

Biotehniška fakulteta
Univerza v Ljubljani

Lucija LUSKAR, Matevž POSINEK, Barbara ULČAR

Idejna zasnova lignocelulozne biorafinerije:
Od papirniškega prahu do bio-osnovanih kemikalij

Seminar pri izbirnem predmetu BIOEKONOMIJA

Magistrski študij - 2. stopnja Biotehnologija
Ljubljana, 2018

Kazalo vsebine

1. UVOD	4
2. SUBSTRAT	4
2.1. VIRI IN KOLIČINA.....	4
2.2. KEMIJSKE IN FIZIKALNE LASTNOSTI	5
3. PRODUKT	5
3.1. BIOPROCESNA SHEMA.....	5
3.2. LASTNOSTI PRODUKTA	7
3.2.1. 1,4 - butandiol (BDO).....	7
3.2.2. Tetrahidrofuran (THF)	8
4. POSLOVNI NAČRT	9
4.1. PARTNERJI.....	9
4.2. PRILOŽNOST ZA SODELOVANJE AKTERJEV.....	11
4.3. OPIS AKTIVNOSTI ZA VZPOSTAVITEV DELUJOČE VERIGE VREDNOSTI	11
5. LOGISTIKA	12
5.1. BIORAFINERIJA V LJUBLJANI.....	12
5.1.1. Enkratna letna predelava s prilagoditvijo obstoječe infrastrukture.....	12
5.1.2. Uporaba dodatnih substratov.....	13
5.2. BIORAFINERIJA V SLADKEM VRHU	14
5.2.1. Uvoz substrata iz tujine	14
6. FINANČNIH SREDSTEV	15
6.1. PRIDOBIVANJE PRIVATNIH SREDSTEV	15
6.2. PRIDOBIVANJE EVROPSKIH SREDSTEV	16
6.3. OBRATOVALNA SREDSTVA	17
7. ZAKLJUČEK	17
8. VIRI	17
9. PRILOGE	19

Kazalo slik in preglednic

Slika 1: Bioprocena shema pridobivanja 1,4 - butandiola in tetrahidrofurana iz papirniškega prahu... 6	6
Slika 2: Shematski pregled kemijske sinteze in biosintezne poti (Bidy in sod., 2016)..... 7	7
Slika 3: Prikaz nadaljnje uporabe BDO-ja v deležih (Nexant Inc, 2013). 8	8
Slika 4: Shematski prikaz uporabo THF-ja..... 8	8
Slika 5: Shema bioprocena s sodelujočimi akterji..... 9	9
Predlegnica 1: Ocena količine substrata – papirniški prah v Sloveniji, produkta in prometa v enem letu. 13	13
Predlegnica 2: Ocena količine substrata - papirniški prah in lesni ostanki v Sloveniji, produkta in prometa v enem letu..... 13	13
Predlegnica 3: Ocena količine substrata - papirniški prah papirnice Gratkorn Mill, produkta in prometa v enem letu..... 14	14
Predlegnica 4: Karakteristike različnih lesnih substratov (vir: Inštitut za celulozo in papir) 19	19

1. UVOD

Okolje in okoljske spremembe nas opozarjajo, da živimo nad zmoglostmi planeta, na katerem živimo. Prevelika potrošnja ustvarja veliko odpadkov, ki obremenjujejo naše okolje in ogrožajo naš planet. Z vsakodnevnim naraščanjem populacije se obremenitev le krepi, zato skrbi za našo prihodnost niso odveč.

Vse več se govori o krožnem gospodarstvu, ki temelji na povečevanju deleža obnovljivih ali recikliranih virov, na zmanjševanju porabe surovin in energije ter spoštovanju zmoglosti okolja. Na tak način bi pridobivali energijo iz obnovljivih virov, opustili uporabo nevarnih kemikalij, omogočili zmanjševanje porabe surovin, znižali nastajanje odpadkov in omogočili kroženje materialov (Bešter, 2014). IEA Bioenergy (2012) krožno gospodarstvo opisujejo z devetimi krožnimi strategijami (R1-R9), ki so združene v 3 področja: pametnejša uporaba in produkcija, podaljšan življenjski čas produktov in njihovih delov ter uporabne aplikacije materialov. Pojem biogospodarstvo se je v javnem diskurzu pojavil okoli leta 2000, ko je postal predmet skupne evropske raziskovalne politike. Pri tem so ključne biorafinerije, saj povezujejo tehnologije, ki so nujne za pretvorbo biološkega materiala do različnih produktov (Kamm in Kamm, 2004). Biomasa, kot lahko imenujemo biološki material, ki vstopa v biorafinerijski razklop je lahko zelo raznolika, a vse pripeljejo do osnovnih gradnikov.

Slovenija se je v okviru OECD pridružila programu za pametno specializacijo, ki je strategija za krepitev konkurenčnosti gospodarstva s krepitvijo njegove inovacijske sposobnosti, diverzifikacijo obstoječe industrije in storitvenih dejavnosti ter rast novih in hitrorastočih industrij oz. podjetij (OECD, 2013).

Potencial so zaznale papirnice, ki so se združile in oblikovale program Cel krog, ki ga financira Evropska unija. Program - izkoriščanje potenciala biomase za razvoj naprednih materialov in bioosnovanih produktov - temelji na kaskadni rabi biomase, industrijski simbiozi, krožnem gospodarstvu in ustvarjanju nove verige vrednosti (Cel krog, 2017).

V sklopu izbirnega predmeta Bioekonomija smo se lotili študijskega izziva, ki je idejna zasnova vzpostavitve verige dodane vrednosti proizvodov, nastalih z biorafinerijskim razklopom lesnega oz. papirniškega prahu.

2. SUBSTRAT

Naša izvorna naloga je bila valorizacija odpadnega lesnega prahu, vendar smo se po pogovoru z lastnikom žage ter mizarjem odločili, da se osredotočimo zgolj na papirniški prah, ki nastaja pri izdelavi papirja. Odpadna žagovina, lesni prah in ostanki oblanja se na žagah namreč zmešajo, tako da zgolj do lesnega prahu ne bi mogli dostopati. Poleg tega v lesni verigi praktično ni odpada, saj vse omenjene ostanke odpeljejo kmetje in jih uporabijo za stelje.

2.1. VIRI IN KOLIČINA

Po podatkih Inštituta za celulozo in papir se v Sloveniji letno proizvede 70 ton papirniškega prahu. To je zelo majhna vrednost, zato smo za vir substrata poiskali alternativno možnost. Papirnica Gratkorn

Mill v Gradcu letno proizvede 980.000 ton papirja (www). Ob predpostavki, da imajo pri pridelavi 1 % odpada, je potencialna količina substrata približno 10.000 ton letno.

Ocenili smo tudi možno količino substrata, v kolikor bi se vseeno odločili za uporabo lesnega prahu in ostalih ostankov. V Sloveniji se letno razžaga približno 500.000 m³ lesa (magistrska). Dve večji žagi v Sloveniji razžagata 60 % vsega lesa, kar je 300.000 m³. Po podatkih lastnika žage je ocenjena količina odpadka pri žaganju 4 %. Količina vse odpadne biomase (žagovina, lesni prah in ostanki oblanja) dveh večjih žag je tako 12.000 m³.

