), dok neobrađene tekućine za pirolizu daju više koksa i plina u usporedbi s VGO. Očito će i omjer doziranja VGO u odnosu na pirolizne tekućine imati snažan učinak na krajnji rezultat.

Nedavno su procijenjeni **troškovi** proizvodnje biogoriva iz dodatka piroliznim uljem<sup>38</sup>. U ovom istraživanju, procijenjeno je da su troškovi proizvodnje biogoriva iz piroliznog ulja između 16 - 29 eura/GJ. Treba napomenuti da, budući da se dodavanje piroliznim uljem u rafinerijama primjenjuje u samo jednom postrojenju (the PREEM rafinerija u Lysekil, Švedska), postoji znatna neizvjesnost u vezi s troškovima. Troškovi sirovina su niži u poređenju sa troškovima sirovine za HVO, jer se iz lignoceluloznih ostataka može proizvesti pirolizno ulje.

**Troškovi** biogoriva proizvedenih iz ulja za pirolizu nalaze se na donjem kraju spektra u usporedbi s troškovima za ostala biogoriva. Troškovi za biogoriva iz biometana i troškovi za HVO (pogldati prethodno poglavlje) mogli bi biti niži, ali sva ostala biogoriva pokazuju veći raspon troškova.

Integracija piroliznog ulja u fosilnim rafinerijama još nije u potpunosti komercijalna. Međutim, došlo je do razvoja komercijalizacije ove mogućnosti:

- **Dodavanje piroliznog ulja u pilot-postrojenju Petrobras**<sup>38</sup>: U ovom radu je neobrađeno ulje pirolize proizvedeno iz borove sječke dodatno obrađeno standardnim brazilskim vakuum gasnim uljem (VGO) i testirano u katalitičkom kreiranju od 200 kg/h (FCC) demonstracijska jedinica s pomoću komercijalnog FCC katalizatora. Korišteni su omjer hranjenja od 5% do 10%. Pokazano je da je zajednička prerada ulja pirolize u FCC tehnički izvediva. I VGO i pirolizno ulje razložili su se u pogonska goriva poput benzina i dizela. Kisik je uklonjen kao voda i CO. Učinkovitost ugljika je bila 30%. Analizom izotopa C14 potvrđena je prisutnost obnovljivog ugljika.
- **Dodavanje piroliznog ulja u rafineriji PREEM u Lysekilu**<sup>39</sup>: Prvo cijelovito doziranje piroliznog ulja u rafineriji u Europi obavile su tvrtke Preem i Setra. Zajedno su osnovali zajedničko ulaganje - Pyrocell AB - za ulaganje u postrojenje za proizvodnju piroliznog ulja u pilani Sette's Kastet, izvan Gävle, Švedska. Od juna 2018. godine, najavljuje se da novo postrojenje za pirolizu proizvodi ulje za pirolizu koristeći piljevinu kao sirovinu. Postrojenje je u pogonu od 2021<sup>40</sup>. Ulje za pirolizu koristit će se kao obnovljiva sirovina za proizvodnju biogoriva u Preemovoj rafineriji u Lysekilu.

<sup>37</sup> <https://www.sintef.no/projectweb/4refinery/>

<sup>38</sup> „Fast pyrolysis oil from pinewood chips co-processing with vacuum gas oil in an FCC unit for second generation fuel production“, Andrea de Rezende Pinho, Marlon B.B. de Almeida, Fabio Leal Mendes, Luiz Carlos Casavechia, Michael S. Talmadge, Christopher M. Kinchi, Helena L. Chumc, <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2016.10.032>

<sup>39</sup> <https://bioenergyinternational.com/biofuels-oils/setra-and-preem-first-in-europe-with-renewable-fuel-from-sawdust>

<sup>40</sup> <https://www.setragroup.com/en/press/press-releases/2021/pyrocell-has-started-production/>

## 6.5 Zaključci

Rafinerije pokazuju sve veći interes za dekarbonizacijom svojih proizvoda korištenjem biomase kao ulaza. Primjer je proizvodnja HVO-a u postojećim rafinerijama. Održivosti se mora posvetiti posebna pažnja, budući da su rafinerije velika preduzeća i uvijek su potrebne značajne količine sirovina za proizvodnju biogoriva.

‘Zidni sloj’ postaje sve manji problem jer je sada moguće proizvesti biogoriva s jednakim ili čak boljim karakteristikama u poređenju s alternativnom fosilnom energijom.

Posredni bioenergetski prijevoznici mogu igrati značajnu ulogu u pružanju dovoljne sirovine rafinerijama, jer je transport izvodiviji i zbog svoje homogenosti. Neki se lanci vrijednosti već pojavljuju na tržištu, poput zajedničkog ‘ranjenja’ piroliznim uljem; drugi su još uvijek u fazi razvoja. Preporučuje se podrška u pilot, demo projektima, kao i poticanje na tržištu.

I dalje treba raditi na utvrđivanju aspekata održivosti korištenja biomase u rafinerijama. Sadašnje (C14) metode ne mogu uvijek djelovati na utvrđivanje obnovljivih količina ugljika u „zelenim“ rafinerijskim proizvodima

Budući da rafinerije posluju u globalnom okruženju, važno je osigurati ravnopravne uvjete. Zahtjevi za održivost obnovljivih biogoriva trebaju se održavati za sva biogoriva - i unutar i izvan EU-a - koja se plasiraju na tržište EU, i to ih treba energično održavati.

## 7 Retrofit elektrana na fosilna goriva i kogeneracijskih elektrana

### 7.1 Pregled sektora

Fosilna goriva doprinijela su sa 62% u ukupnoj svjetskoj proizvodnji električne energije u 2021. godini; samo ugalj je imao udio od 38,3% u ukupnoj proizvodnji (IEA, 2022). Uglavnom zbog ogromnog rasta u Kini i Indiji, instalirani kapacitet elektrana na ugalj premašio je 2.000 GW, više nego dvostruko od kapaciteta u 2000. godini (CarbonBrief, 2019).

Zahvaljujući nizu politika koje potiču intenzivnu **dekarbonizaciju** energetskog sektora, situacija u Evropi prilično je različita od globalne perspektive. Ipak, 19,2% proizvodnje električne energije u EU-28 dolazi iz kamenog uglja i lignita (Agora Energiewende i Sandbag, 2019). Što se tiče 2018. godine, instalirani energetski kapacitet elektrana na ugalj koje su u pogonu u EU-28 iznosio je gotovo 155 GW (CarbonBrief, 2019); najveća flota elektrana na ugalj nalazi se u Njemačkoj (48 GW), a slijedi Poljska (30 GW). Od kraja 2021., nekolicina EU zemalja je prestala korištenje uglja za proizvodnju električne energije: Belgija, Austrija i Švedska<sup>41</sup>. Nekoliko drugih država članica EU - Danska, Finska, Francuska, Grčka, Mađarska, Irska, Italija, Holandija, Portugal i Slovačka - obavezale su se da će ukinuti ugalj do 2030., ili čak ranije. Napor na dekarbonizaciji postaće izazovniji, posebno u nekoliko evropskih zemalja u kojima ugalj doprinosi sa više od 40% od ukupne proizvodnje električne energije. Iz EU, ove zemlje su Njemačka (41%), Bugarska (45%), Grčka (46%), Češka (53%) i Poljska (80%); slična je situacija za većinu zemalja koje nisu članice EU u jugoistočnoj Evropi: Crnu Goru (45%), Bosnu i Hercegovinu (63%), Srbiju (65%), Sjevernu Makedoniju (70%) i Kosovo (97%) (EURACOAL, 2017). Situacija je različita od države do države: Samo su se Grčka i Sjeverna Makedonija opredijelile za izlazak iz uglja prije 2030 – dok bi Njemačka uskoro mogla slijediti. U drugim zemljama, ili je izlazak iz uglja predviđeniza 2030. Ili je još uvijek u toku diskusija o tome, dok u nekim zemljama diskusija nije zvanično niti počela<sup>42</sup>.

Industrija uglja ima već puno iskustva sa kosagorijevanjem s biomasom, zbog relativno niskih CAPEX zahtjeva, skalabilnih rješenja i različitih opcija za kosagorijevanje. IEA Bioenergy Task 32 baza podataka<sup>43</sup> navodi stotine slučajeva industrijskog kosagorijevanja u Evropi i širom svijeta. Slika 32 prikazuje različite koncepte kosagorijevanja i retrofita s biogorivima u elektranama.

Povremeno, **poticaj** za kosagorijevanje biomase u elektrani na ugalj može biti privremeni pristup i čisto ekonomski motivisan: goriva iz biomase mogu biti dostupna u dovoljno velikim količinama i cijenama koje su konkurentne uglju (na energetskoj osnovi). Jedan od najstarijih slučajeva komercijalnog kosagorijevanja u Evropi, elektrana u Gelderlandu (Holandija), u kojoj je 1992. godine demonstrirano kosagorijevanje s otpadnim drvetom od 3 do 4% po toplinskome osnovu, zasnovan je na takvom principu (Koppejan i van Loo, 2012). Evolucija politika EU, međutim, stvorila je strukturalni set načela na osnovu kojih se može usvojiti bioenergetska preinaka u termoelektranama na ugalj. Oni uključuju strože granice ograničenja emisija nametnute elektranama na ugalj (IED), zatim shemu trgovanja emisijama (ETS) koja ograničava konkurentnost elektrana na ugalj postavljanjem cijene za nastale emisije CO<sub>2</sub>, kao i sheme podrške usvojene za bioenergiju. Planovi prestanka korištenja uglja u nekoliko zemalja članica također urgiraju elektroprivrede da istraže i implementiraju projekte konverzije na biomasu kako bi se izbjeglo pretvaranje njihovih postrojenja na ugalj u nasukana sredstva. Sve ovo stvorilo je pozitivne ili negativne poticaje za elektroenergetske kompanije da pređu sa

<sup>41</sup> Some EU member states did not have coal power generation capacity in the first place: Cyprus, Malta, Estonia, Lithuania and Latvia.

<sup>42</sup> The coal phase-out process is affected by political developments among others. The Coal Exit Tracker of Europe Beyond Coal (<https://beyond-coal.eu/coal-exit-tracker/>) offers a frequently updated overview for European countries.

<sup>43</sup> <http://task32.ieabioenergy.com/database-biomass-cofiring-initiatives/>

proizvodnje električne energije iz uglja u bioenergiju. Prikladan primjer je elektrana Drax (UK); vjerovatno najveća elektrana na biomasu na svijetu (2,6 GW), koja je nastala konverzijom četiri od šest blokova na ugalj u 100% sagorijevanje biomase.

Takvi slučajevi retrofita s bioenergijom dolaze sa vlastitim izazovima netehničke prirode, prvenstveno osiguravajući adekvatnu i održivu opskrbu biomasom neophodnom za pogon. Ovaj priručnik fokusira se na tehničke izazove i mogućnosti za bioenergetsko preuređenje elektrana na ugalj: kosagorijevanje i napajanje biomasom. Tehnološke mogućnosti koje će biti predstavljene uglavnom su dostigle komercijalni status; no treba napomenuti da postoji nekoliko opcija koje još trebaju daljnja istraživanja i demonstrativne napore da bi se široko primijenili u industrijskom obimu.

**Kogeneracijske elektrane** (*Combined Heat and Power - CHP*) proizvode istovremeno i toplinu i električnu energiju, postižući tako veću ukupnu efikasnost i bolju upotrebu energetskih resursa zbog uštede primarne energije u usporedbi sa instalacijama koje proizvode samo toplinsku ili samo električnu energiju. U EU-28, samo 26% električne energije iz konvencionalnih toplinskih izvora (ugalj, plin, nafta, nuklearna, itd.) proizvedeno je u kogeneracijskim postrojenjima, dok je ta vrijednost dosegla 60% za elektrane koje koriste biogoriva (Bioenergy Europe, 2019).

U nekoliko nordijskih zemalja EU - Švedskoj, Danskoj, Litvaniji – radi se retrofit termoelektrana na fosilna goriva u elektrane na (čvrstu) biomasu. Na primjer, glavno gorivo u švedskim CHP elektranama je upravo biomasa, a isto se očekuje i u Litvaniji za nekoliko godina. Ostale mogućnosti za retrofit su zamjena fosilnih ulja sa tekućim biogorivima. Primjer je retrofit Trensums (Tingsryd, Švedska). Za mala postrojenja, tehnologija organskog rankinovog ciklusa (ORC) pomaže u pretvorbi sistema za proizvodnju samo toplinske energije (toplane) u kogeneracijska postrojenja (CHP). Primjer je retrofit Ronneby Miljöteknik (Švedska)<sup>44</sup>.

## 7.2 Tehnologije koje se koriste u sektoru

U postrojenjima za sagorijevanje čvrstih goriva (i biomase) kao i u kogeneracijskim elektranama, primarni proces je **sagorijevanje**, kroz koji se hemijska energija pohranjena u gorivu pretvara u toplinu. Proizvedena toplina prenosi se u medij za grijanje, obično vodu, koja se pretvara u paru. Para se koristi za pokretanje turbine, povezane na električni generator. S gledišta retrofita s bioenergijom, proces sagorijevanja uglavnom diktira kako se biomasa može integrirati u proces proizvodnje. Stoga se ovaj odjeljak usredotočuje na glavne komercijalne tehnologije koje se koriste za sagorijevanje krutih goriva: sagorijevanje praha (sprašeno sagorijevanje ili sagorijevanje u letu), sagorijevanje u fluidiziranom sloju i sagorijevanje na rešetki.

Ključna razlika između sistema sagorijevanja koji koriste kruta goriva i sistema koji koriste naftu ili prirodni gas potiče od većeg sadržaja pepela u gorivima. To ima uticaj na dizajn ložišta (koje mora biti veće u slučaju više pepela) i zahtijeva ugradnju podsistema za rukovanje pepelom kao i za kontrolu emisije čestica.

### 7.2.1 Sagorijevanje sprašenog goriva

**Sagorijevanje sprašenog goriva** (*Pulverized Fuel - PF combustion*) odnosi se na sagorijevanje suspenzije vrlo sitnih čestica goriva, nastalih drobljenjem i usitnjavanjem u mlinovima. Izgaranje se odvija na temperaturama od 1300 do 1700 °C, dok je vrijeme zadržavanja čestica u ložištu manje od 5 sekundi; uslov za finu sitnu veličinu čestica neophodan je kako bi se za to kratko vrijeme zadržavanja u ložištu osigurala adekvatna konverzija energije iz goriva.

<sup>44</sup> <http://energikontorsydost.se/sorbyverket-i-ronneby>

Jedinice za proizvodnju električne energije sa ugljenim prahom koriste posebno dizajnirane kotlove, namijenjene ovom gorivu. Čvrsto gorivo u obliku praha sagorijeva se lahko skoro kao plinovito gorivo, maksimizirajući efikasnost izgaranja. U početku se mlinski sistem napaja sirovim ugljem, gde se gorivo usitnjava. Zatim se gorivo u prahu pneumatski uvodi u kotao kroz gorionik, gdje se miješa sa prethodno zagrijanim zrakom. Ovisno o projektnim svojstvima goriva, postoje različite varijante tehnologije u pogledu rasporeda sistema sagorijevanja (frontalno sagorijevanje, tangencijalno sagorijevanje), odvođenja pepela (suhu dno u odnosu na dno s tečenjem šljake), kao i nekih drugih parametara. Proizvedeni dimni plinovi prenose svoju toplinu kroz stijenke cijevi kotla (isparivač) i seriju izmjenjivača topline pretvarajući vodu u paru koja pokreće parne turbine. Električna učinkovitost koju postižu PF postrojenja određena je temperaturom i pritiskom; mogu se definirati tri kategorije - redoslijedom povećanja tlaka / temperature pare: subkritična, nadkritična i ultra-kritična. Učinkovitost ovih kategorija kreće se od 35% do 45% (Massachusetts Institute of Technology, 2007).

PF tehnologija uspješno se primjenjuje kod gotovo svih vrsta uglja, što čini 90% ili više instaliranog kapaciteta uglja u svijetu (IEA Clean Coal Center, 2018). Tehnologija se općenito primjenjuje u velikim pogonima; najveći primjeri imaju instaliranu snagu veću od 1 000 MW<sub>e</sub>.

Dva su glavna razloga zašto PF sistemi nemaju široku primjenu u novim elektranama na biomasu. Prvo, budući da su velike veličine, za to su potrebne velike količine biomase da bi radile kontinuirano, što možda nije lokalno dostupno. Drugo, usitnjavanje biomase u sitnu prašinu je teže i energetski manje efikasno nego kod uglja. Postoji nekoliko izuzetaka, npr. neki se specijalizirani sistemi primjenjuju za gorenje piljevine. Međutim, kako je PF tehnologija najrasprostranjenija u sagorijevanju uglja, većina elektrana na ugalj koje su doživjele retrofit s biogorivom su zapravo PF sistemi. PF sistemi se tako uspješno koriste za sagorijevanje krutih biogoriva, bilo kod djelomične zamjene uglja (kosagorijevanje) ili kod potpune zamjene, obično drvenim peletima.

### 7.2.2 Sagorijevanje u fluidiziranom sloju

**Sagorijevanje u fluidiziranom sloju** (*Fluidized Bed - FB combustion*) komercijalno se primjenjuje od ranih 1980-ih; Nakon značajnog tehnološkog napretka, trenutno se smatra „najsavremenijom“ tehnologijom izgaranja krutih goriva.

Tehnologija je dobila ime po svojoj osnovnoj karakteristici: gorivo, zajedno s odgovarajućim negorljivim čvrstim materijalom, poput pijeska, doprema se u ložište, dok se zrak doprema odozdo s odgovarajućom brzinom te podiže do čestica, ali ne dovoljno da ih odnese. To završava stvaranjem tzv. lebdećeg ili "fluidnog sloja", u kojem se mješavina čestica i zraka ponaša kao u fluidnoj fazi. Stvaranjem fluidnog lebdećeg sloja osigurava se intenzivno miješanje goriva i zraka za sagorijevanje, i stoga su visoke učinkovitosti pretvorbe čak i pri znatno nižim temperaturama izgaranja od PF tehnologije (oko 800 °C). Zbog niskih temperatura nastaju manje emisije NOx u poređenju s drugim tehnologijama; dodatno, upotrebom odgovarajućeg materijala za podlogu - poput vapnenca ili dolomita - oslobođeni SO<sub>2</sub> može se vezati prije puštanja u atmosferu. Kao rezultat toga, FB sistemi pokazuju poboljšane performanse emisija i nema potrebe za instaliranjem dodatnih sistema de-SOx ili de-NOx (Johnsson, 2007).

