

Biodiesel – ylikriittisen transesteröinti- laitoksen kannattavuustarkastelu

Teemu Jernfors

Opinnäytetyö

Toukokuu 2019

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Jernfors, Teemu	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2019
	Sivumäärä 49	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Biodiesel – ylikriittisen transesteröintilaitoksen kannattavuustarkastelu		
Tutkinto-ohjelma Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Pauliina Uusi-Penttilä, Marjukka Nuutinen		
Toimeksiantaja(t) Elomatic Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Kiristyvien päästörajoitusten ja fossiilisten polttoaineiden esiintymien vähenemisen myötä nykyisille polttoaineille tulee kehittää ympäristöystävällisiä korvikkeita, sillä polttoaineiden tarve kasvaa maailmalla jatkuvasti. EU:ssa säädetyn RES-direktiivin mukaan liikenteen energian loppukulutuksesta 10 % tulisi olla uusiutuvista lähteistä tuotettua vuoteen 2020 mennessä.</p> <p>Työn tehtävänä oli kerätä ja tuottaa tietoa teollisen kokoluokan ylikriittisen transesteröintilaitoksen kannattavuudesta. Ylikriittisiä laitoksia on maailmassa vasta muutama kappale, joten tietoa ja kokemuksia vastaavista laitoksista on tarjolla hyvin rajoitetusti. Tavoitteena oli saada selkeämpi kuva prosessin vaatimuksista sekä kustannuksista ja tuotoista.</p> <p>Työ suoritettiin kvantitatiivisena selvitystyönä, jossa oli kvalitatiivisia ominaisuuksia. Tietoa etsittiin muun muassa Internetiä hyödyntäen. Tarkasteluun koottiin yksi optimaalinen kuvitteellinen laitos, jonka kokoamiseksi selvitettiin eri laitostoimittajien julkisia ja salaisia prosessiratkaisuja. Prosessille laskettiin massatase, jonka avulla voitiin tehdä talouslaskelmat ja herkkyystarkastelu.</p> <p>Työn tuloksena rakennettiin Excelillä ylikriittisen transesteröintilaitoksen talouslaskelma- taulukko, josta selviää muun muassa tärkeimmät talousluvut sekä herkkyyssanalyysin tulokset. Taulukko toimii apuvälineenä konsultointi- ja suunnittelutyössä.</p> <p>Työn tekohetken aikaisten markkinahintojen perusteella biodieselin tuotanto ylikriittisesti transesteröimällä on karkeiden laskujen mukaan kannattavaa, vaikka biodieselin hinta on suhteellisen alhainen. Glyserolin myynnillä on kuitenkin kriittinen osuus tuloista. Mikäli glyserolia ei saada myytyä, muuttuu liikevoitto negatiiviseksi.</p>		
<p>Avainsanat (asiasanat)</p> <p>Biodiesel, kannattavuus, selvitys, ylikriittinen, transesteröinti, esterit, triglyseridi, metanoli</p>		
Muut tiedot		

Author(s) Jernfors, Teemu	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2019
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 49	Permission for web publication: x
Title of publication Biodiesel – profitability analysis of supercritical transesterification plant		
Degree programme Degree Programme in Energy and Environmental Technology		
Supervisor(s) Uusi-Penttilä, Pauliina; Nuutinen, Marjukka		
Assigned by Elomatic Oy		
<p>Abstract</p> <p>Due to the emission limits getting stricter and the decreasing fossil fuel deposits, environmentally-friendly substitutes should be developed for the existing fuels because the need for fuels is constantly increasing worldwide. According to EU RES directive, 10 % of final energy consumption in transport should come from renewable sources by 2020.</p> <p>The task of the thesis was to collect and produce information on the profitability of an industrial-scale supercritical transesterification plant. There are only a few supercritical plants in the world, so there is very limited information and experience on similar plants. The goal was to get a clearer picture of the process requirements and costs and returns.</p> <p>The thesis was a quantitative study with some qualitative features. Information was searched, among other things, using the Internet. One optimal fictional plant was assembled for review and public and secret process solutions from different plant suppliers were explored. A mass balance was calculated for the process which allowed making financial statements and a sensitivity analysis.</p> <p>As a result of the thesis, a financial statement table of the supercritical transesterification plant was built with Excel. It shows the main economic figures and the results of the sensitivity analysis. The table serves as a tool for consulting and planning.</p> <p>According to the market prices at the time of the study, biodiesel production by supercritical transesterification is, according to rough calculations, profitable even though the price of biodiesel is relatively low. Glycerol sales, however, have a critical share of the revenue. If glycerol cannot be sold, the operating profit will turn negative.</p>		
Keywords/tags (subjects) Biodiesel, profitability, supercritical, transesterification, esters, triglycerid, methanol		
Miscellaneous		

Käytetyt lyhenteet ja termit

ASTM:	Kansainvälinen standardisoimisjärjestö (American Society for Testing and Materials).
FAAE:	Rasvahapon alkyylesteri (Fatty Acid Alkyl Ester).
FAEE:	Rasvahapon etyyliesteri (Fatty Acid Ethyl Ester).
FAME:	Rasvahapon metyyliesteri (Fatty Acid Methyl Ester).
Homogeeninen seos:	Tasalaatuinen seos, jossa ei ole erotettavissa selkeää faasirajaa seoksen komponenttien välillä.
Hydrolyysi:	Kemiallinen reaktio, jossa yhdiste hajoaa vettä lisättäessä takaisin lähtöaineikseen.
Katalyytti:	Aine, joka nopeuttaa kemiallista reaktiota tietyssä lämpötilassa, kuitenkin itse kulumatta reaktiossa.
Kvantifiointi:	Jonkin asian määrän määrittäminen tai ilmaisu.
SFS-EN:	Suomessa (SFS) ja Euroopassa (EN) vahvistettu standardi.
Tislaus:	Menetelmä, jolla erotetaan eri aineet toisistaan perustuen niiden eri höyrystymislämpötiloihin.
Transesteröinti:	Vaihtoesteröinti. Biodieselin valmistusmenetelmä.
UCO:	Käytetyt paistoöljyt (Used Cooking Oils).
VCO:	Neitseelliset paistoöljyt (Virgin Cooking Oils).
Viskositeetti:	Suure, joka kuvaa fluidin kykyä vastustaa virtaamista.

Sisältö

1	Johdanto.....	5
1.1	Toimeksiantaja	6
1.2	Opinnäytetyön tavoitteet ja tarve.....	6
1.3	Tutkimusmenetelmät ja -kysymykset	7
1.4	Rajaus	7
2	Biodieselin valmistusprosessit	8
2.1	Transesteröinti	8
2.1.1	Alkoholi	9
2.1.2	Katalyytit.....	10
2.1.3	Lämpötila ja paine	11
2.1.4	Mahdolliset sekundaarireaktiot	11
2.1.5	Biodieselin laatuvaatimukset.....	12
2.1.6	Raakabiodieselin tislauk.....	13
2.2	Ylikriittinen transesteröinti	14
2.2.1	Veden ja vapaiden rasvahappojen vaikutus prosessiin.....	16
2.2.2	Terminen hajoaminen	17
2.2.3	Biodieselin ominaisuus tukiliuottimena	17
3	Käytetyt paistoöljyt ja eläinrasvat biodieselin tuotannossa	18
3.1	Ympäristönäkökulma.....	18
3.2	Saatavuus	19
3.3	Ominaisuudet	20
3.4	Tekniset haasteet ja mahdollisuudet	21
4	Verotus ja tuet.....	22
4.1	Energiatuki.....	22

4.2	Valmistevero.....	22
4.3	Arvonlisävero.....	24
5	Kannattavuustarkastelu	24
5.1	Prosessikuvaus ja virtauskaavio	24
5.2	Investointikustannukset	28
5.3	Tulot.....	30
5.4	Menot	31
5.5	Annuiteetti.....	33
5.6	Takaisinmaksuaika.....	34
5.7	Herkkyystarkastelu	35
6	Tulokset	36
6.1	Laskentatyökalu.....	36
6.2	Tärkeimmät talousluvut	36
6.3	Herkkyysanalyysi	37
7	Pohdinta	38
	Lähteet.....	41
	Liitteet	45