2.2. KEMIJSKE IN FIZIKALNE LASTNOSTI

Papirniški prah je fino mlet, homogeniziran lignocelulozni substrat, ki se delno delignificira že med pridobivanjem celuloze za izdelavo papirja. Vsebnosti lignina so tako nizke - 4% pri proizvodnji "tissue" papirja in 16% pri proizvodnji papirja. Delež celuloze v prahu pri proizvodnji "tissue" papirja je 56 %, pri proizvodnji papirja pa 48 %; upoštevana je bila druga vrednost, saj takšnega prahu nastaja več. Delež hemiceluloze v prahu se giblje med 24 in 25 %, upoštevana je bila vrednost 24% (Priloga 1). Povprečna vrednost ksilana v hemicelulozi je 18 % (Pettersen, 1984), vendar bi bilo to vrednost potrebno določiti eksperimentalno.

Karakterizirali smo tudi lastnosti lesnega prahu. Delci so veliki okoli 0,1 mm v premer, povprečna vrednost celuloze je 40 % in hemiceluloze 22 %. Kot gostoto lesnega prahu smo za izračune uporabili vrednost 130 kg/m³ (ToolBox, 2018). Kemijske lastnosti lesnega prahu so odvisne od vrste lesa oziroma kombinacije le teh, od katerega smo prah pridobili, zato bi bila tudi tu potrebna eksperimentalna kvantifikacija posameznih komponent, v kolikor bi želeli prah uporabiti v bioprocesu.

3. PRODUKT

Papirniški prah kot substrat nam daje nešteto možnosti uporabe. Lahko ga uporabimo kot energenta in direktno zažgemo ali pa ga najprej peletiramo. Možna je uporaba za proizvodnjo bioplina in kompostiranje. Papirniški prah je kot vsak lignocelulozni substrat v osnovi zgrajen iz sladkorja in s tem možen vir substrata v biološkem procesu. Odločili smo se za tretjo možnost, pri kateri bi s pomočjo rekombinantnega mikroorganizma pridobljene proste sladkorje pretvarjali v 1,4 - butandiol in tetrahidrofurano.

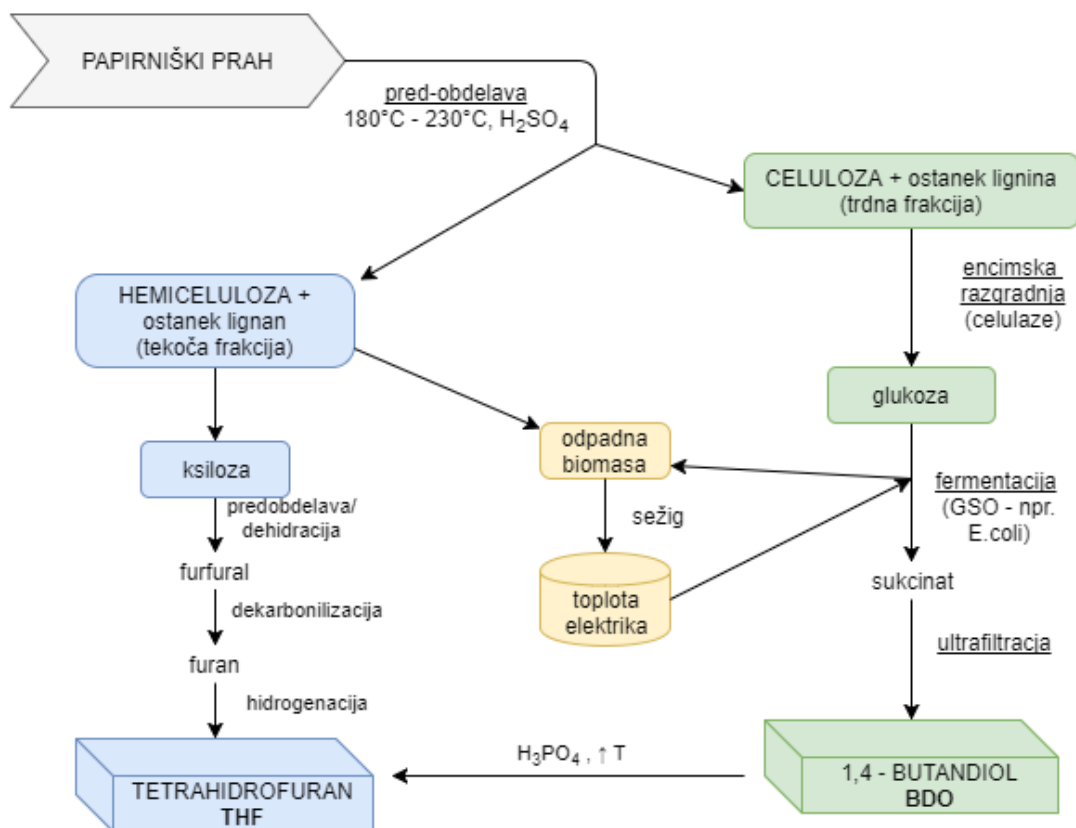
3.1. BIOPROCESNA SHEMA

Bioproces se v osnovi začne s hidrolizo biomase katere namen je sprostiti proste sladkorje, ki so vezani v polimere celuloze in hemiceluloze. Celuloza je sestavljena iz ene vrste sladkorja, to je glukoze. Hemiceluloza je zgrajena iz različnih sladkorjev kot so ksiloza, arabinoksilan, glukomanan in drugi. Delež posameznih sladkorjev se med rastlinskimi vrstami razlikuje. Lignin, ki prav tako gradi lignocelulozno biomaso je sestavljen iz fenolnih spojin (Isikigor in Becer, 2015) in moti proces, vendar je naš substrat že delno delignificiran, zato menimo, da dodatno odstranjevanje lignina ni potrebno. Prva faza hidrolize je pred-obdelava, katere namen je razgraditi prisotno hemicelulozo. Odločili smo se za postopek, pri katerem se hemiceluloza razgradi ob povišani temperaturi in rahlo kislih pogojih, ki jih ustvarimo z dodatkom žveplene kisline. Menimo, da bi bila takšna pred-obdelava zadostna glede na naravo substrata. V kolikor bi bila vsebnost lignina višja, bi morali korak ponoviti dvakrat, saj bi v prvem koraku odstranili lignin in šele v drugem hemicelulozo. Med pred-obdelavo hemiceluloza hidrolizira v proste sladkorje, zaradi česar postane topna in se nahaja v vodni frakciji.

Celulozna vlakna v večji meri ostanejo nerazgrajena in tako predstavljajo trdno frakcijo. Lignin, ki se še nahaja v našem substratu, bi se porazdelil med hemicelulozno in celulozno frakcijo in predvideno ne bi motil procesa. Frakciji med seboj ločimo in v nadaljevanju tretiramo ločeno.

