

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Ana HRIBAR, Dejan KALIGARO, Urban KAVČIČ, Sebastjan
KRALJ, Žan PEČNIK

**IDEJNA ZASNOVA VZPOSTAVITVE VERIGE DODANE
VREDNOSTI PROIZVODOV, NASTALIH Z
BIORAFINERIJSKIM RAZKLOPOM MANJ
KAKOVOSTNEGA LESA**

Seminarska naloga pri predmetu Bioekonomija

Mentor: prof. dr. Luka Juvančič

Ljubljana, 27. januar 2018

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	3
2	STANJE GOZDOV V SLOVENIJI	3
3	OCENA KVANTITATIVNIH PARAMETROV MANJ KAKOVOSTNEGA LESA, KI VSTOPA V PROCES BIORAFINERIJSKEGA RAZKLOPA	4
3.1	LASTNIŠTVO GOZDOV.....	7
4	SHEMATSKI PRIKAZ POSTOPKA BIORAFINERIJSKEGA RAZKLOPA MANJ KAKOVOSTNEGA LESA	7
4.1	FERMENTACIJA IN PRIDOBIVANJE ETANOLA IZ LIGNOCELULOZNEGA SUBSTRATA.....	8
4.2	ANAEROBNA RAZGRADNJA LIGNOCELULOZE TER BIOPLIN.....	9
4.3	PIROLIZA LIGNOCELULOZE TER BIO-OLJE IN BIO-UGLJE.....	10
4.4	GASIFIKACIJA.....	11
4.5	IZBOR METODE IN NJENI IZKORISTKI.....	14
5	IDENTIFIKACIJA AKTERJEV, POTENCIALNO ZAINTERESIRANIH ZA ZNANSTVENO-STROKOVNO IN POSLOVNO POVEZOVANJE	15
6	OPIS AKTIVNOSTI ZA VZPOSTAVITEV DELUJOČE VERIGE VREDNOSTI	16
7	VIRI	21

KAZALO SLIK

Sika 1: Površina gozda (ha) in Lesna zaloga (v milijonih kubičnih metrov) v Sloveniji med leti 1994 in 2016.....	3
Slika 2: Letni prirastek gozdov in posek lesa v Sloveniji med leti 1994 in 2016.....	4
Slika 3: Pomembnejše tehnologije razklopa substrata.....	8
Slika 4: Različni pristopi produkcije etanola iz lignocelulozne biomase.....	9
Slika 5: Shema običajnega poteka gasifikacije.....	11
Slika 6: Učinkovitost gasifikatorjev.....	12
Slika 7: Glavne izgube pri različnih tipih gasifikatorjev.....	13
Slika 8: Tokokrog uporabe gasifikacije za pridelovanje plina.....	14
Slika 9: Primerjava izkoristkov pirolize ter gasifikacije.....	15

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Drevesne vrste in prisotnost v lesni zalogi.....	5
Preglednica 2: Kakovost lesa drevesnih vrst na območju.....	5
Preglednica 3: Ocena kvantitativnih parametrov.....	6
Preglednica 4: Površina gozdov GGO po oblikah lastništva.....	7
Preglednica 5: Primerjava treh tehnik pirolize.....	11
Preglednica 6: Ocena skupnih stroškov.....	17
Preglednica 7: Ocena skupne količine plina in cene.....	18
Preglednica 8: Ocenjen izkaz poslovnega izida.....	19

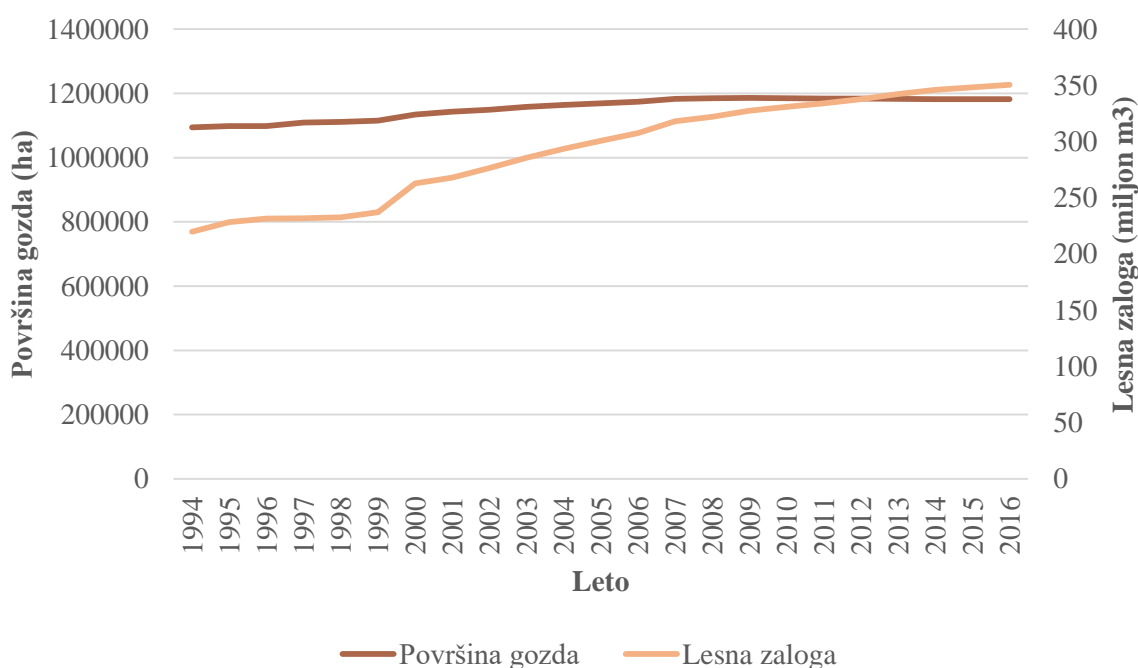
1 UVOD

Stanje naravnih virov v Sloveniji omogoča tako ustaljene tradicionalne dejavnosti kot tudi dejavnosti z uporabo novejših tehnologij. Naravni viri pa niso učinkovito izkoriščeni, saj se viri v procesih ne izrabljajo optimalno. Krožno gospodarstvu omogoča boljšo izrabo outputov ene dejavnosti kot input v drugi in zapolni vrzeli v donosu z uvajanjem rabe še neizkoriščenih virov.

V projektni nalogi predstavljamo idejno zasnovo vzpostavitve verige dodane vrednosti proizvodov, nastalih z biorafinerijskim razklopom manj kakovostnega lesa. Opravili smo oceno kvantitativnih parametrov manj kakovostnega lesa, ki vstopa v proces biorafinerijskega razklopa. Naredili smo shematski prikaz razklopa. Kot substrat smo vzeli manj kakovostni les gozdnogospodarskega območja Nazarje, ki bi ga z gasifikacijo pretvorili v elektriko in bioplino, metan. Prikazali smo akterje, ki bi bili za znanstveno-strokovno in poslovno poslovanje potencialno zainteresirani. Na koncu smo opisali aktivnosti za vzpostavitev delujoče verige.