Kuviot

Kuvio 1. Maailmanlaajuinen polttoaineiden kysynnän kehitys (Ding, Fitzgibbon & Szabat 2018, muokattu).	5
Kuvio 2. Transesteröintireaktio, jossa R on alkyyli ryhmä ja R_1 , R_2 ja R_3 ovat rasvahappoketjuja (Salmijärvi 2015).	9
Kuvio 3. Saippuoitusreaktio (Kannisto 2012).	11
Kuvio 4. Vesi ja triglyseridi muodostavat glyserolia ja vapaita rasvahappoja (Kannisto 2012).	12
Kuvio 5. Yksinkertaistettu ylikriittisen transesteröinnin prosessikaavio (Stavroula & Tsoutsos 2013, muokattu).	15
Kuvio 6. Alkyyliesterin hydrolyysi ja rasvahapon esteröityminen (Ngamprasertsith & Sawangkeaw 2011, muokattu).	17
Kuvio 7. Lihantuotanto ja -kulutus Suomessa (Lihantuotanto Suomessa 2018).	19
Kuvio 8. Ylikriittisen transesteröintilaitoksen virtauskaavio ja massatase.	25
Kuvio 9. Kertoimien avulla lasketut massavirrat 1200 L/h kapasiteetille.	27
Kuvio 10. Arvioitu kokonaisinvestointikustannus 20 L/min kapasiteetille.	30
Kuvio 11. Annuiteettilainan tasaerän funktio Excel-taulukkolaskentaohjelmassa.	34
Kuvio 12. Investoinnin takaisinmaksuajan funktio.	35
Kuvio 13. Herkkyystarkastelu, biodieselin tuotantokustannukset.	38

Taulukot

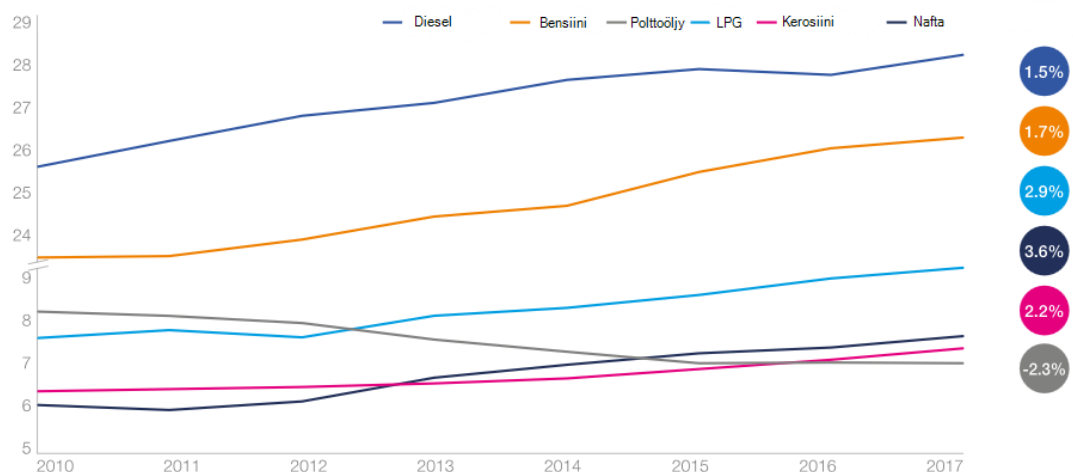
Taulukko 1. Standardin SFS-EN 14214 + A1 mukaiset FAMEn laatukriteerit (EN 14214:2012).	13
---	----

Taulukko 2. Ylikriittisen transesteröinnin alkuperäiset prosessiarvot, jossa MEP = metyyliesteripitoisuus, EEP = etyyliesteripitoisuus ja ES = ei saatavilla (Ngamprasertsith & Sawangkeaw 2011, muokattu).....	16
Taulukko 3. Eri syötteiden ominaisuuksia (Meier ym. 2009, muokattu).	21
Taulukko 4. Erilaisten biodieselöljyjen valmisteverot (Nestemäisten polttoaineiden verotaulukot 2019).....	23
Taulukko 5. Vuotuiset tonnit ja päivittäiset kilogrammat.	27
Taulukko 6. Ylikriittisen transesteröintilaitoksen arvioitu investointikustannus – Lähteenä Jatro Renewables.	28
Taulukko 7. Biodieselin tuotannosta saatavat tulot.	31
Taulukko 8. Vuotuiset menot ja niiden prosenttiosuudet kokonaiskustannuksista....	33
Taulukko 9. Yksittäisille muuttujille lasketut uudet arvot.....	36
Taulukko 10. Tärkeimmät talousluvut.	37
Taulukko 11. Herkkyysanalyysin tulokset.	37

1 Johdanto

Kiristyvien päästörajoitusten ja fossiilisten polttoaineiden esiintymien vähenemisen myötä nykyisille polttoaineille tulee kehittää ympäristöystävällisiä korvikkeita, sillä polttoaineiden tarve kasvaa maailmalla jatkuvasti (kuvio 1). EU:ssa säädetyn RES-direktiivin mukaan liikenteen energian loppukulutuksesta 10 % tulisi olla uusiutuvista lähteistä tuotettua vuoteen 2020 mennessä (Cederlöf 2018). Fossiiliset polttoaineet vapauttavat palaessaan ilmakehään pienhiukkasia ja kasvihuonekaasuja, muun muassa hiilen-, typen- ja rikin oksideja. Korvikkeen tulee olla taloudellisesti kilpailukykyinen, vähäpäästöinen, teknisesti toteuttamiskelpoinen sekä helposti saatavilla. Kasviöljyistä ja eläinrasvoista valmistettava biodiesel täyttää edellä mainitut ominaisuudet ja sen suosio kasvaa voimakkaasti. (Karki, Oh, Poudel, Sanjel & Shah 2017; Ngamprasertsith & Sawangkeaw 2011.)

Fossiiliseen dieseliin verrattuna biodieselin käyttö laskee hiilimonoksidin ja pienhiukkasten määrää, sillä se palaa puhtaammin sisältämänsä hapen ansiosta. Uusiutuvaa raaka-ainetta on saatavilla paikallisesti ja se sopii fossiiliseen dieseliin sekoitettuna nykyisiin dieselmoottoreihin. Muita biodieselin hyviä ominaisuuksia ovat pienempi rikkipitoisuus, korkeampi biohajoavuus sekä parempi palamistehokkuus ja paremmat voiteluominaisuudet. (Karki ym. 2017; Ngamprasertsith & Sawangkeaw 2011.)



Kuvio 1. Maailmanlaajuinen polttoaineiden kysynnän kehitys (Ding, Fitzgibbon & Szabat 2018, muokattu).

1.1 Toimeksiantaja

Elomatic Oy on perustettu vuonna 1970 Ari Elon toimesta ja se on yksi Suomen johtavimmista, yksityisomistuksessa olevista suunnittelu- ja konsultointitoimistoista. Konserni työllistää 950 eri teollisuusalojen ammattilaista ympäri maailman, joista suurin osa on koulutukseltaan insinöörejä. Elomatic tarjoaa konsultointi-, suunnittelu-, tuotekehitys- ja projektinhallintapalveluita sekä tuotteita ja kokonaisratkaisuja teollisuusyrityksille sekä julkisen sektorin organisaatioille. (Elomatic n.d.)

Elomatic tuottaa palveluitaan monille eri teollisuuden aloille, muun muassa kemian- ja elintarviketeollisuudelle, biomassan jalostukselle, lääketeollisuudelle, energiateollisuudelle, kone- ja laitevalmistusteollisuudelle, meriteollisuudelle sekä offshore-teollisuudelle. Kirjavaan palvelupalettiin sisältyy muun muassa suunnittelupalvelut, jotka kattavat laajan valikoiman eri aloja LVI-suunnittelusta lentokone- ja kevytrakennesuunnitteluun, sekä teknisen laskennan palvelut, kuten virtaus-, lujuus- ja CEM-laskennan. Lisäksi Elomatic tuottaa tehokkuuspalveluita, kuten energiakatselmuksia ja materiaalikatselmuksia sekä Elomaticin omaa FORMIOT-data-analyysipalvelua. (Elomatic n.d.)

Palveluiden lisäksi Elomatic tarjoaa myös tuotteitaan, kuten tytäryhtiönsä kehittelmää Cadmatic-suunnitteluohjelmistoa. Tuotteisiin kuuluu myös erilaiset tiedonhallintatyökalut, esimerkiksi energiateollisuuden voimalaitoksien kunnossapidon toimintaan ja hallintaan tarkoitettu 360°tools, joka perustuu innovaatioon, jossa laitteet, huollot ja laitedokumentit ovat linkitetty laitoksen 360° pallopanoraamakuviin. Ohjelmistojen lisäksi Elomatic tuottaa tytäryhtiönsä Caligo Industria Oy:n kautta savukaasupesureita ja lämmöntalteenottojärjestelmiä sekä FloWQ™ öljykenttien tuotantojärjestelmiä vaikeasti saavutettaviin aavikko- ja arktisiin oloihin. (Elomatic n.d.)