Hemicelulozna frakcija vsebuje različne sladkorje, med katerimi je tudi ksiloza. Del ksiloze se že med pred-obdelavo dehidrira do furfurala, večinski del pa dehidriramo kemično. Vsi nadaljnji koraki tega postopka so prav tako kemični. Sledi dekarbonilizacija do furana in hidrogenacija do tetrahidrofurana (THF) (Taylor in sod. 2015), ki je naš končno produkt in ga je iz procesa mogoče izolirati s tekočinsko ekstrakcijo (Peleteiro in sod., 2014). Iz približno 100 kg papirniškega prahu je teoretično mogoče pridobiti 24 kg hemiceluloze ter iz tega 1 kg ksiloze in v nadaljevanju 0,6 kg THF.

Celulozna frakcija je v tej fazi še trdna in potrebna je njena saharifikacija. Saharifikacijo izvedemo s pomočjo celulolitičnih encimov - celulaz. Zaradi hidrolize celuloze se sproščajo proste glukoze, ki so v vodi topne, tako dobimo tekočino z raztopljeno glukozo. Glukoza je substrat v mnogih bioprocseh in tudi mi bi jo uporabili za gojenje rekombinantnih mikroorganizmov (na primer *E. coli*), ki bi nam pri anaerobnih pogojih glukozo preko sukcinata pretvarjali v 1,4 - butandiol (BDO), naš končni produkt (Taylor in sod., 2015). Le tega je iz bioprocene brozge mogoče izolirati z ultrafiltracijo. Iz 100 kg papirniškega prahu je teoretično mogoče pridobiti 48 kg celuloze, kar je 48 kg glukoze in v nadaljevanju 36 kg BDO. BDO je mogoče z enim tretiranjem (visoka temperatura in kisli pogoji) pretvoriti v THF, v kolikor bi želeli proizvajati le en produkt (Slika 1).



Slika 1: Bioprocena shema pridobivanja 1,4 - butandiola in tetrahidrofurana iz papirniškega prahu.

Tudi med samim bioprocenom nastaja odpadna biomasa. Manjši del predstavljajo sladkorji, ki se nahajajo v hemicelulozni frakciji in se ne pretvorijo v THF, večinski del pa predstavlja ostanek bioprocene brozge z našimi delovnimi mikroorganizmi. To odpadno biomaso je mogoče uporabiti kot energenta in energijo vrniti v sam proces. Z nastalo toploto lahko segrevamo vodo pri pred-

obdelavi, lahko segrevamo bioreaktor v začetnih fazah fermentacije ali pa energijo pretvorimo v elektriko in jo uporabimo v kateremkoli delu procesa.

3.2. LASTNOSTI PRODUKTA

3.2.1. 1,4 - butandiol (BDO)

1,4-Butandiol (BDO) $C_4H_{10}O_2$ je brezbarvna viskozna tekočina, ki se pogosto uporablja kot intermediat v sintezi drugih kemikalij in različnih polimerov. Izum proizvodnje BDO-ja sega v leto 1930 in se je tekom let razvijal. Med drugim je svojo tehnologijo razvil tudi DuPont v 90-tih letih prejšnjega stoletja. Razvoj gre naprej tudi danes, ko prihaja do tranzicije iz kemijske sinteze na biosnovano fermentacijsko produkcijo (Nexant Inc., 2013).

Biološka proizvodnja BDO-ja ima TRL 9 in R&D se že ukvarja s sintezo le tega z lignoceluloznimi substrati (Bidy in sod., 2016). Novamont je v sodelovanju z Genomatico iz San Diega, v Bottrighe-u, mestu v Italiji, postavilo prvo industrijsko biotehnoško tovarno BDO-ja na svetu, ki producira BDO s pomočjo mikroorganizmov. Genomatica je skupaj s podjetjem Novamont komercializiralo produkcijo BDO iz obnovljivih virov, in ga proizvajajo tudi pri DuPont-u v Tennessee-ju. Proizvedejo ga okoli 4,5 ton na teden (Lane, 2013), v Italiji pa približno 30 000 ton na leto (576 ton/teden). Njihov GENO BDO™ sta licencirala BASF (nemško podjetje, največji proizvajalec kemikalij na svetu) in Novamont (italijansko vodilno podjetje v proizvodnji biokemikalij), kar nakazuje na veliko resnost omenjenega projekta (Novamont, 2016). Ameriške študije ocenjujejo potrebe trga za BDO na dva milijona ton letno in opozarjajo, da se multinacionalke kot so Nike in Invista zavzemata za uporabo obnovljivih virov pri proizvodnji polimerov, kot je bioBDO (Bidy in sod., 2016).

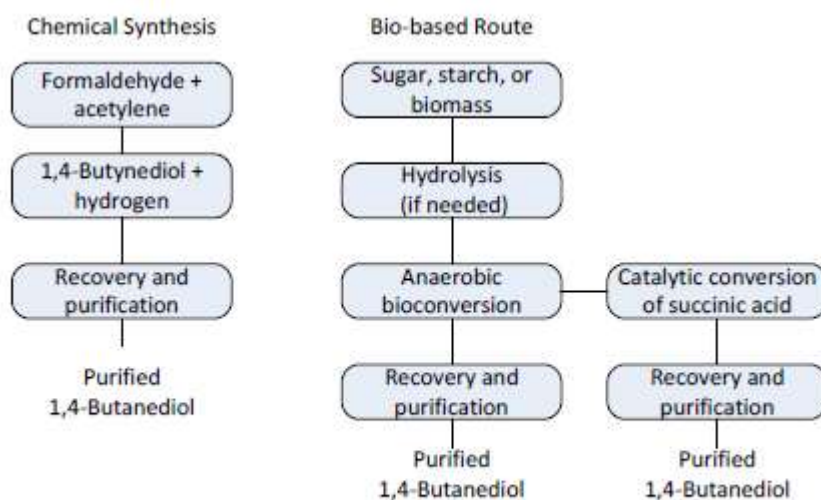
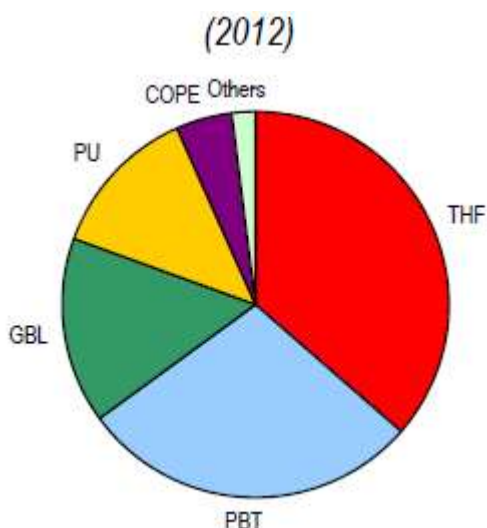


Figure 9. An overview of butanediol production pathways from petroleum and renewable feedstocks

Slika 2: Shematski pregled kemijske sinteze in biosintezne poti (Bidy in sod., 2016).