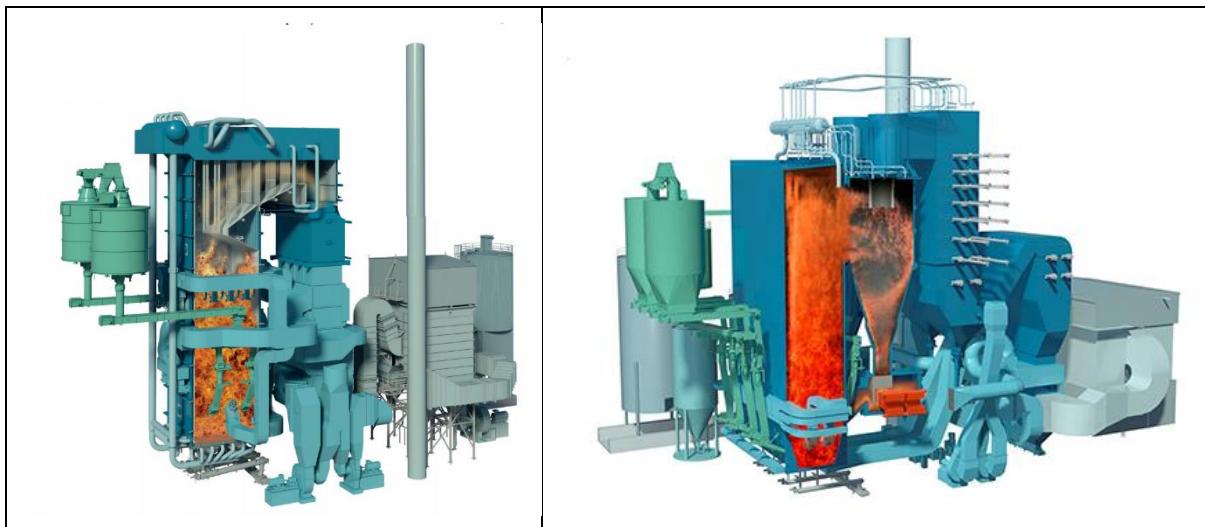
Još jedna prednost FB sistema je ta što oni imaju manje stroge zahtjeve u pogledu veličine čestica goriva u odnosu na PF sisteme. Iz svih gore navedenih razloga, FB tehnologije su prilično popularne za korištenje „teških“ goriva, kao što su neki niskovrijedni ugljevi i otpadno drvo.

Pogonski problem sa FB sistemima je gubitak fluidizacije; To se može dogoditi, na primjer, ako pepeo nastao izgaranjem goriva ima nisku temperaturu topljenja, što može dovesti do toga da se čestice materijala sloja lijepe i, nagomilavajući se jedna na drugu, dosegnu veličinu koja nije prikladna za formiranje fluidnog sloja (tzv. problem aglomeracije). Ovo je dobro poznati fenomen FB tehnologije.

Dvije dominantne varijante sistema sa fluidizirajućim slojem mogu se naći na tržištu: **Mjehuričasti fluidizirani sloj (Bubbling Fluidized Bed - BFB)** i **Cirkulirajući fluidizirani sloj (Circulating Fluidized Bed - CFB)**.

BFB sistemi su jednostavnijeg dizajna i često se koriste u instalacijama manjeg obima (snage), koristeći gorivo velike vlage / niske toplinske vrijednosti i veće veličine čestica. Karakteristika BFB sistema je niža brzina fluidizacije zraka, zbog čega fluidizirani sloj ostaje „nepomičan“ na dnu ložišta. S druge strane, CFB kotlovi koriste veće brzine fluidizacije i imaju sistem za recirkulaciju materijala fluidizirajućeg sloja koji se nosi. CFB kotlovi imaju složenije izvedbe, ali nadmašuju BFB varijante u pogledu uklanjanja sumpora, veličine (dijapazona snage) i učinkovitosti sagorijevanja (Koornneef i sur., 2006).

Shematsko poređenje BFB i CFB sistema prikazano je na slici 30.



**Slika 30: BFB (lijevo), CFB (desno), Izvor: Valmet**

BFB tehnologija nudi interesantnu mogućnost za konverziju na biomasu postrojenja na ugalj, a posebno onih manje veličine (indikativno do 400 MW termičke snage unijete s gorivom). Retrofit se može implementirati na kotlovima s različitim sistemima sagorijevanja (sprašeno sagorijevanje, sagorijevanje na rešetki, rekuperativni kotlovi u fabrikama celuloze, kotlovi na tečna goriva). Retrofiti se mogu implementirati s nižim investicionim troškovima upoređujući s novom investicijom, te se mogu iskoristiti značajni dijelovi postojeće opreme. S druge strane, CFD tehnologija se uglavnom koristi za nove instalacije jer postojeća postrojenja obično nemaju dovoljno prostora da se smjesti sistem recirkulacije materijala fluidiziranog sloja.

### 7.2.3 Sagorijevanje na rešetki

**Sistem sagorijevanja na rešetki** koristi, kao što i samo ime ukazuje, rešetku. Gorivo se nalazi na rešetki, a zrak, tzv. Primarni zrak, dovodi se u sloj goriva odozdo od rešetke. Rešetka se može sastojati od ravne površine, s nedostatkom što u tom slučaju pepeo treba ukloniti ručno. Međutim, najčešći kotao s rešetkom ima nekoliko stupnjeva. Gorivo se ubacuje na rešetku na vrhu konstrukcije i prolazi različite faze u procesu izgaranja, a uglavnom pepeo dopire do posljednje faze. Svaka druga faza je normalno pomicna i gura gorivo u jednom određenom smjeru. Ova vrsta rešetke naziva se i putujuća rešetka ili pokretna rešetka. Rešetka se može ohladiti vodom ako je gorivo suho. Parametri koji utiču na rad kotla su npr. protok goriva gurnut na rešetku, brzina pomicnih stupnjeva, protok primarnog zraka i sadržaj vlage. Zrak se u kotlu dovodi i na druge načine, npr. sa zidova kotla preko rešetke. To utiče na proces sagorijevanja.

Najvažniji parametar efikasnosti sagorijevanja u ložištu s rešetkom je veličina frakcije goriva i njegova varijacija. Frakcija goriva mora premašiti određenu veličinu kako bi se gorivo zadržalo

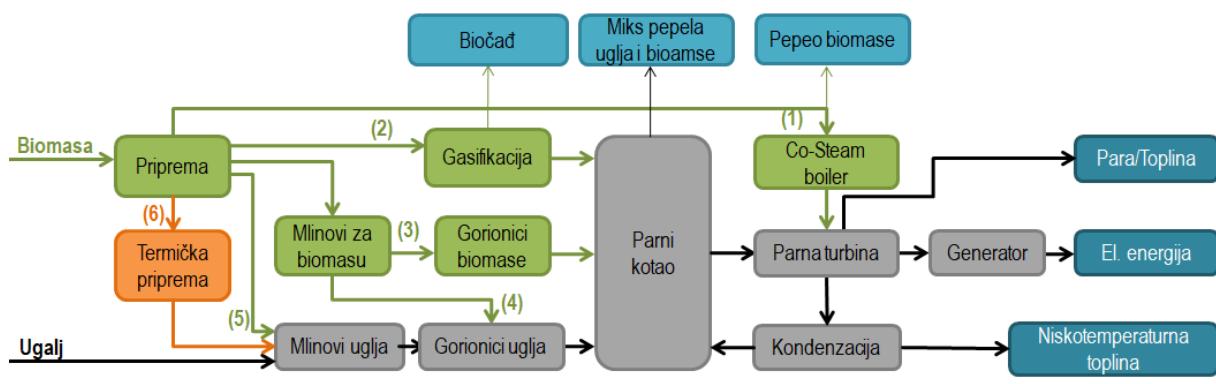
na rešetki tokom faze gorenja. Frakcije moraju biti prilično grube. Piljevina je jedan primjer neprikladnog goriva za rešetku. Velika varijacija veličina frakcija i sadržaja vlage su primjeri parametara u kojima je FB sistem prikladniji u usporedbi s rešetkom.

Kotlovi sa rešetkama široko se primjenjuju za sagorijevanje biomase u rasponu od nekoliko MW do oko 100 MW u smislu unosa goriva. Međutim, većina kotlova na biogoriva u energetskom sektoru nalazi se u rasponu do 15 - 20 MW. Ako je gorivo odgovarajuće i ispunjava određene kriterije, rešetkasti se kotlovi cijene zbog njihove robusnosti, cijene i jednostavne konstrukcije.

#### 7.2.4 Kosagorijevanje biomase u poređenju s konverzijom na biomasu

**Kosagorijevanje biomase** može se definirati kao djelimična supstitucija fosilnih goriva, obično ugljena, s biomasom, u elektranama na fosilna goriva i kogenerativnim elektranama. **Konverzija na biomasu ili tzv. „Repowering“** s druge strane odnosi se na gotovo potpunu zamjenu glavnog fosilnog goriva biomasom.

Širok raspon materijala biomase može se uzeti u obzir za primjenu kosagorijevanja: drvo (drvena sječka, drveni peleti, šumski ostaci itd.), travasti (slama, miskantus i ostale brzorastuće energetske kulture itd.), agro - industrijski ostaci (iscijeđeni maslinovi ostaci, ljušturi palmi, ostaci kafe, itd.) i razne frakcije koje se dobivaju od otpada (npr. otpadno drvo, uništeno drvo, gorivo koje se izvodi iz otpada / RDF, čvrsto obnovljeno gorivo / SRF, gorivo dobiveno iz gume / TDF, itd.) U usporedbi s tvrdim ugljem, većinu goriva na biomasu koja se razmatraju za kosagorijevanje karakteriziraju veća vлага i niža toplotna vrijednost, niži sadržaj pepela (ali povećan u problematičnim komponentama kao što su alkali), viši sadržaj hlora, niži sadržaj sumpora i niža gustoća energije. Uzimajući u obzir gore navedene karakteristike, infrastruktura termobloka koja podržava kosagorijevanje fosilnih goriva s biomasom, treba uzeti u obzir neka tehnička ograničenja koja se tiču vrste elektrane, korištenih goriva, toplinskog udjela biomase, željene složenosti i troškova infrastrukture i njezinog pogona.



- (1) Paralelno kosagorijevanje
- (2) Indirektno/gasifikacijsko kosagorijevanje
- (3) Direktno kosagorijevanje/zasebni gorionici
- (4) Direktno kosagorijevanje/zasebni mlinovi
- (5) Direktno kosagorijevanje/zajednički mlinovi
- (6) Termička priprema biomase

- CHP proces parne turbine
- Nadogradjene instalacije
- Unaprjeđenje goriva
- Proizvodi
- Sporedni proizvodi

**Slika 15:** Različiti procesi integracije biomase u elektrane na sprašeni ugalj i kogeneracijske elektrane

Generalno, kako složenost procesa i troškovi ulaganja rastu, termički udio biomase može se povećati i više „teških“ goriva iz biomase mogu se kosagorijevati. Opcije tehnologije kosagorijevanja mogu se svrstati u tri široke kategorije (Basu, Butler, & Leon, 2011): direktno kosagorijevanje, paralelno kosagorijevanje i indirektno kosagorijevanje / gasifikacija. Direktno kosagorijevanje je najčešće i najekonomičnije rješenje. Međutim, ono postavlja nekoliko

ograničenja vezano za raspon goriva i termičkih udjela. Programi paralelnog i indirektnog kosagorijevanja više su pogodni za goriva iz biomase koja sadrže problematična jedinjenja ili kada je kvaliteta pepela važna za naknadnu prodaju ili odlaganje. Konačno, konverzija na biomasu – tzv. „repowering“ se uglavnom koristi za goriva iz drvene biomase (npr. na pelete i sječku). Na slici 31 prikazani su različiti koncepti bioenergetskog retrofita elektrane na sprašeni ugalj ili kogeneracijske elektrane (CHP).

### 7.3 Kosagorijevanje biomase (djelomični retrofit s bioenergijom)

#### 7.3.1 Direktno kosagorijevanje

Najjednostavnija i najisplativija metoda za integriranje bioenergije u postojeću elektranu na ugalj je takozvani koncept direktnog kosagorijevanja, koji je u osnovi zajedničko sagorijevanje uglja i biomase u istom ložištu. To je najjednostavnije rješenje za uvođenje kosagorijevanja, jer se mjere prilagodbi opreme mogu svesti na minimum, a ukupna investicija može se održati na vrlo niskim razinama. S druge strane, fleksibilnost i kontrola takvih programa kosagorijevanja je ograničena. Štaviše, direktno kosagorijevanje rezultira miješanim pepelom iz uglja / biomase, koji možda neće imati komercijalnu upotrebu (za razliku od ugljenog pepela). Maksimalni udio biomase u shemama za izravno kosagorijevanje obično je u rasponu od 10% ukupnog topotnog ulaza goriva (Karampinis i sur., 2014), ali to također ovisi o vrsti biomase. Obično se viši udjeli mogu postići s drvenim frakcijama biomase, dok su niži udjeli s težom frakcijom agrobiomase ili otpadom. Postoje tri glavne varijante sheme izravnog kosagorijevanja, koje su dolje opisane (Karampinis i drugi, 2014):

- Prva opcija, **zajedničko mljevenje**, uključuje prethodno miješanje uglja i biomase ili njihov odvojeni transport do istog sistema mljevenja koji se koristi za smanjenje veličine frakcija uglja. To je najjednostavnija opcija za implementaciju. Međutim, veći je rizik da će zajedničko mljevenje čestica vlaknaste biomase uticati i na veličinu čestica uglja, što može imati za posljedicu da uslovi izgaranja nisu optimizirani.
- Druga opcija je **ugradnja namjenskog sistema za pred-obradu / mljevenje biomase** (ili izmjena postojećih mlinova za ugalj); međutim, dva goriva ulaze u ložište preko istih, postojećih gorionika uglja. Ova metoda nudi mnogo bolju kontrolu veličine čestica biomase, ali uvjeti sagorijevanja nisu optimizirani. Primjena ove opcije može biti ograničena i ograničenjem prostora u blizini kotlovnice.
- Treća opcija je **instaliranje kompletne zasebne linije za biomasu**, npr. namjenski sistem pred-obrade / mljevenja biomase i namjenski gorionik biomase. Razumljivo je da ova opcija dolazi s većim troškovima ulaganja i većim stupnjem tehnološkog rizika, ali nudi mogućnost pojačane kontrole uslova izgaranja i smanjenja uticaja biomase na kotao. Konverzija na biomasu (Repowering), poglavlje 7.4., u osnovi je logično proširenje ove mogućnosti retrofita zamjenom ili izmjenom svih mlinova / gorionika uglja onima za biomasu.

Projekt BIOFIT uključuje studiju slučaja koja potпадa pod shemu izravnog kosagorijevanja: Tuzlanski blok 6 kompanije Elektropriveda BiH, za koji se planira kosagorijevanje širokog spektra lokalnih resursa biomase (npr. drvena piljevina, poljoprivredni ostaci, energetski usjevi uzgajani u obnovljenim rudarskim područjima, RDF/SRF itd.), istraživat će se na osnovu masenog unosa biomase do 30% (oko 15% termičkog udjela unosom goriva).

#### 7.3.2 Indirektno / gasifikacijsko kosagorijevanje

Indirektno (neizravno) kosagorijevanje - poznato i kao **gasifikacija** - je sofisticirana opcija u poređenju s direktnim kosagorijevanjem. Ugrađuje se **gasifikator biomase**, koji zamjenjuje potrebu za opremom za pred-tretman biomase. Plin proizveden u procesu gasifikacije (Singas

– sintetizirani plin) šalje se u ložište kotla na ugalj na sagorijevanje. Upotreboom neizravnog kosagorijevanja izbjegava se većina negativnih uticaja biomase na izgaranje ugljena, a gorivima se rukuje zasebno, omogućavajući, između ostalog, i odvojeno prikupljanje pepela. Plin iz biomase može se koristiti za reburning gorivom i na taj način pridonijeti smanjenju emisija NOx. Konačno, s obzirom da se u mnogim slučajevima plin iz gasifikatora biomase može ubrzgati direktno u ložište, gubitak pretvorbe energije i skupo čišćenje sintetiziranih plinova mogu se izbjegići, što su uobičajeni problemi u aplikacijama uplinjavanja biomase. Ipak, možda će još uvijek biti potrebna određena prečišćavanja sintetiziranog plina, ovisno o prisutnosti hlora, alkala i drugih elemenata u sastavu biomase.

The capital investment for indirect co-firing is in the range of 300 to 1,100 €/kWe (IEA Bioenergy, 2017), higher than direct co-firing. This is a limiting factor for the further uptake of this technology. Examples of commercial implementation of indirect co-firing systems can be found in the table below.

Kapitalna investicija za indirektno kosagorijevanje je u rasponu od 300 do 1,100 € / kWe (IEA Bioenergy, 2017), veća od izravnog kosagorijevanja. Ovo je ograničavajući faktor za daljnje prihvaćanje ove tehnologije. Primjeri komercijalne primjene sistema indirektnog kosagorijevanja prikazani su u donjoj tabeli.

**Tabela 8: Komercijalne elektrane s indirektnim kosagorijevanjem (IEA Bioenergy, 2017)**

Elektrana	Država	Godina puštanja u pogon	Kapacitet gasifikatora (MWt)	Udio kosagorijevanja (termički udio)	Biomasa
Amergas / Amer 9	Holandija	2000	83	5%	Otpadno drvo
Kymijärvi II	Finska	2012	45 – 70	15%	REF ( <i>Recycled energy fuel</i> ), piljevina, kora, sječka,drvni otpad
Vaskiluodon Voima	Finska	2012	140	Up to 40% <sup>1</sup>	Šumski ostaci (sječka)
Ruien	Belgija	2003	40 – 80	10% <sup>2</sup>	Drvna sječka, kora, ostaci tvrde i mehke ploče

Izvori: <sup>1</sup>Valmet; <sup>2</sup>Ryckmans, 2012

### 7.3.3 Paralelno kosagorijevanje (djelomični retrofit s biogorivom)

Posljednja opcija za djelomični retrofit elektrana na fosilna goriva s biogorivom, je paralelno kosagorijevanje biomase i uglja. U okviru ove konfiguracije za dva goriva koriste se **dva odvojena postrojenja i kotlovi**. Dvije jedinice su povezane na strani pare, koja se u turbini koristi za proizvodnju električne energije. Rukovanje, predobrada i sagorijevanje dva goriva u kotlovima su potpuno neovisni. Štoviše, s obzirom na to da se biomasa i ugalj odvojeno sagorijevaju, proizvedeni pepeo se odvojeno skuplja, kao što je slučaj kod indirektnog kosagorijevanja, pa se mogu oboje iskoristiti na najbolji mogući način. Još jedna prednost odvojenog sagorijevanja je što se postupak izgaranja može optimizirati za oba slučaja, te se može raditi i sa relativno teškim gorivima, što nije bilo moguće u svim do sada predstavljenim slučajevima (direktno i indirektno kosagorijevanje). Paralelno kosagorijevanje može imati koristi od visokih parametara pare modernih, najsavremenijih elektrana na ugalj, čime se postižu znatno veće električne efikasnosti od samostalnih elektrana na biomasu. Međutim, investicijski trošak paralelnog kosagorijevanja je najveći među rješenjima kosagorijevanja jer

je, uz postojeću, potrebno instalirati potpuno novu infrastrukturu (nove dovodne instalacije, kotlove, komore za izgaranje itd.).

Ova metoda omogućava visoki udio iskorištanja biomase u postrojenju, jer ne postoje tehnička ograničenja u pogledu količine uglja koja se može zamijeniti sa biomasom. Jedino pitanje koje se mora uzeti u obzir je kapacitet instalirane parne turbine (Koppejan & van Loo, 2012). U pogledu preuređenja jedinice, nije moguće predložiti izmjenu parnih turbina, pa ona turbina koja je trenutno instalirana mora imati kapacitet za rad u kumulativnoj pari koja se uvodi i iz kotla na biomasu i iz kotla na ugalj, jer u protivnom rješenje ne bi bilo pravilno i funkcionalno. Najpoznatiji slučaj paralelnog kosagorijevanja je blok 2 elektrane Avedøre u metropolitskom području Kopenhagena u koji je ugrađen kotao 105 MW na slamu, zajedno s glavnim, 800 MW ultra nadkritičnim kotlom koji koristi mješavinu drvenih peleta, uglja i prirodnog plina; postrojenje ima prijavljenu ukupnu efikasnost od 92%, a električnu efikasnost od 42%, što ide i na 49% ako nije u funkciji daljinsko grijanje (Sørensen, 2011), u kom slučaju opada ukupna termička efikasnost odnosno efikasnost iskorištenja goriva.