2 STANJE GOZDOV V SLOVENIJI

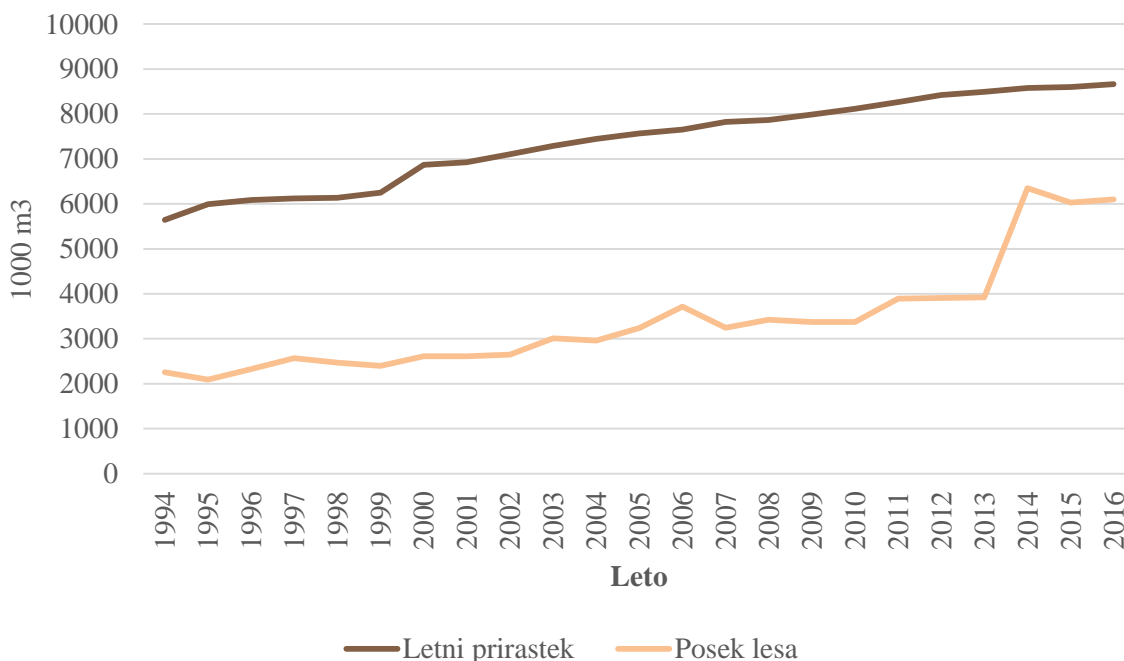
Stanje gozdov v Sloveniji opisujemo kot trende spreminjanja površine gozdov, lesne zaloge, lesnega prirastka in poseka lesa med leti 1994 in 2016. Podatke smo pridobili od Zavoda za gozdove Slovenije posredno preko Statističnega urada Republike Slovenije (Stanje ..., 2017).



Slika 1: Površina gozda (ha) in Lesna zaloga (v milijonih kubičnih metrov) v Sloveniji med leti 1994 in 2016

V sliki 1 prikazujemo površino gozdov v Sloveniji in lesno zalogo v slovenskih gozdovih. Površina se je od leta 1994 do leta 2008 povečala iz 1,09 na 1,18 milijonov hektarjev, kar je 1,08 krat več. Med leti 2008 in 2016 se površina gozdov ni spreminjala. Lesna zaloga se je v

prikazanem obdobju konstantno povečevala in sicer iz približno 220 na 360 v milijonih kubičnih metrih.



Slika 2: Letni prirastek gozdov in posek lesa v Sloveniji med leti 1994 in 2016

Letni prirastek je leta 1994 znašal slabih 6 milijonov kubičnih metrov, posek lesa pa je znašal dobra 2 milijona kubičnih metrov. Letni prirastek se je do leta 2016 konstantno povečeval, letni posek pa je rasel do leta 2011, nato je bil dve letni na enakem nivoju, leta 2014 pa je močno narasel in na tem nivoju ostal do leta 2016. Razlika med lesnim prirastkom in letnim posekom se je nekoliko zmanjšala in znaša približno 2,5 milijona.

3 OCENA KVANTITATIVNIH PARAMETROV MANJ KAKOVOSTNEGA LESA, KI VSTOPA V PROCES BIORAFINERIJSKEGA RAZKLOPA

Značilnosti gozdnogospodarskega območja Nazarje zajemajo skupno površino območja v hektarjih, količino lesne zaloge v kubičnih metrih na hektar, v enaki enoti letni prirastek in letni posek ter skupni letni posek v kubičnih metrih. Značilnosti so:

- ~ 49.358 ha gozdov,
- ~ 338 m³/ha lesne zaloge,
- ~ 8,23 m³/ha letni prirastek,
- ~ 4,99 m³/ha letni posek in
- ~ 246.096 m³ skupni letni posek (Gozdnogospodarski ..., 2012).

Preglednica 1: Drevesne vrste in prisotnost v lesni zalogi (Gozdnogospodarski ..., 2012).

Drevesna vrsta	Lesna zaloga (m ³ /ha)	Lesna zaloga (%)
Smreka	214,8	61,00
Jelka	19,0	5,40
Bor	12,1	3,44
Macesen	14,6	4,15
Bukev	66,5	18,90
Hrast	7,2	2,04
Plemeniti listavci	10,9	3,10
Trdi listavci	5,2	1,50
Mehki listavci	1,6	0,45

Prisotnost drevesnih vrst v lesni zalogi prikazujemo v kubičnih metrih na hektar gozda oz. v odstotkih na drevesno vrsto. Plemeniti listavci so lipa, ostrolistni in gorski javor ter oreh. Trdi listavci so gaber, kostanj in brest. Mehki listavci so topol, jerebika in vrba. Iglavci predstavljajo skoraj tri četrtine lesne zaloge, med njimi večinski delež pripada smreki. Izmed listavcev je v območju največ bukke (Gozdnogospodarski ..., 2012).

Preglednica 2: Kakovost lesa drevesnih vrst na območju (Gozdnogospodarski ..., 2012).

Drevesna vrsta	odlična (%)	prav dobra (%)	dobra (%)	zadovoljiva (%)	slaba (%)
Smreka	21,64	40,23	31,56	5,94	0,64
Jelka	29,39	48,40	18,80	3,13	0,27
Bor	17,30	40,34	33,68	7,31	1,37
Macesen	35,74	35,30	24,90	3,65	0,40
Bukev	7,56	33,30	33,60	17,53	7,95
Hrast	7,48	34,30	37,00	15,36	5,85
Plemeniti listavci	11,94	27,16	38,44	17,36	4,83
Drugi trdi listavci	3,57	23	30,1	25,4	17,08
Mehki listavci	5,64	0,40	25,20	34,70	24,09

Kakovost lesa razdelimo v pet kategorij glede na delež sortimentov v deblu. Pri obeh skupinah drevesnih vrst prevladujeta prav dobra in dobra kakovost, vendar je pri listavcih delež osebkov s prav dobro ocenjeno kakovostjo nižji kot pri iglavcih. Med iglavci po kakovosti izstopata macesen in jelka, saj imata več kot 70 odstotkov lesa odlične ali prav dobre kakovosti. Pri listavcih najboljše kakovosti dosegajo bukev, hrast in plemeniti listavci. Les, ki ga definiramo kot manj kakovostni sta »zadovoljiva« in »slaba« skupina. Manj kakovostnega lesa iglavcev je med 3 in 9 odstotkov, listavcev pa 21 in 58 odstotkov. To je les, ki vstopa v proces biorafinerijskega razklopa (Gozdnogospodarski ..., 2012).

Preglednica 3: Ocena kvantitativnih parametrov (Gozdnogospodarski ..., 2012).

Drevesna vrsta	Zadovoljiva in slaba kakovost (Σ %)	Lesna zaloga (m^3/ha)	Lesna zaloga zadovoljive in slabe kakovosti (m^3/ha)	Možen posek (m^3/ha)	Skupni možni posek na območju (m^3)
Smreka	6,58	214,8	14,1	0,2110	10.414
Jelka	3,4	19	0,7	0,0110	543
Bor	9,37	12,1	1,1	0,0165	814
Macesen	4,05	14,6	0,6	0,0090	444
Bukev	25,48	66,5	16,94	0,2541	12.542
Hrast	21,21	7,2	1,53	0,0230	1.135
Plemeniti listavci	22,19	10,9	2,42	0,0360	1.776
Drugi trdi listavci	42,44	5,2	2,21	0,0330	1629
Mehki listavci	58,79	1,6	0,94	0,0140	691
				Skupaj:	29.988

Izračuni kvantitativnih parametrov manj kakovostnega mesa:

~ Zadovoljiva in slaba kakovost (Σ %):

Vsota posameznih odstotkov

~ Lesna zaloga zadovoljive in slabe kakovosti (m^3/ha):

Produkt lesne zaloge in vsote odstotkov

~ Možen posek (m^3/ha):

$$5 \text{ m}^3/ha \text{ (možen posek)} / 338 \text{ m}^3/ha \text{ (lesna zaloga)} = 0,015$$

Možen posek je 1,5 % gozda

Primer „smreka“: $14,1 \text{ m}^3/ha \times 0,015 = 0,2110 \text{ m}^3/ha$

~ Skupni možni posek na območju (m^3):

Primer „smreka“: 49.358 ha gozda

$$0,2110 \text{ m}^3/ha \times 49.358 \text{ ha} = 10.414 \text{ m}^3$$

3.1 LASTNIŠTVO GOZDOV

Lastniška struktura gozdov se je v zadnjem desetletju bistveno spremenila. Spremembe so predvsem posledica procesa denacionalizacije, v manjši meri pa tudi prometa z gozdovi in sprememb statusa lastništva gozdov drugih pravnih oseb (Gozdnogospodarski ..., 2012).

