

Anni Bruun

BIOÖLJYN KÄYTTÖKOHTEET JA VAIKUTUKSET KANNATTAVUUTEEN

Opinnäytetyö
Prosessitekniikka

2019



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Tekijä	Tutkinto	Aika
Anni Bruun	Insinööri (AMK)	Huhtikuu 2019
Opinnäytetyön nimi Bioöljyn käyttökohteet ja vaikutukset kannattavuuteen		47 sivua 1 liitesivu
Toimeksiantaja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu kuitulaboratorio		
Ohjaajat Ritva Käyhkö ja Noora Haatanen, Xamk		
Tiivistelmä Työn tavoitteena oli koostaa kirjallisuuskatsaus bioöljyn erityisesti korkeamman jalostusarvon käyttökohteista sekä kustannusanalyysi, jossa selvitettiin bioöljyn valmistamisen taloudellista kannattavuutta Savonlinnan seudulla. Kustannusanalyysiä varten luotiin kustannuslaskelma, jonka pohjalta luotiin laitoksen kannattavuuden investointilaskelmat. Laitokselle tehtiin lisäksi herkkyystarkastelu, jossa muuttuvina tekijöinä toimivat raaka-aineen hinta, bioöljyn myyntihinta sekä investointituen vaikutus kokonaiskustannukseen. Lisäksi selvitettiin pikapyrolyysiprosessilla tuotetun bioöljyn jatkojalostuspolut. Jatkojalostuskohteiden lähdemateriaaleina käytettiin erilaisia tieteellisiä artikkeleita sekä muita julkisia lähteitä, kuten yritysten omia kotisivuja. Kustannustarkastelua tehtäessä selvisi, että bioöljylaitoksen taloudellinen kannattavuus käytetyillä lähtöarvoilla olisi kohtalaisen hyvä. Laitoksen herkkyystarkastelussa selvisi, että laitoksen kannattavuuden edellytyksenä on kolmen lähtöarvon toteutuminen eli bioöljyn korkea myyntihinta, alhainen raaka-aineen hinta sekä uuden teknologian hankkeille tarkoitettun investointituen saaminen. Bioöljyn käyttökohteita tarkasteltaessa selvisi kaupallista tuotantoa olevan olemassa pienissä määrin. Opinnäytetyössä syvennyttiin kahden jatkojalostuspolun tutkimiseen. Ensimmäinen niistä on bioöljyn fraktiointi, eli bioöljyn eri jakeiden erottaminen toisistaan. Muodostuvat tuotteet ovat erilaisia hartseja ja fenoleita. Toinen jatkojalostuspolku on bioöljyn käsittely vedyllä katalyytin avulla. Tavoitteena opinnäytetyössä oli löytää bioöljyn kaupallista tuotantoa erityisesti liikennepolttoaineen käytölle sekä raaka-aineen korvaajaksi muovissa. Liikennepolttoaineille on olemassa koetuantolaitoksia, ja tuotteen kaupallistamista on viety eteenpäin. Bioöljyn käyttöä muovin raaka-aineena on tutkittu, mutta toistaiseksi kaupallista tuotantoa ei sille ole vielä olemassa. Opinnäytetyössä selvisi bioöljyn tuotannon ja hyödyntämisen seuraavissa jalostusvaiheissa olevan edelleen vähäistä, mutta tutkimusta sen eteen tehdään jatkuvasti. Muutokset lainsäädännössä, kuten biopolttoaineiden sekä -öljyjen jakeluvelvoitteen kiristämistä koskevan lain hyväksyminen, edistäisi merkittävästi bioöljyn hyödyntämistä uusiutuvana biopolttoaineena maantieliikenteessä sekä lämmöntuotannossa.		
Asiasanat bioöljy, pikapyrolyysi, teknillistaloudellinen analyysi		

Author	Degree	Time
Anni Bruun	Bachelor of Engineering	April 2019
Thesis title		47 pages 1 page of appendices
Applications of bio-oil and its impact on economic profitability		
Commissioned by		
South-Eastern Finland University of Applied Sciences, The fiber laboratory		
Supervisors		
Ritva Käyhkö and Noora Haatanen, Xamk		
Abstract		
The objective of the thesis was to compile a literature review, for higher refinery applications for bio-oil and a cost analysis that explored the economic profitability of bio-oil production in the Savonlinna region. Cost analysis and sensitivity analysis were made for the plant. In sensitivity analysis variable factors were: the selling price of bio-oil, the price of the raw material, as well as the impact of the investment aid for the bio-oil plant. In addition, further processing pathways for bio-oil produced by the fast pyrolysis process were investigated. Various scientific articles were used as source material for further processing sites, as well as other public sources, such as the companies' own pages. When making the cost analysis, the results showed that the economic profitability of the bio-oil plant with the initial values used would be moderately good. The sensitivity analysis revealed that the low raw material price, high selling price of bio-oil and investment aid for the plant can have a positive impact on the plant's profitability. Considering the uses of bio-oil, there was a small amount of commercial production. Depending on the desired product, the refining of the bio-oil mainly utilizes either fractionation or the hydrogen treatment of the bio-oil in the presence of a catalyst. The aim of the thesis was to find a commercial production of bio-oil, especially for the use of transport fuel and to replace the raw material in plastic. There are pilot production plants for transport fuels and commercial production plants are also under construction. The use of bio-oil as a raw material for plastics has been studied, but commercial production for it does not yet exist. Although the production and utilization of bio-oil at the following refining stages is still low, the research is being carried out continuously. Legislative changes such as the tightening on the distribution obligation for biofuels and oils would significantly contribute to the exploitation of bio-oil as renewable biofuel for road and heat production.		
Keywords		
Bio-oil, fast pyrolysis, techno-economic analysis		

LYHENNE- JA SYMBOLILUETTELO

%	Prosentti
°C	Celsius
a	vuosi
eur/a	vuosikustannukset
eur/kg	kilohinta
eur/l	litrahinta
eur/MWh	euroa megawatti tuntia kohden
m ³	kuutiometri
MJ/kg	lämpöarvo
mm ² /s	viskositeetti
kwh/odt	kilowatti tunti kuivamassatonna kohden
pH	pH-arvo
t/d	tonnia päivää kohden
snt/kwh	senttiä kilowattituntia kohden
APR	Aqueous Phase Reforming
CPC	Centrifugal partition chromatography

IH ²	Integrated hydrolysis and hydroconversion
TAN	Kokonaishappoluku
VTT	Teknologian tutkimuskeskus

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	BIOÖLJY	9
2.1	Ominaisuudet.....	9
3	JATKOJALOSTUSKOHTEET	12
3.1	Bioöljyn fraktiointi.....	13
3.2	Tuotteet	15
3.3	Liikennepolttoaineet.....	17
3.4	Maaliikenne	20
3.5	Lentokone- ja laivaliikenne	21
3.6	APR-teknologia.....	22
4	KANNATTAVUUS.....	23
4.1	Lainsäädäntö ja taloudelliset ohjauskeinot	23
4.2	Investointilaskelma	24
4.3	Investointilaskentamenetelmät.....	26
4.4	Käyttökustannukset ja kustannuslaskelma	26
4.5	Herkkyystarkastelu	29
5	TULOKSET JA ANALYYSI	29
5.1	Bioöljyn myyntihinnan herkkyytstarkastelu	30
5.2	Raaka-aineen hinnan herkkyytstarkastelu	33
5.3	Investoinnin herkkyytstarkastelu	35
5.4	Kannattavuustulosten merkitys Savonlinnan laitokselle.....	37
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	38
	LÄHTEET.....	41

KUVALUETTELO

Kuva 1 Raaka bioöljy (Fast Pyrolysis, s.a.)	10
Kuva 2 Biopohjaisten tuotteiden hinta-arvioita (Nyberg 2014, 3)	13
Kuva 3 Fraktioinnin seurauksena syntyneet jakeet (Bio-materials & Chemicals s.a.)	14
Kuva 4 Hydropyrolyysiprosessin erilaisia malleja (Resende 2016, 150)	19
Kuva 5 Bioöljyn myyntihinnan herkkyystarkastelu	31
Kuva 6 Raaka-aineen hinnan herkkyystarkastelu	34
Kuva 7 Bioöljylaitoksen investoinnin herkkyystarkastelu	36

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1 Puubiomassasta valmistetun bioöljyn ominaisuuksia (Alakangas ym. 2016, 184).....	10
Taulukko 2 Investointilaskelmissa käytetyt alkuarvot	25
Taulukko 3 Kustannuslaskelma	28
Taulukko 4 Bioöljyn myyntihinnan herkkyystarkastelun lähtö-, sekä muutosarvot	30
Taulukko 5 Raaka-aineen hinnan herkkyystarkastelun lähtö- sekä muutosarvot.....	33
Taulukko 6 Investoinnin herkkyystarkastelu lähtö- sekä muutosarvot	35

LIITE

1. Bioöljylaitoksen kustannuslaskelma sekä herkkyystarkastelu

1 JOHDANTO

Paine kehittää ympäristöystävällisiä ja kestäviä käyttöratkaisuja ihmisten kulutustottumusten vuoksi kasvaa kaiken aikaa. On tärkeää löytää uusia mahdollisuuksia hyödyntää monipuolisesti uusiutuvia luonnonvaroja. Yksi merkittävimmistä kysymyksistä on, miten korvata öljy kestävämmällä tavalla muun muassa fossiilisissa polttoaineissa ja muovin raaka-aineena.

Opinnäytetyössä etsitään erilaisia tapoja sille, miten tulevaisuuden haasteita voisi ratkaista pikapyrolyysillä valmistettavan bioöljyn avulla. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun tutkimusyksikkö Kuitulaboratorio, jonka Savonlinnan alueelle keskittyvässä hankkeessa pyritään edistämään alueen mekaanisen metsäteollisuuden puupohjaisten sivuvirtojen korkeamman jalostusarvon käyttöä. Savonlinna nähdään pikapyrolyysilaitokselle potentiaalisena vaihtoehtona. Sen lähialueilta on saatavissa mekaanisesta metsäteollisuudesta tulevia sivuainevirtoja, pääasiassa erilaisia hakkeita, joita olisi mahdollista hyödyntää pikapyrolyysiprosessin raaka-aineena.

Työn tarkoituksena on koota yhteen teknillistaloudellinen analyysi, jossa tutkitaan bioöljylaitoksen kannattavuutta erilaisten kustannusanalyysien avulla. Lisäksi kootaan yhteen uusin mahdollinen tutkimustieto liittyen bioöljyn jatkojalostusvaihtoehtoihin. Tällä hetkellä bioöljyä pääasiallisesti käytetään lämmityksessä. Tässä työssä keskitytään kuitenkin korkeamman jalostusarvon omaaviin käyttökohteisiin. Erityisen kiinnostaviksi jatkojalostuskohteiksi nähdään bioöljyn hyödyntäminen liikennepolttoaineena sekä muovin raaka-aineena. Työn tavoitteena on koostaa napakka ja selkeä kirjallisuuskatsaus, jota voidaan hyödyntää vastaavanlaisen biojalostamoinvestoinnin edistämisessä alueella.

2 BIOÖLJY

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy on määritellyt bioöljyn olevan erilaisista kasveista, puusta ja metsäteollisuuden sivutuotteista valmistettua öljyä (Alakangas ym. 2016, 8). Bioöljyä valmistetaan pikapyrolyysin avulla. Reaktion tulee tapahtua korkeissa lämpötiloissa noin 500 °C:ssa hapettomissa olosuhteissa. Reaktion tulee kestää vain muutamia sekunteja vaaditussa lämpötilassa, koska sillä estetään toissijaisten reaktioiden eli puuhiilen ja lauhtumattomien kaasujen muodostuminen. Prosessin jäähdyttämisen tulee myös tapahtua nopeasti. (Bridgwater 2011, 69.)

Prosessin tuotteina muodostuu erilaisia kaasuja sekä aerosoleja, jotka nesteytetään bioöljyksi. Muita tuotteita ovat lauhtumattomat kaasut sekä puuhiili. Prosessissa valmistuvan bioöljyn saanto on noin 76 prosenttia kuivan puun painosta. (Alakangas ym. 2016, 182.)

Syötettävä raaka-aine tulisi kuivattaa alle 10 prosenttiin, jotta valmistuvan bioöljyn vesipitoisuus saataisiin minimoitua. Raaka-aineena käytettävän puuhakkeen tulee olla pituudeltaan hienojakoista, vähemmän kuin 3 mm pitkää kuivua, sillä biomassan lämmönjohtokyky on varsin alhainen. (Bridgwater 2011, 69.) Pienellä, hienojakoisella raekoolla varmistetaan reaktion tapahtuvan nopeasti (Meier ym. 2013, 621). Kuten annetuista tiedoista on nähtävissä, on kyseessä parametrien herkkää ja varovaista säätöä vaativa prosessi, jonka pienetkin muutokset voivat vaikuttaa bioöljyn saantoon.

2.1 Ominaisuudet

Bioöljy on ruskeaa, hapahkoa tervanhajuista nestettä (kuva 1), joka koostuu useista sadoista erilaisista kemiallisista yhdisteistä. Sen ominaisuudet poikkeavat fossiilisten polttoaineiden ominaisuuksista. (Alakangas ym. 2016, 182.) Ominaisuudet vaikuttavat siihen, kuinka bioöljyä voidaan käsitellä jalostusprosessien myöhemmissä vaiheissa.