#### **7.4 Konverzija na biomasu - repowering (potpuni retrofit s biogorivom)**

Konverzija na biomasu je evolucija direktnog kosagorijevanja na vrlo visoke udjele biomase u mješavini goriva, često i do 100%. Ova opcija zahtijeva promjenu sistema dobave goriva, mljevenja i sagorijevanja, sve prilagođeno za biomasu.

Razlozi zbog kojih se operater odlučuje na konverziju na biomasu mogu biti povezani sa željom da se ugalj potpuno obustavi, a da pritom zadrži postojeću funkcionalnost elektrane. Također ovo može biti podržano politikama koje čine kosagorijevanje s niskim topotnim udjelima biomase neprimjerenum za finansijsku potporu, istovremeno podržavajući proizvodnju električne energije iz velikih elektrana na biomasu.

BIOFIT projekt uključuje dva industrijska studijska slučaja potpune konverzije na biomasu termoblokova na ugalj:

- Kakanj Blok 5 (118 MWe) – kogeneracijski blok u sklopu Elektroprivrede BiH, koji se razmatra za obnavljanje snage korištenjem primarno lokalno dostupnih drvnih izvora biomase, npr. šumskih ostataka, piljevine i sl., zajedno sa manjim količinama agrobiomase i RDF. Glavna ciljana tehnologija konverzije za ovaj projekt je BFB.
- Fiume Santo Blok 4 (320 MWe) – elektrana u sklopu EP Produzione. Elektrana je smještena u sjeverozapadnom dijelu Sardinije; zajedno s BIOFIT projektnim partnerima, kompanija istražuje konverziju ovog Bloka u elektranu na biomasu koja bi koristila uvozni pellet kao glavno gorivo, s dodatkom manjih količina lokalno dostupne drvene sječke. Projekt konverzije predviđa zadržavanje postojećeg sistema sagorijevanja sprašenog goriva. Glavni radovi nadogradnje odnose se na postrojenja za istovar biomase, manipulaciju, skladištenje i doziranje.

##### **7.4.1 Konverzija na biomasu za sisteme sagorijevanja sprašenog goriva**

Ima nekoliko primjera elektrana na sprašeni ugalj ili kogeneracijskih elektrana koje su konvertovane na biomasu; pregled je dat u **Error! Reference source not found..** Kod većine ovih konverzija retrofitti se odnose na mlinске i dovodne sisteme, kao i na logističku infrastrukturu za biomasu (npr. skladištenje, instalacije u lukama, itd.).

Jedan od najranijih primjera stopostotnog preuređenja na biomasu je blok Rodenhuize 4. Pretvorba je provedena u nizu uzastopnih koraka, počevši od ugradnje infrastrukture za transport, skladištenje, rukovanje i mljevenje drvenih peleta i pretvorbe jednog reda gorionika 2005. godine. Napredni Zeleni projekt je potom rezultirao prelaskom dva reda gorionika uglja na gorionike drvenih peleta i, na kraju, projekt Max Green rezultirao je potpunim prelaskom sa sagorijevanja uglja na drvene pelete, zamjenom gorionika i drugim opcija retrofita, uključujući

ugradnju jedinice za selektivnu katalitičku redukciju (SCR) za kontrolu emisije NOx (Savat, 2010).

Postoji nekoliko primjera elektrana na ugalj ili CHP koje su konvertovane sa uglja na biomasu; sažetak je dat u Tabeli 9. Većina konverzija provedena je u kotlovima na sprašeno gorivo, u kojima su zamijenjeni sistemi dobave i mljevenja, zajedno s logističkom infrastrukturom za dobivanje biomase (npr. skladištenje, oprema u lukama itd.). Međutim, postoje primjeri opsežnijih retrofita, poput Polaniec zelene jedinice u Poljskoj, gdje je stariji kotao na sprašeno gorivo zamijenjen najmodernijim CFB bojlerom, a parna turbina je također modernizirana.

Ključni izazov kod takvih retrofita je izvor biomase; potrebne količine su vrlo velike i u većini slučajeva moraju se isporučiti sa globalnog tržista. To je jedan od glavnih razloga zašto su drvni peleti najčešće korišteno gorivo na biomasu u takvim retrofitima; njihova relativno velika gustoća energije i standardizirana svojstva omogućuju im trgovanje na velike udaljenosti. Drugi razlog izbora drvnih peleta u odnosu na druga goriva iz biomase su njihova gorivna svojstva; imaju relativno nizak sadržaj pepela (<2-3% masenog udjela pepela u suhoj tvari) i niske koncentracije hlora i alkala a koji inače mogu stvoriti probleme korozije i zaprljanja u primjenama za proizvodnju električne energije. Drvna sječka, slama, ostaci kao što su istrošena komina maslina i peleti ljuški suncokreta, kao i neki drugi assortmani biomase, se također povremeno koriste u manjim udjelima u odnosu na ukupni termički unos goriva.

**Tabela 9: Nekompletanu listu elektrana na ugalj koje su konvertovane na drvni pelet (Izvor: CERTH kompilacija s web stranica kompanija i iz drugih izvora)**

Elektrana / Blok	Operator	Država	God. retrofita	Električna snaga (MWe)	Termička snaga (MWth)	Glavno gorivo
Hässelby 1-3	Stockholm Exergi	SE	1994 - 1996	58	185	Drvni pelet
Les Awirs 4*	ENGIE	BE	2005	80	-	Drvni pelet
Västhamnsverket	Öresundskraft	SE	2006	69	138	Drvni pelet
Rodenhuize 4	ENGIE	BE	2011	180	-	Drvni pelet
Tilbury*	RWE	UK	2011	750	-	Drvni pelet
Ironbridge*	E.On	UK	2012	740	-	Drvni pelet
Drax 1	Drax	UK	2013	660	-	Drvni pelet
Avedøre 2	Ørsted	DK	2014	394	497	Drvni pelet, Slama (paralelno kosagorijevanje)
Drax 2	Drax	UK	2014	645	-	Drvni pelet
Atikokan	OPG	CA	2014	205	-	Drvni pelet
Drax 3	Drax	UK	2015	645	-	Drvni pelet
Thunder Bay 3*	OPG	CA	2015	160	-	Arbacore Drvni pelet (eksplozija pare)
Avedøre 1	Ørsted	DK	2016	254	359	Drvni pelet
Studstrup 3	Ørsted	DK	2016	362	513	Drvni pelet, Slama (direktno kosagorijevanje)

<b>Yeongdong 1</b>	KOEN	KR	2017	125	-	Drvni pelet
<b>Drax 4</b>	Drax	UK	2018	645	-	Drvni pelet
<b>Lynemouth</b>	EPH	UK	2018	407	-	Drvni pelet
<b>Amer 9</b>	RWE	NL	2019	600	300	Drvni pelet (80%), kameni ugalj (20%)**
<b>Eemshaven</b>	RWE	NL	2019	1,560	-	Kameni ugalj (85%), Drvni pelet (15%)**
<b>Maasvlakte 3</b>	Uniper	NL	2019	1,110	-	Kameni ugalj (69%), Drvni pelet (27%), druga biomasa (4%)**,***
<b>Yeongdong 2</b>	KOEN	KR	2020	200	-	Drvni pelet

\* Blok nije više u pogonu; \*\* Udjeli goriva po masi; \*\*\* podaci iz 2020.

Elektrana Drax (slika 32) trenutno je najveći svjetski potrošač biomase, koja u svoja četiri bloka konvertovana na biomasu troši više od 7 miliona tona drvnih peleta (podatak iz 2018. godine), većinom iz SAD-a (62,2%) i Kanade (17,3%), a manja količina dobavlja se iz EU, Brazila i drugih evropskih zemalja (Drax, 2019). Ukupni troškovi konverzije na biomasu za prva tri bloka u Draxu su u iznosu od 700 000 000 GBP (oko 416 EUR / kWe); trošak konverzije bloka 4 iznosio je samo 30 000 000 GBP (oko 54 EUR / kWe) zbog korištenja rezervnih dijelova iz prethodnih jedinica<sup>45</sup>, kao i činjenice da nema dodatnih ulaganja koja se odnose na opskrbu biomasom (npr. luka i željeznička infrastruktura, skladište itd.). Rukovodstvo tvrtke također je izrazilo svoju ambiciju postati karbonski negativan do 2030. integrirajući tehnologije za hvatanje i skladištenje karbona (BECCS)<sup>46</sup>.



**Slika 32:** Drax elektrana u Selby, UK; pogled na skladišne silose biomase (Izvor: Drax Group)

<sup>45</sup> [www.biomassmagazine.com/articles/15532/drax-completes-fourth-biomass-unit-conversion](http://www.biomassmagazine.com/articles/15532/drax-completes-fourth-biomass-unit-conversion)

<sup>46</sup> [www.drax.com/press\\_release/drax-sets-world-first-ambition-to-become-carbon-negative-by-2030/](http://www.drax.com/press_release/drax-sets-world-first-ambition-to-become-carbon-negative-by-2030/)

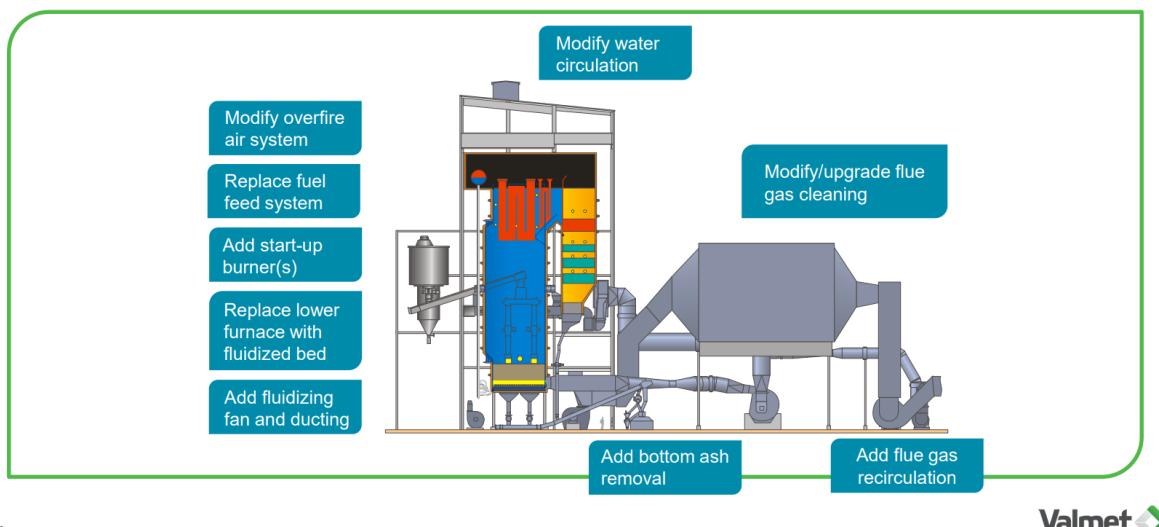
#### 7.4.2 BFB converzije

Ova vrsta konverzije može se definirati kao konverzija bilo koje druge vrste tehnologije kotla u tehnologiju mjehurićastog fluidiziranog sloja (BFB). Takve konverzije su posebno pogodne za kotlove na ugalj i biomasu (u prahu ili na rešetki), ali i za kotlove za rekuperaciju celulozne industrije ili čak kotlove na naftu.

A key point in BFB conversions is for operators to be able to handle increased shares of biomass fuels, typically substituting fossil fuels such as coal and oil. BFB boilers can handle a wide range of “traditional” biomass fuels, such as wood chips, bark, forest residues, sawdust, pulp mill sludges and others. BFB boilers can also handle more “challenging” biomass and waste derived fuels, such as agrobiomass fractions, RDF (Refuse Derived Fuel), TDF (Tire Derived Fuel), but only as a limited share of the total fuel input. The BFB technology does not require the fine milling that pulverized fuel firing requires. Hence, biomass fuels can be fed into the boiler with limited pre-processing. On the other hand, since the biomass fractions fed into a BFB boiler have relatively low energy density, the fuel sourcing is mostly implemented on a local / regional level (unlike the international supply chains of the large pulverized fuel biomass repowered plants).

Ključna tačka u BFB konverzijama je da operateri budu u mogućnosti da rukuju povećanim udjelom goriva iz biomase, obično zamjenjujući fosilna goriva kao što su ugalj i nafta. BFB kotlovi mogu podnijeti širok spektar “tradicionalnih” goriva iz biomase, kao što su drvna sječka, kora, šumski ostaci, piljevina, mulj iz tvornica celuloze i drugo. BFB kotlovi mogu podnijeti i „izazovnije“ biomase i goriva dobivena iz otpada, kao što su frakcije agrobiomase, RDF (gorivo iz otpada), TDF (gorivo iz guma), ali samo kao ograničeni udio u ukupnom ulazu goriva. BFB tehnologija ne zahtijeva fino mljevenje koje zahtijeva sagorevanje goriva u prahu. Dakle, goriva iz biomase mogu se ubaciti u kotao uz ograničenu prethodnu obradu. S druge strane, s obzirom da frakcije biomase koje se unose u BFB kotao imaju relativno nisku gustinu energije, nabavka goriva se uglavnom provodi na lokalnom/regionalnom nivou (za razliku od međunarodnih lanaca snabdijevanja velikih elektrana na biomasu u sprašenom stanju).

Zamjena donjeg dijela postojećeg ložišta (kotla za sagorijevanje sprašenog goriva, s rešetkom ili dr.) sa fluidiziranim slojem je „standardna“ modifikacija koja se implementira u projektima BFB konverzije. Osim toga, tipično se provode dodatne modifikacije kako bi kotao radio efikasno i sa niskim emisijama s gorivima iz biomase koje će koristiti; detalji su prikazani na slici 33.



Slika 16: Tradicionalni obim isporuke za projekte BFB konverzije (Izvor: Valmet)

Konverzija postojećeg kotla u BFB ima nekoliko prednosti. Prvo, trošak konverzije je oko 50 – 70% u odnosu na novi kotao, jer se veliki dio postojeće opreme može koristiti. Pored toga, konverzija zahtjeva kraće vrijeme za implementaciju – obično oko godinu dana – a pošto je kotao već poznat operaterima, postoje niži zahtjevi za obuku i smanjene su mogućnosti za greške. Konačno, budući da se radi o modifikaciji postojeće opreme, a ne o novoj instalaciji, izdavanje dozvola je obično i lakše i brže.

S druge strane, postoje neka ograničenja kod BFB konverzije. Prije svega, potrebno je razmotriti ograničenja originalnog kotla – u smislu korozije, zaprljanja kotlovske cijevi i emisija. Konverzija BFB također obično rezultira smanjenjem snage kotla (smanjeni kapacitet) u poređenju sa loženjem fosilnih goriva, dok se gubitak efikasnosti može očekivati i zbog više izlazne temperature dimnih plinova. S obzirom na to da ostali dijelovi postrojenja ostaju isti, pritisak i temperatura pare se održavaju na istim nivoima kao i original, sa ograničenom mogućnošću optimizacije. Konačno, ograničenja u postojećem rasporedu postrojenja i raspoloživosti prostora utiču na izbor opcija koje se mogu primijeniti za kontrolu emisije dimnih plinova.

Finski dobavljač tehnologije Valmet implementirao je više od 60 projekata konverzije BFB-a u različitim dijelovima svijeta. Tehnologija predviđena u tim projektima je u osnovi ista kao Hybex tehnologija koja se nudi za nove BFB kotlove<sup>47</sup>.

**Tabela 4: Primjeri BFB konverzije (Izvor: Valmet)**

Kompanija / elektrana	Država	Originalna tehnologija sagorijevanja i parametri pare	Originalno gorivo	BFB konverzija: gorivo i parametric pare	Godina konverzije
Elektrociepłownia Białystok S.A.	Poljska	Sprašeno sagorijevanje 140 t/h (138 bar, 540 °C)	Ugalj i nafta	Drvna sječka, šumski ostaci, agrobiomasa, 115 t/h	2008
International Paper, Kwidzyn	Poljska	Pokretna rešetka, 22 kg/s (65 bar, 440 °C)	Kora, ugalj i nafta	Kora, otpadno drvo, mulj, nafta, 28 kg/s	2000
Biomasse Energie Alizay SAS	Francuska	Kotao rekuperator, 209 t/h (60 bar, 450 °C)	Crna tekućina, prirodni gas	Drvna sječka, kora, čisto reciklirano drvo, prirodni gas, 209 t/h (60 bar, 450 °C)	2020

## 7.5 Termički tretirana biomasa

Termička nadogradnja proces je namijenjen pretvaranju biomase u materijal prema fizičkim osobinama sličan uglju, s kojim se lako može upravljati u postojećim elektranama na ugalj. Glavni ciljevi termičke nadogradnje biomase su:

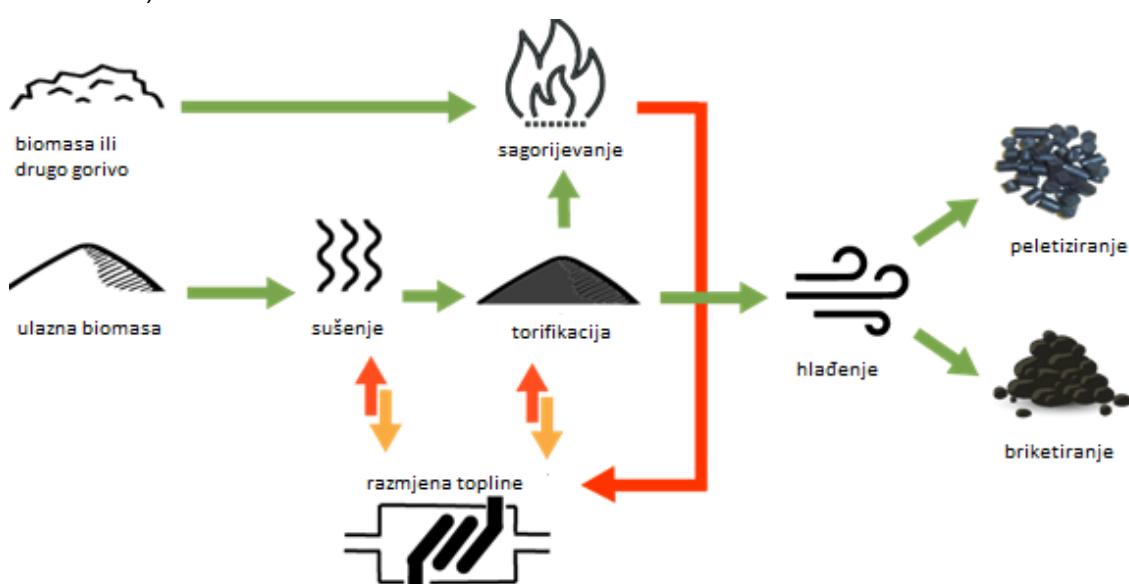
- Da bi se stvorilo lako meljivo gorivo, koje se može upotrijebiti u postojećim mlinovima za ugalj bez većih izmjena, ograničavajući potrebu za skupom naknadnom ugradnjom.