Preglednica 4: Površina gozdov GGO po oblikah lastništva (Gozdnogospodarski ..., 2012)

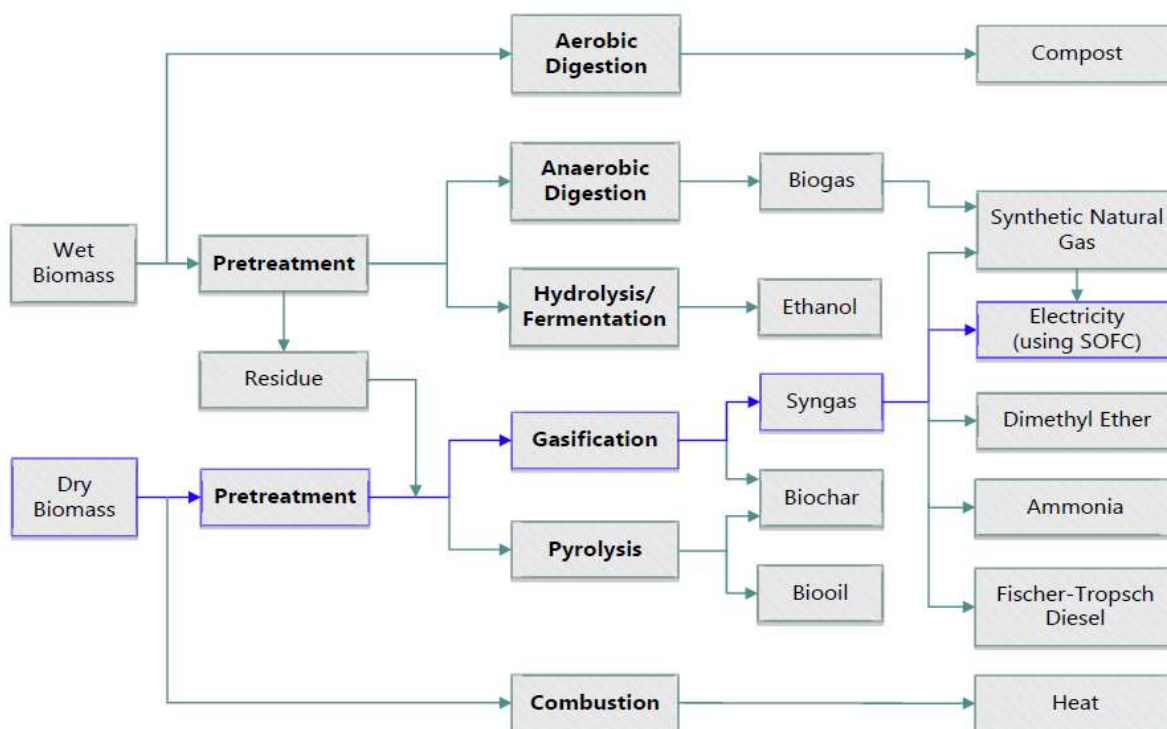
	Zasebni gozdovi	Državni gozdovi	Gozdovi lokalnih skupnosti	Skupaj
Površina gozda (ha)	47.467,71	1.582,04	81,22	49.160,97
Delež (%)	96,62	3,22	0,17	100,00

Večina gozdov v območju je v zasebni lasti (skoraj 97%). V primerjavi s preteklim načrtom se je delež državnih gozdov močno zmanjšal (s 24% na 3%). V državni lasti so tako ostali od gospodarskih gozdov zlasti manjši kompleksi v Belih vodah in Velenju, kupljeni pa so bili v tem obdobju predvsem varovalni gozdovi, največ v GGE Solčava (Gozdnogospodarski ..., 2012).

4 SHEMATSKI PRIKAZ POSTOPKA BIORAFINERIJSKEGA RAZKLOPA MANJ KAKOVOSTNEGA LESA

Svetovna poraba energije stalno narašča in trenutno je večinski del naših potreb po tej zadovoljen s fosilnimi gorivi. Ob premiku v prihodnost so nam na voljo razni procesi, ki omogočajo vrnitev dela energije nazaj v energetski tok. Ta se skriva v obliki odpadkov. Seveda pa imajo tako imenovani zeleni viri energije nekaj zadržkov. Pogosto jih je količinsko premalo in so naključno razporejeni. Prav tako pa je hranjenje energije dokaj zahtevna naloga, namreč če ni energija biomas prevedena v elektriko ali plin le ta težka pride do uporabnika. Pogostokrat slišimo, da je Slovenija med najbolj gozdnatimi državami s svojimi 60% gozda. To pomeni, da imamo na voljo odpadke, ki imajo v sebi shranjeno energijo, slednjo lahko uporabimo. Lignoceluloza je primarni gradnik lesa ter različnih trav, ob enem pa glavni odpadek lesne industrije. Predstavlja lahko primeren substrat za različne procese, preko katerih lahko pridobivamo druge kakovostne in energetsko bogate surovine ter energijo. 80% lignoceluloze predstavljajo celuloza (okoli 40%), hemiceluloza (20-50%) ter lignin (10-25%). Ostalih 20% je sestavljenih iz vode, pepela, proteinov, nukleinskih kislin ter različnih kovin v sledovih.

Lignoceluloza spada med težje razgradljive snovi. Poslužujemo se lahko kemijskih, fizikalnih in bioloških metod razgradnje, po navadi uporabimo kombinacijo vseh treh.



Slika 3: Pomembnejše tehnologije razklopa substrata (Sharma in sod, 2017)

Obstaja več tehnologij za pretvorbo biomase, ki jih lahko pretvorimo v različne vrste goriv, kemikalij in storitev (Slika 3). Proizvodnja toplote in električne energije iz biomase se lahko opravi z zgorevanjem in termičnim ciklom, z uplinjanjem (ali pirolizo) z motorjem z notranjim zgorevanjem, plinskimi turbinami ali gorivnim celicam. Da bi proizvedli električno energijo iz lesne biomase, jo je najprej potrebno pretvoriti v Syngas (Sharma in sod. 2017).

4.1 FERMENTACIJA IN PRIDOBIVANJE ETANOLA IZ LIGNOCELULOZNEGA SUBSTRATA

Pridobivanje bioetanola iz lignoceluloznega substrata je v glavnem biokemični proces, ki ga izvajajo mikroorganizmi, vendar moramo lignocelulozo najprej pred pripraviti z nekaterimi mehanskimi in fizikalno kemičnimi metodami. Primarno želimo dobiti čim manjše delce, saj tako dosežemo večjo površino, na katero lahko delujejo celulaze in drugi encimi. Najpogosteje uporabljamo fizikalne načine kot so mletje in $H_2O/NH_3/CO_2$ eksplozije, kemične tretmaje z nizkim/visokim pH, biodegradacijo z mikroorganizmi ter organska topila (dražja in energetsko bolj potratna metoda) (Xin-Qing Zhao in sod., 2011).