1.2 Opinnäytetyön tavoitteet ja tarve

Työn tavoitteena oli kerätä ja tuottaa tietoa teollisen kokoluokan ylikriittisen transesteröintilaitoksen kannattavuudesta. Ylikriittisiä laitoksia on maailmassa vasta muutama kappale, joten tietoa ja kokemuksia vastaavista laitoksista on tarjolla hyvin

rajoitetusti. Lisäksi työssä kartoitettiin erilaisia loppukäytön mahdollisuuksia ja niiden tuottoja sekä lopputuotteen vaatimuksia esimerkiksi liikenteen biopolttoaineena.

Selvitystyön tuloksena rakennettiin talouslaskelmataulukko, joka toimii työkaluna esisuunnittelussa ja konsultoinnissa. Taulukkoon voidaan syöttää tiedot halutusta tuotantomäärästä, jolloin taulukko laskee prosessin massataseen sekä arvioidut tulot ja kustannukset. Työstä saadun tiedon perusteella pidettiin lisäksi koulutus toimeksiantajan henkilökunnalle.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja -kysymykset

Opinnäytetyö oli määrällinen selvitystyö, jossa oli kvalitatiivisia ominaisuuksia. Tutkimuksessa voidaan Kanasen (2015) mukaan käyttää rinnakkain tai peräkkäin eri tutkimusmenetelmiä, kuten laadullista ja määrällistä tutkimusta, jotka voivat täydentää toisiaan. Laadullinen tutkimus pyrkii selvittämään ja ymmärtämään ilmiöitä ja sen tekijöitä, jotka taas voidaan kvantifioida määrällisen tutkimuksen avulla. (Kananen 2015, 70)

Laadullisia osuuksia työssä olivat esimerkiksi prosessin vaatimusten selvittäminen sekä lain vaatimukset. Määrällisiä osuuksia puolestaan olivat massataseen laskenta sekä talouslaskelmat.

Keskeisimmät kysymykset, joihin työn tuloksena tuli saada vastaukset ovat:

1. Onko biodieselin tuottaminen ylikriittisellä menetelmällä kannattavaa?
2. Millainen on ylikriittisen transesteröintilaitoksen kustannusrakenne?
3. Millaiset tekijät vaikuttavat tuotantokustannuksiin?

1.4 Rajaus

Työ rajattiin yhteen tuotantomenetelmään, jonka tuotantokapasiteetiksi asetettiin 20 L/min. Pääraaka-aineena käytettiin heikkolaatuisempia syötteitä, kuten eläinpe-

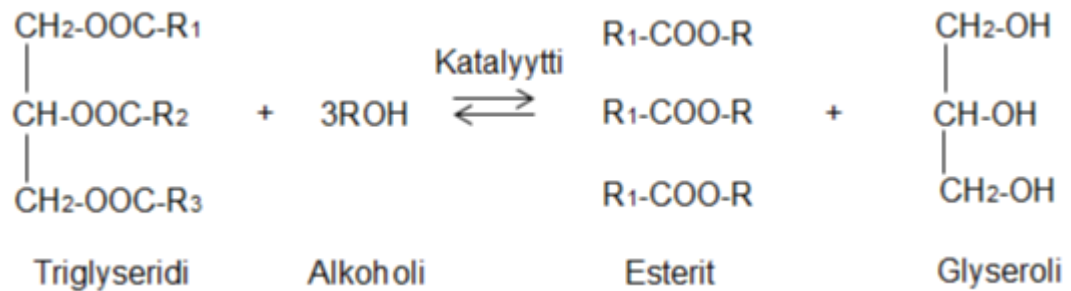
räisiä rasvoja ja käytettyjä paistoöljyjä. Työssä keskityttiin ylikriittisen transesteröinnin prosessiin, jonka teollisesta kokoluokasta on hyvin vähän tietoa saatavilla. Rajauksen ulkopuolelle jätettiin biodieselin markkinanäkymien analysointi sekä raaka-aineiden saatavuuden varmistaminen ja teurasjätteen hygienisointi.

2 Biodieselin valmistusprosessit

Teknisestä näkökulmasta biodieselin tuotanto on verrattain yksinkertaista, mikä mahdollistaa pientenkin hajatuotantolaitosten rakentamisen ilman ylettömän suuria kustannuksia. Biodieselin tuotannon prosessivaiheet sisältävät yleisimmillään raaka-aineiden esikäsittelyn ja suodattamisen, itse biodieselprosessin, glyserolin ja alkoholin erottamisen sekä raakabiodieselin pesun ja tislauksen. Yleisimmät biodieselprosessit ovat happo-, emäs- tai entsyymikatalysoitu transesteröinti ja ylikriittinen transesteröinti.

2.1 Transesteröinti

Biodieselin valmistus transesteröimällä eli vaihtoesteröimällä on vanhaa tekniikkaa, jota on tutkittu laajasti jo vuosien ajan etenkin pientuotantotarkoitukseen. Transesteröintireaktiossa eläinrasvan tai kasviöljyjen sisältämät triglyseridit reagoivat yhdessä alkoholin ja katalyytin kanssa kuvion 2 mukaisesti muodostaen rasvahappojen alkyyliestereitä FFAE (Fatty Acid Alkyl Ester) sekä glyserolia. Tasapainoyhtälöstä voidaan havaita, että yksi mooli triglyseridiä vaatii kolme moolia alkoholia, jotta reaktio olisi mahdollinen. Näin ollen reaktion moolinen alkoholi/öljysuhde on 3:1. Saannon parantamiseksi ja reaktion nopeuttamiseksi alkoholia tulisi käyttää ylimäärin, jotta tasapaino asettuisi suotuisammin tuotteiden puolelle. Kun alkoholia on kaksinkertainen määrä öljyyn nähden eli moolinen suhde on 6:1, päästään jopa 98 %:n esterisaantoon. (Kannisto 2012; Malkki 2006.)



Kuvio 2. Transesteröintireaktio, jossa R on alkyyliryhmä ja R₁, R₂ ja R₃ ovat rasvahappopoketjuja (Salmijärvi 2015).

2.1.1 Alkoholi

Transesteröimisprosessissa käytetään yleisimmin metanolia tai etanolia. Mikäli käytetään metanolia, syntyy rasvahapon metyyliesteriä FAME (Fatty Acid Methyl Ester), kun taas etanolin myötä saadaan rasvahapon etyyliesteriä FAEE (Fatty Acid Ethyl Ester) (Abreu, Coldebella, Cunha, Feddern, Filho, Higarashi, Prá, & Sulenta 2011). Näistä kahdesta alkoholista metanoli on laajemmassa käytössä sen alhaisemman hinnan, paremman saatavuuden, nopeamman reaktion ja helpomman kierrätettävyyden vuoksi (Musa 2014). Lisäksi metanolin viskositeetti on alhaisempi kuin etanolin, mikä vaikuttaa myös biodieselin viskositeettiin. Mitä alhaisempi viskositeetti, sen juoksempaa neste on. Toisaalta metanolin käyttäminen ympäristönäkökulmasta on haitallisempaa, koska se lisää biodieseliin fossiilisen komponentin, sillä metanolia valmistetaan maakaasusta (Guerrero, Guerrero-Romero & Sierra, 2011).

Yksi transesteröitymisreaktiota hidastavista tekijöistä on alkoholin ja rasvan luontainen sekoittumattomuus normaaliolosuhteissa. Koska reaktio tapahtuu näiden kahden aineen rajapinnassa, voidaan reaktioaikaa lyhentää huomattavasti hajottamalla alkoholipisarot ultraäänellä ultrapieniksi, jolloin sekoitettaessa rasvaan aineiden välinen pinta-ala kasvaa eksponentiaalisesti. Tällöin myös reaktorikokoa voidaan pienentää. (Kotrba 2014.)

2.1.2 Katalyytit

Vaihtoesteröintireaktio ilman katalyyttiä hyvän saannon aikaan saamiseksi on runsaasti aikaa vievää, elleivät olosuhteet ole ylikriittiset. Katalyyttinä voidaan käyttää happoa, emästä tai entsyymiä, joista tehokkaimmiksi huoneenlämmössä on todettu emäs ja entsyymi. (Malkki 2006).