<sup>47</sup> Informacije prezentirane u ovom poglavlju bazirane su na prezentaciji od Joonas Hämäläinen (Valmet) sa zajedničkog BIOFIT / UABIO vebinara "Bioenergy retrofits for Ukrainian fossil heating and power sectors – European technologies and examples" od 22 Septembra 2021.: [https://uabio.org/wp-content/uploads/2021/08/BIOFIT\\_Ukraine-22-Sep-2021\\_6\\_Valmet\\_BFB-boiler-conversions.pdf](https://uabio.org/wp-content/uploads/2021/08/BIOFIT_Ukraine-22-Sep-2021_6_Valmet_BFB-boiler-conversions.pdf)

- Povećati gustoću energije biomase (obično uključuje korak zgušnjavanja, npr. peletiziranje nakon termičke nadogradnje), tako da njezin transport može biti ekonomičniji na većim udaljenostima.
- Da bi biomasa bila otporna na absorbciiju vlage (hidrofobna), omogućujući joj da se skladišti poput uglja, npr. na otvorenim depoima i na taj način smanjujući troškove rukovanja.

Postoje različite tehnologije razvijene za termički predtretman biomase; najpoznatije i najnaprednije su sljedeće:

- **Torifikacija** je termički proces u kojem se biomasa zagrijava na temperaturu od oko 250-350 °C, u nedostatku kisika ili u niskim koncentracijama kisika. Gotovo sva vлага, kao i većina isparljivih frakcija biomase, oslobađa se zahvaljujući ovom procesu, koji razbija vlaknastu strukturu biomase uslijed demontaže hemiceluloze. Čvrsti proizvod je crni materijal sličan drvenom ugljenu koji se može dalje prerađivati u pelete (Kofman, 2016). Plinoviti produkti se mogu sagorjeti da bi održali toplinu procesa; neto učinkovitost integrisanog procesa torifikacije iznosi cca. 70 - 98%, ovisno o tehnologiji reaktora, konceptu integracije topline i vrsti biomase<sup>48</sup>.
- **Eksplozija pare** koristi paru pod tlakom (1 do 3,5 MPa) i temperaturom (180 do 240 °C) u posudi pod pritiskom za impregnaciju biomase. Nakon impregnacije slijedi eksplozivna dekompresija, koja uzrokuje pucanje vlakana i stvaranje lignina u pulpi, koji se dalje može kompresovati u pelete. Brzina hidrolize hemiceluloze može se dalje poboljšati korištenjem kiselih plinova (npr. SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) kao katalizatora tokom faze tlačenja. Eksplozija pare koristi se i kao korak prethodne obrade biomase tokom proizvodnje 2G bioetanola (Kofman, 2016).
- **Hidrotermička karbonizacija (HTC)** razlikuje se od ostale dvije tehnologije jer omogućava direktnu predobradu vlažne biomase, bez prethodnog koraka sušenja. U procesu HTC-a biomasa se suspendira u vodi i obrađuje na povišenim temperaturama (180 - 300 °C). Primjenjuje se povišeni pritisak (20 - 100 bara) iznad odgovarajućeg pritiska vode kako bi se voda zadržala u tekućoj fazi. Još jedna prednost HTC postupka je u tome što voda može ispirati elemente poput alkala i hlora iz biomase, što bi u pravilu moglo uzrokovati zašljakivanje, zaprljanje i koroziju u kotlu (Hansen et al., 2018).



Slika 34: pregled procesa torifikacije (Izvor: IEA Bioenergy Task 32)

<sup>48</sup> <https://ibtc.bioenergypeople.org/torrefaction-basics/>

Do sada, jedini komercijalni retrofit sa termički obrađenim drvnim peletima je konverzija elektrane Thunder Bay Generation Station, blok 3, tvrtke Ontario Power Generation (OPG). Konverzija je započela 2014. godine i završena je u 2015. godini prije roka i unutar proračuna s kapitalnim izdacima od samo 3 miliona kanadskih dolara - približno 2 miliona EUR. S obzirom da je kapacitet jedinice 160 MWe, trošak konverzije je cca 12,50 € / kWe, puno niži od troškova navedenih u ostalim iskustvima konverzije na drvne pelete<sup>49</sup>. Projekt je realiziran korištenjem crnog peleta arbacore iz Arbaflame-a.

Testovi kosagorijevanja s torificiranim biomasom kao i biomasom tretiranom eksplozijom pare su obavljeni u brojnim Evropskim elektranama sa generalno pozitivnim rezultatima<sup>50, 51</sup>. Nadalje, Horizont 2020 projekt ARBAHEAT<sup>52</sup> namjerava transformirati blok na ugalj od 731 MWe sa ultra-nadkritičnim parametrima, elektrane Maasvlakte 1, u kogeneracijski blok na biomasu s integrisanim tretmanom biomase parnom eksplozijom prema tehnologiji Arbaflame.

## 7.6 Ostale opcije konverzije: Sagorijevanje drvnog praha, bio-ulja i bio-gasovi

Osim velikih elektrana na ugalj, sistemi za loženje fosilnim gorivima se koriste i u toplanama za daljinsko grijanje te u raznim drugim industrijskim postrojenjima mnogo manjeg obima. Ipak, potreba za smanjenjem ugljičnog otiska energije ili proizvoda tih industrijskih postrojenja, pruža mogućnosti za primjenu drugih opcija bioenergije. Neke relevantne opcije su sljedeće:

- **Sagorijevanje drvnog praha** može se primijeniti, osim velikih elektrana na ugalj koji su naknadno opremljeni za loženje drvenim peletima, i na druge manje instalacije, zamjenjujući naftu, plin ili ugalj. U većini takvih slučajeva, drveni prah se obično dobiva od mljevenih drvenih peleta, ali se mogu koristiti i drugi asortimani (npr. piljevina, strugotina) ako su dostupni i ako su dovoljno čisti od nečistoća. Prelazak sa sistema za loženje uglja na drvni prah je lakši u odnosu na kotlove na naftu i plin, budući da ovi drugi nemaju sisteme za uklanjanje pepela iz ložišta. Stoga, čišćenje kotla je u redovnim intervalima (jednom ili dva puta godišnje). Na konverziju utječe i tip kotla, granice emisije koje treba postići i drugi faktori<sup>53</sup>. Rješenja zasnovana na sistemima za sagorijevanje drvenog praha koriste se u termoelektranama, fabrikama papira, praonicama i mnogim drugim aplikacijama<sup>54</sup>.
- **Bio-ulja** se mogu koristiti kao zamjena za fosilna goriva u raznim primjenama. Budući da su svojstva bio-ulja donekle drugačija od fosilnih ulja, potrebne su neke modifikacije da bi zamjena funkcionalala (npr. modifikacije u skladištu goriva, opskrbi i gorionicima), takva rješenja se mogu primijeniti prilično lako i brzo. Pristup dovoljnim količinama bio-

<sup>49</sup> Elektrana je bila u pogonu u projektu samo 2,5 dana/god, kao blok za vršno opterećenje, a u Maju 2018, pronađeno je značajno oštećenje od korozije u kotlu (koje nije prouzrokovano sagorijevnjem biomase). Od tada, blok je zaustavljen.

<sup>50</sup> [www.blackwood-technology.com/company/references/](http://www.blackwood-technology.com/company/references/)

<sup>51</sup> [www.cegeneration.com/ceg-and-tse-trial-1000-tonnes-of-renewable-black-pellets-at-tsies-naantali-power-station-in-finland/](http://www.cegeneration.com/ceg-and-tse-trial-1000-tonnes-of-renewable-black-pellets-at-tsies-naantali-power-station-in-finland/)

<sup>52</sup> [www.arbaheat.eu](http://www.arbaheat.eu)

<sup>53</sup> For more details on the factors to consider when converting fossil fuel fired steam or hot water boilers to wood powder combustion, see the presentation by Björn Forsberg (WTS AB Powder Burners) at the BIOFIT Industry Forum on CHP and heat only sector of 19 April 2021: [https://www.biofit-h2020.eu/news-and-events/biofit-industry-forum-on-chp-and-heat-only-sector-19-april-2021/210419\\_BIOFIT\\_Presentation\\_WTSBjorn.pdf](https://www.biofit-h2020.eu/news-and-events/biofit-industry-forum-on-chp-and-heat-only-sector-19-april-2021/210419_BIOFIT_Presentation_WTSBjorn.pdf)

<sup>54</sup> Kao primjer retrofita na sagorijevanje drvnog praha, vidjeti prezentaciju od Johanna Lindén (PetroBio) na BIOFIT Industrijskom Forumu o kogeneracijskim elektranama i toplanama održanom 19 April 2021: [https://www.biofit-h2020.eu/news-and-events/biofit-industry-forum-on-chp-and-heat-only-sector-19-april-2021/210419\\_BIOFIT\\_Presentation\\_PETROBIO.pdf](https://www.biofit-h2020.eu/news-and-events/biofit-industry-forum-on-chp-and-heat-only-sector-19-april-2021/210419_BIOFIT_Presentation_PETROBIO.pdf)

ulja je preduslov za takve konverzije. Vrsta i kvalitet bio-ulja koji se razmatra, kao i granice emisije koje treba postići, utiču na zahtjeve za naknadnu ugradnju u smislu gorianika, odabira materijala za skladištenje, cjevovoda itd<sup>55</sup>.

- **Bio-gasovi** su gasovita goriva biogenog porijekla. Mogu nastati iz anaerobne digestacije odgovarajućih sirovina biomase ili – u trenutno rjeđe – iz termičkih procesa kao što je gasifikacija. Bio-gasovi se mogu sagorjeti uz ograničeno prečišćavanje kako bi se proizvela energija i/ili toplina u plinskim motorima. Alternativno, bio-plinovi se mogu prečistiti i nadograditi u plinovito gorivo sa karakteristikama sličnim prirodnim plinovima. Biometan je izraz koji se obično koristi za takve obnovljive plinove koji dolaze iz anaerobne digestacije i biosintetički prirodni plin (bio-SNG) za one koji dolaze iz termičkih procesa. Biometan/bio-SNG se može koristiti čak i kao transportna goriva, ali se također mogu ubrizgati u plinsku mrežu i pomiješati sa prirodnim plinom. Fizičku opskrbu molekula biometana određenim potrošačima u ovom slučaju je nemoguće pratiti, ali se certifikati za proizvodnju mogu izdavati i trgovati putem registra obnovljivih plinova. Takva opcija može pružiti vrlo brzu mogućnost dekarbonizacije za sadašnje potrošače prirodnog plina.

## 7.7 Zaključne napomene

Postoji nekoliko različitih opcija za retrofit fosilnih elektrana ili CHP elektrana na biomasu u zavisnosti od vrste fosilnog goriva koje se zamjenjuje i željenog nivoa integracije biomase u postrojenju.

Za elektrane na ugalj, najjednostavnija opcija za implementaciju je direktno kosagorevanje, ali je ujedno i najmanje ambiciozna, budući da je nivo zamjene fosilnih goriva biomasom obično nizak i ne prelazi 10 – 20 % na bazi termičkog inputa goriva. Kao takvo, podrazumijeva nastavak rada elektrane ili CHP elektrane na ugalj. Zbog zahtjeva koje nameće REDII i planova nekoliko država članica za postupno izbacivanje uglja, ova opcija više nije relevantna za nove rekonstrukcije u EU, iako može biti relevantna kao prijelazna tehnika za zemlje koje održavaju ili proširuju svoj proizvodni kapacitet na ugalj. Indirektno kosagorevanje i paralelno kosagorevanje su naj sofisticirane opcije koje omogućavaju korištenje većih udjela biomase. Međutim, opet, njihova primjena podrazumijeva nastavak rada postrojenja na ugalj i može se postići samo djelimična dekarbonizacija.

Potpuni prelazak na biomasu, npr. potpuna konverzija elektrane na sprašeni ugalj ili CHP na biomasu je demonstrirana u nekoliko instalacija u Evropi i šire. Iako u određenim slučajevima može doći do komplikacija, ova opcija je već dostigla dovoljan nivo tehnološke zrelosti.

Ključno pitanje koje treba razmotriti u ovim konverzijama s uglja na biomasu je dostupnost biomase; konverzija velike elektrane na ugalj na biomasu zahtijeva ogromnu količinu materijala, a logistički aranžmani mogu biti komplikovani, posebno za postrojenja koja se u prošlosti nisu oslanjala na eksterno snabdijevanje gorivom. Takav je slučaj s elektranama na lignit koji se nalaze u blizini rudnika lignita i daleko su od morskih luka (Karampinis i dr., 2014).

Također treba napomenuti da su takvi slučajevi konverzije komercijalno demonstrirani samo s gorivima od drvene biomase (uglavnom drvenim peletima). Agrobiomasa može ponuditi mogućnost niže cijene goriva u usporedbi s drvenim peletom, međutim njen sagorijevanje dolazi sa svojim vlastitim tehničkim izazovima – kao i problemima mobilizacije i logistike – i to tek treba biti demonstrirano u velikim sistemima.

<sup>55</sup> Za više detalja o zahtjevima i faktorima koje treba uzeti u obzir pri retrofITU s kotlova na lož ulje na bio-ulja, pogledajte prezentaciju od Stefan Roslund (Semix Consult AB) na BIOFIT Industrijskom Forumu o kogeneracijskim elektranama i toplanama održanom 19 April 2021: [https://www.biofit-h2020.eu/news-and-events/biofit-industry-forum-on-chp-and-heat-only-sector-19-april-2021/210419\\_BIOFIT\\_Presentation\\_StefanRoslund.pdf](https://www.biofit-h2020.eu/news-and-events/biofit-industry-forum-on-chp-and-heat-only-sector-19-april-2021/210419_BIOFIT_Presentation_StefanRoslund.pdf)

Konačno, upotreba termički obrađene biomase je demonstrirana samo u jednom komercijalnom slučaju te u nekoliko demonstracijskih kampanja. Iako ima nekoliko prednosti – prije svega vrlo niske CAPEX zahtjeve za konverziju i trend smanjenja cijene takvog goriva – jedan od ključnih izazova u implementaciji ovog rješenja je razvoj infrastrukture potrebne za obezbjeđivanje količina termički obrađene biomase koje projekti konverzije zahtijevaju.

Uprkos kritikama nekih nevladinih organizacija, projekti konverzije s uglja na biomasu jedina su trenutno dostupna opcija za masovnu dispečibilnu i obnovljivu proizvodnju električne energije. Također treba napomenuti da je, kako bi se osigurala održiva i učinkovita upotreba biomase u proizvodnji električne energije, EU postavila niz zahtjeva u RED II, u rasponu od kriterija održivosti za izvor biomase, do minimalnog nivoa postignutih ušteda emisija stakleničkih plinova u cijelom lancu vrijednosti, do niza tehničkih ograničenja (npr. minimalni nivo od 36% neto električne efikasnosti za postrojenja za proizvodnju električne energije sa nazivnim termičkim inputom iznad 100 MW). Štaviše, takve instalacije nude mogućnost integracije tehnologija za hvatanje i skladištenje ugljenika (CCS), koje zajedno sa upotrebom biomase otvaraju put negativnim GHG emisijama.

Konverzija toplana koje se koriste fosilnim uljem u postrojenja koja mogu sagorijevati bio-ulje istražena je u studiji slučaja projekta Sölvborgs Energi BIOFIT. Rezultati pokazuju da su investicijski troškovi za nove gorionike veći ako se koriste teškim bio-uljem nego ako se koristi lako bio-ulje ili biodizel. Sistemi grijanja koji rade na bio-ulje ili biodizel imaju niže OPEX od onih koji rade na fosilno ulje ili teško bio-ulje. Stoga je ekonomski uticaj sistema bio-ulja i biodizela pozitivan. Međutim, mora se uzeti u obzir dostupnost bio-ulja, kao i propisi, npr. o oporezivanju goriva.

## 8 Retrofit industrije celuloze i papira

### 8.1 Pregled sektora

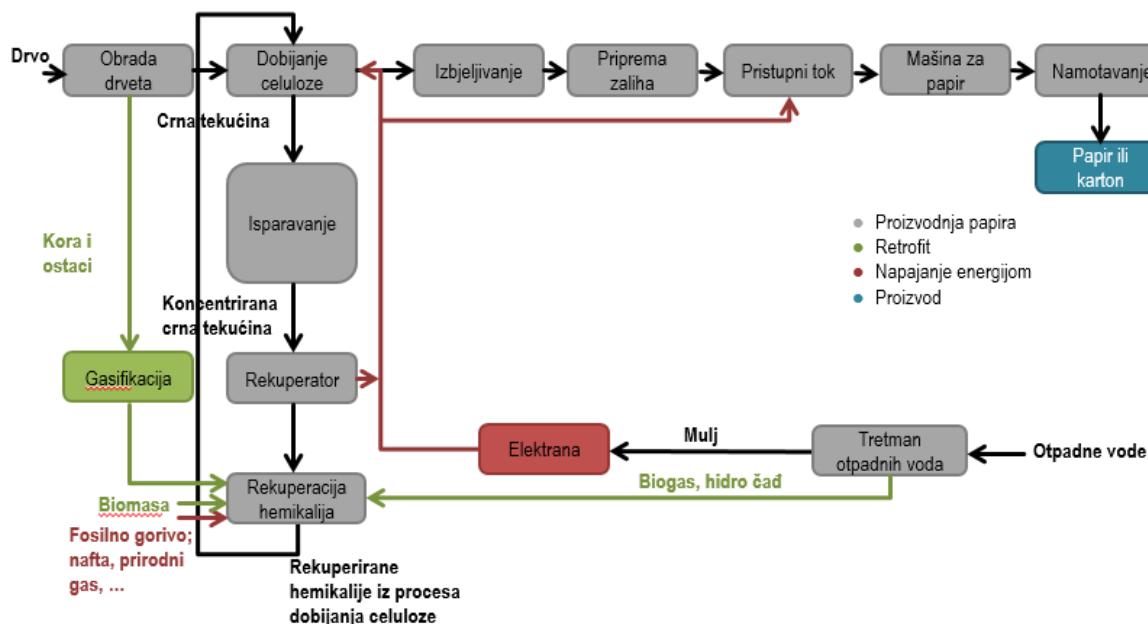
Broj tvornica papira i kartona u Evropi<sup>56</sup> neprekidno opada od 1990-ih. U 2018. godini postojalo je 151 tvornica celuloze i 746 tvornica za papir i karton. Ipak, proizvodnja papira i kartona u Evropi<sup>47</sup> ostala je relativno stabilna tokom posljednjeg desetljeća, pri čemu je u 2018. godini proizvedeno 92 miliona tona papira i kartona. Sličan trend primjećen je u ukupnoj proizvodnji celuloze (integrirane i tržišne celuloze), koja je u 2018. iznosila 38 miliona tona. Primjetno je da uprkos stabilnoj ukupnoj proizvodnji, proizvodnja celuloze na globalnom tržištu ima rastući trend (CEPI, 2019). Suprotno Evropi, u Aziji raste tržište papirne industrije zbog sve veće kupovne moći (Suhonen and Amberla, 2014).

Digitalizacija je uticala na krajne proizvode papirne industrije; Upotreba grafičkog papira opada, ali potreba za pakiranjem raste (Suhonen i Amberla, 2014). Industrija celuloze i papira u Evropi pretrpjela je odgovarajuću konsolidaciju, dok istovremeno postoji interes za visokovrijedne proizvode koji se temelje na biološkoj osnovi, kao što su biogoriva, biokompoziti i plastika na biološkoj osnovi. Budući da mnoge tvornice celuloze više nisu integrirane u tvornice papira, smanjila se njihova vlastita potrošnja energije, što otvara mogućnosti za proizvodnju bioenergetskih proizvoda više vrijednosti od njihovih ostataka.