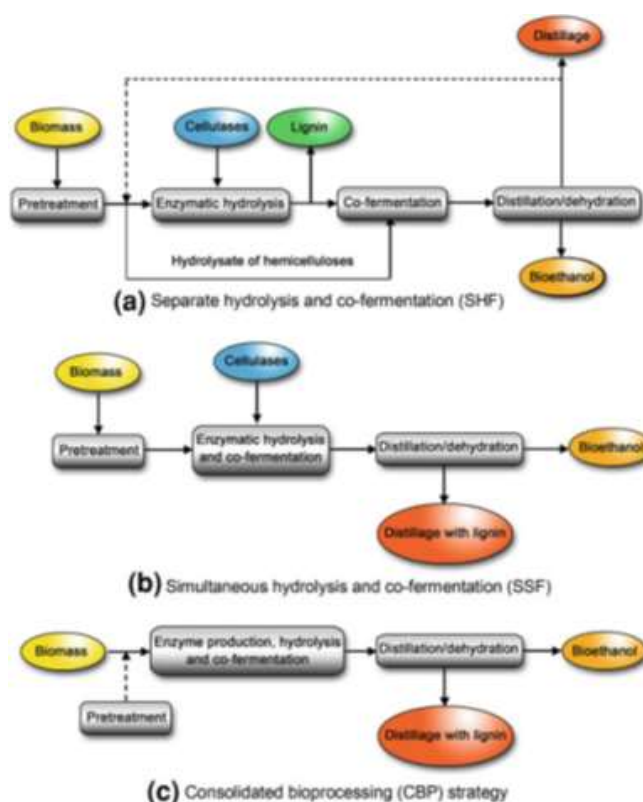
Po začetnih procesih je potrebno začeti obdelavo celuloznih ter hemiceluloznih ostankov z primernimi encimi, da lahko dobimo glukozo, ki bo primeren substrat za proizvodnjo etanola. (Xin-Qing Zhao in sod., 2011). Ker standardni mikroorganizmi za proizvodnjo etanola, kot npr. *Saccharomyces cerevisiae*, ne razgrajujejo pentoz in heksoz (glavni komponenti lignoceluloznega substrata po predtretiranju), moramo ta problem rešiti na drugačen način.

Pogosto se uporabljata ločeno hidroliza ter ko-fermentacija. Pri tem procesu se v prvem koraku popolnoma razgradi celulozo pod optimalnimi pogoji za delovanje celulaz (Xin-Qing Zhao in sod., 2011). V prvem koraku lahko tudi odstranimo lignin ter ga uporabimo v drugih procesih. Nato se pretvorjen medij prenese organizmom, ki izvajajo fermentacijo, ter

pretvorijo dane sladkorje v etanol. Glavni problem te tehnike so kontaminacije in mešanje obeh kultur (Xin-Qing Zhao in sod., 2011).

Podoben pristop se uporablja pri tehniki simultane saharifikacije ter ko-fermentacije. Tu gre za sprotno pretvarjanje kompleksnih sladkorjev v glukozo in njihovo direktno pretvarjanje v etanol preko fermentacije. Ta proces ima lažji monitoring zaradi preprostejšega dizajna, omogoča pa tudi večje donose. Slaba stran je to, da pri temu procesu ne moremo lignina ločiti od celuloze, poleg tega pa je sama hidroliza celuloze počasnejša, saj se temperaturo v bioreaktorju prilagodi mikroorganizmu, ki producira etanol (Xin-Qing Zhao in sod., 2011).

Zadnji način je konsolidirano bioprosesiranje, kjer poskusimo narediti mikroorganizem, ki bi bil celulolitičen, ter direktno proizvajal etanol (Xin-Qing Zhao in sod., 2011). Take vrste programi so za enkrat bolj kot ne teoretični, ter na industrijskem merilu neuporabni.



Slika 4: Različni pristopi produkcije etanola iz lignocelulozne biomase (Xin-Qing Zhao in sod., 2011, str. 39).

Očitno je pri izdelavi etanola predvsem pomembno to, ali želimo lignin predhodno odstraniti, ter kako bogat je naš substrat s sladkorji. Pri uporabi slabše kakovostnega materiala bi bilo torej najprej smiselno preveriti sestavo lesa (vsaj približno), ter se nato odločiti, po kateri poti bi proizvajali bioetanol.

4.2 ANAEROBNA RAZGRADNJA LIGNOCELULOZE TER BIOPLIN

Anaerobna razgradnja je ena najbolj donosnih ter cenovno ugodnih bioloških pretvorb tehnik. Plin, ki ga želimo pridelovati tekom bioprocesa je metan. Samo pretvorbo substrata vršijo metanogene arheje, kot to počnejo v naravi (npr. želodci prežvekovalcev). Predtretma lignocelulozne biomase je tudi tu podoben, torej mehanski, kemični ter biološki (Li Sun, 2015).

Pri proizvodnji bioplina se lahko uporablja več načinov gojenja; tekočo ali trdno, šaržno ali kontinuirno ter eno ali dvostopenjsko.

Glede na vsebnost trdnih snovi v biomasi, ki jo uporabljamo kot substrat, lahko proces razdelimo na tekočo anaerobno razgradnjo ali pa trdno anaerobno razgradnjo (Li Sun, 2015). Glede na to, da v naši nalogi iščemo predvsem načine predelave lignoceluloznih materialov manj kakovostnega lesa, ki ga pridobivamo v čisti, trdi obliki, bi v poštev prišla predvsem trdna anaerobna razgradnja. Prednost te je, da tekom bioprocesa porabimo manj vode ter energije (v smislu segrevanja ter mešanja). Še več, pri enaki masi suhe snovi zahteva trdna anaerobna razgradnja manjši volumen bioreaktorja, volumetrični donos metana pa je višji (Li Sun, 2015). Največkrat se uporablja šaržni proces, tudi z dohranjevanjem, saj prinaša največje donose (Li Sun, 2015).

Tudi pri anaerobni razgradnji velikokrat uporablja dvostopenjski sklopljeni proces, podoben tistemu, ki smo ga omenili v prejšnjem poglavju, pri proizvodnji etanola. Prvi bioreaktor je namenjen predvsem hidrolizi lignoceluloze, drugi pa sami metanogenezi ter produkciji metana. Ker sta pH optimuma teh dveh procesov različna, se je uporaba dvo stopenjskega procesiranja izkazala za veliko bolj uspešno, sploh v pogledu razgradnje substrata (Li Sun, 2015).

V našem primeru bi bil torej najbolj primeren dvostopenjski šaržni proces z dohranjevanjem. Pred samo trdno anaerobno razgradnjo bi lignocelulozni material mehansko in kemično obdelali. Tako bi dosegli največje donose bioplina.

4.3 PIROLIZA LIGNOCELULOZE TER BIO-OLJE IN BIO-UGLJE

Biokemične poti razgradnje lignocelulozne biomase so dobro raziskani in donosni, vendar se osredotočajo predvsem na razgradnjo celuloznih in hemiceluloznih komponent. Termokemični procesi pa se izkažejo za bolj energetsko učinkovite ter bolj fleksibilne glede substrata ter produktov. Hitra piroliza je obetaven proces pretvorbe lignoceluloze v biogorivo. Glavna prednost te metode je cenovna ugodnost (tudi do približno 2\$ na 1 ameriški 'gallon', torej približno 0,5\$ na liter)(Liu Changjun in sod., 2014).

Glavni (in ciljni) produkt hitre pirolize je bio-olje. Gre za kompleksno mešanico več kot 300 različnih oksigeniranih spojin (Liu Changjun in sod., 2014). Glavna razlika med bio-oljem ter fosilnimi gorivi je vsebnost kisika, ki je pri bio-olju veliko večja, ter razmerje H/C, ki je pri bio-olju nižje. Fosilno gorivo je energetsko bogatejše. Bio-olja imajo nekaj pomankljivosti, ki jim nižajo možnosti uporabe kot transportnega goriva, predvsem njihov nizek parni tlak, nižjo energetsko vrednost (v smislu slabšega izgorevanja), visoko kislost ter viskoznost in reaktivnost. Vse naštetu pa je posledica visoke vsebnosti kisika. Vendar pa je z dodatnimi predelavami kisik mogoče odstraniti, najbolj primerna je katalizirana hitra piroliza (CFP). Postopek naredi bio-olje vredno, iz nizko cenovnega materiala pridelano surovino, ki lahko nadomešča fosilna goriva (Liu Changjun in sod., 2014).

Hitra piroliza se začne z glavnim korakom, ki je hitro segrevanje biomase. Izkušnje so pokazale, da je optimalna temperatura okoli 500°C. Segrevanje poteka v anoksičnem okolju, torej brez kisika. Temperaturnemu dvigu sledi takojšnje kaljenje plinskih snovi, ekstrahiranih z pirolizo. Produkti so tako razdeljeni v oglje, pline ter olje (Liu Changjun in sod., 2014). Temperatura pirolize, hitrost dviga temperature, čas izločanja snovi (retenzijski čas) ter velikost delcev so vsi pomembni parametri, ki določajo produkcijo bio-olja. Odvisno je predvsem od retenzijskih časov, katerega produkta bomo dobili največ.