BDO se uporablja za produkcijo polimerov, topil in posebnih kemikalij. 45% BDO-ja gre za proizvodnjo THF-ja, ki je monomer za produkcijo politetrahidrofurana (PTHF), ki se uporablja za material spandex in elastomere. 25% BDO-ja skupaj z tereftalno kislino spremenijo v polibutilen tereftalat (PBT, termoplastični polimer). Precej se ga uporabi tudi za produkcijo topila in reagenta γ -butirolacton (GBL) (Bidy in sod., 2016).



Slika 3: Prikaz nadaljnje uporabe BDO-ja v deležih (Nexant Inc, 2013).

3.2.2. Tetrahidrofuran (THF)

Tetrahidrofuran (THF) C_4H_8O je heterociklični eter, organsko topilo, ki se uporablja za sintezo polimerov. THF lahko pridobivamo s hidrogenacijo iz furana. Uporablja se v različnih industrijah kot topilo pri kromatografiji, sestavina v adhezivih, v PVC materialih, vinilnih filmih in celofanu (Yan in sod., 2014).

Produkcija THF-ja ima TRL>5, z njim pa se ukvarja Davy Process Technology in Pennakem (Taylor in sod., 2015).

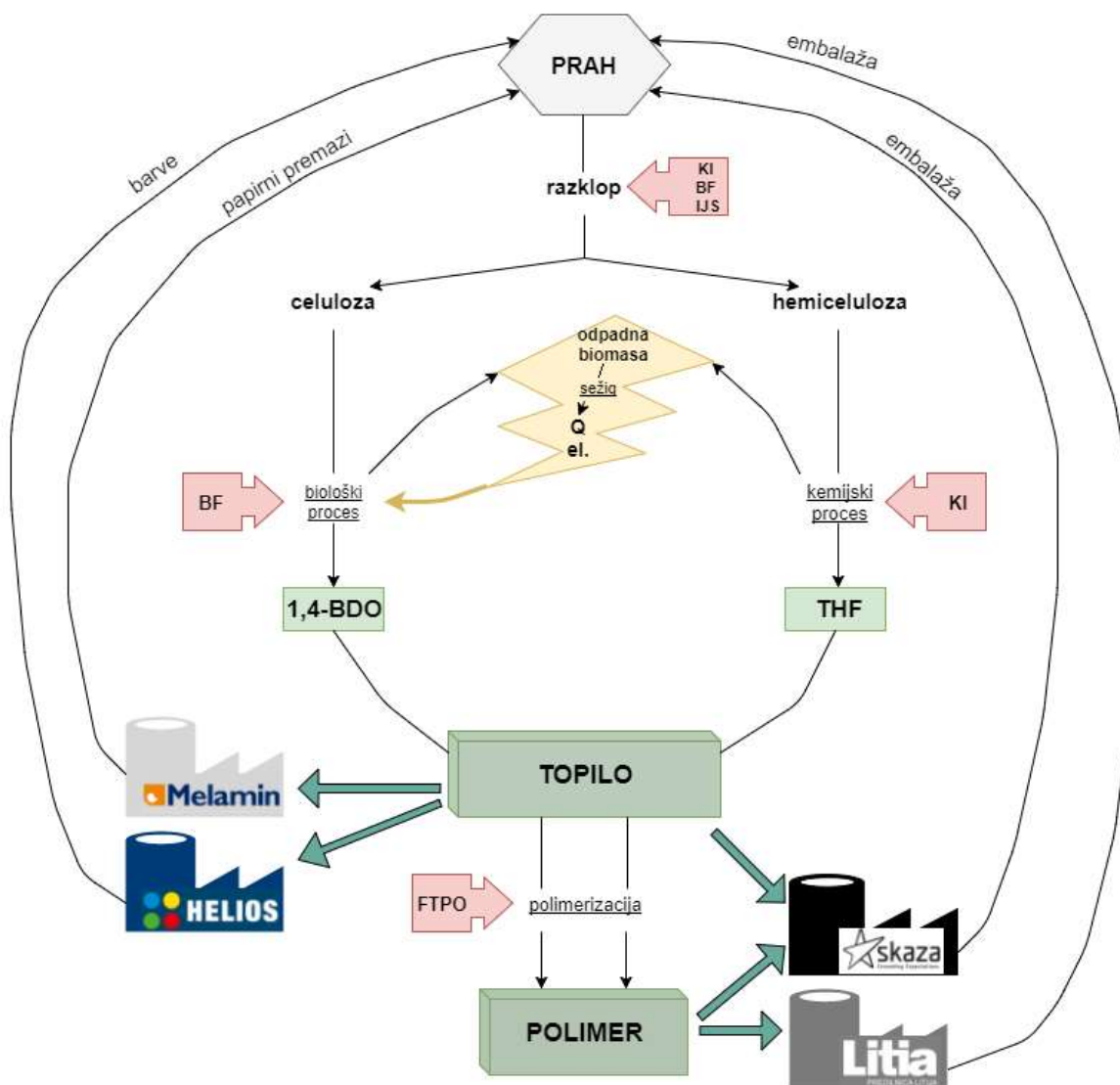


Slika 4: Shematski prikaz uporabo THF-ja.

4. POSLOVNI NAČRT

4.1. PARTNERJI

Za uresničitev naše bioprocenjske sheme bi sodelovali z različnimi raziskovalnimi in izobraževalnimi institucijami ter industrijskimi partnerji (Slika 5).



Slika 5: Shema bioprocenjske sheme s sodelujočimi akterji.

Vir papirniškega prahu:

- Radeče papir nova d.o.o.,
- Papirnica Vevče d.o.o.,
- VIPAP VIDEM KRŠKO proizvodnja papirja in vlaknin d.d.,
- Paloma, higienski papirji, d.d.,
- GORIČANE tovarna papirja Medvode, d.d.,
- KOLIČEVO KARTON Proizvodnja kartona, d.o.o.
- v primeru izgradnje biorafinerije v Sladkem Vrhu tudi Gratkorn Mill

Vir lesnega prahu:

- LIP opažne plošče Bohinj d.o.o.,
- Gozdno gospodarstvo Postojna d.o.o.

ZNANSTVENO-STROKOVNA PODPORA:

Kemijski inštitut - KI, bi s svojim znanjem pomagal pri razklopu biomase v začetni fazi, ko želimo odstraniti hemicelulozi in lignin, da nam za biološko razgradnjo ostane pretežno celuloza. Njihovo pomoč bi potrebovali tudi pri nadaljnjem razklopu hemiceluloze ter kemijski sintezi furfurala do furana in nato do tetrahidrofurana.

Biotehniška fakulteta - BF, bi imela možnost sodelovanja pri začetnem razklopu mase, saj najbolj poznajo karakteristike lesne biomase. Nadaljnjo pomoč bi potrebovali pri razvoju seva za produkcijo BDO-ja ter načrtovanju bioprocesa.

Inštitut Jožef Stefan - IJS, bi skupaj z BF in KI pomagal pri razvoju razgradnje biomase.