Kuva 1 Raaka bioöljy (Fast Pyrolysis, s.a.)

Taulukkoon 1 on koottu bioöljyn ominaisuuksia. Kuten taulukosta on nähtävissä, voi bioöljyn koostumus vaihdella huomattavasti. Ominaisuuksiin vaikuttavat muun muassa raaka-aineen laatu ja koostumus, reaktorissa käytetty lämpötila, reaktioaika sekä pikapyrolyysissä muodostuvan kaasun jäähdytysnopeus (Bridgwater 2011, 69).

Taulukko 1 Puubiomassasta valmistetun bioöljyn ominaisuuksia (Alakangas ym. 2016, 184)

Ominaisuus	Arvo
Vesipitoisuus	20-30 p-%
pH	2-3
TAN-luku	70-100
Tiheys (15 °C)	1,10-1,30 kg/dm ³
Alkuaine analyysi:	
Hiili	50-60 p-%
Vety	7-8 p-%

Happi	35-40 p-%
Typpi	<0,4 p-%
Rikki	< 0,05 p-%
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa	13-18 MJ/kg
Viskositeetti (40 °C)	15-35 mm ² /s
Tuhkapitoisuus	0,01-0,1 p-%

Yksi suuri ero bioöljyn sekä fossiilisten polttoaineiden välillä tulee ilmi veden osuudesta bioöljyssä. Kuten taulukosta on nähtävissä, on osuus korkea, noin 25 painoprosenttia. Fossiiliset polttoaineet eivät käytännössä sisällä vettä juuri ollenkaan. (Alakangas ym. 2016, 183-184). Veden osuuteen on mahdollista vaikuttaa jonkin verran raaka-aineen kuivatuksen avulla. Veden suuri osuus vaikuttaa omalta osaltaan bioöljyn ominaisuuksiin. Bioöljyn viskositeetti pienenee, kun veden osuus bioöljyssä kasvaa. Toisaalta runsas veden määrä bioöljyssä alentaa lämpöarvoa, joka lisää bioöljyn kulutusta käytössä. (Bridgwater 2011, 79.)

Myös bioöljyn happipitoisuus on korkea, noin 35-40 painoprosenttia. Typen ja erityisesti rikin painoprosenttiosuudet ovat kuitenkin pienempiä. Typen osuus on alle 0,4 p-% ja rikin alle 0,05 p-%. Bioöljyn alhainen pH sekä korkea TAN-luku eli kokonaishappoluku puolestaan johtuvat prosessin aikana syntyvistä orgaanisista hapoista, joita ovat esimerkiksi muurahais- ja etikkahappo. Bioöljyn tiheys vaihtelee 1,1-1,3 kg/dm³ välillä. Sen lämpöarvo on 13-18 MJ/kg. (Alakangas ym. 2016, 183-184.) Bioöljy liukenee poolisiin liuottimiin kuten metanoliin ja asetoniin. Raakaöljypohjaisiin liuottimiin se ei liukene ollenkaan (Bridgwater 2011, 79). Bioöljyn viskositeetti on 15-35 mm²/s, joka on raskaan ja kevyen polttoöljyn väliltä (Alakangas, ym. 2016, 183). Viskositeetti voi kasvaa ajan kuluessa, mikä johtuu bioöljyn epästabiilisuudesta (Bridgwater 2011, 79).

3 JATKOJALOSTUSKOHTEET

Bioöljyä hyödynnetään tällä hetkellä erityisesti lämmön- ja energiantuotannossa niin Suomessa kuin ulkomaillakin. Työssä ei kuitenkaan olla puututtu näihin polkuihin, sillä on haluttu löytää korkeamman jalostusasteen käyttöpolkuja, joilla bioöljyn taloudellista arvoa voitaisiin kasvattaa. Opinnäytetyössä on perehdytty enemmän kahteen jalostuspolkuun, joilla siihen nähdään olevan potentiaalia.

Ensimmäinen pääjalostuspolku perustuu bioöljyn jakeitten erotukseen eli fraktiointiin toisistaan. Fraktioinnin etu nähdään siinä, että tällä menetelmällä bioöljyn sisältämät eri yhdisteet on mahdollista hyödyntää monipuolisesti teollisuuden eri osa-alueilla. Bioöljyn fraktioinnista kerrotaan enemmän luvussa 3.1.

Toinen pääjalostuspolku perehtyy bioöljyn käsittelyyn vedyllä, jotta hapen ja veden määrä saataisiin minimoitua ja vastaavasti hiilivetyjen määrä maksimoitua bioöljyssä. Prosessi on tarpeellinen suorittaa, jotta bioöljyn käyttö mm. liikennevälineissä olisi mahdollista. Bioöljyn jalostusta biopolttoaineeksi on aikaisemmin pidetty työläänä prosessina, mutta nykyisin sen kehittämisessä on otettu askeleita kohti kaupallista käyttöä, kuten luvuissa 3.4 ja 3.5 on kerrottu. Tutkimus- ja kehitystyötä tapahtuu niin maa-, meri-, kuin ilmailuliikenteenkin tarpeita ajatellen.

Joillekin bioöljyn jatkojalostuksessa valmistuville tuotteille on löytynyt hinta-arvioita, jotka on esitetty kuvassa 2. Alhaisemmilta tasoilta löytyvät tuotteet, joiden tuotantovolyymi on suuri, mutta jalostusarvo vähäinen. Tasoja ylöspäin noustessa tuotteen jalostusarvo kasvaa, mutta vastaavasti tuotteen tuotantovolyymi jää matalammaksi.



Kuva 2 Biopohjaisten tuotteiden hinta-arvioita (Nyberg 2014, 3)

Kuten kuvasta on havaittavissa, on raaka bioöljy sijoittunut asteikon alemmalle tasolle. Uusia jatkojalostuspolkuja silmällä pitäen on kuitenkin positiivista nähdä bioöljystä valmistettavien tuotteiden hinta-arvioissa tapahtuvan kasvua. Esimerkiksi fenolihartseja valmistetaan tällä hetkellä jo kaupalliseen käyttöön, kuten luvussa 3.2 on kerrottu. Vieläkin korkeampia jalostusarvon omaavia tuotteita on mahdollista valmistaa, mutta niissä kehitys on toistaiseksi vielä pitkällä aikavälillä tapahtuvaa tuotteiden korkeiden laatuvaatimusten vuoksi. Kuvassa ei myöskään olla esitetty hinta-arvioita biopolttoaineille.

3.1 Bioöljyn fraktiointi

Bioöljy koostuu monenlaisista yhdisteistä, joiden rakenne sekä kemialliset ominaisuudet vaihtelevat (Alakangas, ym. 2016, 183). Monimutkainen kemiallinen rakenne voi tehdä bioöljyn käsittelystä haastavaa joitakin jatkojalostus-

polkuja ajatellen. Toisaalta koostumuksessa on myös etunsa, sillä se mahdollistaa eri yhdisteiden erottamisen toisistaan. Erotelluille yhdisteille voidaan luoda omat jatkojalostuspolut, joissa tuote hyödynnetään sille sopivalla tavalla.

Fraktioimalla valmiista bioöljystä on mahdollista erotella halutut jakeet esimerkiksi ligniini, sokerit ja erilaisia orgaanisia yhdisteitä, muun muassa happoja sisältävä vesifaasi toisistaan (Bio-materials & Chemicals s.a.). Jakeet on esitetty kuvassa 3. Jakeita voidaan jatkojalostaa eteenpäin ja selvittää niille omat käyttökohteensa kuten tässä luvussa myöhemmin kerrotaan.



Kuva 3 Fraktioinnin seurauksena syntyneet jakeet (Bio-materials & Chemicals s.a.)

Esimerkiksi Le Maslen tutkimusryhmä on fraktioinut bioöljyä CPC-tekniikalla (Centrifugal partition chromatography), jonka tavoitteena on erottaa happea sisältävät komponentit bioöljystä niiden spesifisen jakautumiskertoimen mukaan. Kyseessä on nestekromatografinen menetelmä, jossa aineiden erottuminen tapahtuu kahden eri faasin välillä. Prosessi tapahtuu sentrifugissa, jossa toinen faaseista pysyy liikkumattomassa tilassa ja toinen liikkuvana. Toisiinsa sekoittumattomat nestefaasit sekoitetaan sekä erotetaan toisistaan useita kertoja. Yksittäiset liuokset eristetään kunkin yhdisteen eri jakaantumiskertoimen perusteella systeemistä, jonka jälkeen ne kerätään talteen ja tunnistetaan. (Le Masle ym. 2018, 117.)

3.2 Tuotteet

Eri teollisuudenaloille kemikaaleja valmistava yritys Hexion on hyödyntänyt bioöljyn fraktioinnissa erotettua ligniiniä osittain korvaamaan fossiilipohjaisia fenoleita valmistamissaan hartseissa. Yritys on tuonut markkinoille kaksiosaisen liiman, EcoBind™ 6500 hartsin sekä Wonderbond™ M650Y kovettajan erityisesti puuta käyttävän rakennusteollisuuden tarpeita varten. (Hexion launches... 2017.) Hexion arvioi, että fenolihartsien fossiilisesta raaka-aineesta 65 % pystyttäisiin korvaamaan ympäristöystävällisemmillä vaihtoehdoilla (Bio4Products 2018).

TransFurans Chemicals käyttää bioöljyn fraktioinnissa eroteltuja sokereita korvaamaan öljypohjaisia komponentteja hiekkahartseissaan (Bio4Products 2018). Sokerit jalostetaan furfuraalialkoholiksi, josta ne jatkojalostetaan edelleen hartseiksi. Furfuraalialkoholista valmistetut tuotteet kulkevat nimillä Furo-lite™ sekä BioRez™. Hartseja voidaan käyttää monipuolisesti erilaisissa sovelluksissa niin liikennevälineiden kuin rakennusteollisuuden eri komponenteissa. (Our products 2018.)

Kattomateriaaleihin erikoistunut Derbigum valmistaa bioöljyn fraktiointiprosessissa erotellusta ligniinistä vedenkestävää katolle tarkoitettua membraania (Bio4products 2018). Patentoitu ja useita sertifikaatteja saanut Derbipure® membraani ei sisällä bitumia tai muita öljypohjaisia materiaaleja ollenkaan ja se on 100 % kierrätettävissä. Membraani on pH neutraali, joka mahdollistaa katolta kerättävän sadeveden kierrättämisen. (Derbigum, s.a.)

TransFurans Chemicals hyödyntää aiemmin mainittuja furfuraalialkoholeja sitomalla niitä kehittämällään tekniikalla puun soluseinämään. Tekniikan avulla parannetaan havupuun kestävyysominaisuuksia vastaamaan trooppisten lehtipuiden ominaisuuksia, jolloin valmistuvaa tuotteita voisi hyödyntää rakennus- ja huonekaluteollisuuden eri komponenteissa. (Building & construction 2018.) Ensimmäisen testausvaiheen päätyttyä TFC perustaa tekniikkaa varten pienimuotoisen testihankkeen (Bio4products 2018).

Yhdysvaltalainen yritys Avello valmistaa bioöljystä fraktioituja fenoleita asfaltissa käytettävien fossiilisten sideaineitten korvaajaksi. Biopohjaista sideainetta käytettäessä asfalttia ei tarvitse lämmittää korkeisiin lämpötiloihin, kun sitä levitetään maahan. Avellon mukaan tällä voidaan vähentää päällystekustannuksia 20 prosenttia ja kasvihuonepäästöjä jopa 30 prosenttia, koska energiaa ei tarvita lämmitykseen yhtä paljon kuin fossiilisia sideaineita käytettäessä. (Asphalt binder, s.a.)

Vanilliini on yksi käytetyimpiä aromia ja makuaineita maailmassa. Norjalainen yritys Borregaard valmistaa sellu- ja paperitehtaitten sivuvirroista muodostuvasta ligniinistä muun muassa elintarvike- ja kosmetiikkateollisuudessa käytettävää vanilliinia. (Borregaard, s.a.) Prosessin raaka-aineena käytetään kuusta, josta fraktioinnin avulla eroteltu ligniini hapetetaan kuparikatalyytin läsnä ollessa vanilliiniksi (Tjosås, F. 2017).

Polyuretaani, eli polyuretaanivaaho on rakennusteollisuudessa yleisesti käytetty materiaali, jonka alhainen lämmönjohtokyky sekä hyvät kestävyysominaisuudet tekevät siitä hyvän lämmöneristeen (PU Nordic, s.a.). Polyuretaanin pääasiallinen raaka-aine on öljy, jonka vuoksi bioöljystä etsitään vaihtoehtoa sen korvaajaksi. Jotta bioöljyä voisi käyttää polyuretaanin raaka-aineena, täytyy siitä poistaa vesi, sekä happamuutta aiheuttavat yhdisteet, sillä korkea vesipitoisuus sekä alhainen pH vaikeuttavat bioöljyn käyttöä sellaisenaan. (Bridgwater, 2003. 97.)