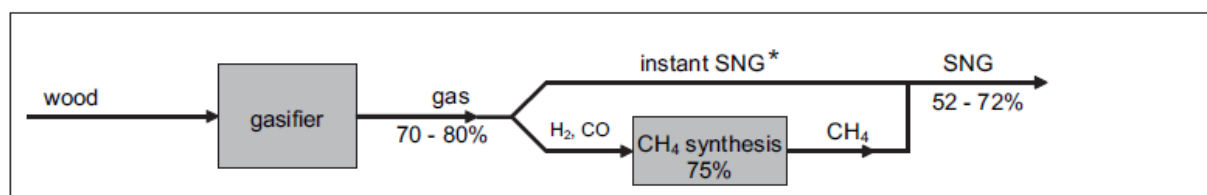
Preglednica 5: Primerjava treh tehnik pirolize (Povzeto po Liu Changjun in sod., 2014, str. 6)

Tehnologija	Retenzijski čas	Temperaturni gradient	Temperatura	Oglje	Bio-olje	Plin
Standardna piroliza	5–30 min	< 50°C/min	400–600°C	<35%	<30%	<40%
Hitra piroliza	<5 sec	~1000°C/s	400–600°C	<25%	<75%	<20%
Flash piroliza	<0.1 sec	~1000°C/s	650–900°C	<20%	<20%	<70%

Raziskave so pokazale, da je produkt, ki ga dobimo s pirolizo lignoceluloze tudi močno odvisen od sestave le te, še posebej od medsebojnega razmerja celuloze, hemiceluloze ter lignina. Smiselno bi bilo torej ugotoviti, katere vrste manj kakovostnega lesa vsebujejo manjše količine lignina, saj je ta po navadi tisti, ki nam tekom postopka prinese največ oglja, katerega navadno ne želimo (Liu Changjun in sod., 2014).

4.4 GASIFIKACIJA

Produkcija sintetičnega naravnega plina iz biomase (bio-SNG) s potekom gasifikacije je privlačna opcija za zmanjševanje CO₂ emisij in dodajanje vrednost biomasi. Produkcija energije iz biomase je približno CO₂ nevtralna, lahko je celo negativna kajti v končni fazi produkcije se del CO₂ shrani. Uporaba biomase za redukcijo CO₂ bo dvignila povpraševanje in posledično ceno. Procesi, ki se uporabljajo za razklop biomase morajo biti zelo energijsko učinkoviti. V nasprotnem primeru namreč ne dobimo ekonomičnega produkta. Gasifikacija je v grobem opisu proces konverzije organskega materiala ali drugih ogljikovih derivatov fosilnih goriv v ogljikov monoksid, vodik in CO₂. To se doseže z obdelavo materiala pri zelo visokih temperaturah (700+) in z omejeno količino kisika in pare. Ohlajen plin se nato pošlje na metanacijsko postajo, kjer se pretvorita CO in H₂ v CH₄ in CO₂. Po odstranitvi CO₂ in sušenju imamo plin, ki se lahko vključi v omrežje. Tako vrsto plina imenujemo Syngas ali sintetični plin. Syngas je gorljiv in se pogosto uporablja za motorje z notranjim izgorevanjem lahko pa se uporablja za produkcijo vodika in metanola. Poznamo več različnih tehnologij gasifikacije in tandemskih metod čiščenja plina.



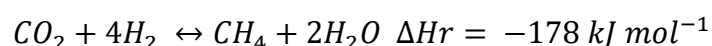
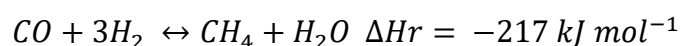
Slika 5: Shema običajnega poteka gasifikacije

Entrained flow je proces, kjer je biomasa potrebno predhodno obdelati z torefakcijo. Gre za lahko topolotno (200-300°C) obdelavo, ki biomaso posuši in prepreči gnitje ter zviša samo

kvaliteto goriva. Zmanjša tudi ceno transporta in stroške shranjevanja. Biomasa je nato še zmleta (ceno mletja znižna torefakcija, saj biomasa vsebuje manj vode) in stisnjena z CO₂ pod pritiskom. V samem reaktorju je na 3MPa pritiska in 1300 stopinjah. Ko zapusti reaktor se Syngas shladi na 600°C, pepel pa se odstrani prek filtra, žveplo in klor se odstranita preko adsorbentov. Plin se navlaži in segreje preden se pretvarja v metan. Del toplote, ki se porabi za segrevanje tudi ustvari novo paro. Pred vtokom plina v omrežje se ta očisti vode in CO₂. Je tudi edini, ki se je izkazal za uporabnega v realnem svetu.

Circulating Fluidized Bed gasification je proces, kjer se lesni sekanci, te vsebujejo nekje 15% w/w, spustijo s pomočjo lopute v komoro, kjer se zviša tlak na 1MPa temperatura pa na 850 °C. Izločen plin se prečisti pepela s ciklonom, lažje smole/katran se odstranijo z absorberjem, težje pa s kolektorjem. Del se jih vrne za reciklacijo. Plin se nato podobno segreje na 250°C in navlaži. Sledi kolona za produkcijo metana.

Kemijska reakcija v teh komorah je sledeča:



Preden se plin vbrizga v omrežje se osuši, dvigne pa se mu tlak na 3 MPa.

Allothermal gasifier sprejme lesne sekance pri temperaturi 850°C in atmosferskem tlaku. Produciran plin, ki zapuša prostor je shlajen na 400°C, sledi podobno čiščenje kot pri CFB gasifikaciji.

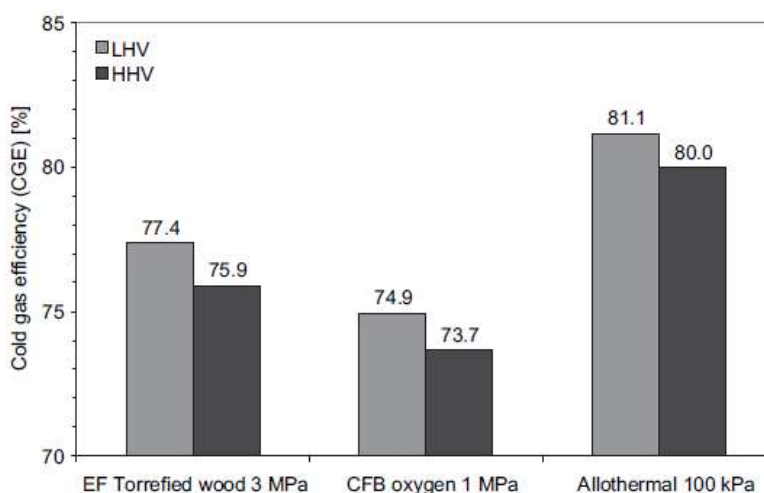
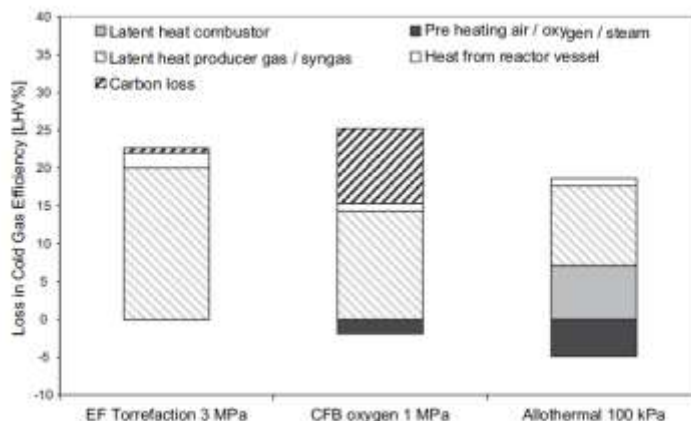


Fig. 6 – Cold Gas Efficiencies for the three different biomass gasifiers.