Fakulteta za tehnologijo polimerov - FTPO lahko sodeluje pri polimerizaciji naših produktov (BFO in THF) do različnih polimerov.

KUPCI:

Melamin d. d. Kočevje je znano po smolah za papirno in gradbeno industrijo, impregniranih papirjev za pohištveno industrijo, so dobavitelj za lakirno in gumarsko industrijo. Njihova skrb je tudi okolje, zato imajo tudi ekološko naravnane projekte. Njihov namen je postati eden največjih proizvajalcev modificiranih melaminskih smol in izolacijskih materialov na osnovi melamina v Evropi. V viziji opisujejo proizvodnjo metanola in formalina iz biomase. Želijo si zmanjšati ogljikov odtis, delovati po načelu krožnega gospodarstva in uvesti čim več surovin na bazi obnovljivih virov (Melamin - Company..., 2014).

Helios je tovarna barv, lakov in umetnih smol. Največ se ukvarjajo s kovinskimi in lesnimi premazi ter smolami. Imajo več hčerinskih podjetij, kot sta Belinka in Rembrandtin. Na njihovi spletni strani lahko opazimo, da se njihov razvoj giba v smeri skrbi za okolje in trajnostnega razvoja (Helios, 2018).

Predilnica Litija je predilnica bombaža, specializirana za prstančno predenje prej iz dvo ali večkomponentnih mešanic različnih naravnih in umetnih vlaken. Z lastnim razvojem ustvarjajo nova in inovativna vlakna. Ukvarjajo se s proizvodnjo tehničnih prej za industrijo in osebno zaščito, prej iz naravnih in funkcionalnih vlaken ter prej za modno industrijo in prej za reševanje življenj (Predilnica Litija, 2018).

Plastika Skaza je inovativno, hitrorastoče, tržnouslymerjeno evropsko podjetje s področja plastike. Delujejo trajnostno in odgovorno in s tem soustvarjajo prehod v dobo krožnega gospodarstva. Z lastnimi izdelki spodbujajo prakse z nizkim ogljikovim odtisom in prispevajo k razvoju zelenih tehnologij (Plastika Skaza, 2018).

4.2. PRILOŽNOST ZA SODELOVANJE AKTERJEV

Vsa omenjena podjetja delujejo v skladu s krožnim gospodarstvom, želijo uporabljati obnovljive vire in zmanjšati ogljikov odtis, zato v njih vidimo potencialne kupce za naše produkte. Uporaba topil, narejenih iz biomase, bi tako zmanjšala njihov negativen vpliv na okolje, kar je v skladu z njihovimi poslovnimi vizijami. Podobni produkti, kot smo si jih zamislili mi, se že uporabljajo v teh industrijah, zato bi lahko le te neposredno zamenjali - drop-in.

THF se na primer uporablja kot topilo v organski sintezi, proizvodnji lakov, kot topilo za bioplastiko PLA se uporablja v 3D tisku, topilo za PVC, primeren pa tudi za predobdelavo lignoceluloznih substratov.

Obe topili sta primerna za nadaljnjo obdelavo, s katero lahko dobimo uporabne polimere. Iz THF lahko recimo naredimo polimer PTMEG - politetrametileneter glikol iz katerega potem naredimo elastičen material Spandeks oz Lycro (Pruckmayr, 2000).

Topila bi lahko pri nas kupoval Helios, Melamin. Plastika Skaza bi lahko za ustvarjanje plastičnih predmetov uporabljala topilo THF. Polimeri kot tekstilni materiali pa bi lahko predstavljali zanimiv produkt za Predilnico Litija.

Papirniška industrija je naš vir substrata in hkrati lahko tudi porabnik naših produktov. V literaturi smo zasledili, da se topilo THF uporablja za razgradnjo lignoceluloznih substratov, zato bi ga lahko papirnice uporabljale pri proizvodnji papirja. Po pogovoru z vodjo programa Cel Krog, mag. Matejo Mešl smo ugotovili, da se veliko papirnic usmerja v proizvodnjo embalaž, kjer vidimo priložnost za sodelovanje, saj bi lahko prej opisani partnerji proizvajali premaze ali polimere, ki bi v kombinaciji s papirjem bili primerni za razvoj okolju prijazne embalaže.

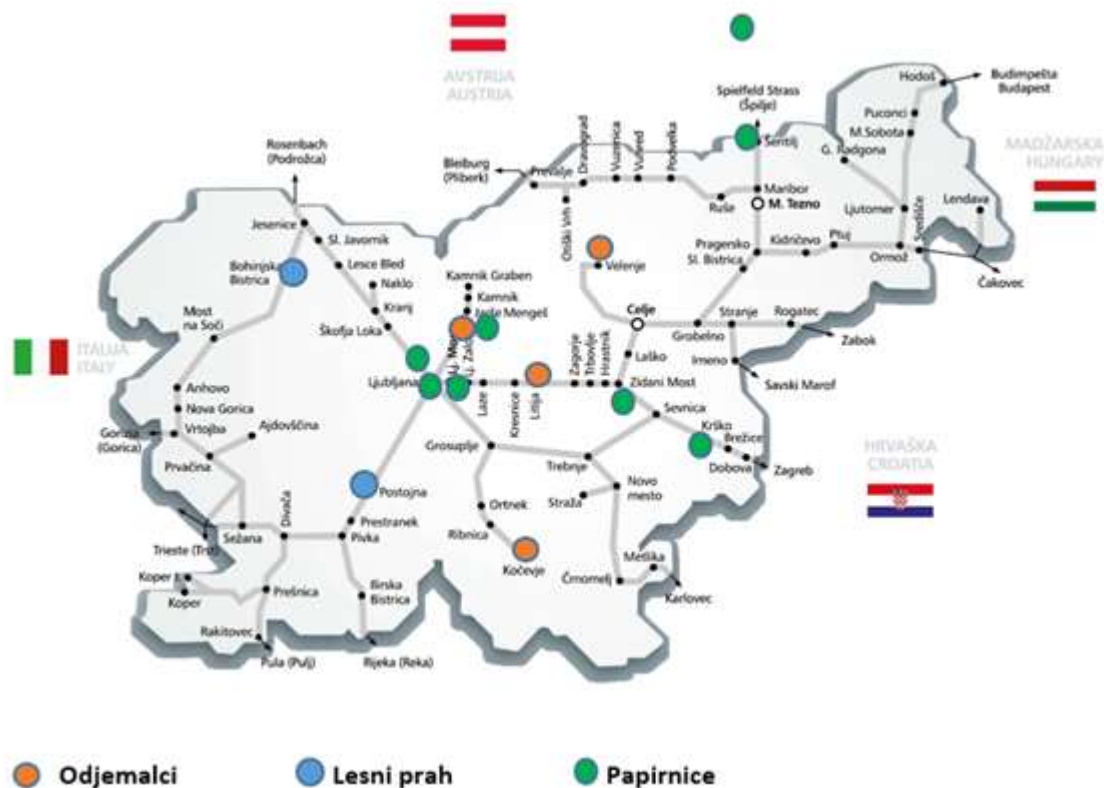
4.3. OPIS AKTIVNOSTI ZA VZPOSTAVITEV DELUJOČE VERIGE VREDNOSTI

Naši ključni kupci so podjetja iz kemijske industrije, zato bi našo komunikacijo s podjetji izvedli predvsem s kemijskimi tehnikami, s katerimi bi se posvetovali o njihovih željah, količinah in potencialni zamenjavi topil na osnovi fosilnih goriv s bio-osnovanimi topili. V pogovore bi vključili tudi službe za trženje, saj lahko podjetja izboljšajo svoje trženje z oglaševanjem uporabe bio-osnovanih topil in polimerov.