Celulozna i papirna industrija su četvrti najveći industrijski potrošači energije u Evropi (Chan i Kantamaneni, 2015). Ova industrija je uspjela smanjiti svoje emisije ugljika za 26% od 2005. godine, koristeći čvrste nus-produse u energetske svrhe (CEPI, 2018a). Industrija celuloze i papira u Evropi već koristi obnovljive izvore energije u procentu od gotovo 60% od njihove ukupne potrošnje goriva. Potrošnja biomase za energiju u industriji celuloze i papira iznosila je 710 PJ u 2017. godini (CEPI, 2019). Potrošnja ostalih goriva uglavnom je pokrivena plinom, te je iznosila 390 PJ (CEPI, 2019). Zemlje u kojima papirna industrija koristi prirodni plin kao izvor energije često imaju samo mali šumarski sektor koji bi šumskim ostacima mogao napajati postrojenja. U tim su zemljama reciklirana vlakna daleko od glavnog izvora domaće sirovine za papir. Iako upotreba prirodnog plina nije preduvjet za recikliranje papira, prirodni se plin često koristi zbog ekonomičnosti, nedostatka održivih alternativa i nacionalnih energetskih politika. (CEPI, 2018a).

Glavni obnovljivi izvor energije u sektoru celuloze i papira je bioenergija iz ostataka pri obradi drveta, poput mulja, kore i otpada od prerade drveta. Mogućnosti za retrofit bioenergijom u sektoru su povećana upotreba ostataka poput kore za proizvodnju energije, proizvodnja bioplina iz mulja iz celuloze, i povećanje efikasnosti proizvodnje bioenergetskih CHP sa visokoučinkovitom opremom (viši pritisci pare). Na slici 35 prikazana je shema za retrofit tvornica celuloze i papira energetskom opskrbom s biomasom. Ostale važne mogućnosti za retrofit uključuju sekundarnu proizvodnju goriva, na primjer retrofit s „crnim likerom“.

<sup>56</sup> in CEPI member countries: Austria, Belgium, Czech Republic, Finland, France, Germany, Hungary, Italy, The Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovak Republic, Slovenia, Spain, Sweden and United Kingdom



Slika 17: Sheme za retrofit tvornica celuloze i papira energetskom opskrbom biomasom

## 8.2 Proces proizvodnje celuloze i ostaci iz industrije celuloze i papira

### 8.2.1 Ekstrakcija vlakana

Celulozna vlakna se mogu izdvajati iz sirovinskog materijala (drveta) mehanički ili hemijski.

Kod **mehaničkog dobijanja celuloze**, drvo se obrađuje mehaničkim posmičnim silama npr brušenjem do mehaničkih vlakana koja vežu lignin. Veći prinosi (do 95%) celuloze iz drveta se dobiju mehaničkom ekstrakcijom u usporedbi s hemijskim dobijanjem celuloze jer se može iskoristiti cijeli trupac osim kore (CEPI, 2018b). Primjetan nedostatak mehaničke ekstrakcije je niža čvrstoća krajnjeg proizvoda u usporedbi s kemijском pulpiranjem zbog različite dužine vlakana. Pored toga, energetske potrebe kod mehaničke ekstrakcije mogu se djelomično pokriti unosom energije iz ostataka kore.

Kod **hemijskog dobijanja celuloze**, s okruglih trupaca se najrije odstrani kora a drvo se isječe. Skinuta kora obično se prodaje ili sagorijeva za proizvodnju topline i energije na licu mesta. Proces dobijanja celuloze u ovom slučaju je energetski samodostatan, jer sagorijevanje nusproizvoda može pokriti energetske potrebe procesa. Nakon uklanjanja kore, drvena sječka se pomiješa u vodenoj otopini zajedno s kemikalijama koje rastvaraju lignin. Čvrsti ostatak koji ima nizak sadržaj lignina naziva se celulozni ostatak. Može se prodavati ili dalje prerađivati u kartonske ili papirnate proizvode. Prinos celuloze iz drveta u hemijskoj ekstrakciji obično je 45% (CEPI, 2018b).

Kod **polu-hemijskog dobijanja celuloze**, drvena sječka se kuha s malom količinom hemikalija, nakon čega se primjenjuje mehanička obrada drveta. Na primjer, u poluhemijskom dobijanju celuloze s neutralnim sulfitima (NSSC), hemijska predobrada sulfitom se vrši prije ekstrakcije vlakana.

## 8.2.2 Postupak iskuhavanja

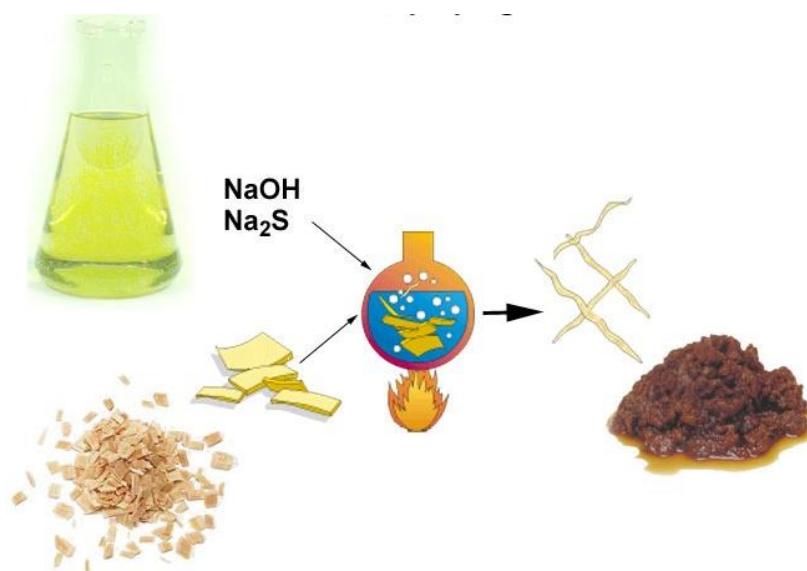
Uobičajeni procesi iskuhavanja uključuju Kraft iskuhavanje i sulfitno iskuhavanje. Vrsta procesa iskuhavanja značajno utiče na valorizaciju nus proizvoda.

**Kraft proces** (sulfatni proces) je glavni postupak za proizvodnju papira. On pretvara drvo u gotovo potpuno čista celulozna vlakna. U ovom procesu, da bi pokidali veze između lignina, poluceluloze, i celuloze, kao hemikalije se koriste natrium-hidroksid ( $\text{NaOH}$ ) i natrijum-sulfid ( $\text{Na}_2\text{S}$ ). U Kraft procesu dobijanja celuloze, otopina je alkalna i sadrži šećere lignina i hemiceluloze. Te proizvode razgradnje teško je pretvoriti u biogoriva kvascima ili drugim mikroorganizmima.

Nakon faze iskuhavanja, pulpa se ispira. Tokom pranja, zaostali lignin uklanja se kisikom u vodenoj otopini. Celuloza se često izbjeljuje i postaje bijela i pogodna za proizvode od bijelog papira. Otopina koja sadrži otopljene ostatke lignina naziva se **crna tekućina** (*black liquor*), i koncentrira se isparavanjem. Putevi za upotrebu crnog likera prikazani su na Slici 39.

U **sulfitnom procesu iskuhavanja**, koristi se otopina sulfitne soli (tipično magnezijev sulfit). Otapanje komponenata biomase ovisi o pH vrijednosti otopine. Postupak iskuhavanja sulfita može se provesti u različitim razinama pH, ovisno o sirovini. Na primjer, postupak kiselog bisulfita s kalcijem se provodi u vrlo kiselim uvjetima, obično pri pH vrijednosti od 1-1,5 (Hanhikoski, 2014).

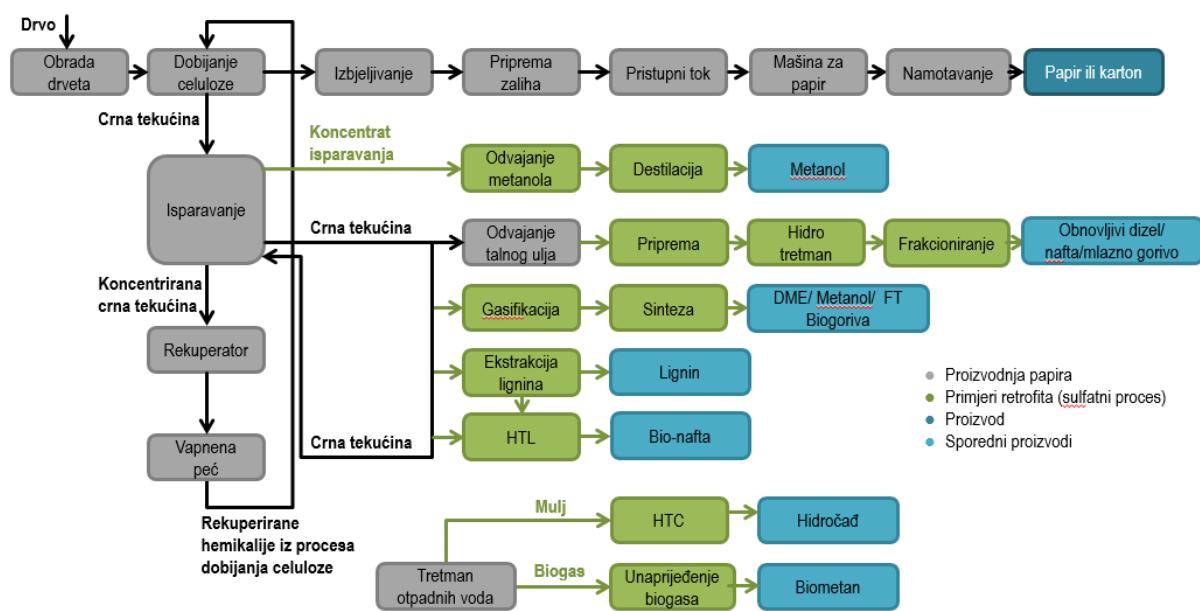
U kiseloj otopini sulfita, tzv **smeđa tekućina** (*brown liquor*) sadrži lignin kao lignosulfonati (vodotopljivi lignin koji se može prodati kao zasebna hemikalija) i šećere koji se lako mogu fermentirati u etanol ili druga biogoriva. Putevi za upotrebu smeđe tekućine prikazani su na Slici 39.



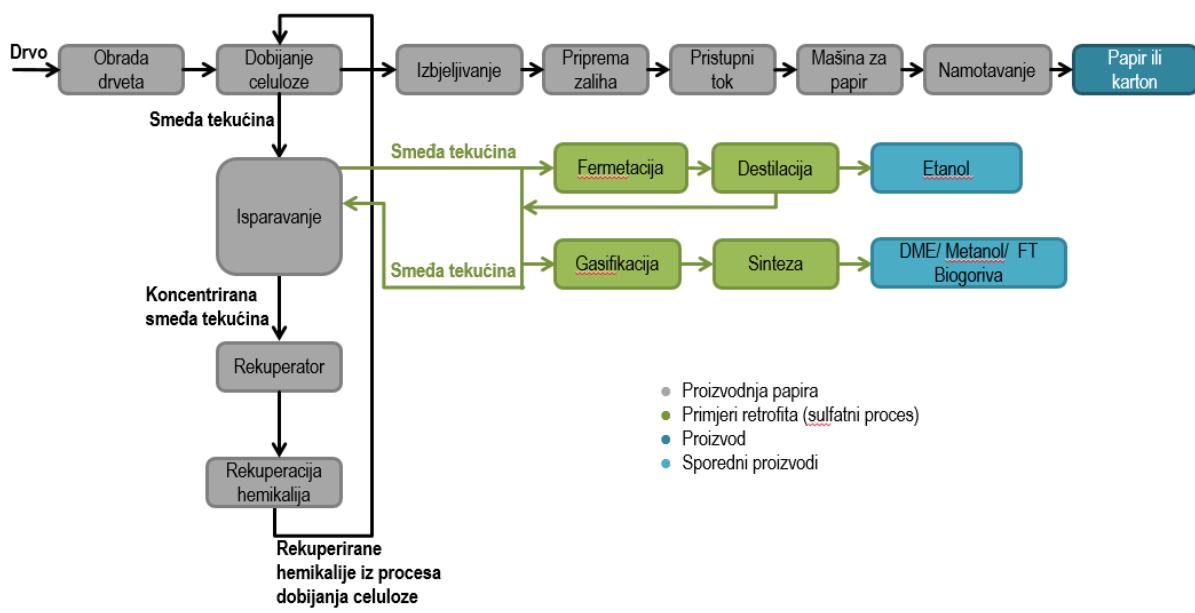
Slika 36: Shematski prikaz Kraft procesa iskuhavanja (KnowPulp, 2019).



Slika 37: Ispiranjem prijave pulpe nastaje crna tekućina i oprana celuloza (KnowPulp, 2019)



Slika 38: Tok-dijagram korištenja crne tekućine



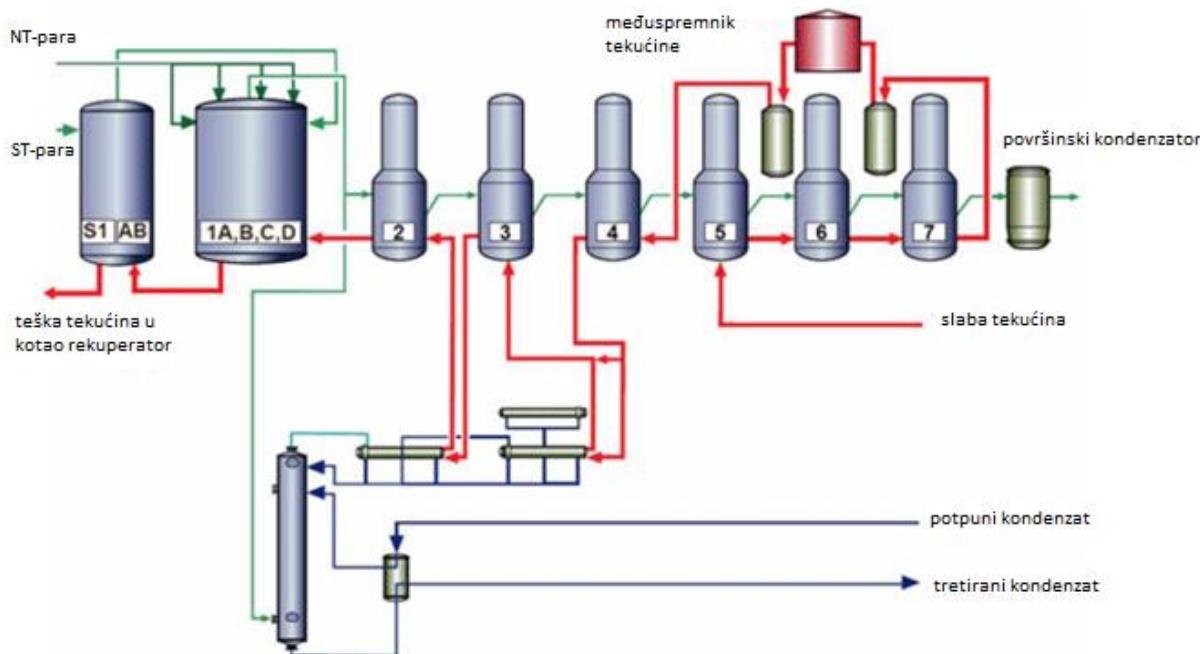
Slika 39: Tok-dijagram korištenja smeđe tekućine

### 8.2.3 Isparavanje crne tekućine

Kada se crna tekućina iz Kraft procesa dobijanaj celuloze koncentrira isparavanjem, nekoliko frakcija se izdvaja (**Error! Reference source not found.**). Jedna od tih frakcija koja se naziva "sapun" pretvara se u sirovo visoko ulje dodavanjem kiseline. Metanol i terpentin su odvojeni od kondenzata isparavanja. Metanol i sirovo visoko ulje mogu se pročistiti i pretvoriti u biogoriva ili druge proizvode. To se dalje diskutuje u poglavljima 8.5 i 8.11.

Savremene tvornice celuloze često su **samodostatne** u pogledu grijanja i mogu proizvesti višak topline. Višak topline proizvodi se uglavnom ako tvornica papira nije na istom mjestu koja koristi značajan dio proizvedene topline. Kako se ne moraju sagorjeti svi organski sastojci da bi se proizvelo dovoljno topline za proizvodnju celuloze, dio organskih tvari iz crne tekućine može se izdvojiti, na primjer, u obliku lignina ili druge bio sirove tvari.

Nedavno su razvijeni i procesi za odvajanje **lignina** iz crne tekućine Kraft procesa. Lignin se može istaložiti dodavanjem CO<sub>2</sub> ili kiselina poput sumporne kiseline, jer smanjenje pH vrijednosti crne tekućine ispod devet dovodi do taloženja lignina. Proizvedeni lignin može se koristiti kao čvrsto gorivo ili pretvoriti u biogoriva, hemikalije ili materijalne proizvode. Međutim, lignin iz Kraft procesa sadrži sumpor koji ograničava njegovu upotrebu kao goriva.

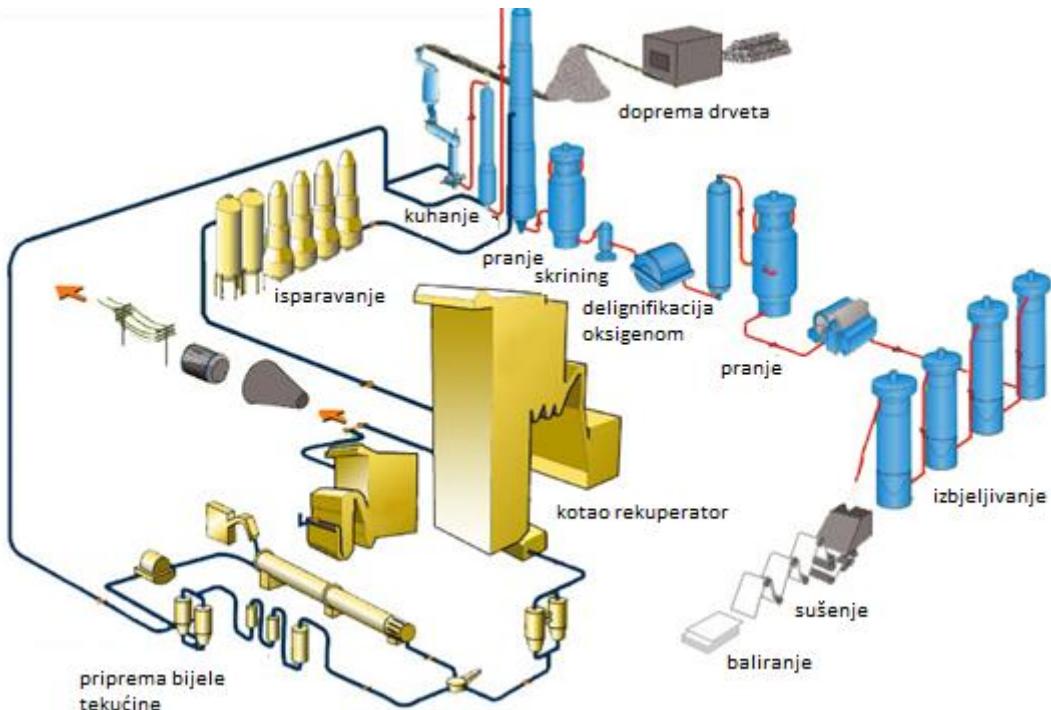


Slika 40: Tipično 7-stepeno postrojenje za isparavanje crne tekućine, opremljeno sa super-koncentratorom (KnowPulp, 2019)

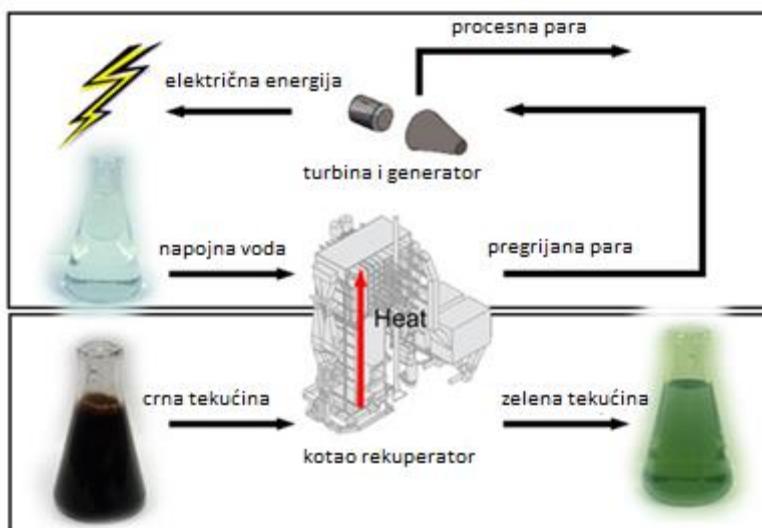
#### 8.2.4 Proces rekuperacije

Nakon isparavanja, jaka crna tekućina obično sadrži samo 15-25% vode. Ona se izgara u rekuperacionom kotlu (slike 41 i 42) da bi se u potpunosti iskoristio njen energetski sadržaj i ujedno iskoristile hemikalije za iskuhavanje u obliku anorganskih soli koje se nazivaju i **zelena tekućina** (*green lequor*). U Kraft procesu, ti anorganski kemijski ostaci su natrijev karbonat i natrijev sulfid. Natrijev sulfid, koji je potreban u Kraft procesu dobijanja celuloze kao hemikalije za iskuhavanje, proizvodi se od natrijevog sulfata u uvjetima visoke temperature i nedostatka kisika u rekuperacionom kotlu.