Tim Schulzken tutkimusryhmä on tehnyt tutkimuksia, jotka liittyivät bioöljystä valmistetun polyuretaanin ominaisuuksien tarkasteluun. Kiinnostus bioöljyn hyödyntämisestä polyuretaanin valmistuksessa heräsi, koska se sisältää paljon funktionaalisia OH-ryhmiä, eli alkoholiryhmiä. Samoja funktionaalisia ryhmiä löytyy polyoleista eli sokerialkoholeista, joita käytetään tällä hetkellä polyuretaanin valmistuksessa. Tavoitteena olisi, että polyolit pystyttäisiin korvaamaan biomassapohjaisilla komponenteilla. (Schulzke ym. 2018, 196.)

Tutkimuksessa selvisi, että OH-ryhmät ovat mahdollista korvata polyuretaanivaahdossa bioöljystä saatavilla OH-ryhmillä. Bioöljypohjaisen polyuretaanivaahdon lämmönjohtavuusominaisuudet sekä puristuslujuus vastasivat hy-

vin perinteisin tavoin valmistetun polyuretaanivaahdon kirjallisuusarvoja. Saatut tulokset ovat lupaavia ja tuotteella on potentiaalia menestyä rakennus- alalla, mutta aiheen lisätutkimus on tarpeellista. (Schulzke ym. 2018, 201-202.)

Pikapyrolyysiprosessissa muodostuvia höyryjä on hyödynnetty siten, että höyry kerätään talteen ja kondensoidaan, jolloin höyry nesteytyy. Tuotteet puhdistetaan myrkyllisistä ja karsinogeenisistä epäpuhtauksista suodattamalla jäljelle jäänyt neste. (Lingbeck ym. 2014, 198.) Yhdysvaltalainen yritys Red Arrow hyödyntää sahateollisuudessa sivutuotteena syntyvää sahanpurua omissa prosesseissaan (Harris 2015, 226). Yritys myy nestesavua sellaise- naan, sekä elintarvikkeita, joihin savuaromi on imeytetty nestesavun avulla. Yritys ei käytä prosesseissaan mitään kemikaaleja tai keinotekoisia makuai- neita. (Red Arrow 2018.)

3.3 Liikennepolttoaineet

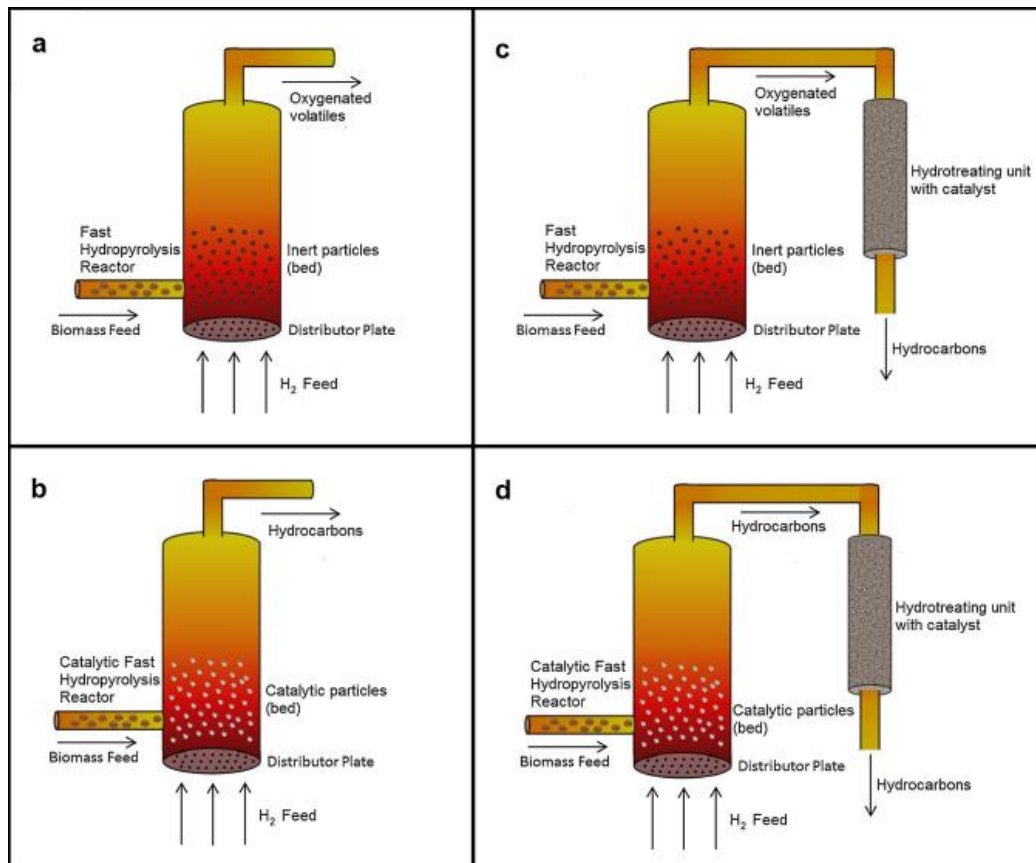
Kiinnostusta biopolttoaineiden käyttöä kohtaan ohjaa liikenteen kasvihuone- päästöjen vähentäminen, sekä pyrkimys riippumattomuuteen yhä kalliimmaksi käyvän fossiilisen öljyn käytöstä. Toistaiseksi biopolttoaineiden käytön edistä- minen on perustunut lähinnä liikennepolttoaineiden myyjille asetettavaan jake- luvelvoitteeseen, joka tarkoittaa biopohjaisten alkoholien ja biodieselin sekoit- tamista yhä enenevässä määrin fossiilisen bensiinin ja dieselin sekaan. (Mo- tiva, s.a.) Jakeluvelvoite on osa EU:n ja Suomen ilmasto- sekä energiapolitiik- kaa, joka on asettanut tavoitteet lisätä liikenteen biopolttoaineiden käyttöä.

Bioöljyn jatkojalostamiselle liikennepolttoaineeksi on kehitetty erilaisia vaihto- ehtoja. Eniten on tutkittu vetykäsittelyprosessia, joka tapahtuisi bioöljylle pika- pyrolyysin jälkeen omassa yksikössään. Bioöljy haihdutetaan uudelleen kaa- suksi, jolloin se reagoi vedyn kanssa katalyytin läsnä ollessa. Prosessia kui- tenkin pidetään kalliina, koska vedyn tarve on noin 3-5 painoprosenttia suh- teessa bioöljyn massaan, jolloin tuotteen saannoksi tulisi 58 prosenttia. (Re- sende 2016, 149.)

Katalyyttisessä pikapyrolyysissä puolestaan valmistetaan hiilivetyjä siten, että prosessiin lisätään zeoliittikatalyyttiä, muttei vetyä. Tuote on tasalaatuista bioöljyä. Prosessin huonona puolena on sen pieni saanto, joka on parhaimmillaankin vain 20-30 prosenttia. Lisäksi noin 30 prosenttia hiilestä jää kuona-aineksi reaktoriin haitaten katalyytin toimintaa. (Resende 2016, 149.)

Kolmas ja uusi vaihtoehto on vetykäsittelyn sekä katalyyttisen pikapyrolyysin yhdistelmä eli hydropyrolyysi. Hydropyrolyysiä pidetään kehittyneempänä tapana tuottaa liikennepolttoaineeksi sopivaa bioöljyä. Toisin kuin pikapyrolyysissä, reaktoriin ei lisätä hiekkaa ollenkaan. Koska prosessi on eksoterminen, ei lämmönsiirtäjänä toimivaa hiekkaa tarvita. Reaktorissa sen sijaan on vetyä ja mahdollisesti muuta inerttiä kaasua, esimerkiksi typpeä. (Resende 2016, 149.)

Reaktorissa korkeissa lämpötiloissa pelkistyvän vetykaasun tehtävänä on tuottaa vetyradikaaleja, jotka reagoivat biomassasta haihtuvien kaasujen kanssa. Kaasujen hiilihappisidokset hajotetaan ja ne korvataan hiilivetysidoksilla, jolloin bioöljystä poistuu sille epäedullinen happi. Happi poistetaan prosessista veden, hiilimonoksidin ja hiilidioksidin muodossa. (Resende 2016, 148-149.) Kuvassa 4 on esitelty erilaisia malleja hydropyrolyysille.



Kuva 4 Hydropyrolyysiprosessin erilaisia malleja (Resende 2016, 150)

Kaikissa prosesseissa reaktoriin syötetään raaka-ainetta eli biomassaa, mutta sen jälkeen prosessit eroavat toisistaan. Kohdassa a reaktoriin ei lisätä katalyyttiä. Reaktorin jälkeen ei myöskään ole vetykäsittely-yksikköä, jolla parannettaisiin prosessin saantoa. Tätä tapaa ei pidetä kovin tehokkaana, sillä se ei poista happea bioöljystä riittävän hyvin. Kohdassa b reaktoriin on vastaavasti lisätty katalyyttiä, jonka avulla hapen määrä bioöljyssä saadaan minimoitua. Prosessin jälkeen ei kuitenkaan ole vetykäsittely-yksikköä. Muodostuneet kaasut ovat erilaisia aromaattisia hiilivetyjä, joiden saannot jäävät pieniksi. Se johtuu siitä, että kukin aromaattinen hiilivety tarvitsee muodostuakseen erilaisen reaktiolämpötilan, eikä tätä vaatimusta ole mahdollista toteuttaa yhdessä ja samassa reaktorissa. (Resende 2016. 151-152.)

Kohdassa c prosessiin ei lisätä katalyyttiä, mutta muodostuneet kaasut ohjataan vastaavasti katalyyttiä sisältävään vetykäsittely-yksikköön, jossa ne jalostetaan lopputuotteeksi. Menetelmä mahdollistaa paremman saannon, kun happi saadaan poistettua kokonaan tuotteesta. Reaktorin jälkeisen vetykäsittelyn avulla lopputuotteena muodostuu yksinkertaisia hiilivetyjä.

Kohdassa d reaktoriin on lisätty katalyyttiä. Hydropyrolyysin jälkeen muodostuneet kaasut ohjataan myös katalyyttiä sisältävään vetykäsittelyyn, jossa kaasut lopuksi nesteytetään biopolttoaineeksi. Prosessissa muodostuvan tuotteen kokonaishappoluku eli TAN-luku, on enää vain 0,3 ja happipitoisuus 0,4 tilavuusprosenttia. Esimerkiksi CRI/Criterion Catalyst Company on kehittänyt tätä prosessia ja siinä käytettäviä katalyyttejä eteenpäin. (Resende 2016, 153.)

Resende on koostanut yhteen huomioita artikkelissaan liittyen katalyyttien toimintaan. Prosessissa mukana olevilla katalyyteillä on mahdollista vaikuttaa tuotteiden saantoon. Osalla katalyyteistä on taipumusta suosia reaktioita, joissa muodostuu hiilivetyjen lisäksi vettä. Reaktion huonona puolena on, että tällöin vedyn tarve prosessissa kasvaa. Jos vetyä ei ole tarpeeksi, lopputuotteena muodostuu epätoivottuja aromaattisia hiilivetyjä samalla tavalla kuin kohdassa b. Toisaalta on myös mahdollista käyttää katalyyttiä, joka suosii reaktioita, joissa muodostuu hiilivetyjen lisäksi hiilimonoksidia ja hiilidioksidia. Tällöin vedyn tarve prosessissa vähenee, mutta samalla hiilivetyjen muodostumiseen tarvittava hiili kulkeutuu prosessista pois yllämainittujen kaasujen muodossa. Seurauksena hiilivetyjen saanto pienenee. (Resende 2016, 152-153.)

3.4 Maaliikenne

Shellin alaisuudessa toimiva CRI/Criterion Catalyst Company Limited on jalostanut IH²® (Integrated hydropyrolysis and hydroconversion) teknologiaa omissa integroiduissa koelaitoksissaan, joissa raaka-aineena käytetään monipuolisesti erilaisia biomassoja. Käytetyistä raaka-aineista puu on tähän tarkoitukseen ihanteellinen. (Lane 2016.) Laitos valmistui vuonna 2017 ja sen tuottaa 2000 t/d puu biomassasta 60,9 miljoonaa galloniaa/ vuosi eli 230 miljoonaa litraa / vuosi (Integrated hydropyrolysis and... 2018). Toinen koelaitos on aloittanut toimintansa alkuvuodesta 2018 (Process development for... 2018). Laitokset on tosin integroitu jo olemassa oleviin etanolin tuotantolaitoksiin, joiden sivuvirtoja hyödynnettäisiin bioöljyn valmistuksessa.

Norjalla ja Ruotsilla on myös meneillään yhteinen hanke, jossa norjalainen sahatehdasyhtiö Bergene Holm AS ja Ruotsalainen öljy-yhtiö Preem AB yhdistyivät yhteisyritykseksi nimellä Biozin Holding AS. Yhtiö käyttää prosessissa ylempänä mainittua IH²®-teknologiaa. Laitoksen tuotantokapasiteetiksi on ilmoitettu olevan 120 000 m³ bioraakaöljyä vuodessa (Biozin. 2017).