Pri vzpostavitvi verige računamo tudi na pomoč države, saj se je le ta v strategijah za prihodnost zavezala k zmanjševanju ogljikovega odtisa, k prehodu v krožno gospodarstvo in zamenjavi fosilnih virov z obnovljivimi viri. Potencial vidimo v javnih naročilih, s katerimi bi država lahko spodbujala nakup embalaže narejene iz naših polimerov, uporaba barv na osnovi bio-topil, nakup delovne obleke narejene iz preje pametnih vlaken iz naših polimerov, ki bi jih npr. naredili v Predilnici Litija. Vloga države je tudi osveščanje javnosti z oglasi, najbolj pa z vzgledom, po katerem bi se lahko državljeni učili trajnostnega ravnanja z naravnimi viri.

5. LOGISTIKA

Na spodaj priloženi mapi je izrisano železniško omrežje v Sloveniji, na njej pa so označeni tudi naši poslovni partnerji. Kot je na mapi razvidno, se vsi naši partnerji, s katerimi bi potencialno sodelovali, nahajajo v neposredni bližini železniškega omrežja. Zaradi velike količine transportiranega materiala in stroškovno učinkovitost različnih oblik transporta, predstavlja transportiranje substrata in produkta z vlakom logično izbiro, natančnejše transportne poti pa so opisane v nadaljevanju.



Substrat za produkt naše biorafinerije naj bi bil papirniški prah. Ker je v Sloveniji vsega skupaj 7 papirnic, ki v povprečju pridelajo vsaka 10 ton papirniškega prahu na leto, se pojavi problem pomanjkanja substrata, kar bi onemogočilo kontinuirano delovanje biorafinerije in s tem ekonomsko upravičenost le-te. Za rešitev tega problema smo pripravili več različnih strategij:

5.1. BIORAFINERIJA V LJUBLJANI

5.1.1. Enkratna letna predelava s prilagoditvijo obstoječe infrastrukture

Namesto izgradnje samostojne biorafinerije, bi z določenimi nadgradnjami za predelavo uporabljali obstoječo infrastrukturo drugega obrata (npr. inštituta za papirništvo), predelava substrata pa bi potekala le enkrat letno. Na takšen način bi bila infrastruktura celoten čas v uporabi in posledično nebi ustvarjala tako visokih izgub. Zaradi uporabe obstoječe infrastrukture bi bili začetni investicijski stroški nižji, prav tako pa bi se zaradi večje količine transportiranega substrata znižali tudi stroški transporta, saj bi bila količina dovolj velika, da bi transport lahko potekal z vlakom. Slabost te strategije so visoki obratovalni stroški, saj bi vsakoletno zaganjanje procesa predelave bistveno zmanjšalo njegovo stroškovno učinkovitost, poleg tega pa bi bilo potrebno tudi kompenzirati stroške,

ki bi jih zaradi izpada proizvodnje imel obrat, pri katerem bi najeli infrastrukturo. V Preglednici 1 so naše ocene o količini prometa, ki bi ga lahko imel takšen obrat z omenjeno količino substrata, v kolikor bi BDO prodajali po ceni 1.500 €/tona in THF po ceni 2.000 €/tona (tudi nadaljnji izračuni so opravljeni na osnovi teh cen). Ocenjena učinkovitost celotnega procesa pretvorbe od vhodnega substrata do produkta je 20 % (izgube pri hidrolizi, ločevanju frakcij, biološkem in kemijskem procesu ter izolaciji produktov).

Preglednica 1: Ocena količine substrata – papirniški prah v Sloveniji, produkta in prometa v enem letu.

substrat [t]	70
celuloza [t]	34
1,4 - BDO [t]	5
promet	7.500 €
hemiceluloza [t]	17
THF [t]	2
promet	4.000 €
skupaj	11.500 €

Takšne količine sredstev so bistveno prenizke za kritje vseh nastalih stroškov, zato smo mnenja, da s takšno količino substrata ni mogoče ustvariti biorafinerije, ki bi bila ekonomsko viabilna.

5.1.2. Uporaba dodatnih substratov

Za pridobitev zadostne količine substrata bi poleg papirniškega prahu začeli uporabljati tudi žagovino in lesni prah. Zavaljo lažjega transporta bi se osredotočili na dve večji slovenski podjetji, ki razžgata 60 % lesu v Sloveniji. Če bi naš substrat vključeval tudi žagovino in lesni prah, bi bila količina substrata skupaj s papirniškim prahom 1630 ton, kar pogojno zadostuje za kontinuirano obratovanje biorafinerije, kar bi osmislilo njeno postavitev. Slabost te strategije je, da sta žagovina in lesni prah za razklop zahtevnejša od papirniškega prahu in zato zahtevata dodatno predobdelavo pred končnim procesom razklopa, kar prinaša dodatne stroške, poleg tega pa je vsebnost celuloze in hemiceluloze v njih manjša, kar pomeni manjši delež končnega produkta iz iste količine substrata. Problem predstavlja tudi razpršenost papirnic in žag, kar zvišuje stroške transporta. V spodnji preglednici so naše ocene o količini prometa, ki bi ga lahko imel takšen obrat z omenjeno količino substrata

Preglednica 2: Ocena količine substrata - papirniški prah in lesni ostanki v Sloveniji, produkta in prometa v enem letu.

substrat [t]	1630
--------------	------

celuloza [t]	658
1,4-BDO [t]	99
dobiček	148.500 €
hemiceluloza [t]	356
THF [t]	8
dobiček	16.000 €
skupaj	164.500 €

Kljub temu, da je količina sredstev v primeru te strategije bistveno večja, kot v primeru uporabe izključno papirniškega prahu, pa so to še vedno relativno nizke količine sredstev, ki najverjetneje ne bi krile niti osnovnih stroškov obratovanja, definitivno pa ne bi v zadostni meri opravičile visokih investicijskih stroškov, ki bi bili potrebni za postavitve biorafinerije.

V primeru zgoraj navedenih strategij bi bila, zaradi razpršenosti vseh sodelujočih partnerjev in s tem povezanih logističnih zapletov, najboljša lokacija za postavitve biorafinerije Ljubljana. V temu primeru bi substrat, kljub razpršenosti sodelujočih partnerjev, z železniškim transportom relativno preprosto transportirali v biorafinerije, prav tako pa bi s pomočjo železnice transportirali naš končni produkt do odjemalcev.