Prije vraćanja hemikalija u fazu pulpiranja, natrijev karbonat mora se pretvoriti u natrijev hidroksid, a to se može postići postupkom ponovne kaustizacije dodavanjem kalcijevog oksida. U procesu rekausticizacije, reaktivni kalcijev oksid pretvara se u neaktivni kalcijev karbonat dok se natrijev karbonat pretvara u natrijev hidroksid. Kalcijev karbonat mora se regenerirati u kalcijev oksid zagrijavanjem na visoku temperaturu u odvojenoj vapnenoj peći da bi se oslobođio CO<sub>2</sub>. U peći za vapno obično se koriste fosilna goriva poput prirodnog plina i ložulja. Međutim, u posljednje vrijeme se u tu svrhu upotrebljavaju i biopljin, lignin, piljevina ili plin iz gasifikacije biomase.



Slika 41: Princip hemijske rekuperacije u Kraft Procesu (KnowPulp, 2019)



Slika 42: Rekuperacija hemikalija i energije u kotlu za rekuperaciju crne tekućine (Know Pulp, 2019)

### 8.2.5 Tretman otpadnih voda

Otpadne vode iz procesa dobijanaj celuloze i otkoravanja trupaca obično se tretiraju u postrojenju za pročišćavanje otpadnih voda. Ostatak kao organski sadržaj u otpadnoj vodi bio bi štetan za okoliš ako bi se ispuštao bez odvajanja i obrade. U procesu aktivnog mulja, organski sadržaj otpadne vode smanjuje se bakterijama i stvara se mulj - talog. Izazov ovog procesa je što se stvaraju velike količine **mokrog mulja**, sa kojim je teško rukovati. Moguće je ili smanjiti količinu mulja digestacijom i proizvesti biopljin ili zagrijavanje vodene otopine mulja na više od 200 °C u takozvanom hidrotermalnom procesu karbonizacije kako bi se mulj pretvorio u proizvod sličan uglju s niskim udjelom vode i vodene faze.



Slika 43: Proces aktivnog mulja koji uklanja organske komponente iz otpadnih voda (KnowPulp, 2019)

### 8.3 Crni/smeđi tekućinasti etanol

U **kiselom sulfitnom procesu dobijanja celuloze** u kojem se dobijanje celuloze vrši na niskoj razini pH vrijednosti, hemicelulozni dio drveta pretvara se u jednostavne šećere koji se nazivaju i monomernim šećerima. Monomerni šećeri se mogu izravno fermentirati u etanol pomoću kvasca ili probaviti (digestirati) radi proizvodnje bioplina. Trenutno se etanol proizvodi u nekoliko starih tvornica celuloze, a temelji se na sulfitnoj tehnologiji dobijanja celuloze. Prednost ovog pristupa je u tome što se šećeri pogodni za proizvodnju etanola mogu dobiti lako kao nusproizvod dobijanja celuloze iz hemiceluloznog dijela drveta. Određene vrste šećera, poput šećera koji sadrži 5 atoma ugljika, poput ksiloze, ne pretvaraju se efikasno u etanol te se stoga često proizvodi i biopljin. Za razliku od proizvodnje etanola iz procesa u kojima se koristi celulozni dio; Nijedan skup korak enzimske hidrolize ne zahtijeva dugo reakcijsko vrijeme. Međutim, danas većina tvornica celuloze koristi **Kraft proces dobijanja celuloze**, što ograničava mogućnosti proizvodnje etanola, jer takav pristup može se koristiti samo u sulfitnom procesu dobijanja celuloze.

Examples of sulphite mills that are in operation today and produce ethanol are the Domsjö plant in Örnsköldsvik (Sweden) and Borregaard in Sarpsborg (Norway). The Domsjö plant produces 20,000 tons of ethanol and 90 GWh of biogas annually from the side streams of utilisation of 1.4 million m<sup>3</sup> of timber wood raw material for speciality pulp (mainly for textile applications) and the lignin (used as concrete additives) production. (Domsjö, 2019) The plant uses a two-stage sodium sulphite pulping process (Hankikoski, 2007).

Primjeri sulfitnih tvornica koje danas djeluju i proizvode etanol su postrojenja Domsjö u Örnsköldsviku (Švedska) i Borregaard u Sarpsboru (Norveška). Postrojenje u Domsjö godišnje proizvede 20 000 tona etanola i 90 GWh bioplina iz bočnih tokova iskorištenja oko 1,4 miliona m<sup>3</sup> drvene sirovine za proizvodnju celuloze (uglavnom za upotrebu u tekstilu) i lignina (koji se koristi kao dodatak betonu) (Domsjö, 2019.). Postrojenje koristi dvostupanjski proces dobijanja celuloze na bazi natrijevog sulfita (Hankikoski, 2007).

Biorefinerija Borregaard u Sapsboru proizvodi posebne celulozne proizvode, oko 20 miliona litara etanola godišnje, kao i specijalne lignine i niz različitih proizvoda (Borregaard, 2017). Proizvedeni etanol se koristi za hemijske proizvode ili otapala, ali također se prodaje Statoilu kako bi se koristio u prevozu (Evropska Tehnološka Platforma za Biogoriva, 2016).

#### **8.4 Gasifikacija crne tekućine u dimetil eter (DME)**

Nusproizvod crne tekućine od isparavanja je gusta tekućina koja sadrži organske komponente, lignin, nekoliko postotaka zaostale vode i oko jedne trećine anorganskih soli. Crna tekućina se može gasificirati u sintetički plin (IEA, 2007). Sintetički plin može se dalje pretvoriti u biogoriva pogodna za transport, poput Fisher Tropsch (FT) -dizela, metanola ili dimetil etera (DME). Ti proizvodi obično imaju veću vrijednost od topline i snage dobivene izgaranjem crne tekućine u kotlu za rekuperaciju. Pored toga, tokom uplinjavanja mogu se dobiti hemikalije za iskuhanje, jer se organski sastojci gasificiraju iz crne tekućine. Na taj se način natrijev sulfat pretvara u natrijev sulfid i može se upotrijebiti kao hemijska priprava u proizvodnji celuloze.

DME je substanca koja ima slične osobine kao LPG. Pod pritiskom se može ukapljavati na sobnoj temperaturi (Röj, 2017). Može se dobiti iz sintetskog gasa dobijenog gasifikacijom crne tekućine ili direktno iz metanola. Korištenje DME-a kao novog dizel goriva u automobilima i kamionima, demonstrirao je Volvo. DME ima povoljna svojstva goriva poput cetanskog broja sličnog dizel gorivima.

Izazov gasifikacije crne tekućine je korozivno okruženje pri visokim temperaturama i topljenje soli alkalnih metala unutar uplinjača (Navqi i Yan, 2010). Pored toga, kada se uplinjavanje crne tekućine uvede u tvornicu celuloze, rad tvornice celuloze postaje otežan. U konvencionalnom postrojenju koje koristi kotao za rekuperaciju sav se sumpor reciklira u obliku Na<sub>2</sub>S, ali u plinofikaciji crne tekućine nastaje i vodikov sulfid. Budući da je potreban dodatni natrijev hidroksid za pretvaranje sumporovodika u Na<sub>2</sub>S, potreban je i veći kapacitet postrojenja za kaustizaciju (Navqi i Yan, 2010).

LTU Green Fuels, nekada Chemrec, upravljao je postrojenjem za uplinjavanje crne tekućine u Luleåu (Švedska) i demonstrirao je uplinjavanje crne tekućine u dimetil eter (DME) u količini od četiri metričke tone dnevno. Crni liker raspršuje se kao tekućina u njihovom dizajnu gasifikatora, a proizvedeni sintetički gas se brzo hlađi naglim hlađenjem radi dobijanja odgovarajućih osobina (Landälv, 2016).

#### **8.5 Metanol iz tvornica celuloze**

Tokom isparavanja crne tekućine u Kraft procesu dobijanja celuloze, stvara se mala količina metanola (obično između 7-15 kg/tona suhe celuloze) (Jensen i drugi, 2012). Ona se može odvojiti u tekućem obliku od neisparenenog kondenzata kod isparavanja crne tekućine sa sistemom za tretman kondenzata. Na taj se način tvar koja bi se inače smatrala otpadnim tokom koja se odlaže ili obrađuje sistemom otpadnih voda, može skladištiti i iskoristiti (Valmet, 2018b). Metanol se obično koristio sagorijevanjem u kotlu za rekuperaciju i u peći za vapno. Koristan je i kao otapalo i u proizvodnji hemikalija poput octene kiseline i formalina, a može se koristiti i kao gorivo za vozila.

Metanol iz procesa dobijanja celuloze sadrži sumporne nečistoće koje ometaju njegovu upotrebu. Razvijeni su različiti sistemi prečišćavanja. Na primjer, Andritz je razvio postupak prečišćavanja (Andritz, 2019a) i postrojenje, koje ima za cilj proizvesti 5000 tona metanola, je u izgradnji u Mörrumu u tvornici celuloze Södra (Andritz, 2019b).



**Slika 44: Separacija etanola iz tvornice celuloze: spremnici i sistem za odvajanje kondenzata (KnowPulp, 2019)**

## **8.6 Iskorištenje suspenzija iz procesa dobijanja celuloze i papira**

U sistemima za tretman otpadnih voda u tvornicama celuloze i papira, generiraju se suspenzije koje sadrže veliku količinu vode. One se ne mogu isušiti dovoljno mehaničkim pritiskom. Stoga je uobičajena praksa izgaranja istih sa ostalim sušenim gorivima, iako to ekonomski i nije baš atraktivno.

### **8.6.1 Hidrotermička Karbonizacija (HTC)**

Hidrotermalna karbonizacija (HTC) metoda je odvajanja vode i stvaranja iz mulja proizvoda sličnog uglju (**hidročađ** - *hydrochar*). Kod hidrotermičke karbonizacije sirovina se zagrijava u vodenoj otopini na oko 200-250 °C tako da nastaje proizvod sličan ugljeniku (Slika 45) koji se nakon hlađenja odvaja od vodene faze. Budući da se reakcije u procesu odvijaju u tečnoj fazi, pritisak se održava dovoljno visok da otopina ostane u tečnom obliku na radnoj temperaturi.

Najveći dio energetskog sadržaja mulja zadržava se u proizvodu sličnom ugljenu, samo mali dio organske tvari ide u vodenu fazu. Mali dio se također oslobađa u plinovitoj fazi, uglavnom u obliku karbondioksida. Tipični sastav hidročađi iz mulja iz procesa dobijanja celuloze i papira prikazan je u **Error! Reference source not found..**



**Slika 45:** Biougljeni peleti i voden ugalj proizvedeni u procesu hidrotermičke karbonizacije C-Green (Izvor: C-Green)

**Tabela 11:** Sastav (kg po toni suhog mulja) hidročadi iz testnog procesa u pilot postrojenju hidrotermičke karbonizacije C-Green (Izvor: C-Green)

	Sirovi mulj	mokri O	Hidročad	ispusni gas	povrat filtrat
C	480	0	275	170	35
H	55	0	25	10	20
O	235	250	95	200	190
S	25	0	10	0	15
N	80	0	25	0	55
Ash	125	0	109	0	16
Total	1000	250	539	380	331

C-Green Technology i Stora Enso grade HTC demonstracijsko postrojenje u Heinoli (Finska), u poluhemijskoj valjaonici. HTC postrojenje treba da pretvori 25 000 tona tvorničkog mulja u biougalj. Taj iznos bio bi ekvivalent oko 13 GWh bioenergije i smanjio bi 7000 tona emisije CO<sub>2</sub>. (Bioenergy International, 2018).

### 8.6.2 Anaerobna digestacija (AD)

Druga je mogućnost tretiranja suspenzije anaerobnom digestacijom (AD) tako da se proizvodi biopljin i tako smanji količina mulja. Ova AD postrojenja karakteristična su po velikim količinama sirovina iz celulozne i papirne industrije i visokim organskim sadržajem u mulju. Nadalje, postoji manji rizik u rukovanju materijalom od mulja iz komunalnih uređaja za prečišćavanje otpadnih voda, jer mulj za pročišćavanje otpadnih voda u industriji celuloze obično ne sadrži štetne mikrobe. Međutim, taj mulj može sadržavati inhibitorske komponente za digestaciju.



**Slika 46: Mulj iz tretmana otpadnih voda u industriji celuloze (KnowPulp, 2019)**

U Äänekoski (Finland), u pogonu bioprodukta tvrtke Metsä Fibre, bioplinsko postrojenje obrađuje mulj iz prečišćavanja otpadnih voda anaerobnom digestacijom, stvarajući biopljin i pelete (Biokaasuyhdistys, 2016). U 2017, objavljeno je da će dio biogasa iz digestatora Metsä Fibre biti nadograđeno u biometan (Bioenergy, 2017).

Scandinavian Biogas je razvio ko-digestorski process nazvan Effisludge, u kojem se talog otpadnih voda probavlja (digestira) s drugim komplementarnim supstratima. Oni su demonstrirali proizvodnju biogasa iz mulja tretmana otpadnih voda iz tvornice celuloze u Norske Skog's Skogn (Norveška) (Scandinavian Biogas, 2019).

Biogas bi se također mogao proizvesti iz kondenzata procesa polumehaničkog dobijanja celuloze. Ovo je ispitano u 10-dnevnoj seriji laboratorijskih testova u Heinola tvornici u Finskoj. Očekuje se da će anaerobna obrada kondenzata smanjiti opterećenje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda i povećati proizvodnju bioplina (Lotti, 2013).

## 8.7 Ekstrakcija lignina

Lignin koncentriran iz crne tekućine obično se sagorijeva u kotlu za rekuperaciju. Lignin odvojen iz Kraft procesa može se koristiti kao energetski proizvod, na primjer kao gorivo u vapnenoj peći ili se hidrotermičkim ukapljivanjem pretvara u naprednije biogorivo. Lignin se u Kraft procesu može dobiti iz crne tekućine tako što se najprije snizi pH-vrijednost na približno 9-10 upotrebom CO<sub>2</sub> kako bi se istaložio iz otopine crne tekućine, a potom isprale nečistoće kao što je razrjeđivanje natrija ispiranjem sumpornom kiselinom (Andritz 2019c).

Valmet je razvio tehnologiju za izdvajanje lignina nazvanu LignoBoost (Valmet, 2018a). U Valmetovom LignoBoost procesu, moguće je stvarati lignin različite kvalitete. Ovaj process je demonstriran u realnom postrojenju u Stora Enso Sunila tvornici (Finska) (proizvodnja lignin od 50,000 t/a) i od Domtar u SAD kao i u pilot postrojenju u Bäckhammar (Švedska).

Drugi procesi izdvajanja lignin koji su u razvoju su LignoForce od FPInnovations koji je demonstriran u West Fraser tvornici celuloze u Kanadi (Kouisni i drugi, 2016), u kojem je uključen poseban korak oksidacije koji oksidira mirisne i isparljive komponente sumpora kisikom u nemirisne i neisparljive komponente, kao i proces sekvenčalne rekuperacije i prečišćavanja tečnog lignina (*Sequential Liquid Lignin Recovery and Purification - SLRP*), u kojem se lignin izdvaja gravitacijom i ne mora se filtrirati kao u drugim procesima (Velez & Thies, 2015).



Slika 47: Lignin izdvojen iz Kraft procesa (KnowPulp, 2019)

### 8.8 Hidrotermičko ukapljivanje

Hidroermalno ukapljivanje (HTL) atraktivan je postupak povećanja energetskog sadržaja vlažnih tokova koji sadrže organske tvari u bio-sirovi proizvod bez sušenja. Vodena faza koja se hidrotermičkim ukapljivanjem proizvodi kao sporedni proizvod može se tretirati u proizvodnji celuloze isparavanjem i sagorijevanjem u kotlu za rekuperaciju.

Crna tekućina, lignin, talog mulja ili druga sirovina koja sadrži organske tvari se može pretvoriti u teško ulje kao bio-sirovine putem hidrotermičkog ukapljivanja (Slika 48). Proizvedena bio-sirovina treba daljnju nadogradnju u procesu rafinerije nafte kako bi se mogla koristiti kao pogonsko gorivo. HTL je process gdje se sirovina obrađuje u vodenoj otopini na visokoj temperaturi obično između 270-370°C i povišenom pritisku od 5-30 MPa.

Primjeri kompanija koje doprinose razvoju procesa ukapljivanja kroz HTL process ili slične procese su Renfuels, Suncarbon, SCA, Silva Green energy, Steeper Energy, i Licella.

Renfuel proizvodi bio-sirovinski proizvod nazvan Lignol posredstvom katalitičkog procesa iz lignina. Oni su demonstrirali svoju tehnologiju u Bäckhammar (Švedska) u blizini LignoBoost demo-postrojenja, u trenutno grade proizvodno postrojenje u Vallviku (Švedska) u saradnji sa tvornicom celuloze Rottneros I rafinerijom nafte kompanije Preem. Otvaranje postrojenja je planirano za prvi kvartal 2021 (Renfuels, 2019).

Suncarbon odvaja lignin razdvajanjem membrane i pretvara odvojeni lignin u depolimerizirani lignin hidroermalnim tretmanom (Suncarbon, 2019). SCA također istražuje proizvodnju goriva iz crne tekućine prepostavljeno koristeći hidrotermičko ukapljivanje (Papnews, 2016).

Silva Green energy gradi demo-postrojenje u Tofte (Norveška), u kojem se šumski ostaci pretvaraju u bio-sirovinu hidrotermičkim ukapljivanjem (BiofuelsDigest, 2018).