Preem on kasvattanut yhteistyötään myös Ruotsin omilla markkinoilla, sillä se ja metsäteollisuusyhtiö Setra tutkivat mahdollisuutta rakentaa yhteinen tuotantolaitos bioöljyn valmistusta varten. Laitokselle on haettu ympäristölupaa ja sen olisi tarkoitus valmistua vuonna 2021. Raaka-aineena käytettäisiin sahalta tulevaa sahanpurua. Laitoksen arvioidaan tuottavan bioöljyä 25 000 tonnia vuodessa. (Setra, 2018.) Kyseisellä laitoksella valmistettava bioöljy on tarkoitettu jatkojalostaa liikennepolttoaineeksi Preemin olemassa olevalla jalostamolla Lysekilissä.

3.5 Lentokone- ja laivaliikenne

Lentokoneille sopivan bioöljyn jalostuksessa kehitystyötä on tehnyt Honeywell UOP, joka hyödyntää omissa jatkojalostusprosesseissaan vetykäsittelyä (Gutiérrez-Antonio ym. 2017, 713). Valmista biopolttoainetta on toistaiseksi vain sekoitettu fossiilipohjaiseen polttoaineeseen, jolloin ollaan saavutettu lentokoneessa käytettävän polttoaineen halutut ominaisuudet (Honeywell Green Jet Fuel™ 2018). Biopohjaista polttoainetta on käytetty jo useilla testilennoilla ympäri maailmaa. Lähes puolet niistä on tehty biopolttoaineella, joka on valmistettu UOP Honeywellin kehittämän prosessin avulla. (Gutiérrez-Antonio ym. 2017, 723-725.)

Koska bioöljy on rikkivapaata, ollaan sen käytöstä laivojen polttoaineena erityisen kiinnostuneita. EU on direktiivissään (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/33/EU) tiukentanut laivoissa käytettyjen polttoaineiden rikkipitoisuutta ja siten pienentänyt laivaliikenteestä muodostuvia rikkipäästöjä. Toistaiseksi on tutkittu bioöljyn, 1-butanolin, meriliikenteessä käytetyn kaasuöljyn sekä biodieselin sekoitusta, ja pyrkimyksenä on tulevaisuudessa minimoida 1-butanolin ja maksimoida bioöljyn osuus polttoainesekoituksessa (Chong &

Bridgwater 2016, 5-7). Sekoittaminen olisi yksinkertainen, edullinen ja joustava tapa saada bioöljy laivaliikenteen käyttöön lyhyellä aikavälillä.

Goodfuels on pilotoinut Hollannissa hankkeen, jossa pyritään löytämään paras tapa tuottaa laivaliikenteelle sopivaa biopolttoainetta. Hankkeessa on mukana neljä bioöljyn tuottamiseen erikoistunutta laitosta ja niistä jokaisella on käytössä erilainen pyrolyysiprosessi, jossa hyödynnetään paikallisia raaka-aineita. Hanke saadaan päätökseen vuonna 2019. (Goodfuels. 2018.)

3.6 APR-teknologia

APR-teknologialla (Aqueous Phase Reforming) tarkoitetaan hapettuneiden hiilivetyjen vesifaasimuodostumista vedyn ja hiilivetyjen valmistamiseksi, kun lämpötila ja paine prosessissa ovat suhteellisen alhaisia. Prosessissa yhdisteet uudelleen järjestäytyvät katalyytin läsnä ollessa siten, että hapettuneiden hiilivetyjen hiili-happisidokset katkeavat, jolloin muodostuu hiilivetyjä, vetyä, sekä vettä. Reaktion edetessä muodostuu lisäksi hiilidioksidia. (Coronado ym. 2016, 11005-11006.)

Prosessissa käytetään raaka-aineena erilaisista kasveista, sekä biomassasta saatavia sokereita. Bioöljyn käyttömahdollisuutta prosessin raaka-aineena on tutkittu, sillä sen sisältämään veteen on liuenneena erilaisia orgaanisia yhdisteitä, kuten sokereita. Yhdisteiden monimutkaisten kemiallisten koostumusten vuoksi prosessin reaktiomekanismi vaatii kuitenkin edelleen tutkimusta. (Coronado ym. 2016. 11007.)

Yhdysvaltalainen yritys Virent Oy on hyödyntänyt APR-teknologiaa kehittämässään BioForming[®] prosessissa (Bioforming 2019). Vuonna 2016 yritys ilmoitti valmistaneensa prosessillaan vaatekangasta maailman ensimmäisenä 100 %:sta kasvipohjaisesta paraksyleenistä. Maaöljystä valmistettavaa paraksyleeniä käytetään polyesterin raaka-aineena, joka on käytetyimpiä synteettisiä kuituja maailmassa. (Virent, 2016.)

4 KANNATTAVUUS

EU:n säätelemät ilmasto- ja energiatavoitteet ohjaavat omalta osaltaan bioöljyn käytön kannattavuutta, sillä vuoteen 2030 mennessä kasvihuonepäästöjä tulisi vähentää 40 % vuoden 1990 tasosta ja toisaalta nostaa uusiutuvan energian osuutta loppukulutuksesta lähemmäs kolmeenkymmeneen prosenttiin (Energiateollisuus ry, s.a.). Metsäbiomassan kokonaisvaltainen hyödyntäminen nähdään Suomessa olevan keskeisessä asemassa, kun kasvihuonepäästöjä vähentämällä pyritään lähemmäs hiilineutraalia yhteiskuntaa (Parlamentaarinen energia- ja ilmastokomitea 2014, 14). Paine saavuttaa asetetut tavoitteet lisäävät halua tukea hankkeita, joilla ne ovat potentiaalista saavuttaa.

Savonlinnaan mahdollisesti valmistuva bioöljylaitos noudattelisi yllä mainittua ilmasto- ja energiapolitiikkaa, sillä laitos käyttäisi raaka-aineena metsäbiomassan sivuvirtoja, joiden hyödyntäminen korkeamman jalostusasteen tuotannossa on edelleen vähäistä. Bioöljylaitos ei myöskään kilpailisi raaka-aineesta lähialueilla jo olemassa olevan metsäteollisuuden ja biotalouden kanssa, vaan toiminta hyödyttäisi eri teollisuudenaloja (Etelä-Savon metsät hyödyttämään... 2019). Vaikka bioöljylaitokselle olisikin olemassa potentiaalia menestyä, täytyy kannattavuutta arvioida realistisesti tämän hetkisten tietojen valossa.

Luvun laskennallisessa osiossa kannattavuutta on tarkasteltu kustannuslaskelman, sekä erilaisten investointilaskelmien avulla. Kustannuslaskelmissa on hyödynnetty Rogersin ja Brammerin (2012) artikkelia. Artikkelissa tarkastellaan ja verrataan eri bioöljylaitosten kustannuksia ja niiden perustana olevia kokeellisia tuloksia. Osaa kustannuksista on arvioitu, kun niitä ei olla lähteissä käsitelty. Kokonaisinvestoinnin lähtöarvoissa on hyödynnetty jo olemassa olevien laitosten tietoja.

4.1 Lainsäädäntö ja taloudelliset ohjauskeinot

Yksi suurimpia kysymyksiä on, miten metsäbiomassan hyödyntämistä voitaisiin Suomessa käytännössä kasvattaa. Yhtenä vaihtoehtona nähdään lisätä biopolttoaineiden tuotantoa, jolloin liikenteessä syntyvät päästöt saataisiin ku-

riin. Valtioneuvoston kanslian teettämässä selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarjassa 23/2017 kerrotaan, että puupohjaisten biopolttoaineiden markkinoille saattamiseksi tarvitaan ohjauskeinoja, joilla taataan markkinanäkymä biopolttoaineille vähintään vuoteen 2030 asti. Jos puupohjaisten biopolttoaineiden tuotannon edistäminen katsotaan strategisesti tärkeäksi tavoitteeksi, tulisi ohjauskeinojen kohdistua tällöin metsäteollisuuden sivutuotteisiin eli kuoren, purun ja metsähakkeen kaltaisiin jakeisiin. Tällä estettäisiin muun metsäteollisuuden puun saannin ja kilpailukyvyn vaarantuminen. Ohjauskeinoille on tarvetta, sillä kokonaispuunkäyttö Suomessa voi nousta julkaisussa esitetyn analyysin mukaan 120 miljoonaan kuutiometriin ja hakkuut jopa 87 miljoonaan kuutiometriin vuoteen 2030 mennessä. (Pöyry Management Consulting Oy 2017, 2.)

Biopolttoaineiden käytön lisäämiselle on tehty ohjauskeinoja. Eduskunta on hyväksynyt biopolttoaineita koskevan lain, joka lainvoimaiseksi tullessaan kasvattaa tieliikenteessä käytettävien biopolttoaineiden osuutta asteittain vähintään 30 prosenttiin vuoteen 2029 mennessä. Lisäksi vuodesta 2021 alkaen osa lämmitykseen ja työkoneisiin tarkoitetusta kevyestä polttoöljystä korvataan biopolttoöljyllä. (Virtanen 2019.) Jakeluvelfoite toimisi uhkasakon muodossa. Lainvoimaiseksi tullessaan biopolttoaineen jakeluvelfoitteen laiminlyönnin seuraamusmaksu tulisi olemaan 0,04 euroa megajoulea kohti (HE 199/2018), joka tarkoittaisi bioöljyn energiasisältöön suhteutettuna olevan 0,72 euroa litralta.

4.2 Investointilaskelma

Investointilaskelmat on tehty Excel-apuohjelmaa apuna käyttäen. Tässä työssä kokonaisinvestointia on arvioitu kolmella eri menetelmällä, jotta laitoksen kannattavuudesta saataisiin mahdollisimman hyvä kokonaiskuva. Eri laskentamenetelmät on esitetty myöhemmissä luvuissa. Laskelmissa käytetyt lähtöarvot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2 Investointilaskelmissa käytetyt alkuarvot

	Arvo	Yksikkö
Kokonaisinvestointi ilman investointitukea	25 000 000	[eur]
Kokonaisinvestointi, investointituki huomioitu	15 000 000	[eur]
Investointituki	40	[%]
Laskentakorko	5	[%]
Jäännösarvo	0	
laitoksen pitoaika	50	[a]

Kokonaisinvestoinniksi laitokselle on arvioitu 25 miljoonaa euroa. Esimerkkitaipauksena laitokselle on pidetty Empyron tuotantolaitosta, jonka investointi on 20 miljoonaa euroa, ja kapasiteetti 24 tonnia bioöljyä vuodessa (LSB, s.a.). Bioöljylaitokselle on mahdollista hakea uuden teknologian hankkeille tarkoitettua energiatukea, jonka osuus on 40 prosenttia kokonaisinvestoinnista. Investointitukea myöntävän Business Finlandin (s.a.) mukaan

Uudella teknologialla tarkoitetaan sellaisia uudenlaisia ratkaisuja, joita ei ole Suomessa laajasti kokeiltu. Tyypillisesti kyse on ensimmäisestä tai ensimmäisistä demonstraatiolaitoksista. Uuden teknologian käyttöönottoon liittyy yleensä vastaavaan tavanomaisen teknologian hankkeeseen nähden ylimääräisiä kustannuksia tai riskejä. Uuden teknologian ratkaisut ovat keskeisiä pitkän aikavälin energia- ja ilmastotavoitteiden kannalta.

Investointituen huomioon ottaen bioöljylaitoksen kokonaisinvestoinnin suuruudeksi tulisi 15 miljoonaa euroa. Laskentakorkona käytetään viittä prosenttia. Jäännösarvon päätettiin olevan nolla, koska investoinnilla ei odoteta olevan arvoa investointi ajanjakson päättyessä. Laitoksen pitoajaksi on käytetty laskuissa viittäkymmentä vuotta, ja sen vaihteluvälin on arvioitu olevan 30-50 vuotta.

4.3 Investointilaskentamenetelmät

Annuiteettimenetelmässä investoinnin kustannus on jaettu investoinnin pitäjän vuosille annuiteetiksi eli tasaeriksi. Investoinnista saatavia nettotuloja verrataan annuiteettiin. Investoinnista saatavilla nettotuloilla on pystyttävä kattamaan investoinnin kustannukset eli annuiteetti vuosittain. Mitä suurempi annuiteetin ja nettotulon positiivinen erotus on, sen kannattavampi on investointi. (Leppiniemi 2009, 25.)

Sisäisen korkokannan menetelmällä saadaan selville, kuinka monen prosentin tuottoasteen investointi antaa pääomalle. Menetelmässä verrataan investoinnin sisäistä korkoa käytettävään laskentakorkokantaan. Investointia voi pitää kannattavana, jos sisäinen korkokanta on vähintään investoinnille asetetun laskentakorkokannan suuruinen. (Kinnunen ym. 2002. 206-207.) Sisäisen korkokannan menetelmässä on myös omat ongelmallisuutensa. Leppiniemen (2009, 24) mukaan ”- investoinnista irtautuvan rahan oletetaan tuottavan yhtä hyvin kuin itse investoinninkin, eli sisäisen korkokannan verran”. Oletus ei ole kaikissa tapauksissa realistinen ja se on hyvä muistaa lopullisia investointipäätöksiä tehtäessä (Leppiniemi 2009, 24).