5.2. BIORAFINERIJA V SLADKEM VRHU

5.2.1. Uvoz substrata iz tujine

V kolikor se s pridobitvijo papirniškega prahu ne bi omejevali samo na Slovenijo, bi lahko velike količine substrata pridobili iz podjetja Gratkorn Mill v Gradcu, ki izdelava 980.000 ton papirja na letno. Papirnica je direktno povezana z železniško progo, kar omogoča učinkovit transport večjih količin substrata v Slovenijo, kjer bi potekal sam razklop substrata. Prednost te strategije je, da omogoča pridobitev ogromnih količin primerne substrata (cca. 10.000 ton), kar bi omogočalo kontinuirano delovanje biorafinerije. Težavo predstavlja sam transport substrata, saj kljub dejstvu, da je železniški transport stroškovno učinkovit, velika oddaljenost vira substrata prinese dodatne stroške pri transportu. V spodnji preglednici so naše ocene o količini prometa, ki bi ga lahko imel takšen obrat z omenjeno količino substrata.

Predlegnica 3: Ocena količine substrata - papirniški prah papirnice Gratkorn Mill, produkta in prometa v enem letu.

substrat [t]	10000
celuloza [t]	4800
1,4-BDO [t]	720

dobiček	1.080.000 €
hemieluloza [t]	2400
THF [t]	288
dobiček	576.000 €
skupaj	1.656.000 €

Ta strategija zaradi zadostne količine kvalitetnega substrata zagotavlja daleč največji promet, ki bi potencialno lahko zadoščal za kritje obratovalnih stroškov in omogočal tudi dobiček. Iz tega razloga se nam ta strategija zdi najbolj primerna in zato tudi nadaljnji načrti pridobivanja sredstev bazirajo na izvedbi te strategije.

V primeru uvoza substrata iz Gratkorn Mill-a, je zaradi zmanjšanja logističnih stroškov najbolj logično, da se biorafinerija postavi čim bližje avstrijski meji, saj se na takšen način zmanjša razdalja prevoza substrata. Kljub temu, da v temu primeru razdalje za transport produkta ostajajo velike, pa je produkta v primerjavi s substratom bistveno manj (10.000 ton substrata in 1.000 ton produkta). Zaradi neposredne bližine avstrijske meje in bližine sodelujočega partnerja Paloma d.d., se nam Sladki Vrh zdi kot primerna lokacija za postavitev biorafinerije. Ker se Sladki Vrh nahaja v vzhodni kohezijski regiji, bi to tudi olajšalo črpanje evropskih sredstev.

6. FINANČNIH SREDSTEV

Strategija pridobivanja sredstev bi bila razdeljena na dva dela. Privatna sredstva bi poskušali pridobiti s strani nekaterih udeleženih poslovnih partnerjev, ki bi jim postavitev biorafinerije prinašala določene ugodnosti, preostanek sredstev pa bi poskušali pridobiti s strani Evropskega sklada za regionalni razvoj.

6.1. PRIDOBIVANJE PRIVATNIH SREDSTEV

V pridobivanje privatnih sredstev bi vključili poslovne partnerje, od katerih bi pridobivali substrat in partnerje, ki bi jim prodajali naš končni produkt. Gratkorn Mill bi lahko spodbudili k investiciji v biorafinerijo z zagotovitvijo, da bomo od njih po določeni ceni odkupovali papirniški prah. Ker papirniški prah predstavlja odpad, bi to za Gratkorn Mill pomenilo dolgotrajen dobiček iz materiala, ki se drugače zavrže. Gratkorn Mill pridelava letno približno 10.000 ton papirniškega prahu, kar bi ob predpostavki, da bi papirniški prah odkupovali po ceni 50€/tona, Gratkorn Millu-u letno prinašalo 500.000€ dobička. To pomeni, da bi se podjetju 5.000.000€ investicije povrnilo v desetih letih, zato upamo, da bi bili pripravljene investirati znesek v takšni višini.

Odjemalcem naših končnih produktov bi motivacijo za investicijo lahko predstavljalo zagotavljanje nižjih cen produktov za določeno obdobje. Tržna cena BDO je približno 1.500€, cena THF pa 2.000€. Naša biorafinerija bi letno pridelala 720 ton BDO in 288 ton THF, ki bi ga odjemalcem za obdobje dvajsetih let dobavljali po 15% nižji ceni, kakor je cena na tržišču. 15% celotne vrednosti letno pridelanega BDO in THF predstavlja 216.000€, ki bi jih odjemalci letno prihranili, v kolikor bi jim produkt dobavljala naša biorafinerija. To pomeni, da bi se odjemalcem 2.500.000€ investicije

povrnilo v približno dvanajstih letih, v nadaljnjih osmih letih pa bi jim nižje cene produkta zagotavljale 216.000€ dobička letno. Upamo, da bi to bila zadostna motivacija za skupno investicijo odjemalcev v višini 2.500.000€.

Skupno bi torej upali na privatno investicijo poslovnih partnerjev v višini 7.500.000€.

6.2. PRIDOBIVANJE EVROPSKIH SREDSTEV

Poleg privatnih sredstev, bi za postavitev biorafinerije poskušali pridobiti tudi sredstva iz Evropskih skladov, pri čemer bi se osredotočili na Evropski sklad za regionalni razvoj (ESRR).

Cilj ESRR je krepitev gospodarske in socialne kohezije v Evropski uniji z odpravljanjem neravnovesij med regijami. ESRR usmerja naložbe v več ključnih prednostnih področjih. Ta pristop se imenuje "tematska osredotočenost":

- inovacije in raziskave,
- digitalna agenda,
- podpora za mala in srednje velika podjetja (MSP),
- nizkoogljično gospodarstvo.

Obseg sredstev ESRR, dodeljenih za ta prednostna področja, je odvisen od kategorije regije:

- v bolj razvitih regijah mora biti vsaj 80 % sredstev namenjenih za vsaj dve od navedenih prednostnih področij;
- v regijah v prehodu mora biti za ti področji namenjenih 60 % sredstev;
- v manj razvitih regijah mora biti za ti področji namenjenih 50 % sredstev.

Poleg tega mora biti del sredstev ESRR namenjenih izključno za projekte v zvezi z nizkoogljičnim gospodarstvom:

- bolj razvite regije: 20 %;
- regije v prehodu: 15 % in
- manj razvite regije: 12 %.

(http://ec.europa.eu/regional_policy/index.cfm/sl/funding/erdf/)

V našem primeru bi torej za pridobivanje sredstev Evropskega sklada za regionalni razvoj morali izpolnjevati pogoje, ki so predvideni za manj razvite regije, saj Sladki Vrh spada v vzhodno kohezijsko regijo. Ker bi šlo za malo ali srednje veliko podjetje, ki podpira prehod na nizkoogljično gospodarstvo in bi potencialno lahko predstavljalo tudi vir inovacij in priložnosti za raziskave, smo mnenja, da naš projekt v večji meri zajema tudi ključna prednostna področja, ki so zastavljena v okviru Evropskega sklada za regionalni razvoj.