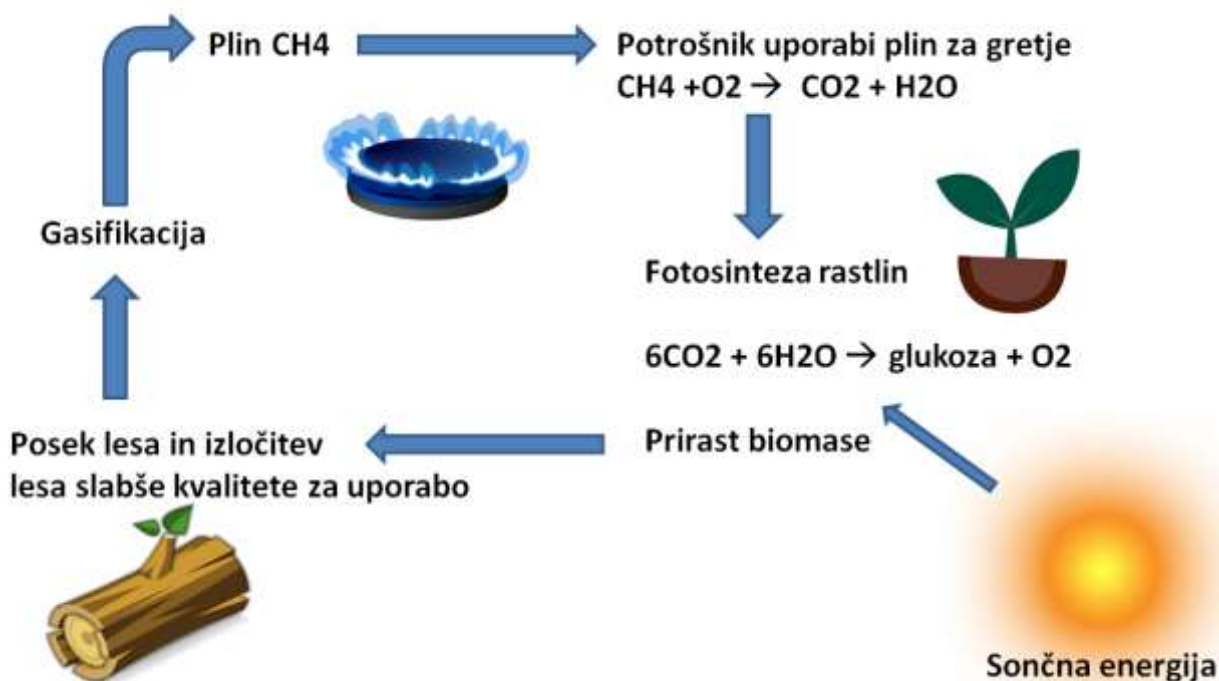
Slika 6: Učinkovitost gasifikatorjev

Učinkovitost je izražena kot CGE (cold gas efficiency), ki je definirana kot grelna vrednost čistega plina ulomljeno z grelno vrednostjo biomase. HHV in LHV vrednosti sta višja in nižja grelna vrednost. Gre za razliko med neto in bruto, LHV izključuje kondenzacijo v produciranem plinu, ko ta izgoreva.



Slika 7: Glavne izgube pri različnih tipih gasifikatorjev

Glavna pot, kjer izgublamo energijo pri EF procesu je latentna toplota. Ta predvsem izhaja zaradi veliko višje izstopne temperature plina, pri drugih dveh procesih pa izgube trpimo predvsem zaradi neizgorelega ogljika v obliki pepela. Bruto in neto izkoristek za proces alotermalnega gasifikatorja je najvišji. Proces ima namreč nizke toplotne in snovne izgube. Možna izboljšava bi bila uporaba ločene pare v končnem procesu za segrevanje biomase. Prav tako bi se lahko zmanjša količina potrebne pare za produkcijo metana z optimizacijo kinetike reakcije (npr. Zvišanje pritiska). Podobno kot pri drugih procesih je tudi pri gasifikaciji občutiti scale-up efekt. Manjše zasnovane tovarne so težje ekonomične kot večje, prav tako se jim zmanjša učinkovitost. Uporaba lesa pa bi povzročila dodaten strošek vgraditve čistilca plina, namreč plin proizveden s tem substratom je precej umazan. To je še en razlog več, da bi za ekonomično uporabo potrebovali velik obrat, faktor učinkovitosti v celotno enačbo učinkovitosti nosi veliko večjo težo kot logistika transporta lesa. Prihranek takega procesa z energetskega vidika se giblje med 53% in 113%, glede na izbrano vrsto in velikost procesa (referenčna vrednost so fosilna goriva). Cena za elektriko takega vira znaša nekje 0.001–0.012 € kWh⁻¹ ob privzemu, da les dobimo brezplačno, kar pa bi ob povečanem povpraševanju bilo nemogoče. (Dornburg, 2001)



Slika 8: Tokokrog uporabe gasifikacije za pridelovanje plina

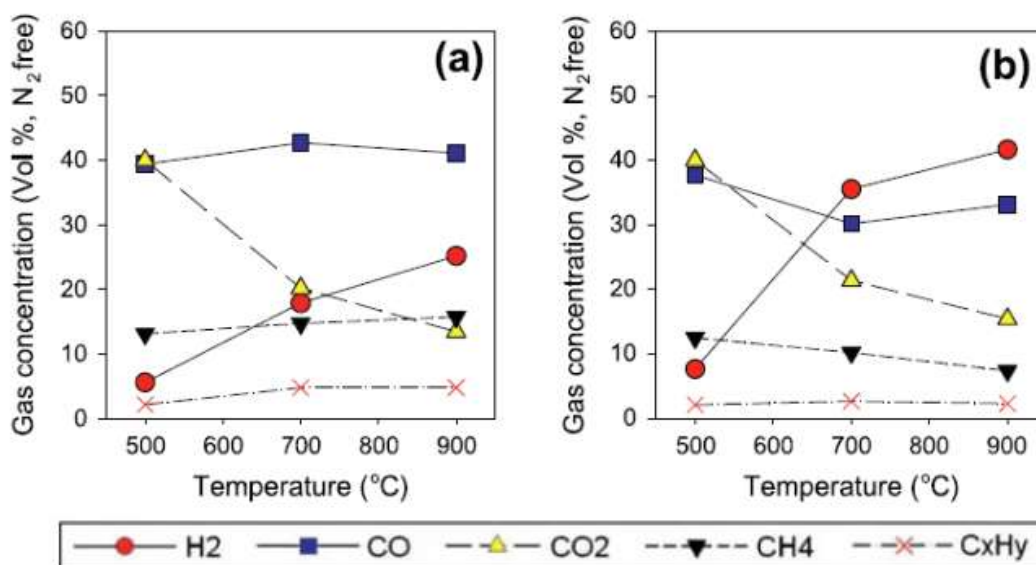
Gasifikacija je dobra izbira prav zaradi CO₂ nevtralnosti. Možno je iz lesa pridobivati razne spojine, katere imajo višjo tržno vrednost vendar so pogosto procesi pridobivanja škodljivi za okolje. Pri takih postopkih ne gre za trajnostni razvoj ampak maksimiziranje dobička. Pri gasifikaciji pa gre za proces, ki proizvaja čist produkt. Prav tako se dodatni odpadki ne sproščajo v okolje. Za razliko od črpanja plina se tako v okolje ne vnaša nov ogljik. Prav vnašanje dodatnega ogljika, ki je shranjen kilometre pod zemljo (v obliki plina) in ni dostopen za organizme na zemlji povzroča neravnovesje in globalno segrevanje. Gasifikacija ni dokončna rešitev je pa boljše alternativa kurjenju lesa doma in uporabi plina iz zemeljskih zalog.

4.5 IZBOR METODE IN NJENI IZKORISTKI

Material, s katerim operiramo, je manj kakovosten les, ki po navadi ni predhodno predelan, zaželen pa je uporaba vseh komponent (tako listja, vejic, lubja ter samega lesa). Kot metodo predelave našega materiala smo si zato izbrali gasifikacijo.

Glavni razlog za naš izbor je ta, da se pri gasifikaciji lahko uporabi ves manj kakovostni les, ter ne le njegovi deli, kot pri nekaterih drugih opisanih metodah. Zaradi tega bi lahko z gasifikacijo pridobivali energijo ne le iz manj kakovostnega lesa, pač pa tudi iz drugih delov drevja, kot so npr. vejice, iglice itd. Tako bi se tudi delno lahko izognili konkurentom za naš material, predvsem tistim, ki les uporabljajo kot kurjavo, saj omenjeni deli drevja ponavadi na služijo temu namenu.