Happo

Mikäli katalyytiksi valitaan happo, käytetään mieluiten rikkihappoa. Happokatalysoidun reaktion saanto on korkea, mutta reaktiot tapahtuvat hyvin hitaasti ja katalyytti on syövyttävämpää kuin emäskatalyytti. Lisäksi liiallisen alkoholin käyttö aiheuttaa haasteita glyserolin erottamiseen esteristä. (Guerrero ym. 2011.)

Emäs

Happokatalyyttiin verrattuna emäskatalyytti puolestaan kiihdyttää reaktiota, mutta saattaa aiheuttaa haitallista saippuoitumista syötteen sisältämän veden ja vapaiden rasvahappojen reagoidessa katalyytin kanssa. Emäskatalysoidussa vaihtoesteröinnissä saanto on korkea, ja katalyytteinä käytetään yleisimmin natriumhydroksidia eli lipeää (NaOH) tai kaliumhydroksidia (KOH), jotka liuotetaan alkoholi-öljyseokseen. Näin ollen niitä ei enää saada kerättyä uudelleenkäyttöä varten. (Guerrero ym. 2011; Malkki 2006.)

Entsyymi

Entsyymikatalysoidun reaktion hyviä puolia on sen sietokyky öljyn sisältämää kosteutta ja vapaita rasvahappoja vastaan, sillä entsyymit eivät aiheuta saippuoitumista. Lisäksi reaktio-olosuhteet, paine ja lämpötila, voidaan pitää alhaisemmalla tasolla vähentäen näin energiankulutusta. Entsyymien hintataso on kuitenkin korkeampi kuin happojen ja emäksien. Reaktioaika on pitkä, ja glyserolin absorboituminen entsyymin pinnalle vaikeuttaa sen erottamista. (Adrianos, Antunes, Braga, Brescia, Camacho, Cocchi, Filice, García, Giglio, Johnson, Magnolfi, Oliveira, Paraiba, Ruiz, Tournaki, Tsoutsos, Uggè & Yorgos 2015.)

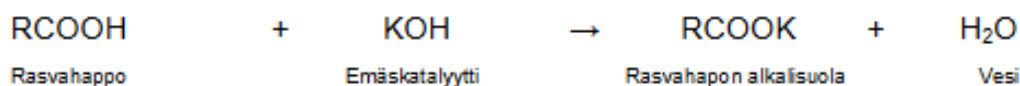
2.1.3 Lämpötila ja paine

Normaalisti vaihtoesteröinti suoritetaan normaali-ilmanpaineessa 60-70 °C lämpötilassa hieman metanolin kiehumispisteen alapuolella (65 °C) (Malkki 2006). Reaktiolämpötilaa nostaessa yli 120 °C saadaan reaktiota nopeutettua ja saantoa lisättyä. Lämpötilan nosto vaatii kuitenkin myös paineen nostoa metanolin höyrystymisen estämiseksi, jolloin reaktorilta vaaditaan paineensietokykyä. Taloudellinen ratkaisu on käyttää putkimallisia reaktoreita, joiden painetta säädetään venttiilillä. (Kotrba 2014.)

Korkeamman paineen ja lämpötilan etuna on myös ylijääneen metanolin helpompi erotus, kun reaktorin jälkeen asennetaan paisuntasäiliö. Reagoimaton metanoli höyrystyy paineen laskiessa ja se voidaan kerätä ilmalauhduttimella uudelleenkäytettäväksi. Metanolin erottaminen nopeuttaa huomattavasti biodieselin ja glyserolin erottamista. (Kotrba 2014.)

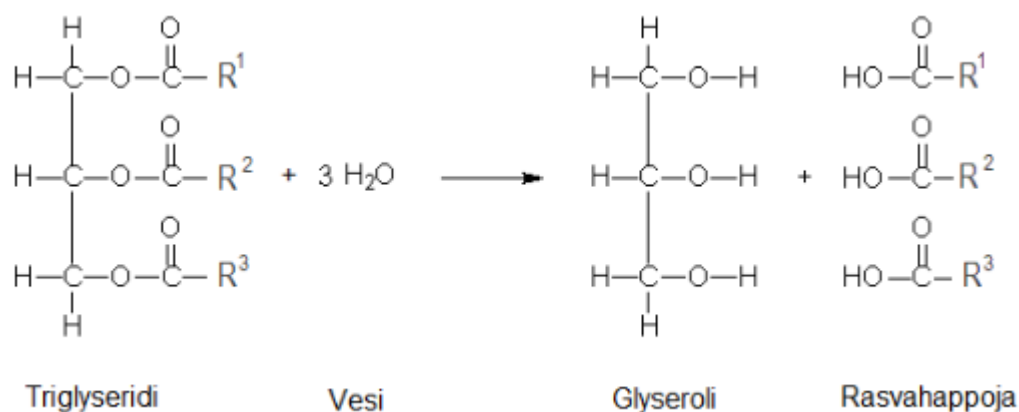
2.1.4 Mahdolliset sekundaarireaktiot

Emäskatalysoidussa transesteröinnissä voi esiintyä saippuoitumista, jossa syötteen sisältämät vapaat rasvahapot reagoivat emäskatalyytin kanssa muodostaen prosessille haitallista saippuaa ja vettä (kuvio 3). Saippuoituminen rajoittaa reaktiota ja vaikeuttaa tuotteen puhdistamista. (Salmijärvi 2015.) Lisäksi katalyytin tarve kasvaa, mikä puolestaan lisää kustannuksia.



Kuvio 3. Saippuoitusreaktio (Kannisto 2012).

Vesi puolestaan hydrolysoi triglyseridejä irrottaen vapaita rasvahappoja kuvion 4 mukaisesti (Kannisto 2012). Vettä voi muodostua katalyytin muodostumisreaktiossa tai rasvahappojen neutraloitumisessa, tai se voi siirtyä syöteaineiden mukana (Malkki 2006).



Kuvio 4. Vesi ja triglyseridi muodostavat glyserolia ja vapaita rasvahappoja (Kannisto 2012).

2.1.5 Biodieselin laatuvaatimukset

Eurooppalainen biodieselin laatustandardi EN 14214 julkaistiin vuonna 2003 90-luvulla alkanen standardien kehitystyön ansiosta. EN 14214:2012 –standardia sovelletaan liikenteen ja lämmitysjärjestelmien polttoaineisiin, jotka ovat puhtaasta biodieselistä koostuvia B100-polttoaineita tai fossiilisen- ja biodieselin seoksia B10-seossuhteeseen asti. Huomioitavaa on, että standardia voidaan soveltaa ainoastaan metanolilla valmistettuun, metyyliestereistä koostuvaan biodieseliin eli FAMEen, jonka minimiesteripitoisuudeksi vaaditaan vähintään 96,5 %. Vaikka raja-arvot on määritelty neitseellisistä kasviöljyistä valmistetulla FAMElla, ei standardi kuitenkaan rajoita muiden syötteiden käyttöä. EN 14214:2012 määrittelee biodieselin laatuksiteerit taulukon 1 mukaisesti. (EN 14214:2012).

Taulukko 1. Standardin SFS-EN 14214 + A1 mukaiset FAMEn laatukriteerit (EN 14214:2012).

Ominaisuus	Yksikkö	Minimi	Maksimi	Testausmenetelmä
Tiheys (15 °C)	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675 / EN ISO 12185
Viskositeetti (40 °C)	mm ² /s	3,5	5,0	EN ISO 3104
Vesipitoisuus	mg/kg		500	EN ISO 12937
Kokonais epäpuhtaudet	mg/kg		24	EN 12662
Leimahduspiste	°C	101		EN ISO 2719
Esteripitoisuus	%(m/m)	96,5		EN 14103
Tislausjäännös	%(m/m)		0,30	EN ISO 10370
Sulfinoidun tuhkan pitoisuus	%(m/m)		0,02	ISO 3987
Rikkipitoisuus	mg/kg		10	EN ISO 20846 / EN ISO 20884 / EN ISO 13032
Maametallit (Na + K)	mg/kg		5	EN 14108 / EN 14109 / EN 14538
Maa-alkalimetallit (Ca + Mg)	mg/kg		5	EN 14538
Fosforipitoisuus	mg/kg		4	EN 14107 / prEN 16294
Kuparikorroosiotesti (3 h, 50 °C)	Luokka		1	EN ISO 2160
Setaaniluku	-	51		EN ISO 5165
Happoluku	mgKOH/g		0,50	EN 14104
Vapaa glyseroli	%(m/m)		0,02	EN 14105 / EN 14106
Kokonaisglyseroli	%(m/m)		0,25	EN 14105
Monoglyseridipitoisuus	%(m/m)		0,70	EN 14105
Diglyseridipitoisuus	%(m/m)		0,20	EN 14105
Triglyseridipitoisuus	%(m/m)		0,20	EN 14105
Metanolipitoisuus	%(m/m)		0,20	EN 14110
Jodiluku	g/100g		120	EN 14111 / EN 16300
Hapetuksen kestävyys (110 °C)	h	8		EN 14112
Linoleenihapon metyyliesteri	%(m/m)		12	EN 14103
Polytyydyttymättömät metyyliesterit	%(m/m)		1	EN 15779