Ker bi se biorafinerija nahajala v vzhodni kohezijski regiji, bi bila potrebna količina privatnih sredstev minimalno 20%. V kolikor bi bila investicija s strani poslovnih partnerjev načrtovanih 7.500.000€, bi to pomenilo, da lahko iz Evropskega sklada za regionalni razvoj pridobimo do 30.000.000€.

Maksimalna skupna sredstva za postavitev biorafinerije bi torej znašala 37.500.000€.

6.3. OBRATOVALNA SREDSTVA

V kolikor bi celotno letno proizvodnjo BDO in THF prodajali po 15% nižji ceni od tržne, bi letni promet biorafinerije znašal 1.440.000€. Ob predpostavki, da substrat odkupujemo po 50€/tona, bi strošek nakupa substrata znašal 500.000€, kar pomeni, da bi za samo obratovanje biorafinerije in kritje logističnih stroškov ostalo 904.000€ letno.

7. ZAKLJUČEK

Opravljen seminarsko delo je idejna zasnova, zato je v tem času še daleč od realizacije. V pozitivni veri za uresničitev le te, bi s postavitvijo biorafinerije ustvarili nova delovna mesta in krepili mednarodno konkurenčnost. Možnosti je veliko, a Slovenija nima neomejenih virov biomase, zato je le to potrebno pametno uporabiti. Ocenjujejo, da bo do leta 2020 20% vseh kemikalij biotehnološkega izvora (Innovating ..., 2012), zato smo mnenja, da Slovenija ne sme zamuditi priložnosti in se mora čim prej vključiti v prestrukturiranje kemijske industrije.

8. VIRI

- Bešter J. 2014. Analiza trendov in potencialov za prehod Slovenije v krožno gospodarstvo. Ljubljana, Inštitut za ekonomska raziskovanja: 49 str.
- Biddy, M. J., Scarlata, C., in Kinchin, C. 2016. Chemicals from biomass: A market assessment of bioproducts with near-term potential (No. NREL/TP--5100-65509). National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO (United States)
- Cel krog, projekt. <http://celkrog.si/> (16. jan 2018)
- Genomatica. 2015. Genomatica advances the commercial readiness of biomass feedstocks for chemicals. <http://www.genomatica.com/news/press-releases/genomatica-advances-commercial-readiness-biomass-feedstocks-for-chemicals/> (16. jan 2018)
- Gratkorn Mill, spletna stran. <https://www.sappi.com/gratkorn-mill> (19. jan 2018)
- Helios, spletna stran. <http://www.helios-group.eu/news/> (16. jan 2018)
- Innovating for sustainable growth: A bioeconomy for Europe. 2012. Brussels, European Commission: 64 str. http://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/bioeconomycommunicationstrategy_b5_brochure_web.pdf (16. jan 2018)
- Isikgor F.H., Becer C.R. 2015. Lignocellulosic biomass: a sustainable platform for the production of bio-based chemicals and polymers. *Polymer Chemistry*, 4497-4559
- Yan, L., Zhang, L., in Yang, B. 2014. Enhancement of total sugar and lignin yields through dissolution of poplar wood by hot water and dilute acid flowthrough pretreatment. *Biotechnology for biofuels*, 7.1.76
- Kamm B., Kamm M., 2004. Principles of biorefineries. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 64: 137-145
- Lane J. 2013. Genomatica and the Art of Big Wave Surfing. *Biofuels Digest*. <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2013/02/12/genomatica-and-the-art-of-big-wave-surfing/> (16. jan 2018)
- McCoy, Michael. 2015. BioAmber Has Plans For Butanediol Plant. *Chemical & Engineering News*

Yan, Kai, Guosheng Wu, Todd Lafleur, and Cody Jarvis. 2014. Production, properties and catalytic hydrogenation of furfural to fuel additives and value-added chemicals. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 38.663-676. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.003> (16. jan 2018)

Melamin. 2018. Brošura podjetja. <http://www.melamin.si/wp-content/uploads/2016/11/Melamin-CompanyBrochure2014.pdf> (16. jan 2018)

Novamont Press Office. 2016. OPENING OF THE WORLD'S FIRST INDUSTRIAL SCALE PLANT FOR THE PRODUCTION OF BUTANEDIOL VIA FERMENTATION OF RENEWABLE RAW MATERIALS <http://www.novamont.com/eng/read-press-release/mater-biotech/> (16. jan 2018)

Peleteiro, S., Garrote, G., Santos, V., in Parajó, J. C. 2014. Furan manufacture from softwood hemicelluloses by aqueous fractionation and further reaction in a catalyzed ionic liquid: a biorefinery approach. *Journal of cleaner production*, 76.200-203

Pettersen, R. C. 1984. The chemistry of solid wood. *Advances in chemistry series*, 207:57-126

Plastika Skaza, spletna stran. <https://www.skaza.si/> (16. jan 2018)

Predilnica Litija, spletna stran. <https://litija.com/sl/o-litiji/> (16. jan 2018)

Pruckmayr, G., Dreyfuss, P., in Dreyfuss, M. P. 2000. Polyethers, tetrahydrofuran and oxetane polymers. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*

The Role of Biomass, Bioenergy and Biorefining in a Circular Economy, Harriëtte Bos, Bert Annevelink & Rene van Ree IEA workshop, Paris, 10 January 2017

OECD (2013). *Innovation-driven Growth in Regions: The Role of Smart Specialisation*.

Taylor, R., Natrass, L., Alberts, G., Robson, P., Chudziak, C., Bauen, A., in Chiamonti, D. 2015. From the sugar platform to biofuels and biochemicals. Final Report for the European Commission Directorate-General Energy N (ENER/C2/423-2012/SI2. 673791)

ToolBox, spletna stran: https://www.engineeringtoolbox.com/density-materials-d_1652.html (19. jan 2018)

9. PRILOGE

PRILOGA 1

Predlegnica 4: Karakteristike različnih lesnih substratov (vir: Inštitut za celulozo in papir)

Vzorec	Celuloza %	Hemiceluloza %	Lignin %
Navadni trst	33	32	26
Rozga	34,2	4,27	19,64
Japonski dresnik	40	30	25
Pajesen	31,96	36,9	23,6
Rudbekija	36,52	38,8	16,79
Kanela	38,77	33,25	37,1
Pelin	31,37	42,03	20,15
Konoplja	43	26	20
Topol	40,49	37,42	20,94
Bukev skorja	19,33	39,74	30,18
Lešnikove lupine	33,06	34,26	34,40
Pšenični otrobi	13,14	57,55	5,76
Kavne lušine	22,05	20,52	19,22
Kartonski prah	40,2	12,8	15,2
Prah iz proizv. tissue	56,48	25,49	3,96
Prah iz proizv. papir	48,51	24,37	15,78
Smrekova žagovina	44,8	27,7	25,2
Mešana žagovina	44,7	25,2	27,5