Korollisen takaisinmaksumenetelmän tavoitteena on kertoa, minkä ajan kuluessa investointi on maksanut itsensä takaisin. Investointia pidetään kannattavana silloin, kun investoinnin takaisinmaksuaika on lyhyempi kuin investoinnin suunniteltu pitkäikäisy. (Eklund & Kekkonen. 2011, 120-212.) Menetelmän avulla saadaan yleiskuva investoinnin tilanteesta ja realistisuudesta. Korollisen maksuajan menetelmä on myös tarkempi kuin korottoman maksuajan menetelmä. Toisin kuin korollinen takaisinmaksuaika, koroton maksuaika ei huomioi laskelmassa käytettyä laskenta korkokantaa. (Leppiniemi 2009, 25-26.)

4.4 Käyttökustannukset ja kustannuslaskelma

Käyttökustannukset on jaoteltu laskelmassa muuttuviin kustannuksiin sekä kiinteisiin kustannuksiin. Muuttuvat kustannukset kasvavat tai laskevat samassa suhteessa kuin tuotannon volyymi. Muuttuvia kustannuksia ovat esi-

merkiksi raaka-aine-, sekä tuotteen valmistuksen energiakustannukset. Kiinteät kustannukset eivät puolestaan ole riippuvaisia tuotannon volyymista, vaan lähinnä ajan kulumisesta. Kiinteitä kustannuksia ovat esimerkiksi hallinnon kulut. (Kinnunen ym. 2002, 165). Bioöljylaitoksen merkittävimmät käyttökustannukset muodostuvat raaka-aine-, sähköntuotanto-, sekä henkilökuntakustannuksista. Käyttökustannusten pohjalta tehty kustannuslaskelma on koottu taulukkoon 3.

Bioöljlyn myyntihinnan arvioidaan olevan 0,3 – 1 euroa kiloa kohti (Nyberg 2014, 3). Käytetyssä kustannuslaskelmassa bioöljlyn myyntihinnan päätettiin olevan 0,3 eur/kg, jolloin myyntihinnan on arvioitu olevan hyvin alhainen 0,36 euroa litraa kohti. Bioöljylaitoksen tuotantokapasiteetiksi otettiin 20 miljoonaa litraa vuodessa, jolloin siitä saatavat tulot olisivat reilu 7 miljoonaa euroa vuodessa.

Raaka-aineena bioöljylaitos käyttää sahanpurua, jonka käyttöpaikkahinnan arvioidaan olevan 18,35 euroa megawatti tunnilta eur/MWh. Se on samaa luokkaa kuin metsähakkeellakin. (Metsälehti, 2018.) Raaka-aineen hinta sisältää kuljetuskustannukset. Tällöin bioöljylaitoksen raaka-ainekulu on vajaa 3,1 miljoonaa euroa vuodessa.

Henkilökuntakuluissa yhden työntekijän vuosittaisena kuluna käytetään keskiarvona 38 000 punttaa (43 233 euroa) vuodessa. Kulussa on otettu huomioon henkilökunnan vakuutukset, eläkkeet, koulutukset, sekä hallintokulut. Artikkelissa ei olla eritelty työnjohdon ja tuotannon työntekijöiden palkkoja erikseen. (Brammer & Rogers 2012, 213.) Bioöljylaitoksessa on arvioitu olevan työntekijöitä yhteensä kymmenen. Tällöin henkilöstö kuluiksi on muodostunut noin 420 000 euroa vuodessa.

Huolto- ja kunnossapitokulujen arvioidaan olevan 2 % kokonaiskustannuksista (Brammer & Rogers 2012, 214). Kokonaiskustannuksena on käytetty laitoksen investointikustannusta, joka on 15 miljoonaa euroa. Tällöin huolto- ja kunnossapitokulut ovat 300 000 euroa vuodessa.

Muita kustannuksia ovat muun muassa apupolttoaine prosessin käyntiin saat-
tamiseksi, prosessissa käytettävän hiekan käsittely, vesi sekä käyttöhyödyk-
keet, eli lähinnä typen käyttö. Näiden osuus kokonaiskustannuksista on arvi-
oitu olevan vähäisiä, vain 3 prosenttia. Niiden kulut ovat silloin 450 000 euroa
vuodessa.

Sähkönkulutuksen arvioinnissa Brammer ja Rogers ovat laskeneet eri tuotan-
tolaitoksia vertailemalla kokonaissähkönkulutukselle keskiarvoksi 240 kilowat-
tituntia kuivamassatonnia kohti kWh/odt. Arviossa on otettu huomioon laitok-
sen koko, sekä biomassan esikäsittely. (Brammer & Rogers 2012, 212.) Las-
kuissa käytettiin sähkön kokonaishintana teollisuudelle noin 7 snt/kWh (Ener-
giauutiset 2018). Kun kuivan raaka-aineen tarve on noin 31 000 tonnia vuo-
dessa, saadaan sähkön kustannukseksi noin 530 000 euroa vuodessa.

Kiinteitä kuluja ovat hallinnosta, veroista sekä vakuutuksista muodostuvat ku-
lut. Näiden on arvioitu olevan 2 % kokonaiskustannuksista. Siten kuluksi on
tullut 300 000 euroa vuodessa.

Taulukko 3 Kustannuslaskelma

Kustannus	Arvo [eur/a]	Arvo [eur/l]
Myyntituotot	7 200 000	0,36
Raaka-aineen hinta	-3 090 526	-0,15
Henkilöstökulut	-419 611	-0,02
Huolto ja kunnossapito	-300 000	-0,02
Muut kustannukset (apupolttoaine, hiekka, vesi ja kemikaalit)	-450 000	-0,02
Sähkö	-530 526	-0,03
Kiinteät kulut (Hallinto, vakuutukset, verot)	-300 000	-0,02
MENOT YHTEENSÄ	-5 090 664	-0,25
TULOS ENNEN POIS- TOJA	2 109 336	0,11

Kuten taulukosta 3 on nähtävissä, muodostuisi bioöljyn valmistuskustannukseksi 0,25 euroa litralta. Esimerkiksi Mobolajin ym, kirjoittamassa artikkelissa on koottu yhteen bioöljyn tuotantolaitosten valmistuskustannuksia. Artikkelissa selviää bioöljyn valmistuskustannusten vaihtelevan välillä 0,14 – 0,32 euroa litraa kohden (Mobolaji ym. 2015, 362). Kustannuslaskelmasta saatua litrahintaa voi siis pitää vertailukelpoisena muiden bioöljyn valmistuskustannusten kanssa, tosin hieman alakanttiin arvioituna.

4.5 Herkkyystarkastelu

Herkkyystarkastelulla pyritään selvittämään, kuinka yhden tai useamman tekijän muuttaminen vaikuttaa kokonaisinvestoinnin kannattavuuteen. Muuttuneita arvoja verrataan perustarkastelun arvoihin. Se ei kuitenkaan kerro, miten lähtöarvot vaikuttavat keskenään toisiinsa, jos muutetaan vain yhtä tekijää kerrallaan. Herkkyystarkastelu on tehty myös Excel-apuohjelmalla.

Työssä käytettävät herkkyystarkastelun muutettavat lähtöarvot ovat bioöljyn myyntihinta (0,36-1,2 eur/l), raaka-aineen hinta (15-20 eur/MWh), sekä tuotantolaitoksen investoinnin suuruuden tarkastelu (15 ja 25 miljoonaa euroa), Lähtöarvojen muutokset vaikuttavat laitoksen tulokseen ennen poistoja, annuiteettiin, sisäiseen korkokantaan, sekä korolliseen maksuaikaan.

5 TULOKSET JA ANALYYSI

Bioöljyn kannattavuutta tarkasteltiin kustannuslaskelman sekä eri investoinnin laskentamenetelmien avulla. Perustarkastelun lisäksi suoritettiin herkkyystarkastelu. Tarkasteltavia lähtöarvoja, eli bioöljyn myyntihintaa, raaka-aineen hintaa sekä investointituen vaikutusta kannattavuuteen, muutettiin. Lähtöarvoja muuttamalla saatiin selville, millä tavoin bioöljylaitoksella olisi potentiaalia toimia Savonlinnassa.

Paremmen kokonaiskuvan saamiseksi tuloksista on koostettu liite. Taulukon punaisen ja vihreän eri sävyt symboloivat miten positiivinen tai negatiivinen kyseinen arvo on. Mitä tummempi ruudussa oleva vihreän sävy on, sitä parempi on ruudussa oleva arvo laitoksen kannattavuuden kannalta. Vastaavasti

mitä tummempi punaisen sävy ruudussa on, sitä huonompi on ruudussa oleva arvo laitoksen kannattavuuden kannalta.

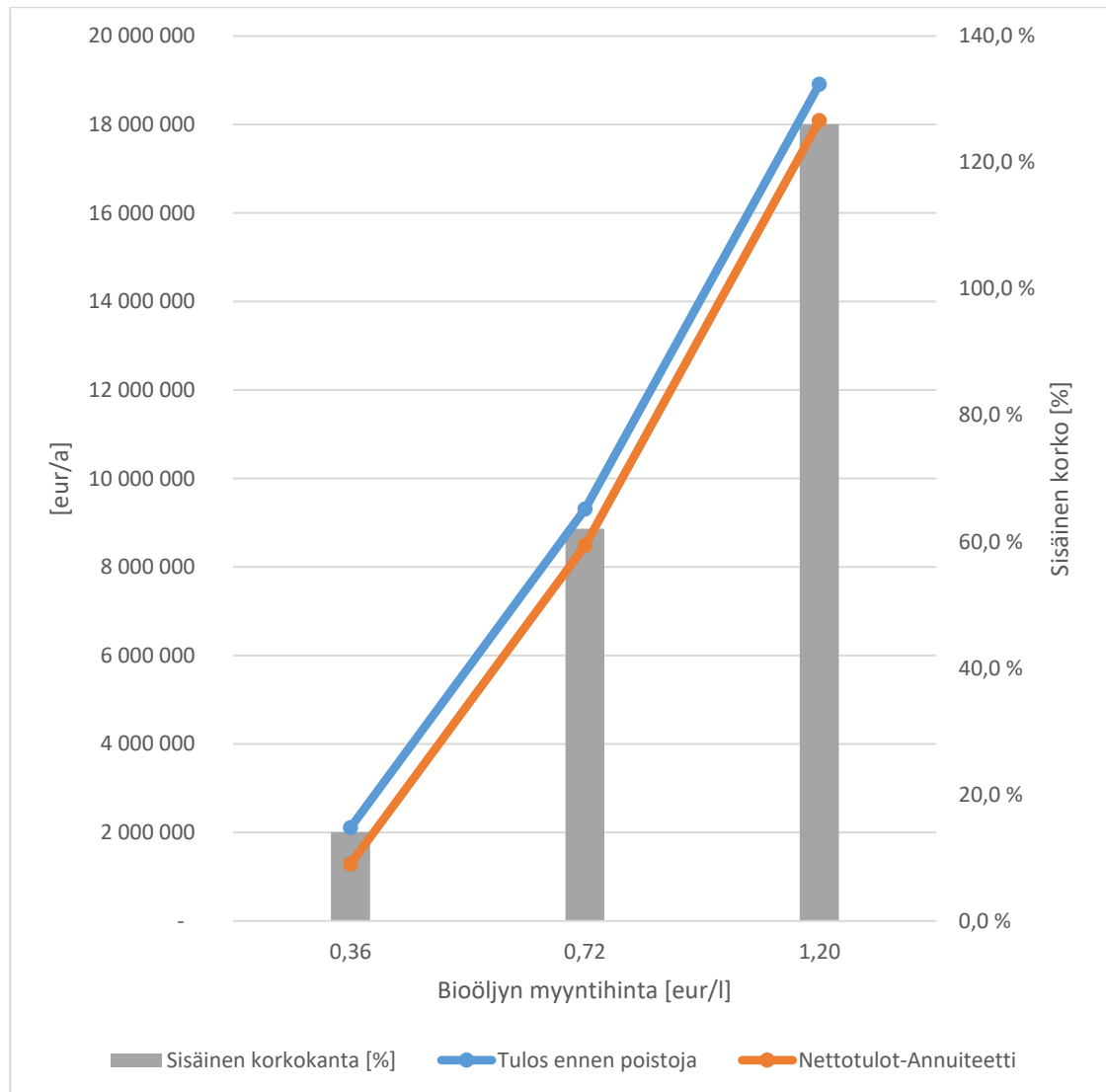
5.1 Bioöljyn myyntihinnan herkkyystarkastelu

Taulukossa 4 on esitetty bioöljyn myyntihinnan herkkyystarkastelun lähtöarvot sekä muutokset laitoksen kannattavuuteen. Taulukosta on nähtävissä, että mitä suuremmaksi bioöljyn myyntihintaa kasvatettiin, sitä suuremmiksi luonnollisesti kasvoivat tarkasteltavat arvot.