Ravno zato je les pred obdelavo potrebno tudi manj čistiti, s čimer se ognemo nekaterim korakom pred obdelave ter tako med drugim znižamo stroške produkcije. Čeprav podobno velja za pirolizo, se izkaže, da pri višjih temperaturah postopka gasifikacija nudi boljše rezultate v smislu popolne razgradnje materiala ter večje donose vodikove ter kemične energije v obliki plina (Ahmed in Gupta, 2009).



Slika 9: Primerjava izkoristkov pirolize (levi graf) ter gasifikacije (desni graf)(B. Song, 2014)

Sam donos gasifikacije je zelo odvisen od temperature, pri kateri jo izvajamo, ter od vrste našega materiala, predvsem vsebnosti vlage v njem. Opazna je predvsem razlika v donosu vodika pri višjih temperaturah. V lesu je vlage ponavadi med 8 in 20%. Izkaže se, da je v primeru, ko želimo doseči večje donose kalorične vrednosti goriva bolje uporabiti bolj suh les in višje temperature, vendar kot posledico tekom procesa dobimo tudi več oglja (Njikam in sod., 2006). Energetski izkoristki lahko segajo tudi do 12.000 kJ na kilogram substrata, če upoštevamo uporabo vseh proizvedenih plinov (Njikam in sod., 2006).

5 IDENTIFIKACIJA AKTERJEV, POTENCIALNO ZAINTERESIRANIH ZA ZNANSTVENO-STROKOVNO IN POSLOVNO POVEZOVANJE

Za znanstveno-strokovno in poslovno poslovanje smo zasledili akterje, ki bi bili potencialno zainteresirani.

Znanstveno-strokovni partnerji so:

- ~ Inštitut za celulozo in papir: svetovanje pri pridobivanju materialov, njihovih lastnostih. Pomagali bi pri identifikaciji in določitvi standardov za ključne parametre naših vhodnih surovin, lesa slabše kakovosti.
- ~ Univerza v Ljubljani- Fakulteta za strojništvo: pomoč pri oblikovanju lastnega gasifikatorja in tehnoloških postopkov predelave lesa v bioplin in elektriko.
- ~ Univerza v Ljubljani- Biotehniška fakulteta: pomoč pri razvoju proizvodnih postopkov predelave lesa v bioplin in elektriko. Vzpostavitev in optimizacija postopka. Delo bi lahko potekalo v sodelovanju s Fakulteto za strojništvo, kar bi še dodatno pripomoglo k optimizaciji in razvoju tehnološko naprednega postopka.
- ~ Inštitut Jožefa Štefana: pomoč pri vzpostavitvi postopka predelave lesa, dodatna optimizacija

Poslovni partnerji so:

- ~ ZEL-EN, Razvojni center energetike d.o.o.: sodelovanje v njihovi sekciji raziskav in razvoja- lesna biomasa. Od njih bi lahko pridobili pomembne raziskovalne podatke, se z njimi povezali poslovno in na ta način pridobili poslovnega partnerja, ki bi nas lahko nadalje povezal z interesiranimi strankami.
- ~ Petrol d.d.: ker so energetska družba, bi z njimi sodelovali kot njihovi dobavitelji elektrike. Ponudili bi jim lahko tudi možnost dobave bioplina. Ker je podjetje že član organizacije CELKROG, bi bilo sodelovanje lažje dosegljivo. Prav tako vzpodbujajo trajnostno rabo naravnih virov in izkoriščanje potencialov pridobivanja biomase na lokalni ravni.
- ~ Gen-I, d.o.o.: je podjetje, ki zagotavlja elektriko in zemeljski plin. Z njimi bi se prav tako lahko povezali kot njihovi dobavitelji
- ~ Javno podjetje Energetika Ljubljana d.o.o.: podjetje že sedaj izvaja akcijo "Vozim na metan", kjer bi mi lahko vstopili kot lokalni partnerji.
- ~ Dobavitelji gasifikatorja: na internetu se pojavlja več možnih ponudnikov, ki pa so večinoma iz Kitajske. Potrebno se je odločiti, od kje bomo dobavljali opremo, saj glede servisnih storitev in drugih ugodnosti, kitajski proizvajalci za slovensko okolje niso najbolj priročni.
- ~ Gozdno gozdarsko območje Nazarje.

6 OPIS AKTIVNOSTI ZA VZPOSTAVITEV DELUJOČE VERIGE VREDNOSTI

Produkcija naravnega plina se zdi smiselna izbira, saj je omrežje že vzpostavljeno hkrati pa naravni plin predstavlja ugodno obliko hranjenja energije. S produktom bi vstopili na trg energetike. Tukaj kot manjše podjetje težko tekmuje z večjimi podjetji, ki so že dobro pozicionirana na trgu (Petrol, Energetika Ljubljana, Gen-I). Ta podjetja imajo namreč že postavljeno infrastrukturo, kar bi za nas predstavljalo velik strošek. Namesto, da bi se na trg podali samostojno, bi bilo bolj smotrno razmišljati o vzpostavljanju strateških partnerstvih. Vstopni stroški na trg energetike so za posamezno podjetje izredno visoki.

Kot našo konkurenčno prednost bi predstavljali okolju prijazen produkt bioplina. Ker bi želeli svoj produkt prodajati večjim posrednikom, bi poslovni proces kot B2C opravljali oni. Da pa bi prišli do teh partnerstev, bomo našim odjemalcem produkt predstavili kot okolju prijazen, ki je proizveden z učinkovito tehnologijo iz obnovljivih virov. Tak produkt je trajnosten in s transparentno uporabo naravnih virov bomo prispevali k razvoju lokalnega okolja. Pomembno je, da izpostavimo boljšo uporabo lesa, ki je sicer nižje kakovosti in se ga običajno zgolj sežiga. Kot vzvod bi nam v pogajanju predvsem služil izvor našega plina. Namreč z dodatkom v svojo ponudbo bi lahko Petrol trdil na izdelku, da del plina prihaja iz naravnih virov ter s tem privabil nove potrošnike. Čar te trditve je, da na izdelku ne bi pojasnili kolikšen del plina prihaja iz takih virov, navedli bi samo prisotnost.

Poleg plina in že obstoječe tehnologije pa bi velik del prihodkov namenili razvoju. Razvojni napredek bi nam omogočil obstoj na trgu. Pri razvijanju, nadgradnji in modernizaciji postopkov proizvodnje in končnih proizvodov bi lahko sodelovali z več zainteresiranimi

raziskovalnimi inštitucijami. To so na primer Inštitut za celulozo in papir, Inštitut Jožefa Štefana in Univerza v Ljubljani (Biotehniška in Strojna fakulteta). Študentom bi želeli omogočati tudi praktično usposabljanje, kjer bi se lahko iz prve roke srečali z razvojem postopkov v gospodarstvu.

Ker želimo ostati inovativno podjetje, bi se tudi že v začetku poslužili podpornega okolja, ki ga nudi Slovenski podjetniški sklad in projekt Cel krog. Na ta način bi lažje prišli do poslovnih partnerjev, s katerimi bomo ustvarili zgodbo krožnega gospodarstva.

Končni cilj bi bilo trženje znanja v obliki franšizne gasifikacijske tovarne. Tak načrt lahko prenesemo na katerokoli gozdnato območje, kjer je možno pridobivati poceni substrat in priklop na plinsko omrežje.

Ocena začetnih stroškov vsebuje vse stroške potrebne za začetek produkcije, od nakupa zemljišča do začetnega kapitala ter denarnih zalog.

Preglednica 6: Ocena skupnih stroškov

Zemljišče	200.000
Cena gasifikatorja	300.000
Cena proizvodne linije, hale ter strojev	150.000
Prilagoditve plinskega omrežja	20.000
Začetni kapital	70.000
Denarne zaloge	60.000
Skupaj	800.000

Sledila je ocena letne produkcije plina ter porabe lesa. Na internetu sem poiskal podatke o ceni ter produkcijski količini gasifikatorja. Izražena je bila tako količina lesa v kilogramih kot sam volumen plina. Gostota lesa se nanaša predvsem na les nižje kakovosti, ta je pogosto tudi lažji glede na volumen. Izračun letne porabe je privzel predpostavko, da tečejo procesi brez prekinitev. Izračun prihodka temelji na ceni plina, ki je podana na strani Elektro Ljubljana. Ker je cena plina podana na kWh, je bil kubični meter plina pretvorjen na kWh. Izračunan prihodek upošteva trošarine na zemeljski plin, takso za obremenjevanje zraka z emisijo ogljikovega dioksida, prispevek za zagotavljanje podpore proizvodnji električne energije v sproizvodnji z visokim izkoristkom ter DDV (22%).