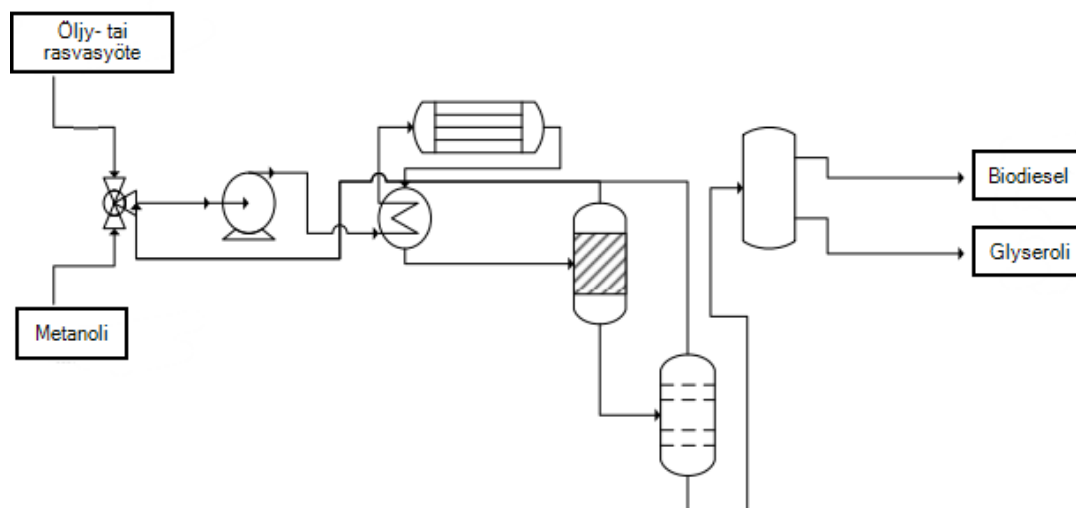
2.1.6 Raakabiodieselin tislaus

Tislauksella eli haihduttamisella erotellaan metanoli raakabiodieselistä ja glyserolista. Biodieselin tislaus puolestaan poistaa reaktiosta jäljelle jääneet komponentit kuten rikin, metallit ja suolat sekä parantaa sen laatua täyttäen biodieselin laatuvaatimukset. Lisäksi tislauksella poistetaan sterolit, jotka aiheuttavat suodattimien tukkeutusta kylmällä säällä, sekä keltaisen värin tehden biodieselistä kirkasta. Reagoimattomat mono-, di- ja triglyseridit voidaan kierrättää takaisin prosessiin. (Supercritical Biodiesel 2018)

2.2 Ylikriittinen transesteröinti

Kun lämpötila ja paine ylittävät kriittisen pisteen, tulee aineesta ylikriittistä nestettä. Ylikriittisessä olomuodossaan aineen molekyyleillä on korkea kineettinen energia kuten kaasuilla ja nesteen tavoin korkea tiheys. Näin ollen aineen kemiallista reaktiivisuutta voidaan parantaa. Lisäksi ylikriittinen metanoli toimii loistavasti liuottimena, jolloin muutoin sekoittumattomat metanoli ja öljy/rasva saadaan sekoitettua homogeeniseen yhden faasin olomuotoon. Homogeenisessa seoksessa ei ole reaktiota rajoittavaa massan siirtymistä, jolloin reaktio etenee erittäin nopeasti. (Kusdiana, Minami & Saka 2006.)

Ylikriittinen transesteröityminen eli vaihtoesteröityminen ylikriittisissä olosuhteissa on triglyseridien transesteröimistä estereiksi korkeassa lämpötilassa ja paineessa ilman katalyytin läsnäoloa. Kuviossa 5 on yksinkertaistettu esimerkkikaavio ylikriittisestä transesteröintiprosessista. Perinteiseen homogeeniseen emäskatalysoituun prosessiin verrattuna menetelmä ei vaadi katalyyttiä, ei tuota jätevesiä, ei aiheuta saippuoitumista, separointi on helpompaa ja reaktioaste on korkeampi. (Farobie & Matsumura 2015.) Menetelmä vaatii kuitenkin korkean lämpötilan ja paineen, mikä vaikuttaa prosessin taloudellisuuteen energiakustannusten ja turvallisuusvaatimusten suhteen. Vaikeat olosuhteet vaikuttavat myös käytettäviin materiaaleihin korroosion ja suolan kerrostumisen muodossa. (Karki, ym. 2017.)



Kuvio 5. Yksinkertaistettu ylikriittisen transesteröinnin prosessikaavio (Stavroula & Tsoutsos 2013, muokattu).

Ylikriittisessä transesteröinnissä käytetään yleisimmin metanolia sen alhaisen kriittisen pisteen ja korkeamman aktiivisuuden vuoksi, mutta myös etanoli on kiinnostava vaihtoehto, sillä sitä voidaan valmistaa teollisesti uusiutuvista raaka-aineista monissa maissa. Lisäksi alkoholia tulisi käyttää reilusti enemmän kuin katalysoiduissa menetelmissä, sillä reaktioseoksen kriittinen piste laskee alkoholi-öljymoolisuhteen kasvaessa. Monissa tutkimuksissa alkoholi-öljymoolisuhteet ovat olleet 24:1, 40:1, 42:1 ja jopa 50:1. Ylikriittisen transesteröinnin tärkeimmät prosessiarvot ovat lämpötila, paine, reaktioaika ja alkoholi-öljymoolisuhte, joista tärkein on prosessilämpötila. (Ngamprasertsith & Sawangkeaw 2011.)

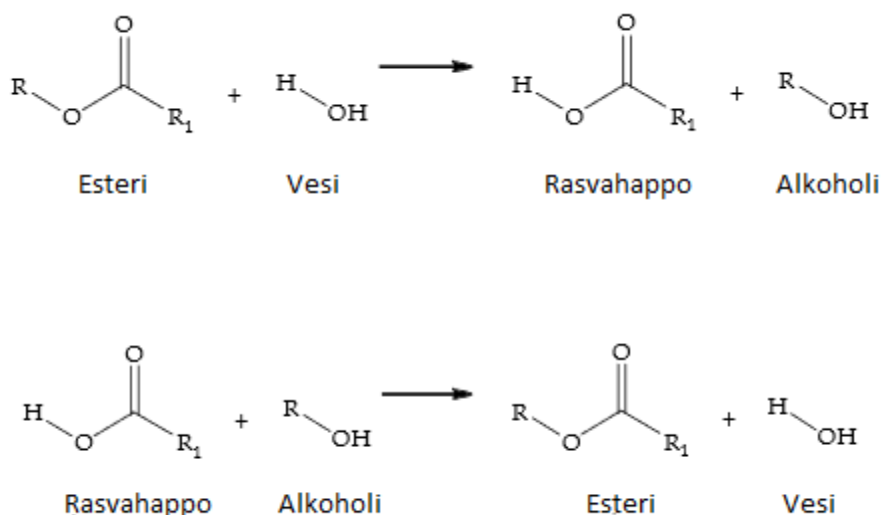
Monista tutkimuksista huolimatta optimaalisten prosessiarvojen määrittäminen teollisessa kokoluokassa on vaikeaa, koska prosessiin vaikuttaa useat tekijät. Niin kutsutut alkuperäiset kokeelliset reaktioarvot ja optimaaliset olosuhteet on kerätty taulukoon 2. Niin kuin taulukosta voidaan havaita, suurimmat saannot saadaan lämpötilan ollessa 300–350 °C, paineen 20–35 MPa, alkoholi-öljymoolisuhteen 40:1–42:1 ja reaktioajan 5–30 min. (Ngamprasertsith & Sawangkeaw 2011.)

Taulukko 2. Ylikriittisen transesteröinnin alkuperäiset prosessiarvot, jossa MEP = metyyliesteripitoisuus, EEP = etyyliesteripitoisuus ja ES = ei saatavilla (Ngamprasertsith & Sawangkeaw 2011, muokattu).