Taulukko 4 Bioöljyn myyntihinnan herkkyystarkastelun lähtö-, sekä muutosarvot

Bioöljyn hinta [eur/l]	Tulos ennen poistoja [eur/a]	Annuiteetti [eur/a]	Sisäinen korkokanta [%]	Korollinen takaisinmaksuaika [a]
0,36	2 109 336	1 287 685	14,0	9,0
0,72	9 309 336	8 487 685	62,1	1,7
1,20	18 909 336	18 087 685	126,1	0,8

Kuvan 5 avulla puolestaan havainnollistetaan näitä muutoksia kuvaajan muodossa. Kuvaajaan on koottu yhteen tiedot sisäisen korkokannan, laitoksen annuiteetin sekä tuloksen ennen poistoja muutoksista. Seuraavissa kappaleissa avataan taulukon sekä kuvaajan tuloksia tarkemmin.



Kuva 5 Bioöljyn myyntihinnan herkkyytstarkastelu

Taulukkoa sekä kuvaajaa tarkasteltaessa voi nähdä, että bioöljyn hinnan ollessa alhaisimmillaan laitoksen tulos ennen poistoja on noin 2,1 miljoonaa euroa vuodessa. Tällöin annuiteetti on vajaa 1,3 miljoonaa euroa vuodessa. Sisäinen korkokanta oli tällöin 14 prosenttia. Hintaa nostaessa laitoksen tulos ennen poistoja on noin 9,3 miljoonaa euroa vuodessa. Annuiteetti nousee vajajaan 8,5 miljoonaan euroon vuodessa. Jos bioöljyn myyntihintaa kasvataan edelleen, nousee laitoksen tulos ennen poistoja noin 18,9 miljoonaan euroon vuodessa. Tällöin annuiteetti kasvaa 18 miljoonaan euroon.

Bioöljyn myyntihinnan kasvaessa sisäinen korkokanta kasvaa huomattavasti. Sisäisen korkokannan kasvua voi pitää todella hyvänä, kun sitä verrataan laitokselle asetettuun laskentakorkokantaan, joka oli 5 prosenttia. Kun myynti-

hinta on 0,72 eur/l, nousee sisäinen korkokanta reiluun 60 prosenttiin. Myyntihintaa kasvatettaessa sisäinen korkokanta kasvaa reiluun 120 prosenttiin. Saatuihin tuloksiin kannattaa kuitenkin suhtautua varauksella, koska kuten aiemmissa luvuissa mainittiin, sisäisen korkokannan funktio saattaa yliarvioida kannattavuutta tilanteissa, joissa tulos vaikuttaisi erityisen hyvälle. Laskelmassa on myös oletettu tulosten ennen poistoja pysyvän vakiona koko bioöljylaitoksen käyttöajan, mikä vaikuttaa laskelman tulokseen. Siksi kannattavuutta ei kannata tarkastella pelkästään sisäisen korkokannan näkökulmasta.

Myös korollisessa takaisinmaksuajassa oletetaan tulosten ennen poistoja pysyvän vakiona joka vuosi. Bioöljyn myyntihinnan ollessa 0,72 eur/l laitoksen investointi maksaisi itsensä takaisin reilussa kahdessa vuodessa. Jos myyntihinta nousee 1,2 eur/l, olisi laitoksen investointi maksanut itsensä takaisin jo vajaassa vuodessa. Myös korolliseen takaisinmaksu-aikaan tulee suhtautua varauksella, sillä laskelma olettaa tuloksen ennen poistoja pysyvän vakiona koko laitoksen käyttöajan.

Minkä tahansa bioöljyn tuottaminen on riippuvainen fossiilisen öljyn myyntihinnasta. Öljyn arvaamattomat hinnanvaihtelut tekevät bioöljyn kannattavuuden takaamisesta haastavaa. Toisaalta öljyn maailmanmarkkinahinnan heilahdelluksessa muiden lämmitys- ja liikennepolttoaineiden ratkaisujen hyödyntäminen voidaankin nähdä parempana vaihtoehtona. Kun öljyn hinta nousee korkealle, tekee se bioöljyn tuottamisesta kannattavampaa ja kilpailukykyisempää. Lisäksi bioöljyn pitkien myyntisopimusten avulla bioöljylle pystytään vakauttamaan tietty hinta, joka voidaan nähdä bioöljyn myyntivalttina.

Myös jakeluvolvoitetta koskeva laki voimaantullessaan edesauttaisi bioöljyn myyntiä merkittävästi. Jakeluvolvoitteen kiristäminen vaikuttaisi silloin lämmityksessä käytettävän biopolttoöljyn kasvavaan tarpeeseen, johon Savonlinnan bioöljylaitos pystyisi jo suoraan vastaamaan. Jos bioöljyä päätettäisiin jatkojalostaa maaliikenteen kulkuneuvoihin sopivaksi biopolttoaineeksi, olisi sen mahdollista vastata myös sitä koskevaan kysyntään.

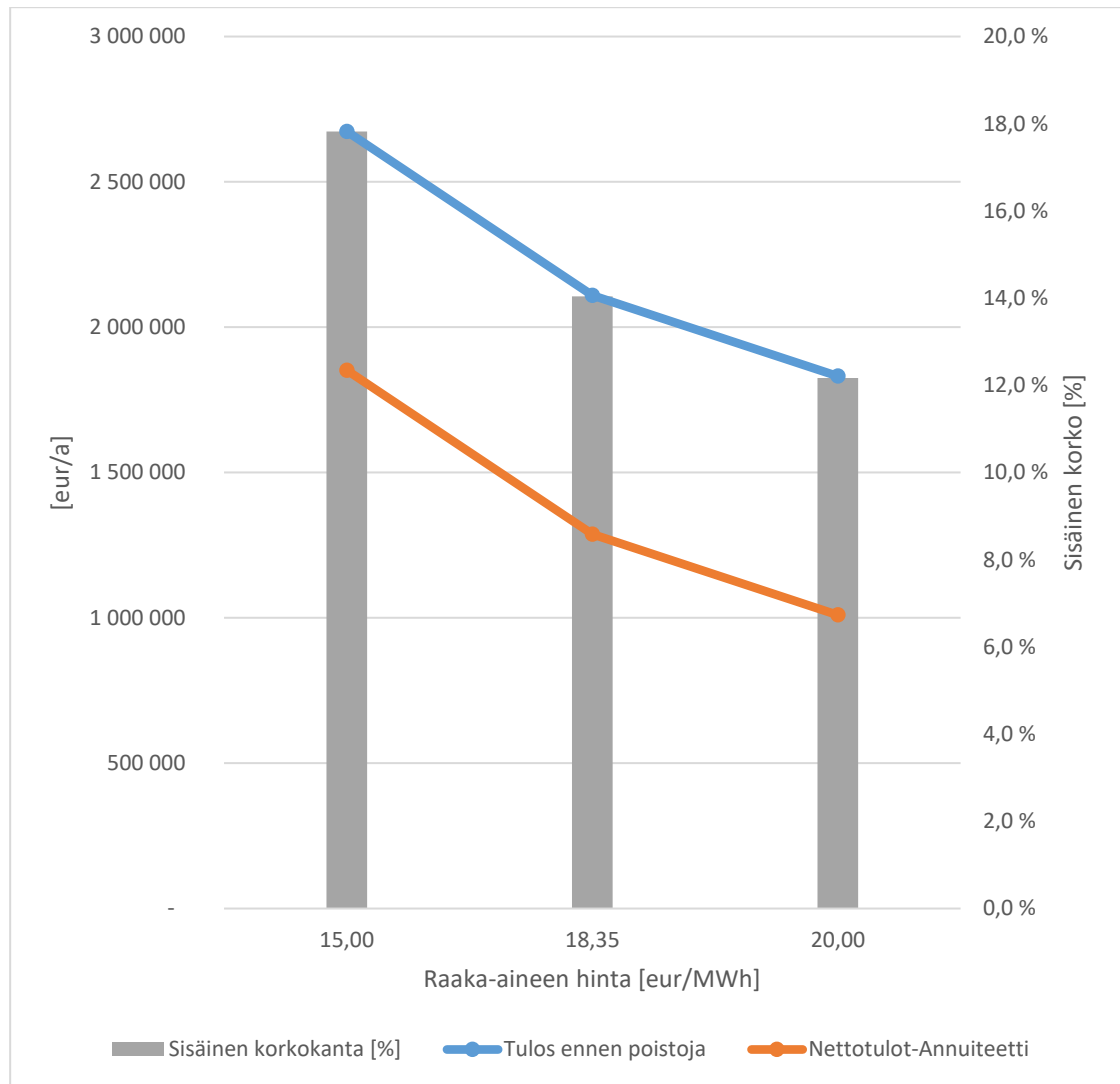
5.2 Raaka-aineen hinnan herkkyystarkastelu

Taulukossa 5 on esitetty raaka-aineen herkkyystarkastelun lähtöarvot sekä muutokset laitoksen kannattavuuteen. Taulukosta on nähtävissä, että mitä suuremmaksi raaka-aineen hinta kasvoi, sitä pienemmäksi tarkasteltavat arvot kasvoivat.

Taulukko 5 Raaka-aineen hinnan herkkyystarkastelun lähtö- sekä muutosarvot

Raaka-ai- neen hinta [eur/MWh]	Tulos en- nen pois- toja [eur/a]	Annuiteetti [eur/a]	Sisäinen korko- kanta [%]	Korollinen takaisinmak- suaika [a]
15,00	2 673 547	1 851 896	17,8	6,7
18,35	2 109 336	1 287 685	14,0	9,0
20,00	1 831 441	1 009 790	12,5	10,8

Kuvan 6 avulla havainnollistetaan muutoksia kuvaajan muodossa. Kuvaajaan on koottu yhteen tiedot sisäisen korkokannan, laitoksen annuiteetin sekä tuloksen ennen poistoja muutoksista. Seuraavissa kappaleissa avataan taulukon sekä kuvaajan tuloksia tarkemmin.



Kuva 6 Raaka-aineen hinnan herkkyystarkastelu

Taulukkoa sekä kuvaa tarkasteltaessa selviää, että raaka-aineen hinnan kasvu laskee laitoksen tuloja ennen poistoja. Jos raaka-aineen hinta pysyy alhaisena 15 eur/MWh, olisi laitoksen tulos ennen poistoja noin 2,6 miljoonaa euroa vuodessa. Annuiteetti olisi tällöin noin 1,8 miljoonaa euroa vuodessa. Laitoksen sisäinen korkokanta olisi 17,8 prosenttia. Tulosta voi pitää hyvänä, kun sitä vertaa asetettuun laskenta korkokantaan.

Jos raaka-aineen hinta nousee 18,35 eur/MWh, tippuu laitoksen tulos ennen poistoja 2,1 miljoonaan euroon vuodessa. Myös annuiteetti tipahtaa vajaaseen 1,3 miljoonaan euroon vuodessa. Sisäinen korkokanta laskee myös 14,0 prosenttiin.

Jos raaka-aineen hinta nousee edelleen 20 eur/MWh, tippuu laitoksen tulos ennen poistoja 1,8 miljoonaan euroon vuodessa. Annuiteetti laskee tällöin noin miljoonaan euroon vuodessa. Sisäinen korkokanta laskee 12,2 prosenttiin, joka on vielä kohtuullinen, kun sitä vertaa annettuun laskentakorkokantaan.

Laitoksen korollinen takaisinmaksuaika nousee raaka-aineen hinnan kallistuksessa. Korollinen takaisinmaksuaika on vajaa seitsemän vuotta raaka-aineen hinnan ollessa alhaisimmillaan. Kun raaka-aineen hinta nousee 18,35 eur/MWh, kasvaa korollinen takaisinmaksuaika yhdeksään vuoteen. Jos raaka-aineen hinta nousee edelleen, nousee korollinen takaisinmaksuaika yhteentoista vuoteen.

Raaka-aineen hinnanvaihtelu on erityisen herkkä muutoksille, koska sen hintaan vaikuttavat bioöljyn tuotannosta riippumattomat ulkopuoliset tekijät. Ulkopuolisilla tekijöillä tarkoitetaan eri mekaanisen metsäteollisuuden laitosten toimintaa, joiden sivuvirroista bioöljylaitos saisi raaka-aineensa ja on siten niistä riippuvainen. Jos kyseisten laitosten toimintaan tulisi katkoksia, vaikuttaisi se silloin myös bioöljylaitoksen toimintaan. Raaka-aineen saannin vaikeutuessa raaka-aineen hinta nousisi.