Slika 48: Sirovina proizvedena hidrotermičkim ukapljivanjem iz crne tekućine (Izvor: VTT)

### 8.9 Zamjena fosilnih goriva u energetskoj proizvodnji u tvornicama papira

Postojeće tvornice papira u srednjoj i južnoj Evropi uveliko ovise o prirodnom plinu. Prirodni plin čini više od 50% goriva koja se koriste u proizvodnji papira u Italiji, Holandiji, Španiji, Velikoj Britaniji i Njemačkoj. (CEPI, 2018a.) Tvornice u Njemačkoj, Poljskoj, Češkoj i Mađarskoj također koriste značajne količine uglja. Ogroman potencijal bioenergetskog retrofita leži u povećanju udjela bioenergije u evropskim tvornicama papira.

Iako je daljnje povećanje udjela biomase tehnički održiva opcija za tvornice papira, tvornice imaju ograničen pristup energetskim resursima koji se temelje na biološkoj osnovi, nedostaju skladišni prostori a postoje i logistička ograničenja (CEPI, 2018a). Prirodni plin može se zamijeniti bioplintonom iz vanjskih izvora, a postrojenja mogu učinkovitije rekuperirati energiju iz mulja i otpadnih voda, CEPI (CEPI, 2018a) procjenjuje da bi do 10% potrošnje energije na u tvornicama papira moglo biti pokriveno bioplintonom iz anaerobnih tretmana otpadnih voda.



Slika 49: Kora je mogući izvor energije u tvornicama papira (Know Pulp, 2019)

## 8.10 Aternativna goriva za vapnene peći i gasifikatore kore

Crna tekućina se obično sagorijeva u rekuperativnom kotlu za proizvodnju topline i električne energije. Kora kao sporedni proizvod nastao otkoravanjem trupaca obično se ili sagorijeva ili uplinjava. U oba slučaja proizvodi se dodatna toplina i električna energija. Neke od tvornica celuloze dio proizvedene topline prodaju sistemima daljinskog grijanja. Alternativno, kora se može prodati zasebnoj energetskoj tvrtki koja proizvodi toplinu i električnu energiju kako za potrebe same tvormicu i/ili za lokalnu zajednicu.

Većina energije potrebne u tvornicama celuloze proizvodi se iz same sirovine, tj. Celuloznog drveta. Vapnena peć tradicionalno je bila jedan od najvećih potrošača fosilnih goriva u tvornici celuloze. Korištena fosilna goriva uključuju prirodni plin ili naftu. U peći za vapno također se koriste druga goriva poput bioplina, lignina i piljevine. U posljednje vrijeme fosilna goriva koja se obično koriste u vapnenim pećima zamijenjena su obnovljivim gorivima.

U fabrici vlakana Metsä u Joutseno (Finska), kora se uplinjava u gasifikatoru sa zrakom a dobiveni biogas se sagorijeva u vapnenoj peći. U Metsä tvornici bioproizvoda u Äänekoski (Finska), kora se također uplivana kako bi se dobilo gasovito gorivo koje se koristi u vapnenoj peći. Za postojeći rasplinjač zraka koji je naknadno preuređen u dvoslojni rasplinjač, predložena je i proizvodnja sintetskog plina kao buduća opcija za povećanje proizvodnje bioenergije i proizvoda velike vrijednosti. Koncept bi omogućio proizvodnju biogoriva poput Fischer-Tropsch dizela uz manja dodatna ulaganja.



Slika 50: Komponente gasifikacijskog postrojenja (Know pulp, 2019)

## 8.11 Obnovljivi dizel iz ostatka talnog ulja u tvornici celuloze

Talno ulje (**Error! Reference source not found.**) je atraktivna sirovina za proizvodnju biogoriva zbog niskog sadržaja kisika. Dakle, zahtijeva manji nivo obrade u odnosu na druge sirovine. Sirovo talno ulje dobiva se odvajanjem sapuna u Kraft postupku dobijanja celuloze. Sapun se zakiseljuje kako bi se odvojilo sirovo talno ulje. Dalje se može prečistiti i rafinirati u frakcije s različitim vrelištima (temperaturama ključanja).



**Slika 51:** Uzorci sirovog talnog ulja i kore u centru za posjetioce Metsä Group's Fibre's Pro Nemus

Nedostatak upotrebe talnog ulja za proizvodnju biogoriva je taj što je dostupno u ograničenim količinama i može se koristiti za vrijednije hemikalije nego što je biogorivo. Za biogoriva iz talnog ulja, sheme podrške u Švedskoj podstiču proizvodnju biogoriva umjesto hemikalija.

Sunpine u Sjevernoj Švedskoj esterificira talno ulje sa metil esterom i njihov product se dalje konvertuje u transportna goriva u rafineriji Preem u Piteå (Švedska) (Sunpine, 2019). UPM Biorefinery proizvodi transportna biogoriva u Lappeenranta (UPM, 2019). Kapacitet postrojenja je 120 million litara obnovljivog dizela i nafte godišnje. UPM poboljšana tehnologija proizvodnje biogoriva je prezentovana detaljnije na Slici 52.



**Slika 52:** Dijagram toka proizvodnje obnovljivog dizela UPM (Izvor: UPM<sup>57</sup>)

<sup>57</sup> <https://www.upmbiofuels.com/about-upm-biofuels/production/>

## 8.12 Zaključne napomene

Bioenergetski retrofit u industriji celuloze i papira mogu se primijeniti za zamjenu fosilnih goriva koja se na licu mjesta koriste za proizvodnju energije (prirodni plin, ugalj i lož ulje) obnovljivim alternativama, ili kako bi se omogućila proizvodnja obnovljivih goriva iz procesnih sporednih tokova.

Mogućnosti koje se odnose na zamjenu fosilnih goriva bioenergijom u tvornicama papira i celuloze jako ovise o ekosistemu mjesta. Tvornice celuloze zaista imaju nekoliko korisnih sporednih tokova. Jesu li ti sporedni tokovi dovoljni da pokriju potrošnju energije u tvornici, ovisi o primijenjenoj tehnologiji dobijanja celuloze. U Kraft procesu dobijanja celuloze, sporedni se tokovi mogu učinkovito iskoristiti, a tvornice često proizvode višak energije koji se može prodati, pogotovo ako nisu integrirani s tvornicom papira. Pri dobijanju celuloze kroz sulfidni process, šećeri koji ostaju u crnoj / smeđoj tekućini mogu se pretvoriti u biopljin, samo se lignin koji se pretvara u lignosulfonate obično prodaje i ne sagorijeva. U industriji celuloze, fosilna goriva obično se zamjenjuju korom (ostatak od otkoravanja trupaca) i bioplynom (iz anaerobne digestacije mulja ili tekućih otpadnih voda iz prerađe tvorničkih otpadnih voda). Samostalne tvornice papira, koje nisu smještene zajedno s tvornicom celuloze, nemaju uvijek pristup odgovarajućim sirovinama za proizvodnju bioenergije. Biopljin i ugljikohidrat proizvedeni iz mulja iz tretmana otpadnih voda mogli bi, međutim, povećati udio bioenergije i iz ovih postrojenja.

Pored zamjene fosilnih goriva na licu mjesta, druga je mogućnost retrofit postrojenja za proizvodnju obnovljivih goriva za vanjska tržišta. Goriva koja se mogu proizvesti uključuju biopljin, lignin, bioetanol, obnovljivi dizel ili bio sirove tvari. U procesu rekuperacije hemikalija u tvornicama celuloze s Kraft postupkom, proizvodi se više topline nego što je potrebno u tvornici, čak i ako se samo sporedni tokovi koriste za proizvodnju energije. Ta se toplina može pretvoriti u energiju turbinom i koristiti na licu mjesta ili prodati. Međutim, pretvaranje viška topline u električnu energiju nije baš energetski učinkovito. Stoga, korištenje dijal sporednih tokova i viška topline za proizvodnju bioenergetskih proizvoda poput lignina i tekućih biogoriva postaje atraktivna opcija.

Izvodljivost bioenergetskih retrofita uveliko ovisi o vrsti procesa dobijanjem celuloze koji se primjenjuje. U procesu iskuhavanja sulfita, opcija je valorizacija hemiceluloze u proizvodnju bioetanola ili bioplina. Međutim, u procesu Kraft, valorizacija šećera nakon iskuhavanja iz crne tekućine je teška, jer se oni razgrađuju u procesu. Samo u posebnom slučaju kada proizvod otapa celulozu za tekstilnu primjenu, sporedni tok nusproizvoda hemiceluloze se može koristiti u Kraft procesu. Generalno, u procesu Kraft, lignin se može odvojiti iz crne tekućine i koristiti kao gorivo izravno u vapnenoj peći umjesto fosilnih goriva. Također se hidrotermalnim ukapljivanjem može pretvoriti u bio-sirovinsku tvar. Bio-sirovinska tvar može se dalje rafinirati u rafineriji nafte u visokokvalitetna biogoriva za prevoz. Također je moguće pretvoriti crnu tekućinu izravno hidrotermalnim ukapljivanjem u bio-sirovinsku tvar.

U Kraft procesu, nastaju sporedni tokovi poput metanola iz isparavanja crne tekućine i talnog ulja iz sapuna izdvojenog u isparavanju crne tekućine. Metanol se može očistiti od mirisnih nečistoća i upotrijebiti kao biogorivo ili hemikalija. Talno ulje ili teške frakcije dalnjim rafiniranjem, kao što je smola talnog ulja, mogu se dalje pretvoriti u obnovljiva dizelska i benzinska goriva. Međutim, obnovljiva goriva se ne koriste samo za metanol i talna ulja, već se mogu pretvoriti u vrijednije proizvode poput funkcionalne hrane (steroli) i boje (veziva). Za poluhemijske procese, poput približno neutralnog procesa sulfitnog dobijanja celuloze, kondenzi koji sadrže octenu kiselinu obično se mogu koristiti u proizvodnji bioplina.

U svim postupcima dobijanja celuloze, kora koja je sporedni proizvod koji se ne koristi u proizvodnji celuloze može se koristiti za proizvodnju topline i energije u zasebnom kotlu ili gasificirati u gorivni plin. Taj sintetički plin može se sagorijevati umjesto fosilnog goriva u proizvodnji vapna u hemijskoj rekuperaciji. Pored toga, može se prodavati ili skladištiti kao takav ili rafinirano u tekući oblik ili pretvoriti u biometan koji se može dovoditi u plinsku mrežu.

Uobičajeno, tvornice celuloze i papira također stvaraju otpadne vode i mulj. Ti se tokovi otpada mogu preraditi u biopljin, mada neke struje poput onih iz procesa otkoravanja trupaca mogu sadržavati tvari koje inhibiraju proizvodnju bioplina. Druga je mogućnost pretvaranje mulja u produkt ugljenog tipa (*hydrochar*) postupkom hidrotermičke karbonizacije. Ovaj produkt, koji ima visok udio energije, može se energetski koristiti.

Mogućnosti nadogradnje tvornica celuloze i papira rješenjima sa bioenergijom su na različitim razinama tehničke zrelosti, što ometa mogućnost za eksploataciju tih rješenja. Zamjena fosilnih goriva može biti tehnički održiva opcija. Postoje komercijalni procesi koji se odnose na upotrebu sporednih tokova, poput sagorijevanja kore, uplinjavanja kore, proizvodnje bioplina iz tvorničkih otpadnih proizvoda, proizvodnje etanola iz crne tekućine, pretvaranja talnog ulja u transportna goriva i odvajanja lignina iz crne tekućine iz Kraft procesa. Konverzija kore i crne tekućine plinifikacijom u biogoriva, pročišćavanje metanola, proizvodnja bio-sirovinske tvari iz lignina i crne tekućine i hidrotermička karbonizacija tvorničkog mulja dokazana je u pilot postrojenjima ili demonstracijskim postrojenjima povezanim sa tvornicama celuloze.

Najbolji primjeri prakse u okviru BIOFIT projekta odnose se na ugradnju novog gasifikatora za gorivo peći za kreč<sup>58</sup> s plinom dobivenim iz biomase i za proizvodnju obnovljivog dizela od talnog ulja na bazi drveta<sup>59</sup>. Nadalje, studija slučaja BioFit istraživala je fermentaciju likera u tvornici celuloze AustroCel Hallein<sup>60</sup>. Ovaj primjer je uspješno pokazao da je retrofit moguć s komercijalnim tehnologijama. Studija slučaja BioFit koja se odnosi na hidrotermalnu karbonizaciju mulja otpadnih voda iz fabrike celuloze<sup>61</sup> pokazala je da se profitabilna upotreba ove nove tehnologije može naći i u industriji celuloze. Glavni izazov je uspostavljanje tržišta za proizvod, iako su identificirane potencijalne primjene.

<sup>58</sup> [https://www.biofit-h2020.eu/files/pdfs/190318%20-%20Biofit%20-%20Factsheet%20-%20Finland\\_Mets%C3%A4%20Fibre\\_low.pdf](https://www.biofit-h2020.eu/files/pdfs/190318%20-%20Biofit%20-%20Factsheet%20-%20Finland_Mets%C3%A4%20Fibre_low.pdf)

<sup>59</sup> [https://www.biofit-h2020.eu/files/pdfs/190318%20-%20Biofit%20-%20Factsheet%20-%20Finland\\_UPM\\_low.pdf](https://www.biofit-h2020.eu/files/pdfs/190318%20-%20Biofit%20-%20Factsheet%20-%20Finland_UPM_low.pdf)

<sup>60</sup> <https://www.biofit-h2020.eu/austrocels-hallein-austria-pulp-and-paper/>

<sup>61</sup> <https://www.biofit-h2020.eu/c-green-finland-pulp-and-paper/>

## Literatura

- Agora Energiewende and Sandbag (2019): The European Power Sector in 2018. Up-to-date analysis on the electricity transition. <https://sandbag.org.uk/wp-content/uploads/2019/01/The-European-Power-Sector-in-2018-1.pdf>
- Andritz (2019a) ANDRITZ methanol plant. - <https://www.andritz.com/products-en/group/pulp-and-paper/pulp-production/kraft-pulp/evaporation-plants/methanol-plants> [8.3. 2019]
- Andritz (2019b) ANDRITZ to supply bio-methanol plant for Södra's Mönsterås mill in Sweden. - <https://www.andritz.com/group-en/news-media/pulp-paper/2018-05-18-soedra-group> [8.3. 2019]
- Andritz (2019c) ANDRITZ Lignin Recovery Technology for Kraft Mills - <https://www.andritz.com/products-en/group/pulp-and-paper/pulp-production/kraft-pulp/lignin-recovery> [8.3.2019]
- Bartels, J. & Reinders, M.J. (2011) Consumer innovativeness and its correlates: A propositional inventory for future research. Journal of Business Research, 64, 601-609.
- Bioenergy Europe (2017) Statistical Report 2017 Edition
- Bioenergy Europe (2019) Statistical Report 2019 Edition
- BiofuelsDigest (2018) The Silver in Silva: The Story of Steeper Energy and SGF's's \$59M advanced biofuels project in Norway. - <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2018/01/16/the-silver-in-silva-the-story-of-steeper-energy-s-59m-advanced-biofuels-project-in-norway/> [8.3.2019]
- Biokaasuyhdistys (2016) Äänekoski Biogas Production. - <http://www.biokaasuyhdistys.net/wp-content/uploads/2018/05/EE-MF-presentation.pdf> accessed [8.3.2019]
- Braune M., Grasemann E., Gröngröft A., Klemm M., Oehmichen K., Zech K., (2016) Die Biokraftstoffproduktion in Deutschland - Stand der Technik und Optimierungsansätze DBFZ Report Nr. 22; [https://www.dbfz.de/fileadmin/user\\_upload/Referenzen/DBFZ\\_Reports/DBFZ\\_Report\\_22.pdf](https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/DBFZ_Reports/DBFZ_Report_22.pdf)
- CarbonBrief (2019) Mapped: The world's coal power plants. - <https://www.carbonbrief.org/mapped-worlds-coal-power-plants> [26.10.2019]
- CEPI (2017) Key Statistics 2017 - European Pulp and Paper Industry. <http://www.cepi.org/keystatistics2017>
- CEPI (2018a). "Summary for Policy Makers - The Challenge : Decarbonising Whilst Being Recycling Pioneer."
- CEPI (2018b) "Types of Pulping Processes." Statistics. - <http://www.cepi.org/node/22334>.
- CEPI (2019) Key Statistics 2018 - European pulp & paper industry. Statistics. - <http://www.cepi.org/system/files/public/documents/publications/Final%20Key%20Statistics%202018.pdf>
- Chan, Y., Kantamaneni, R. (2015) Study on Energy Efficiency and Energy Saving Potential in Industry and on Possible Policy Mechanisms. A report submitted by ICF Consulting Limited. <https://ec.europa.eu/energy/en/studies/study-energy-efficiency-and-energy-saving-potential-industry-and-possible-policy-mechanisms>
- Cho, J. (2006) The mechanism of trust and distrust formation and their relational outcomes. Journal of Retailing, 82, 25-35.
- Defra (2008) A framework for proenvironmental behaviours. London: Department for Environment, Food and Rural Affairs.
- Diederichs, Gabriel W., Mohsen Ali Mandegari, Somayeh Farzad, and Johann F. Görgens (2016). Techno-economic comparison of biojet fuel production from lignocellulose, vegetable oil and sugar cane juice. Bioresource technology, 216, 331–39.
- Dietrich, Sebastian, Katja Oehmichen, Konstantin Zech, Franziska Müller-Langer, Stefan Majer, Jasmin Kalcher, Karin Naumann, Ronny Wirkner, Robert Pujan, Maria Braune, Arne

Gröngröft, Uwe Albrecht, Tetyana Raksha, Werner Weindorf, Matthias Reichmuth, Johannes Gansler, and Alexander Schiffler (2017). Machbarkeitsanalyse für eine PTG-HEFA-Hybridraffinerie in Deutschland. Leipzig.  
[https://bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/MKS/machbarkeitsanalyse-ptg-hefa-hybridraffinerie.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/MKS/machbarkeitsanalyse-ptg-hefa-hybridraffinerie.pdf?__blob=publicationFile).

Drax Group plc (2018) Annual report and accounts 2018. <https://www.drax.com/wp-content/uploads/2019/03/Drax-Annual-report-accounts-2018.pdf> [29.10.2019]

DSM (2013). DSM and POET to make advanced biofuels a reality by 2013.  
<https://www.dsm.com/corporate/media/informationcenter-news/2012/01/01-12-dsm-and-poet-to-make-advanced-biofuels-a-reality-by-2013.html>

ENERGY BARGE-Building a Green Energy and Logistics Belt, Project Code: DTP1-175-3.2 (2017)  
National Sustainability Framework Conditions for Bioenergy Feedstock Production.  
<http://www.interreg-danube.eu/approved-projects/energy-barge> [30.04.2019]

ENERGY BARGE-Building a Green Energy and Logistics Belt, Project Code: DTP1-175-3.2 (2017b)  
Mapping the political and regulatory framework in the Danube region regarding biomass production for energetic use and logistics. <http://www.interreg-danube.eu/approved-projects/energy-barge> [30.04.2019]

ETIP Bioenergy (2019) European Innovation and Technology Platform – Feedstocks.  
<http://www.etipbioenergy.eu/> [30.04.2019]

EURACOAL (2017) Coal Industry Across Europe. <https://euracoal.eu/library/publications/>

European Biofuels Technology Platform (2016) Borregaard – Commercial Plant in Sarpsborg, Norway.  
Biofuel Fact Sheet. [http://www.etipbioenergy.eu/images/Factsheet\\_Borregaard\\_final.pdf](http://www.etipbioenergy.eu/images/Factsheet_Borregaard_final.pdf).