Öljytyyppi	Alkoholi	T (°C)	P (Mpa)	Alkoholi:öljy (mol:mol)	Reaktioaika (min)	Reaktori (koko/tyyppi)	Saanto
Kookos & öljypalmun pähkinä	Metanoli	350	19	42:1	7 - 15	251 ml / Jatkuva	95 % MEP
Hasselpähkinä & puuvillansiemen	Metanoli	350	ES	41:1	5	100 ml / Erä	95 % MEP
Palmu- ja maapähkinä	Metanoli	400	20	50:1	30	11 ml / Erä	95 % konversio
Palmun pähkinä	Metanoli	350	20	42:1	30	250 ml / Erä	95 % MEP
Rapsinsiemen	Metanoli	350	45	42:1	4	5 ml / Erä	98 % MEP
Rapsinsiemen	Metanoli	350	20	42:1	30	200 ml / Jatkuva	87 % MEP
Soijapapu	Metanoli	350	20	42:1	30	250 ml / Erä	95 % MEP
Auringonkukka	Metanoli & etanoli	400	20	40:1	30	8 ml / Erä	97 % konversio
Risiini	Etanoli	300	20	40:1	ES	42 ml / Jatkuva	75 % EEP
Soijapapu	Etanoli	350	20	40:1	15	42 ml / Jatkuva	80 % konversio
Auringonkukka	Etanoli	280	ES	40:1	5	100 ml / Erä	80 % EEP

2.2.1 Veden ja vapaiden rasvahappojen vaikutus prosessiin

Toisin kuin emäskatalysoidussa vaihtoesteröinnissä, reaktiossa olevasta vedestä tai vapaista rasvahapoista ei aiheudu ylikriittiselle prosessille haittaa. Syötteen joustavuuden katsotaankin olevan menetelmän tärkein tekijä. Kaksiportaisessa ylikriittisen veden ja metanolin menetelmässä (Saka-Danan-prosessi) alkyylistereiden ja triglyseridien hydrolyysin seurauksena syntyneet vapaat rasvahapot esteröityvät alkoholin kanssa alkyylistereiksi ylikriittisissä olosuhteissa kuvion 6 mukaan (Kusdiana ym. 2006). Näin ollen prosessissa voidaan hyödyntää edullisempia, heikkolaatuisempia syötteitä, jotka sisältävät enemmän kosteutta ja vapaita rasvahappoja kuin korkealaatuiset raaka-aineet. Tästä johtuen myös syötteen esikäsittely- ja puhdistuskulut ovat alhaisemmat (Choi, Karki, Oh, Poudel & Sanjel 2017). Alkyylisterin ja triglyseridin hydrolysoituminen vaatii 210 °C ja 300 °C lämpötilat ja yli 20 MPa paineen veden läsnä ollessa. (Ngamprasertsith & Sawangkeaw 2011).



Kuvio 6. Alkyyliesterin hydrolyysi ja rasvahapon esteröityminen (Ngamprasertsith & Sawangkeaw 2011, muokattu).

2.2.2 Terminen hajoaminen

Ylikriittisen transesteröinnin korkean lämpötilan varjopuolena on tyydyttymättömien rasvahappojen terminen hajoaminen, joka voi tapahtua yli 300 °C lämpötiloissa 15 minuutin reaktioajan jälkeen. Hajonnut triglyseridi voi transesteröityä alkyyliesteriksi ylikriittisessä tilassa, mutta tässä tapauksessa muodostuneet esterit eivät ole samoja estereitä kuin ehjästä triglyseridistä muodostuneet. Liiallinen reaktiolämpötila voi siis heikentää biodieselin laatua laskemalla sen hyväksytyjen esterien pitoisuutta. (Ngamprasertsith & Sawangkeaw 2011.)

2.2.3 Biodieselin ominaisuus tukiliuottimena

Koska öljysyöte ja alkoholi ovat luonnostaan keskenään sekoittumattomia, on niiden reaktorajapinta pieni. Aineita on perinteisesti yritetty sekoittaa sekoittimilla, erilaisilla liuottimilla ja käyttämällä aiemmin mainittua alkoholin pisaroimista ultraäänellä. Kotrba (2014) kuitenkin kertoo artikkelissaan, että tietty määrä biodieseliä syöteaineiden sekoitusvaiheessa voi toimia öljyn ja alkoholin tukiliuottimena muodostaen homogeenisen seoksen. Huomionarvoista havainnossa on, että homogeenisessä

seoksessa reaktiorajapinta ei enää toimi reaktiota hidastavana tekijänä, jolloin metanolin määrää ylikriittisessä transesteröinnissä voidaan vähentää. Prosessi, jossa raakabiodieseliä johdetaan separoinnin jälkeen takaisin prosessin alkupäähän, missä se sekoitetaan metanolin ja öljyn kanssa halutussa suhteessa, on patentoitu Yhdysvalloissa (U.S. Patent No. 8,420,841).

3 Käytetyt paistoöljyt ja eläinrasvat biodieselin tuotannossa

Euroopassa biodieselin raaka-aineena on perinteisesti käytetty neitseellisiä, syötäviksi kelpaavia kasviöljyjä, VCO (Virgin Cooking Oils), kuten rypsi-, rapsi-, auringonkukka-, soijapapu- ja palmuöljyjä, joita on tutkittu runsaasti jo lukuisissa tutkimuksissa (Abreu ym. 2011). Neitseellisten kasviöljyjen käyttö biodieselin tuotannossa on kuitenkin taloudellisesti epäkäytännöllistä, sillä raaka-aineen osuudeksi on arvioitu 70–80 % tuotantokuluista (Choi ym. 2017; Cubas, Dutra, Feller, Machado, Moecke, Santos, Santos & Soares 2016). Eläinrasvojen ja käytettyjen paistoöljyjen, UCO (Used Cooking Oils), hyödyntäminen syötteenä on havaittu laskevan tuotantokustannuksia yli puoleen neitseelliseen kasviöljyyn verrattuna (Karki ym. 2017), sillä muuten jätteeksi päätyvä, heikkolaatuinen raaka-aine on selvästi halvempaa ja maasta riippuen runsaammin saatavilla. Eläinperäiset rasvat ovat pääsääntöisesti naudantalia, sianihraa, siipikarjanrasvaa ja kalaöljyjä (Abreu ym. 2011).

3.1 Ympäristönäkökulma

Kotitalouksissa syntyvien käytettyjen paistoöljyjen vääränlainen hävittämien joko jäteastian tai viemäriin voi aiheuttaa raskaita ympäristökuormituksia. Se on myrkyllistä vesistöille ja muille ekosysteemeille vapauttaen hajotessaan kasvihuonekaasuja. UCO voi tukkia viemäriputkia ja aiheuttaa hajuhaittoja sekä ylimääräisiä kuluja jätevedenpuhdistuslaitoksella lisääntyneen puhdistustarpeen ja energiankulutuksen myötä. Vuonna 2015 eurooppalaisten kotitalouksien arvioitiin tuottavan jopa 1748 miljoonaa tonnia käytettyjä paistoöljyjä, joista yli 60 % hävitettiin väärin. Tällä hetkellä Suomessa paistorasvat ohjeistetaan hävittämään tiiviissä pussissa tai pullossa

paikkakunnasta riippuen joko sekajätteeseen (Jätehuolto ja jätteiden lajittelu n.d.) tai biojätteeseen (Paistorasva n.d.). Asianmukaisesti lajiteltuna ja kerättynä kotitalouksien UCON energiapotentiaali on käytännössä rajaton. (Adrianos ym. 2015.) Muita alueellisia hyötyjä paremman jätteenkäsittelyn lisäksi voivat olla päästöjen paikallinen väheneminen, sosiaaliset ja taloudelliset vaikutukset kuten ympäristökasvatuksen lisääntyminen ja biodieselin myynnistä saatavat tulot (Cubas ym. 2016).

3.2 Saatavuus

Raaka-aineen saatavuuden varmistamiseksi tulisi tarkastella tuotantomaan lihantuotantoa, jotta tulevaisuudessa vältytään biodieselin tuotannon kasvusta johtuvan raaka-aineen kilpailun aiheuttamalta tuonnilta. Esimerkiksi Suomessa lihaa on tuotettu vuonna 2018 tehdyn selvityksen mukaan 398,2 miljoonaa kiloa vuoden 2017 aikana, josta sian-, naudan- ja siipikarjanlihan osuudet ovat 181,2; 85,4 ja 130,0 miljoonaa kiloa. Kuviosta 7 voidaan nähdä lihantuotannon ja -kulutuksen Suomessa vuodesta 1981 lähtien. (Lihantuotanto Suomessa 2018.) Eläinperäiset raaka-aineet ovat helposti ja valmiina saatavilla teurastamoiden korkealaatuisen käsittelymenetelmien ja tuotehallinnan ansiosta (Abreu ym. 2011).