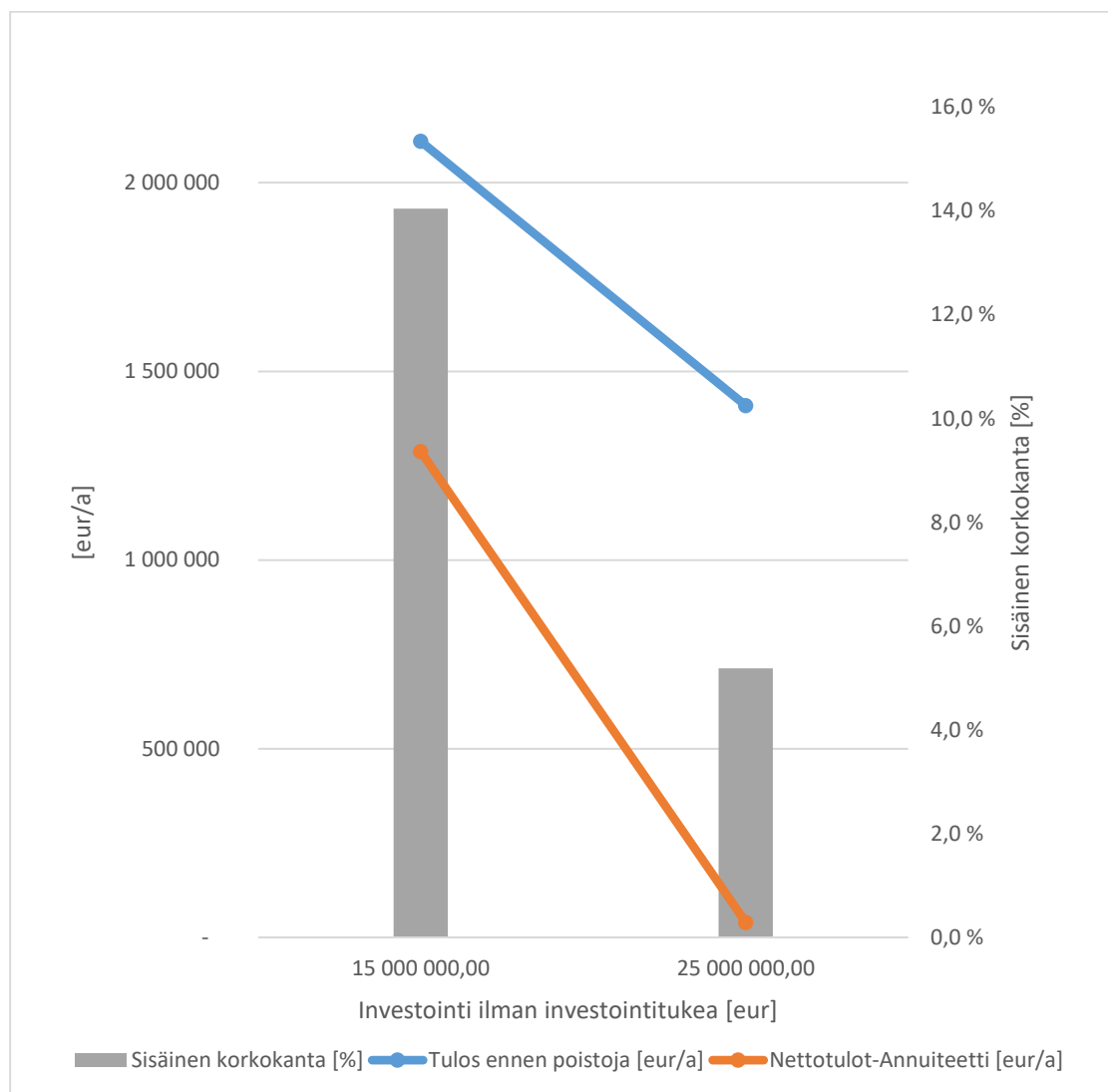
5.3 Investoinnin herkkyystarkastelu

Taulukossa 6 on esitetty investoinnin suuruuden herkkyystarkastelun lähtöarvot sekä muutokset laitoksen kannattavuuteen. Taulukosta on nähtävissä, että bioöljylaitoksen kannattavuus laskee, kun se ei saanut investointitukea.

Taulukko 6 Investoinnin herkkyystarkastelu lähtö- sekä muutosarvot

Investoinnin hinta [eur]	Tulos ennen poistoja [eur/a]	Annuiteetti [eur/a]	Sisäinen korkokanta [%]	Korollinen takaisinmaksuaika [a]
15 000 000	2 109 336	1 287 685	14,0	9,0
25 000 000	1 409 336	39 918	5,2	44,7

Kuvan 7 avulla havainnollistetaan näitä muutoksia vielä kuvaajan muodossa. Kuvaajaan on koottu yhteen tiedot sisäisen korkokannan, laitoksen annuiteetin sekä tuloksen ennen poistoja muutoksista. Kuvasta on nähtävissä kannattavuuden laskevan merkittävästi, jos bioöljylaitos ei saa investointitukea. Seuraavissa kappaleissa avataan taulukon sekä kuvaajan tuloksia tarkemmin.



Kuva 7 Bioöljylaitoksen investoinnin herkkyystarkastelu

Taulukkoa sekä kuvaajaa tarkasteltaessa voi nähdä, että investoinnin suuruuden ollessa 15 miljoonaa euroa on tulos ennen poistoja reilu 2,1 miljoonaa euroa vuodessa. Vastaavasti jos investoinnin suuruus on 25 miljoonaa euroa, olisi laitoksen tulos ennen poistoja noin 1,4 miljoonaa euroa vuodessa. Laitok-

sen annuiteettia tarkasteltaessa luvut pysyvät positiivisina molemmissa tapauksissa, mutta ilman investointitukea jäävällä laitoksella se on paljon pienempi, vain vajaa 40 tuhatta euroa vuodessa.

Laitoksen sisäinen korkokanta tippuu merkittävästi, jos laitos jää ilman investointitukea. Tällöin se olisi vain 5,2 prosenttia. Laitokselle annettuun laskentakorkokantaan verrattuna (5 %), kannattavuus jää kuitenkin vaatimattomaksi.

Myös korollinen takaisinmaksuaika kasvaa merkittävästi, kun laitos jää ilman investointitukea. Tällöin takaisinmaksuaika olisi lähemmäs 45 vuotta. Vaikka laitoksen takaisinmaksuaika onkin lyhyempi kuin suunniteltu käyttöikä (50 vuotta), on käyttöiän ja takaisinmaksuajan välinen erotus turhan pieni.

Taulukkoa ja kuvaajaa tarkasteltaessa on nähtävissä, että investointituella on merkittävä vaikutus tuotannon kannattavuuteen. Kaikki kannattavuutta mittaavat tekijät laskevat huomattavasti, kun investointitukea ei huomioida investoinnin kannattavuuslaskuissa. Vaikka kaikki herkkyystarkastelun avulla saadut tulokset pysyvät positiivisina, ei laitoksen kannattavuus näyttäisi kovin vakaalle, jos laitos jäisi ilman investointitukea. Investointituen tärkeys korostuu siinä, että se ohjaa sekä kannustaa omalta osaltaan eri hankkeita panostamaan uuden tyyppisiin teknologiaratkaisuihin, joihin myös pikapyrolyysin avulla valmistettava bioöljy kuuluu. Uuden tyyppisissä teknologiaratkaisuissa voi tulla vastaan ylimääräisiä kustannuksia sekä riskejä, joita investointituen avulla pystyisi minimoimaan.

5.4 Kannattavuustulosten merkitys Savonlinnan laitokselle

Jatkojalostuskohteiden kirjallisessa selvityksessä selvisi bioöljyn tuotannolle olevan mielenkiintoa monilla eri teollisuuden osa-alueilla. Mielenkiintoista oli huomata, että fraktionnin avulla erotelluista jakeista on pystytty omissa prosesseissaan valmistamaan kaupallisesti käytössä olevia tuotteita esimerkiksi erilaisten hartsien muodossa. Nybergin (2014, 3) luentodiassa oli arvioitu fenolihartsien hinta-arvon olevan 2 eur/kg. Jos Savonlinnan laitoksen kokoisella kapasiteetilla (24 000 t/a) päädyttäisiin jatkojalostamaan bioöljyn fraktioinnista saatua ligniiniä fenolihartseiksi, voisi siitä saadut tulot olla jopa 48 miljoonaa

euroa vuodessa. Toistaiseksi kuitenkin pisimpään kaupallisessa käytössä olleet tuotteet löytyvät elintarviketeollisuudesta, jossa bioöljyn fraktioita on hyödynnetty vanilliinin sekä nestesavun valmistamisessa jo useiden vuosien ajan.

Autojen biopolttoaineen tuotantoa varten on luotu koelaitoksia ympäri maailmaa. Vaikka bioöljyn kaupallistaminen liikennepolttoaineeksi on edelleen varoista toimintaa, on esimerkiksi Ruotsissa ja Norjassa otettu askelia kohti biopohjaisten liikennepolttoaineiden kaupallista valmistusta. Norjassa on päädytty kuitenkin tuottamaan biopolttoaine hydropyrolyysin avulla, joka eroaa hieman pikapyrolyysistä.

Bioöljyn käyttöä muovin raaka-aineena pidettiin yhtenä suurempana kokonaisuutena, jolta toivottiin löytyvän jo markkinoilla olevia tuotteita. Selvitystä tehtäessä vastaan tuli tutkimuksia, joiden tulokset olivat positiivisia. Kaupallista toimintaa ei kuitenkaan tullut esille opinnäytetyön valmistelun aikana.

Käyttökohteita sekä sovelluksia etsiessä monesti vastaan tuli tilanne, jossa hankkeessa tai projektissa on pystytty bioöljyä jatkojalostamalla valmistamaan vähintäänkin tuotteen näytekappale, mutta siihen tuotteesta uutisoiminen on jäänyt. Siten on epäselvää, missä vaiheessa kaupallinen tuotanto lopulta on oikeasti menossa. Lisäksi on kuitenkin muistettava, että opinnäytetyön kirjoittamisen hetkellä on menossa useita eri hankkeita esimerkiksi lento- ja laivaliikenteen polttoaineiden osalta, joiden tuloksia ei olla opinnäytetyön kirjoittamisen aikaan vielä julkaistu.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää bioöljyn jatkojalostusmahdollisuuksia, sekä Savonlinnan seudulle mahdollisesti toteutettavan bioöljylaitoksen taloudellista kannattavuutta. Bioöljyn valmistamiseen ja hyödyntämiseen on aikaisemmin suhtauduttu varovaisen toiveikkaasti, ja sen on lähinnä ajateltu soveltuvan sellaisenaan vain lämmön- ja energiantuotantoon. Bioöljyn kehitys- ja tutkimustyön lisääntyessä on huomattu potentiaalia olevan paljon muuhunkin.

Bioöljystä on mahdollista erottaa fraktioinnin avulla eri jakeet toisistaan ja kasvattaa siten jakeitten kaupallista arvoa. Menetelmää on tutkittu ja jakeille on kehitetty omia jatkojalostuspolkuja, joita hyödynnetään jo kaupallisessakin tuotannossa esimerkiksi elintarvike- ja rakennusteollisuudessa. Suomessa ei toistaiseksi ole yrityksiä, jotka käyttäisivät bioöljystä fraktioituja jakeita raaka-aineena omissa tuotannon prosesseissaan. Käytännössä se tarkoittaisi sitä, että jos bioöljyä päädyttäisiin fraktioimaan, täytyisi prosessille rakentaa oma tuotantolaitoksensa. Lisäksi olisi selvitettävä, onko Suomessa tai muualla maailmassa yrityksillä mielenkiintoa lähteä jatkojalostamaan fraktioinnilla tuotettuja jakeita.

Bioöljyn jalostuksessa liikennepolttoaineeksi keskeisessä elementissä on poistaa bioöljystä happi sekä vesi. Bioöljyn jalostus polttoaineeksi on pitkä sekä monimutkainen prosessi, joka vaatii biopolttoaineena toimiakseen vedyllä käsittelyn joko bioöljyn valmistuksen aikana, tai sen valmistuksen jälkeen. Savonlinnaa ajatellen liikennepolttoaineiden jatkojalostuslaitos vaatisi suuremman investoinnin, sillä jatkojalostusta varten tarvittaisiin vedyn tuotantolaitos. Jos vety tuotaisiin muualta, kasvaisivat tuotannon logistiset kustannukset.

Opinnäytetyön laskennallisessa osiossa suoritettiin bioöljylaitokselle perustarkastelu, jossa selvisi laitoksen kannattavuuden jäävän kohtalaisen hyväksi. Tuloksia tarkasteltaessa on hyvä muistaa, että käytetyt lähtöarvot perustuvat kirjallisuuslähteisiin sekä arvioihin, joten laskelmaa voi pitää lähinnä suuntaa-antavana. Käytetty kirjallisuuslähde sisältää jo useamman vuoden vanhaa tietoa, ja se on alun perin tehty Iso-Britanniassa sijaitsevia bioöljylaitoksia silmällä pitäen. Lähteessä mainitut henkilökuntakulut voivat vaihdella Suomen ja Iso-Britannian välillä ja käytetty sähkön kulutus perustuu eri laitosten keskiarvoihin.

Vastaavasti herkkyystarkastelua tehtäessä eri lähtötietoja muuttamalla vastaan tuli myös hyvinkin positiivisia tuloksia, jotka puoltavat päätöstä perustaa bioöljyn tuotantolaitos Savonlinnaan. Bioöljyn myyntihinnan hienoinen nousu yhdessä investointituen kanssa ja raaka-aineen hinnan pieni halpeneminen parantaisivat merkittävästi laitoksen kannattavuutta. Erityisesti biopolttoaineita ja -öljyä koskeva lainsäädäntö vaikuttaisi kannattavuuteen, sillä edesauttaisi

bioöljyn käytön lisääntymistä. Opinnäytetyön kirjoittamisen ajan hetkellä jake-luvelvoitetta koskeva lainsäädäntö on hyväksytty eduskunnassa, joten on hyvin todennäköistä lain tulevan lainvoimaiseksi. Epäselvää vielä on, miten se tulisi käytännössä vaikuttamaan bioöljyn tuotantoon sekä asiakaskunnan laajuuteen. Suomessa on toisaalta tällä hetkellä hyvin vähän toimijoita, jotka tuottavat fossiilisen öljyn sekaan sekoitettavaa biopolttoainetta tai -öljyä, joten bioöljyn tuotanto voidaan nähdä myös kilpailuetuna.