ETIP Bioenergy (2019) <http://www.etipbioenergy.eu/value-chains/feedstocks/forestry/wood-chips>  
[20.12.2019]

European Biogas Association (2019) Annual Report 2018 <http://european-biogas.eu/wp-content/uploads/2019/03/EBA-Annual-Report-2018.pdf>

European Commission (2009): DIRECTIVE 2009/30/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009 amending Directive 98/70/EC as regards the Project co-funded by European Union funds (ERDF) 118 specification of petrol, diesel and gas-oil and introducing a mechanism to monitor and reduce greenhouse gas emissions and amending Council Directive 1999/32/EC as regards the specification of fuel used by inland waterway vessels and repealing Directive 93/12/EEC, Official Journal of the European Union, June, L 140/88.

European Commission (2013) Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions of 20 September 2013 on the new EU Forest Strategy: for forest and the forest-based sector.

European Commission (2019) Agriculture and rural development-Biomass potential. -  
[https://ec.europa.eu/agriculture/bioenergy/potential\\_en](https://ec.europa.eu/agriculture/bioenergy/potential_en) [30.04.2019]

European Commission (2019b) Renewable energy directive.  
<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive>  
[30.04.2019]

European Commission (2019c) Biodegradable Waste. -  
<https://ec.europa.eu/environment/waste/compost/index.htm> [17.09.2019]

European Parliament (2018). Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources.  
30.07.2019 <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj>

Faaij A.P.C. (2018) Securing sustainable resource availability of biomass for energy applications in Europe; review of recent literature

FAO (2019) <http://www.fao.org/3/j4504E/j4504e06.htm> [20.12.2019]

- Flach, Bob, Sabine Lieberz, Marcela Rondon, Barry Williams, and Candice Wilson (2016). EU-27. Biofuels.
- FNR (2013) Biomethane. - <https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/b/i/biomethane.pdf>
- Forschungszentrum Jülich (2019) Reformierung von Biokraftstoffen. [https://www.fz-juelich.de/iek/iek-3/DE/Forschung/BGE/Brennstoffzellenseiten/Reformierung/Reformierung%20von%20Biokraftstoffen/\\_node.html](https://www.fz-juelich.de/iek/iek-3/DE/Forschung/BGE/Brennstoffzellenseiten/Reformierung/Reformierung%20von%20Biokraftstoffen/_node.html)
- Geleyne S., Brandt K., Garcia-PerezM., Wolcott M., Zhang X. (2018) The Alcohol-to-Jet Conversion Pathway for Drop-In Biofuels: Techno-Economic Evaluation. - Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim <https://doi.org/10.1002/cssc.201801690>
- Goldsmith, R.E. & Hofacker C.F. (1991) Measuring consumer innovativeness. Journal of the Academy of Marketing Science, 19, 209-221.
- Gröngröft, Arne (2011). 'Combined Processing of Grain and Straw to Produce Bioethanol and Other Products'. presented at the 19th International Symposium on Alcohol Fuels (ISAF), Verona, October 10.
- Gurría, P., Ronzon, T., Tamosiunas, S., López, R., García Condado, S., Guillén, J., Cazzaniga, N. E., Jonsson, R., Banja, M., Fiore, G., M'Barek R. (2017) Biomass flows in the European Union: The Sankey Biomass diagram- towards a cross-set integration of biomass, EUR 28565 EN, doi:10.2760/35241
- Hankikoski, S. (2014) High yield nucleophile cooking of wood chips. VTT Technical Research Centre of Finland. Research Report VTT-R-07962-13. <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2013/VTT-R-07962-13.pdf>.
- Hansen, L., Fendt, S., Janssen, A., Abelha, P., Nanou P., Joronen, T., Björklund, P. (2018). Biofficciency Project Deliverable 2.2: Performance of biomass pre-treatment. [https://2f86f8c4-58a4-4c52-a2f7-723dcc2c71ad.filesusr.com/ugd/31278e\\_95690029adb84dbf8deb8e6974a18a1f.pdf](https://2f86f8c4-58a4-4c52-a2f7-723dcc2c71ad.filesusr.com/ugd/31278e_95690029adb84dbf8deb8e6974a18a1f.pdf) [17.2.2020]
- Hirschman, E.C. (1980) Innovativeness, novelty seeking, and consumer creativity. Journal of Consumer Research, 7, 283-295.
- IEA (2007) Black Liquor Gasification - Summary and Conclusions from the IEA Bioenergy ExCo54 Workshop. <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/10/Black-Liquor-Gasification-summary-and-conclusions1.pdf> [8.3.2019]
- IEA Bioenergy (2017) Factsheet: Indirect Cofiring [http://task32.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2017/03/factsheet\\_indirect\\_cofiring.pdf](http://task32.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2017/03/factsheet_indirect_cofiring.pdf) [17.2.2020]
- IEA Clean Coal Centre (2018) Pulverized Coal Combustion (PCC) <https://www.iea-coal.org/pulverised-coal-combustion-pcc/> [17.2.2020]
- IEA (2019) Electricity Statistics. - <https://www.iea.org/statistics/electricity/logen> Corporation (2015). Costa Pinto Project. <http://www.iogen.ca/raizen-project/>
- IEA (2022) Electricity Market Report - January 2022. - <https://www.iea.org/reports/electricity-market-report-january-2022>
- logen Corporation (2015). Costa Pinto Project. <http://www.iogen.ca/raizen-project/>
- Isfort, J., N. Nittinger, and V. Gollnick (2012). Auswirkung von HVO-Kraftstoffeigenschaften auf das Nutzlast-Reichweiten-Verhalten. [https://publikationen.dgllr.de/?tx\\_dgllrppublications\\_pi1%5Bdocument\\_id%5D=281188](https://publikationen.dgllr.de/?tx_dgllrppublications_pi1%5Bdocument_id%5D=281188)
- Jensen, A., Trevor, Ip., Percy, J. (2012) Methanol purification system. PEERS Conference. <http://www.ahlundberg.com/wp/wp-content/uploads/2017/05/AHL-Methanol-Purification-System.pdf> [8.3.2019]
- Lane (2019). Patriot Renewable Fuels hires Leifmark to plan first stage of major US cellulosic ethanol project Biofuels Digest. <https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2014/05/27/patriot-renewable-fuels-hires-leifmark-to-plan-first-stage-of-major-us-cellulosic-ethanol-project/>
- Kahneman, D. & Tversky, A. (1979) Prospect theory: An analysis of decision under risk. Econometrica, 47, 263-292.

- Karampinis, E., Grammelis, P., Agraniotis, M., Voiolidakis, I., Kakaras, E. (2014) Co-firing of biomass with coal in thermal power plants: technology schemes, impacts, and future perspectives. *WIREs Energy Environ.*, 3, 384–399. DOI: 10.1002/wene.100
- Kiesel A., Wagner M., Lewandowski I. (2017) Sustainability, 9, 5, 1-20, Environmental Performance of Miscanthus, Switchgrass and Maize: Can C4 Perennials Increase the Sustainability of Biogas Production?
- Kirchherr, J., Reike, D. & Hekkert, M. (2017) Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, 127, 221-232.
- Knowpulp database - <http://www.knowpulp.com/> [10.4.2019]
- Kofman, P.D. (2016) New fuels: thermally treated biomass.  
<http://www.coford.ie/media/coford/content/publications/projectreports/cofordconnects/cofordconnectsnotes/00675CCNPP40Revised091216.pdf> [17.2.2020]
- Koornneef, J., Junginger, M., Faaij, A. (2006) Development of fluidized bed combustion—An overview of trends, performance and cost. *Progress in Energy and Combustion Science* 33, 19–55
- Koppejan, J., van Loo, S. (2012) The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing. DOI: 10.4324/9781849773041
- Kouisni, L., Gagne, A., Maki, K., Holt-Hindle, P., Pleologou, M. (2016). LignoForce System for the Recovery of Lignin from Black Liquor: Feedstocks Options, Odor Profile, and Product Characterization. *ACS Sustainable Chem. Eng.* 4 (10), pp. 5152–5159, DOI: 10.1021/acssuschemeng.6b00907
- Landälv, I. (2016) Efficient integration of fuel generation with the pulping process. Presentation in EBTP/ETIP Bioenergy's 7th Stakeholder Plenary Meeting.  
[http://www.etipbioenergy.eu/images/160621\\_Landalv.pdf](http://www.etipbioenergy.eu/images/160621_Landalv.pdf) [8.3.2019]
- Leonidou, C.N. & Skarmeas, D. (2017) Gray shades of green: Causes and consequences of green skepticism. *Journal of Business Ethics*, 144, 401-415.
- Lotti, O. (2013) Anaerobic Wastewater Treatment of Acetic Acid Rich Condensate (in Finnish). Master's thesis. Aalto University. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201310167720>
- Massachusetts Institute of Technology (2007) The Future of Coal. Options for a carbon-constrained world. [https://web.mit.edu/coal/The\\_Future\\_of\\_Coal.pdf](https://web.mit.edu/coal/The_Future_of_Coal.pdf) [17.2.2020]
- Macrelli S., Galbe M., Wallberg O., (2014) Effects of production and market factors on ethanol profitability for an integrated first and second generation ethanol plant using the whole sugarcane as feedstock. *Biotechnology for Biofuels* 2014, 7:26.
- Mazutis, D. & N. Slawinski (2015) Reconnecting business and society: Perceptions of authenticity in corporate social responsibility. *Journal of Business Ethics*, 131, 137-150.
- Mittelbach, M. (2015), Fuels from oils and fats: Recent developments and perspectives. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 117: 1832-1846. doi:10.1002/ejlt.201500125
- Naqvi, M., Yan, J. (2010). Black liquors gasification integrated in pulp and paper mills: A critical review., *Bioresource Technology* 101, pp. 8001–8015.
- Naumann, K., J. Schröder, H. Etzold, F. Müller-Langer, E. Remmele, K. Thuneke, and K. Oehmichen (2019). Monitoring Biokraftstoffsektor. Leipzig.  
[https://www.dbfz.de/fileadmin//user\\_upload/Referenzen/DBFZ\\_Reports/DBFZ\\_Report\\_11\\_4.pdf](https://www.dbfz.de/fileadmin//user_upload/Referenzen/DBFZ_Reports/DBFZ_Report_11_4.pdf)
- Neste Oil (2012). Neste Oil and Lufthansa satisfied with results of renewable aviation fuel trial.  
<https://www.neste.com/neste-oil-and-lufthansa-satisfied-results-renewable-aviation-fuel-trial>
- Nuhoff-Isakhanian et al., (2019) Motivations, experiences, and perceptions in best practice cases of retrofitting. – confidential BioFit Report; Wageningen Economic Research; The Netherlands
- Onwezen, M.C., Reinders, M.J. & Sijtsema, S.J. (2017) Understanding intentions to purchase bio-based products: The role of subjective ambivalence. *Journal of Environmental Psychology*, 52, 26-36.

- Papnews (2016). SCA testing liquid fuels from black liquor. <https://www.papnews.com/sca-testing-liquid-fuels-from-black-liquor/> [11.4.2019]
- Perkins G., Batalha N., Kumar A., Bhaskar T., Konarova M., (2019) Recent advances in liquefaction technologies for production of liquid hydrocarbon fuels from biomass and carbonaceous wastes. - Renewable and Sustainable Energy Reviews; Elsevier; <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109400>
- Pfau, S., Vos, J., Dammer, L. & Arendt, O. (2017) Public perception of bio-based products. RoadToBio - Deliverable no. 2.2.
- Philibert, C. (2018). Electro fuels: Status and perspectives. IEA Bioenergy.
- Rachbauer L, Voitl G, Bochmann G, Fuchs W. Biological biogas upgrading capacity of a hydrogenotrophic community in a trickle-bed reactor. Applied Energy. 2016;180:483-90.
- Reals, K. (2012). IN FOCUS: Airlines turn to alcohol as potential jet fuel replacement. [www.flightglobal.com/news/articles/in-focus-airlines-turn-to-alcohol-as-potential-jet-fuel-replacement-368555/](http://www.flightglobal.com/news/articles/in-focus-airlines-turn-to-alcohol-as-potential-jet-fuel-replacement-368555/)
- RenFuels (2019) LIGNOL® is made of lignin in a patented environmental friendly catalytic process... <https://renfuel.se/technology/?lang=en> [11.4.2019]
- Rentzelas, A.A., Tolis, A.J., Tatsiopoulos, I.P. (2009) Logistics issues of biomass: The storage problem and the multi-biomass supply chain. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, 887–894.
- Ribeiro J.M.C., Godina R., Matias J.C.O., Nunes, L.J.R. (2018) Sustainability, 10, 2323, Future Perspectives of Biomass Torrefaction: Review of the Current State-Of-The-Art and Research Development
- Rogers, E.M. (1962) Diffusion of innovations. New York: The Free Press.
- Röj, A. (2018) VOLVO -Fuels for commercial vehicles - Present and future challenges and opportunities. EU-India Conference on Advanced Biofuels. New Delhi, 6th-8th March 2018. [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/34\\_roj\\_anders-volvo.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/34_roj_anders-volvo.pdf)
- Rösch, C. & Kaltschmitt, M. (1999) Energy from biomass—do non-technical barriers prevent an increased use? Biomass and Bioenergy, 16, 347-356.
- Ryckmans, Y. (2012) Sustainable biomass for large power generation. IEA Co-firing Biomass with Coal Workshop, Copenhagen, Denmark 27 March 2012.
- Rutz D. et al., (2019) Framework conditions for retrofitting Europe's industry with bioenergy. – BioFit report, WIP Renewable Energies, Munich, Germany, www.biofit-h2020.eu
- Samuelson, W. & Zeckhauser, R. (1988) Status quo bias in decision making. Journal of Risk and Uncertainty, 1, 7-59.
- Savat, P. (2010) Activities at Rodenhuize power plant: Advanced and Max Green Projects. TOTeM 35 – Co-firing secondary fuels in power generation: from fuel characterization to full scale testing. Pisa, Italy, 23 - 24 September 2010.
- Scarlat, N., Dallemand, J., Taylor, N. and Banja, M., Brief on biomass for energy in the European Union, Sanchez Lopez, J. and Avraamides, M. editor(s), Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-79-77234-4, doi:10.2760/49052, JRC109354.
- Scandinavian Biogas (2019). The EffiSludge concept. - <http://scandinavianbiogas.com/effisludge/the-project/the-effisludge-concept/> [8.3.2019]
- Schröder, J.; Naumann, K. (Hrsg.) (2022): Monitoring erneuerbarer Energien im Verkehr. Leipzig: DBFZ. 340 S. ISBN: 978-3-946629-82-5. DOI: 10.48480/19nz-0322.
- Scott Bentsen N., Felby (2012) Biomass for energy in the European Union - a review of bioenergy resource assessments. - Biotechnology for Biofuels 2012 5:25 <https://doi.org/10.1186/1754-6834-5-25>
- Searcy E., Hess J.R., Tumuluru J., Ovard L., Muth D.J., Trømborg E., Wild M., Deutmeyer M., Nikolaisen L., Ranta T., Hoefnagels R.,(2014) Optimization of Biomass Transport and Logistics. In: Junginger M., ShengGoh C., Faaij A. (Ed.): International Bioenergy Trade. Springer Science+Business Media Dordrecht 2014.

- Sijtsema, S.J., Onwezen, M.C., Reinders, M.J., Dagevos H., Partanen A. & Meeusen, M. (2016) Consumer perception of bio-based products - An exploratory study in 5 European countries. NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences, 77, 61-69.
- Sijtsema S.J., Snoek H.M., van Haaster-de Winter M., Dagevos H., (2020) Let's talk about circular economy: A qualitative exploration of consumer perceptions. Sustainability, 12, 286, doi:10.3390/su12010286, <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/1/286/pdf>
- Sørensen H.D. (2011) Avedøre unit 2—the world's largest biomass fuelled CHP plant. In: IEA Clean Coal Centre Workshop on Cofiring Biomass with Coal, Drax Power Station, UK, 25–26 January, 2011
- Suhonen, T., Amberla, T. (2014) Pöyry Insight - World Paper Markets up to 2030. [https://www.poyry.com/sites/default/files/worldpapermarkets\\_up\\_to\\_2030\\_brochure\\_and\\_overform\\_2014\\_web.pdf](https://www.poyry.com/sites/default/files/worldpapermarkets_up_to_2030_brochure_and_overform_2014_web.pdf)
- Suncarbon (2019) Technology - <https://www.suncarbon.se/technology/>
- Sunpine (2019) <https://www.sunpine.se/en/> [11.4.2019]
- Thrän, Daniela & Dotzauer, Martin & Lenz, Volker & Liebetrau, Jan & Ortwein, Andreas. (2015). Flexible bioenergy supply for balancing fluctuating renewables in the heat and power sector—a review of technologies and concepts. Energy, Sustainability and Society. 5. 10.1186/s13705-015-0062-8.
- UPM, <https://www.upmbiofuels.com/fi/> [8.3.2019]
- Vainio, A., Ovaska, U. & Varho, V. (2019) Not so sustainable?: Images of bioeconomy by future environmental professionals and citizens. Journal of Cleaner Production, 210, 1396-1405.
- Valmet Fuel conversion for power boilers: Vaskiluodon Voima Oy, Vaasa, Finland. <https://www.valmet.com/media/articles/all-articles/fuel-conversion-for-power-boilers-vaskiluodon-voima-oy-vaasa-finland/> [29.10.2019]
- Valmet (2018a) LignoBoost - Lignin from Kraft Black Liquor. Brochure. [https://valmetsites.secure.force.com/solutionfinderweb/FilePreview?id=06958000000bPJ6AAM&\\_ga=2.8431989.1725935242.1554277657-1742322430.1546954743](https://valmetsites.secure.force.com/solutionfinderweb/FilePreview?id=06958000000bPJ6AAM&_ga=2.8431989.1725935242.1554277657-1742322430.1546954743)
- Valmet (2018b). Methanol, from Waste Byproduct to Valuable Fuel. White paper. [https://www.valmet.com/globalassets/media/downloads/white-papers/power-and-recovery/methanol\\_waste\\_to\\_fuel\\_whitepaper.pdf](https://www.valmet.com/globalassets/media/downloads/white-papers/power-and-recovery/methanol_waste_to_fuel_whitepaper.pdf)
- van Bennekom, J. G., Venderbosch, R. H., & Heeres, H. J. (2012). Biodiesel: Feedstock, Production and Applications - Chapter 12: Biomethanol from Glycerol. IntechOpen.
- Velez, J., Thies, M.C. (2015) Liquid Lignin from the SLRPTM Process: The Effect of Processing Conditions and Black-Liquor Properties, Journal of Wood Chemistry and Technology, vol 36, pp. 27-41. <https://doi.org/10.1080/02773813.2015.1039545>
- Verain, M.C.D., Bartels, J., Dagevos, H., Sijtsema, S.J., Onwezen, M.C. & Antonides, G. (2012) Segments of sustainable food consumers: A literature review. International Journal of Consumer Studies, 36, 123-132.
- Watanabe M.D.B., Chagas M.F., et al. (2015) Hybrid Input-Output Life Cycle Assessment of First- and Second-Generation Ethanol Production Technologies in Brazil. Journal of Industrial Ecology 2015, 20:4
- Zech, Konstantin, Karin Naumann, Franziska Müller-Langer, P. Schmidt, Werner Weindorf, Z. Mátra, W. Grimme, and M. Hepting (2014). Drop-In-Kraftstoffe für die Luftfahrt. Leipzig et al.