Kuvio 7. Lihantuotanto ja -kulutus Suomessa (Lihantuotanto Suomessa 2018).

Suomessa syntyvistä käytetyistä paistoöljyistä ei löydy tarkkaa tietoa, mutta arvioita voidaan tehdä pikaruokaloiden ja ravintoloiden määrän perusteella. Esimerkiksi Helsingin vastuullisuusraportissa (2017) käy ilmi, että vuonna 2016 koko ketju on tuottanut 293,26 tonnia kierrätysrasvaa. Koko Suomen osalta paistoöljyn määrä on kuitenkin moninkertainen, kun mukaan lasketaan muut pikaruokaketjut, ravintolat ja kotitalouksissa syntyneet paistoöljyt.

3.3 Ominaisuudet

Meier, Sanford, Shah, Valverde, Wee ja White (2009) määrittivät testeillään useiden eri syötteiden ominaisuuksia amerikkalaisten standardien (ASTM, American Society for Testing and Materials) hyväksymillä menetelmillä. Taulukkoon 3 on kerätty opinnäytetyön aiheen kannalta oleelliset syötteen ominaisuudet: kalaöljy, naudantali, sianihra, siipikarjanrasva ja käytetyt paistoöljyt. Vertailun vuoksi taulukkoon on lisätty muutama yleisimmin käytetty neitseellinen kasviöljy: palmuöljy ja rypsiöljy.

Taulukosta 3 voidaan havaita, että eläinrasvojen osalta vesipitoisuuksissa on runsaasti eroja riippuen siitä, mistä lajista rasva on peräisin. Sianihran vesipitoisuus esimerkiksi on yli kolme kertaa korkeampi kuin siipikarjan- ja naudantalin ja kaksi kertaa niin korkea kuin kalaöljyllä, mutta toisaalta ihra vapaiden rasvahappojen määrä on selvästi alhaisempi kuin muiden lajien. Lisäksi huomionarvoista on, että rypsiöljyn ja siipikarjanrasvan viskositeetit ovat lähes samat samoin kuin palmuöljyn ja naudantalin.

Tulokset käytettyjen paistoöljyjen osalta ovat hieman ristiriitaisia, sillä Stavroulan ja Tsoutsoksen (2013) oppaassa viskositeetti on yli kuusi kertaa pienempi, $4,2 \text{ mm}^2/\text{s}$, kun taas vesipitoisuus on yli seitsemän kertaa suurempi, $1,9 \text{ \% (m/m)}$. Suuret erot tulosten välillä voivat ainakin osittain selittyä sillä, että käytettyjen paistoöljyjen laatu vaihtelee laajasti alkuperästä riippuen. UColla on syötteistä kaikkein korkein vapaiden rasvahappojen pitoisuus, mikä johtuu sen altistumisesta korkealle lämpötilalle ja vedelle ruoanlaiton yhteydessä johtaen triglyseridien hydrolysoitumiseen. Näin ollen UCon käyttö raaka-aineena asettaakin teknisiä haasteita.

Taulukko 3. Eri syötteiden ominaisuuksia (Meier ym. 2009, muokattu).

Syöte	Vesipitoisuus %(m/m)	Vapaat rasvahapot %(m/m)	Viskositeetti (40 °C) mm ² /s
Kalaöljy	0,106	1,37	24,31
Käytetyt paistoöljyt	0,242	2,72	27,00
Naudantali	0,051	1,61	45,34
Palmuöljy	0,049	0,54	44,79
Rypsiöljy	0,085	0,34	34,72
Sianihra	0,218	0,61	40,96
Siipikarjanrasva	0,065	1,70	36,63

3.4 Tekniset haasteet ja mahdollisuudet

Käytettyjen paistoöljyjen ja eläinrasvojen käyttöön vaikuttavat tekniset haasteet liittyvät pääsääntöisesti niiden epäpuhtauksien pitoisuuksiin kuten vapaisiin rasvahappoihin ja veteen, kun tuotantomenetelmänä käytetään katalyyttistä transesterointia. UCON laatu ja hinta riippuvat sen happo- ja saippuoitumisarvoista. Jos vapaiden rasvahappojen pitoisuus ylittää 3 %, aiheutuu siitä ongelmia. Kuten on jo aiemmin mainittu, vapaat rasvahapot ja vesi aiheuttavat prosessille haitallista saippuoitumista ja hydrolysoitumista. Syötteen heikko laatu aiheuttaa kustannuksia mittavien esikäsittelytoimenpiteiden seurauksena. (Stavroula & Tsoutsos 2013; Abreu ym. 2011.) Korkea viskositeetti puolestaan saattaa hankaloittaa syötteen kulkeutumista syöteputkistossa, jolloin syötteen ja putkiston lämmitys aiheuttaa lisäkustannuksia.

UCOn halpa hinta tekee siitä kuitenkin houkuttelevan raaka-ainevaihtoehtona VCON tilalle. Karki ja muut (2017) vertailivat tutkimuksessaan neitseellisistä- ja käytetyistä paistoöljyistä valmistettujen biodieselin laatua, ja lopputulos on positiivinen: UCOsta ja VCOsta valmistetut biodieselit ovat ominaisuuksiltaan saman kaltaisia. Käytettyjen paistorasvojen alhaisempi hinta ja positiiviset ympäristövaikutukset tekevät siitä ylivertaisen raaka-aineen neitseellisiin kasviöljyihin verrattuna varsinkin, jos biodiesel tuotetaan ylikriittisellä transesteroinnilla, jolloin syötettä ei tarvitse esikäsittellä veden poistamiseksi.

4 Verotus ja tuet

4.1 Energiatuki

Työ- ja elinkeinoministeriö voi myöntää tukea innovatiivisiin energia-alan investointi- ja selvityshankkeisiin. Niin kutsuttua kärkihanketukea voidaan myöntää uusiutuvan energian ja uuden energiateknologian investointeihin. Energiatukea voidaan myöntää sellaisiin hankkeisiin, jotka edistävät uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä. Tukea voi saada myös hankkeet, jotka edistävät energiansäästöä tai tehostavat energian tuotantoa tai käyttöä. Tukea voidaan myöntää myös silloin, kun pyritään muuttamaan energiajärjestelmää vähähiiliseksi. Tällaisia tuettavia hankkeita voivat olla esimerkiksi liikenteen biopolttoaineiden tuotantohankkeet, uuden teknologian demonstraatiohankkeet, pienet sähkön- ja lämmöntuotantohankkeet sekä erilaiset energiakatselmukset ja –analyysit. (Energiatuki n.d.)

Energiatuen osuus hyväksyttävistä kustannuksista voi investointihankkeessa olla maksimissaan 30 prosenttia ja selvityshankkeessa enintään 40 prosenttia. Lisäksi uudelle teknologialle voidaan myöntää tapauskohtaisesti korotettua tukea 40 prosenttiin asti. Biopolttoainehankkeissa tukea voidaan myöntää vain laitoshankkeille, joiden raaka-aineena ei käytetä jalostuskelpoista tukki- tai kuitupuuta. Tavanomaista teknologiaa hyödyntäville biokaasuhankkeille myönnetään tyypillisesti 20–30 -prosenttinen tuki, mutta hakijan on toimitettava suunnitelma mädätteen jatkojalostuksesta ja -käytöstä. (Energiatuki n.d.)

4.2 Valmistevero

Biodieselin tuotannossa sovelletaan nestemäisten polttoaineiden valmisteveroa, joka koostuu kolmesta osasta: energiasisältövero, hiilidioksidivero ja huoltovarmuusmaksu. Liikennepolttoaineeksi tarkoitetun polttoaineen energiasisältöveron osuus riippuu sen energiasisällöstä, kun taas hiilidioksidiveroa laskettaessa otetaan huomioon polttoaineen koko elinkaaren aikana syntyvät ekvivalenttiset hiilidioksidipäästöt. Huoltovarmuusmaksu puolestaan on kiinteä maksu, joka riippuu polttoaineen tyypistä. Moottoribensiinillä huoltovarmuusmaksu on 0,68 snt/l, dieselöljyllä ja kevyellä

polttoöljyllä 0,35 snt/l, raskaalla polttoöljyllä 0,28 snt/l ja nestekaasulla 0,11 snt/kg. (Nestemäisten polttoaineiden verotaulukot 2019; Polttoaineverolaki 1472/1994, 1 §).