On kuitenkin selvää, että niin uusiutuvien biopolttoaineiden, uusiutuvista raaka-aineista valmistettavien tuotteiden, ja erilaisten materiaalien tuotanto tulee kasvamaan tulevaisuudessa. Niin on tapahduttava ja se on väistämätöntä. Tällöin olisi äärimmäisen tärkeää, että keskeisessä asemassa oleva metsäbio-massa pystyttäisiin hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti ja kokonaisvaltaisesti kaikkine erilaisissa prosesseissa syntyvine sivuvirtoineen, jotta arvokasta raaka-ainetta riittäisi niin teollisuuden eri osa-alueille, kuin tuleville sukupolvillekin.

LÄHTEET

Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T258.pdf> [Viitattu 8.2.2019].

Asphalt binder. s.a. Avello. WWW-dokumentti. Saatavissa: http://www.avello-bioenergy.com/en/products/bioasphalt_binder/ [Viitattu 17.2.2019].

Bio4Products. 2018. Bio-based products. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://bio4products.eu/process/#1480257767342-2dfff944-31e0> [Viitattu 9.12.2018].

Bioforming. 2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.virent.com/technology/bioforming/> [Viitattu 3.1.2019].

Bio-materials & chemicals. s.a. BTG. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.btgworld.com/en/rtd/technologies/bio-materials-chemicals> [Viitattu 4.1.2019].

Biozin. 2017. Ren energi fra norske skoger! WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://biozin.no/> [Viitattu 3.12.2018].

Borregaard. s.a. Eurovanillin supreme. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vanillin.com/Products/eurovanillin-pure/supreme> [Viitattu 7.1.2019].

Brammer, J.G., Rogers, J.G., 2012. Estimation of the production cost of fast pyrolysis bio-oil. *Biomass and Bioenergy* 36, 208-217.

Bridgwater, A.V. 2003. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass *Chemical Engineering Journal* 91, 87–102.

Bridgwater, A.V. 2011. Review of fast pyrolysis biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy* 38, 68-94.

Building & Construction: Wood modification. 2018. TFC. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.polyfurfurylalcohol.com/building-construction> [Viitattu 10.12.2018].

Business Finland. s.a. Energiatuki. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.businessfinland.fi/energiatuki/> [Viitattu 15.2.2019].

Chong, K., Bridgwater, A.V. 2016. Fast pyrolysis oil fuel blend for marine vessels. Pdf-dokumentti. Saatavissa: https://research.aston.ac.uk/portal/files/20816144/Fast_pyrolysis_oil_fuel_blend_for_marine_vessels.pdf [Viitattu 27.12.2018].

Coronado, J., Stekrova, M., Reinikainen, M., Simell, P., Lefferts, L. & Lehtonen, J. 2016. A review of catalytic aqueous-phase reforming of oxygenated hydrocarbons derived from biorefinery water fractions. *International journal of hydrogen energy* 41. 11003-11032.

Derbigum. s.a. Vegetal reflective membrane. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://me.derbigum.com/products-solutions/ecological-solutions/vegetal-reflective-membrane> [Viitattu 10.12.2018].

Eklund, I., Kekkonen, H. 2011. Toiminnan kannattavuus. Helsinki: WSOYpro Oy.

Energiateollisuus ry. s.a. EU:n energia- ja ilmastopolitiikka vuoteen 2030. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://energia.fi/energiateollisuuden_edunvalvonta/energiapolitiikka/eu_n_2030-tavoitteet [Viitattu 8.1.2019].

Energiauutiset. 2018. Sähkön siirto kallistui. Uutinen. Saatavissa: <https://www.energiiauutiset.fi/etusivu/sahkon-siirto-kallistui.html> [Viitattu 9.2.2019].

Etelä-Savon metsät hyödyttämään enemmän omiaan. 2019. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Tiedote. Saatavissa: <https://www.xamk.fi/tiedotteet/etela-savon-metsat-hyodyttamaan-enemman-omiaan/> [Viitattu 22.2.2019].

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/33/EU

Fast pyrolysis. s.a. BTG. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<http://www.btgworld.com/en/rtd/technologies/fast-pyrolysis> [Viitattu 4.1.2019].

GoodFuels. 2018. Pyrolysis cluster Moerdijk. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<https://goodfuels.com/project/pyrolysis-cluster-moerdijk/> [Viitattu 2.1.2019.]

Gutiérrez-Antonio, C., Gómez-Castro, F.I., de Lire-Flores, J.A., Hernández, S. 2017. A review on the production processes of renewable jet fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79. 709-729.

Hallituksen esitys HE 199/2018

Harris, K.D. 2015. Red Arrow products smokin' into the future: Facing changing diets and new challenges in the food industry. *International Food and agribusiness management review* 18. 223-237. Pdf-dokumentti. Saatavissa:

<https://www.ifama.org/resources/Documents/v18i4/case-Harris.pdf> [Viitattu 2.1.2019.]

Hexion launches new two-component adhesive for structural engineered wood lamination. 2017. Business Wire. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<https://www.businesswire.com/news/home/20170720005713/en/Hexion-Launches-New-Two-Component-Adhesive-Structural-Engineered> [Viitattu 9.12.2018].

Honeywell Green Jet Fuel™. 2018. Honeywell Green Jet Fuel – Advanced Renewable Fuel Alternative to Traditional Jet Fuel. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<https://www.uop.com/processing-solutions/renewables/green-jet-fuel/#uop-renewable-jet-fuel-process> [Viitattu 13.12.2018].

Integrated hydropyrolysis and hydroconversion. CRI Catalyst. 2018. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<https://www.cricatalyst.com/cricatalyst/ih2/integrated-hydropyrolysis-and-hydroconversion.html> [Viitattu 3.12.2018].

Kinnunen, J., Leppiniemi, J., Puttonen, V. & Virtanen, K. 2002. Tietoa yrityksen kannattavuudesta. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

Lane, J. 2016. IH2 Deep-dive: breakthrough technology has commercial-scale in sight. Uutinen. Saatavissa: <https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2016/01/05/low-cost-drop-in-renewable-fuels-licensing-activity-is-picking-up-fast-for-ih2/> [Viitattu 1.3.2019].

Le Masle, A., Santin, S., Marlot, L., Chahen, L. & Charon, N. 2018. Centrifugal partition chromatography a first dimension for biomass fast pyrolysis oil analysis. *Analytica Chimica Acta* 1029, 116-124.

Leppiniemi, J. 2009. Rahoitus. 5. painos. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit.

Lingbeck, J.M., Cordero, P., O'Bryan, C.A., Johnson, M.G., Ricke, S.C. & Crandall, P.G. 2014. Functionality of liquid smoke as an all-natural antimicrobial in food preservation. *Meat Science* 97, 197-206.

LSB. s.a. Industry platform driving development of advanced biofuels in Europe. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.sustainablebiofuels-leaders.com/wordpress/wp-content/uploads/2017/05/LSB-Flyer.pdf> [Viitattu 11.1.2019].

Meier, D., van de Beld, B., Bridgwater, A.V., Douglas, C.E., Oasmaa, A. & Preto, F. 2013. State-of-the-art of fast pyrolysis in IEA bioenergy member countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 20, 619-641.

Metsälehti. 2018. Metsäenergian käyttöpaikkahinnat. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.metsalehti.fi/puunhinta/metsaenergian-kayttopaikkahinnat/> [Viitattu 10.1.2019].

Mobolaji, S.B., Sai, G., Ranganathan, & Panneerselvam. 2015. Techno-economic performance analysis of biofuel production and miniature electric power generation from biomass fast pyrolysis and bio-oil upgrading. *Fuel* 143, 361-372.

Motiva. s.a. Nestemäiset biopolttoaineet. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/nestemaiset_bio-polttoaineet [Viitattu 25.1.2019].

Nyberg, P. 2014. Uudet metsätalouden markkinalähtöiset liiketoimintamahdollisuudet. Pdf-dokumentti. Saatavissa: [http://puunkaytto.lieksada.fi/userfile/files/seminaari/Nyberg_Uudet_metsabiotalousden_markkinalahtoiset_liiketoimintamahdollisuudet_20140521_\(2\).pdf](http://puunkaytto.lieksada.fi/userfile/files/seminaari/Nyberg_Uudet_metsabiotalousden_markkinalahtoiset_liiketoimintamahdollisuudet_20140521_(2).pdf) [Viitattu 14.1.2019].

Our products. 2018. TFC. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.polyfurfurylalcohol.com/products> [Viitattu 10.12.2018].

Parlamentaarinen energia- ja ilmastokomitea. 2014. Energia- ja ilmastotiekartta 2050. pdf-dokumentti. Saatavissa: <https://tem.fi/documents/1410877/2628105/Energia-+ja+ilmastotiekartta+2050.pdf/1584025f-c5c7-456c-a912-aba0ee3e5052/Energia-+ja+ilmastotiekartta+2050.pdf.pdf> [Viitattu 12.2.2019].

Process Development for IH² Technology. CRI Catalyst. 2018. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.cricatalyst.com/cricatalyst/ih2/process-development.html> [Viitattu 3.12.2018].

PU Nordic. s.a. Polyuretaanista (PUR/PIR) valmistetut lämmöneristeet. Pdf-dokumentti. Saatavissa: http://www.pu-nordic.fi/files/pu-nordic/pdf/81228_PU_Nordic_lammoneriste_esite_spread_LR.pdf [Viitattu 11.2.2019].

Pöyry Management Consulting Oy. 2017. Metsäbiomassan kustannustehokas käyttö. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 23/2017. Saatavissa: https://tietokayttoon.fi/documents/10616/3866814/23_Mets%C3%A4biomassan+kustannustehokas+k%C3%A4ytt%C3%B6/6ce5cca0-78a5-4502-8af4-ffe42d5557c9?version=1.0 [Viitattu 8.1.2019].

RedArrow. 2018. Natural Smoked Flavors. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://redarrowusa.com/natural-smoked-flavors/> [Viitattu 2.1.2019].

Resende, F.L.P. 2016. Recent advances on fast hydrolysis of biomass. *Catalysis Today* 269, 148-155.

Schulzke, T., Iakovleva, A., Qiongmin, C., Conrad, S., Zabelkin, S., Grache, A. 2018. Polyurethane foams produce from pyrolysis oil – Production and possible application. *Biomass and Energy* 115, 195-202.

Setra. 2018. Preem and Setra collaborate on renewable fuel. Lehdistöiedote. Saatavissa: <https://www.setragroup.com/en/press/press-releases/2018/preem-and-setra-collaborate-on-renewable-fuel/> [Viitattu 2.1.2019].

Tjosås. F. 2017. Borregaard – 70 years+ experience in running a leading integrated biorefinery. Pdf-dokumentti. Saatavissa: http://www.biorefine2g.eu/images/WS-Stockholm/2-BioREFINE-2G_Workshop_EUBCE2017_Stockholm_Tjosas_Borregaard_web.pdf [Viitattu 7.1.2019].

Virent. 2016. Virent Bioformpx[®] paraxylene used to produce world's first 100 % plant based polyester shirts. Lehdistöiedote. Saatavissa: <http://www.virent.com/news/virent-bioformpx-paraxylene-used-to-produce-worlds-first-100-plant-based-polyester-shirts/> [Viitattu 3.1.2019].

Virtanen, S. 2019. Eduskunta sinetöi lain – Tieliikenteen polttoaineissa oltava vähintään 30 % biopolttoainetta vuonna 2029. Tekniikka ja talous. Saatavissa: https://www.tekniikkatalous.fi/talous_uutiset/liikenne/eduskunta-sinetoi-lain-tieliikenteen-polttoaineissa-oltava-vahintaan-30-biopolttoainetta-vuonna-2029-6757482 [Viitattu 10.2.2019].

Bioöjlaitoksen kustannuslaskelma sekä herkkyystarkastelu. Liite 1/1

	Tulos ennen poistoja [eur/a]	Tulos ennen poistoja [eur/l]	Annuiteetti [eur/a]	Sisäinen korkokanta [%]	Korollinen takai- sinmaksuaika, [a]
Perustarkastelu	2 109 336	0,11	1 287 685	14,0	9,0
Herkkyystarkastelu, Raaka-aineen hinta 15 eur/MWh	2 673 547	0,13	1 851 896	17,8	6,7
Herkkyystarkastelu, Raaka-aineen hinta 20 eur/MWh	1 831 441	0,09	1 009 790	12,2	10,8
Herkkyystarkastelu, Bioöljyn myyntihinta 0,72 eur/l	9 309 338	0,47	8 487 685	62,1	1,7
Herkkyystarkastelu, Bioöljyn myyntihinta 1,20 eur/l	18 909 336	0,95	18 087 685	126,1	0,8
Herkkyystarkastelu ilman investointitu- kea 25 milj. eur	1 409 336	0,07	39 918	5,2	44,7