Preglednica 7: Ocena skupne količine plina in cene

Material (kg/h)	600
Gostota lesa nižje kakovosti (kg/m ³)	500
Količina obdelanega lesa (m ³ /h)	1,2
Količina plina (m ³ /h)	1.200
Letna poraba lesa (m ³)	10.080
Letna količina proizvedenega plina (m ³)	12.096.000
kWh/m ³ plina	3.500
Letna proizvodnja kWh	42.336.000
Cena plina z vsemi dodatki EUR/kWh	0,03856
Prihodki (EUR)	1.632.476
Neto cena plina	0,02576
Neto prihodek	1.090.575
Taksa CO ₂ in trošarine za plin, DDV	541.901
Cena lesa (EUR/ m ³)	40
Ocenjena količina lesa (m ³)	10.414
Pokritost izbranega območja	97 %

Sledila je ocena neto profita in marže, prav tako je izračunan čas povrnitve investicije, ki kaže, v koliko letih se nam naložba povrne. Začetni stroški so bili amortizirani glede na njihovo življenjsko dobo, drugi stroški pa so zgolj ocena.

Preglednica 8: Ocenjen izkaz poslovnega izida

Prihodki (EUR)	
Prihodki prodaje plina	1.632.476
Skupni prihodki	1.632.476
Stroški (EUR)	
Taksa CO ₂ , trošarine za plin, DDV	541.901
Zemljišče (uporabna doba 20 let)	10.000
Cena gasifikatorja (uporabna doba 5 let)	60.000
Cena proizvodne linije in hale (10 let)	15.000
Prilagoditve plinskega omrežja	0
Razvoj	60.000
Trženje in administracija	24.000
Plače delavcev	300.000
Odvoz odpadkov	24.000
Stroški lesa	403.000
Ostali stroški	8.000
Skupni stroški	1.445.901
Dohodek (EUR)	186.375
Davek na dobiček	35.411
Dobiček (EUR)	150.965
Bruto marža (%)	17
Neto marža (%)	14
Čas povrnitve začetne investicije (leto)	5,3

7 SKLEPI

- ~ Manj kakovostnega lesa iglavcev na gozdnogospodarskem območju Nazarje je od vseh kakovostnih razredov med 3 in 9 odstotkov, listavcev pa med 21 in 58 odstotkov. To je les, ki vstopa v proces biorafinerijskega razklopa.
- ~ Skupni možni posek manj kakovostnega lesa na območju je 30.000 m³.
- ~ Idejna zasnova opredeljuje gasifikacijo kot proces biorafinerijskega razklopa, ker se pri gasifikaciji lahko uporabi ves manj kakovostni les in ne le njegovi deli, kot pri primerljivih metodah.
- ~ Gasifikacija je v grobem opisu proces konverzije organskega materiala ali drugih ogljikovih derivatov fosilnih goriv v ogljikov monoksid, vodik in ogljikov dioksid. Ohlajen plin se pošlje na metanacijsko postajo, kjer se pretvorita ogljikov monoksid in vodik v metan in ogljikov dioksid. Po odstranitvi ogljikovega dioksida in sušenju imamo plin, ki se lahko vključi v omrežje.
- ~ Pridobljen produkt - plin je gorljiv in se uporablja za motorje z notranjim izgorevanjem, ali za nadaljnjo produkcijo vodika in metanola.
- ~ Proizvodna linija oz. tovarna bi bila izdelana s premislekom. Najprej bi bilo potrebno opraviti nakup zemljišča, mesto mora biti strateško, ne sme biti preveč oddaljeno od virov lesa, niti preveč oddaljeno od omrežja plina. Dobavitelji lesa bi se predhodno napovedovali zaradi hitrejšega obrata zalog.
- ~ Akterji, ki bi bili potencialno zainteresirani za znanstveno-strokovno in poslovno poslovanje so identificirani.
- ~ S produktom bi vstopili na trg energetike. Tukaj kot manjše podjetje težko tekmujemo z večjimi podjetji, ki so že dobro pozicionirana na trgu (Petrol, Energetika Ljubljana, Gen-I).
- ~ Namesto, da bi se na trg podali samostojno, bi bilo bolj smotno razmišljati o vzpostavljanju strateških partnerstvih. Da pa bi prišli do teh partnerstev, bomo našim odjemalcem produkt predstavili kot okolju prijazen, ki je proizveden z učinkovito tehnologijo in iz obnovljivih virov.
- ~ Končen produkt je trajnosten. S transparentno uporabo naravnih virov bomo prispevali k razvoju lokalnega okolja. Pomembno je, da izpostavimo boljšo uporabo lesa, ki je sicer nižje kakovosti in se ga običajno zgolj sežiga.

8 VIRI

- Ahmed I, Gupta A.K. 2009. Syngas yield during pyrolysis and steam gasification of paper. *Applied Energy*, 86: 1813–1821
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261909000348> (2.1.2018)
- Dornburg V, Faaij A.P.C., 2001. Efficiency and economy of wood-red biomass energy systems in relation to scale regarding heat and power generation using combustion and gasification technologies, *Biomass&Energy* 2001, str. 91-108
- Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarskega območja Nazarje (2011 – 2020). Ur. l. RS št. 87/2012
- Liu Changjun, Wang Huamin, Karim Ayman, Sun Junming, Wang Yong, 2014. Catalytic Fast Pyrolysis of Lignocellulosic Biomass. *Chemical Society Reviews*, 8. April 2014
<http://pubs.rsc.org/-/content/getauthorversionpdf/C3CS60414D> (19.12.2017)
- Njikam F., Shahbazi A., Shirley V., Lee C., Serre S., Lemieux P. 2006. Optimizing Synthesis Gas Yield from the Cross Draft Gasification of Woody Biomass. In *Proceedings, AWMA Annual Conference, New Orleans, LA, June 20, 2006*. AWMA, Pittsburgh, PA
https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=150584 (3.1.2018)
<https://www.oeaw.ac.at/forebiom/WS2lectures/03-03-BHSONG.pdf> (2.1.2018)
- Sikarwar V.S., Zhao M., Clough P., Yao J, Zhong X, Memon M.Z., Shah N., Anthony E.J., Fennell P.S.. 2016. An overview of advances in biomass gasification. *Energy & Environmental Science*, Volume 9, Number 10, October 2016, Pages 2927–3304
- Song B. 2014. The product yield of pyrolysis of biomass and a kinetic study of gasification of biomass char. *Kunsan National University, FOREBIOM, Busan, Feb. 2014*
<http://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2016/EE/C6EE00935B> (2.1.2018)
- Sun L. 2015. Biogas Production from Lignocellulosic Materials. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala
https://pub.epsilon.slu.se/12494/7/Sun_L_150810.pdf (20.12.2017)
- van der Meijden C.M., Veringa H. J., Rabou L.P.L.M., 2009. The production of synthetic natural gas (SNG): A comparison of three wood gasification systems for energy balance and overall efficiency, *Biomass&Energy* 2010, str. 302-311
- Xin-Qing Zhao, Li-Han Zi, Feng-Wu Bai, Hai-Long Lin, Xiao-Ming Hao, Guo-Jun Yue, Nancy W. Y. Ho, 2011. Bioethanol from Lignocellulosic Biomass. *Adv Biochem Engin/Biotechnol*, vol. 128, str. 25–51, 3 December 2011
<https://www.google.si/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEWij263O1JbYAhWBK1AKHTnuBjMQFqhFMAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.springer.com%2Fcontent%2Fdocument%2Fcontent%2Fdownloadaddocument%2F9783642284779-c2.pdf%3FSGWID%3D0-0-45-1330353-p174306664&usq=AOvVaw3IV7fKmKrrJcxdecS8SUek> (20.12.2017)