Taulukkoon 4 on koottu biodieselöljyjen verojen osuudet ja suuruudet. Lyhenne R tarkoittaa tuotetta, joka täyttää biopolttoaineista ja bionesteistä annetussa laissa (393/2013) säädetyt kestävyyskriteerit ja niiden valvonnan. Lyhenne T puolestaan tarkoittaa tuotetta, joka täyttää kestävyyskriteerit ja sen lisäksi on tuotettu jätteistä, tähteistä, syötäväksi kelpaamattomasta selluloosa-aineksesta tai lignoselluloosasta. P tarkoittaa parafiinista dieselöljyä, jolle on määritelty tietyt ominaisuudet. Parafiini on seos lineaarisia, pitkäketjuisia hiilivetyjä. (Polttoaineverolaki 1472/1994, 2 §).

Kestävyyslain 393/2013 kriteereitä ovat esimerkiksi biologisen monimuotoisuuden säilyttäminen, maankäytön muutoksen rajoittaminen ja kasvihuonekaasupäästövähennys. Kasvihuonekaasupäästövähennyksellä tarkoitetaan sitä, että biopolttoaineen elinkaaren aikaisten kasvihuonepäästöjen on oltava vähintään 60 % pienemmät verrattuna korvaavaan fossiiliseen polttoaineeseen. RES-direktiivin 2001/77/EY liitteen 5 perusteella kasvi- tai eläinöljyjätteestä tuotetun biodieselin tyypillinen kasvihuonekaasupäästöjen vähennys on 88 prosenttia, kun taas neitseellisistä kasviöljylähteistä tuotetun biodieselin päästövähennys jää alle 60 prosentin. (Kestävyyslaki 393/2013, 6, 7 & 8 §)

Taulukko 4. Erilaisten biodieselöljyjen valmisteverot (Nestemäisten polttoaineiden verotaulukot 2019).

Tuote	Tuote-ryhmä	Energiasisältö-vero	Hiilidioksidi-vero	Huoltovarmuusmaksu	Yhteensä
Biodieselöljy snt/l	52	30,04	18,24	0,35	48,63
Biodieselöljy R snt/l	53	30,04	9,12	0,35	39,51
Biodieselöljy T snt/l	54	30,04	0,00	0,35	30,39
Biodieselöljy P snt/l	55	25,95	18,79	0,35	45,09
Biodieselöljy P R snt/l	56	25,95	9,40	0,35	35,70
Biodieselöljy P T snt/l	57	25,95	0,00	0,35	26,30

4.3 Arvonlisävero

Arvonlisävero (alv) on yleinen kulutusvero, joka kohdistuu lähes kaikkien tavaroiden ja palveluiden kulutukseen. Arvonlisävero lisätään tuotteen myyntihintaan, jolloin sen maksaminen siirtyy aina lopullisen kuluttajan eli tuotteen tai palvelun ostajan maksettavaksi. Arvonlisäveron määrä sisällytetään valmisteverolliseen hintaan, jolla tuote myydään eteenpäin. Yleinen arvonlisäverokanta on Suomessa 24 prosenttia. (Arvonlisävero n.d.)

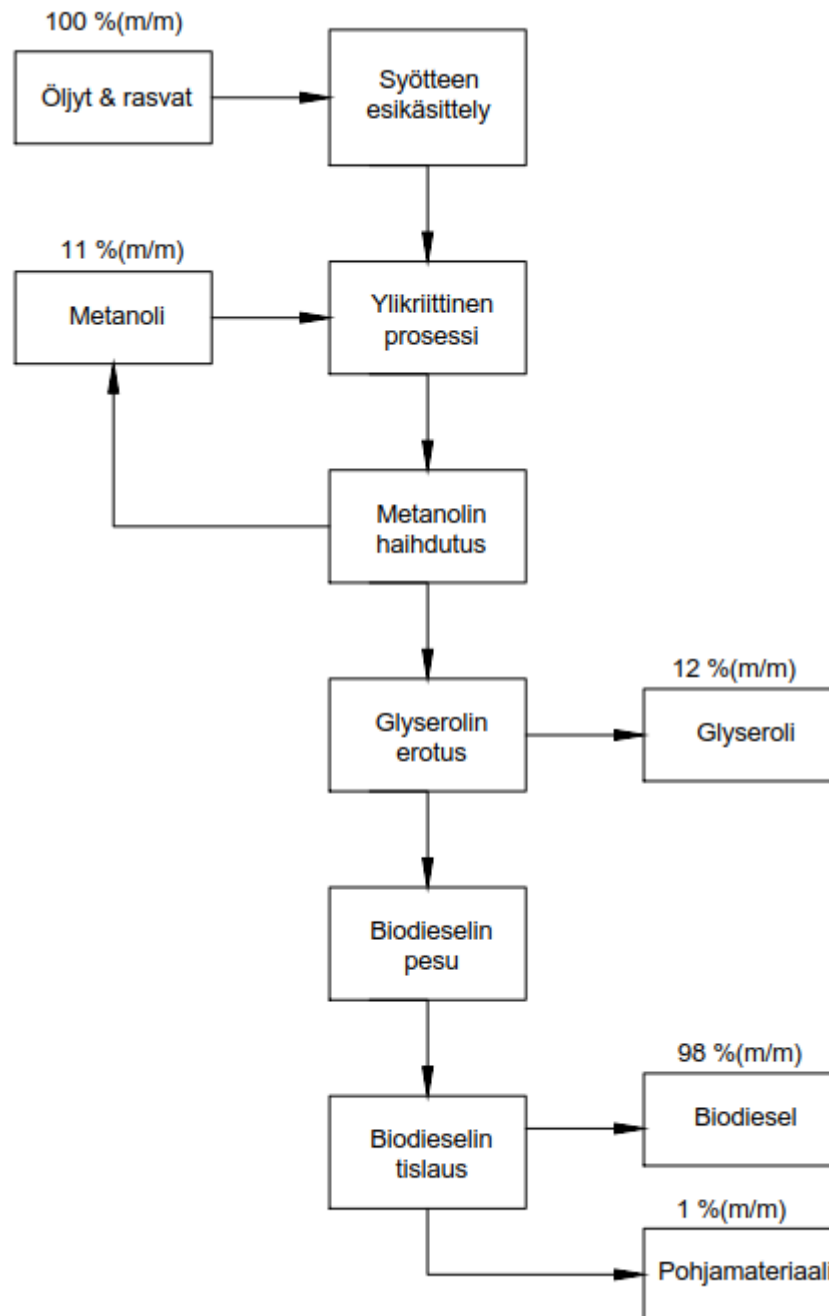
5 Kannattavuustarkastelu

Tarkasteluun koottiin yksi optimaalinen kuvitteellinen laitos, jonka kokoamiseksi selvitettiin eri laitostoimittajien julkisia ja salaisia prosessiratkaisuja. Jatro Renewablesin ja Renewable Process Solutionsin (RPS) prosessit ovat lähes identtiset, joten oli syytä olettaa, että kyseinen prosessi on toimiva ja yleistettävissä. Molemmilla laitostuottajilla on usean vuoden kokemus biodieselin tuottamisesta ja tuotekehityksestä. RPS:llä oli opinnäytetyön tekohetkellä maailmalla kaksi ylikriittistä laitosta ja Jatrolla ainakin yksi laitos. Molemmat tuottajat väittävät kykenevänsä tuottamaan biodieselin laatu-standardit täyttävää biodieseliä vähintään 98 % saannolla jopa 100 % vapaita rasvahappoja sisältävistä syötteistä.

5.1 Prosessikuvaus ja virtauskaavio

Jatron ja RPS:n prosessit koostuvat kuudesta pääkohdasta (kuvio 8), joita ovat syötteen suodatus, ylikriittinen prosessi, metanolin haihdutus, glyserolin erotus, biodieselin pesu ja tislauk. Virtauskaavio piirrettiin AutoCAD-suunnitteluohjelmalla. Prosessiin syötettävät raaka-aineet suodatetaan ja sekoitetaan metanolin kanssa, jonka jälkeen seos siirtyy reaktoriin. Ylikriittinen prosessi voi olla yksiportainen Saka-prosessi tai kaksiportainen Saka-Danan-prosessi. Saka-Danan-prosessissa syntyy kuitenkin hie-
man jätevettä hydrolyysiprosessin seurauksena. Reaktion jälkeen yli jäänyt metanoli haihdutetaan uudelleen käytettäväksi ja glyseroli erotetaan esteristä. Raakabiodiesel

pestään vedellä vapaiden glyserolien poistamiseksi, jonka jälkeen se tislataan ominaisuuksien parantamiseksi ja epäpuhtauksien poistamiseksi.

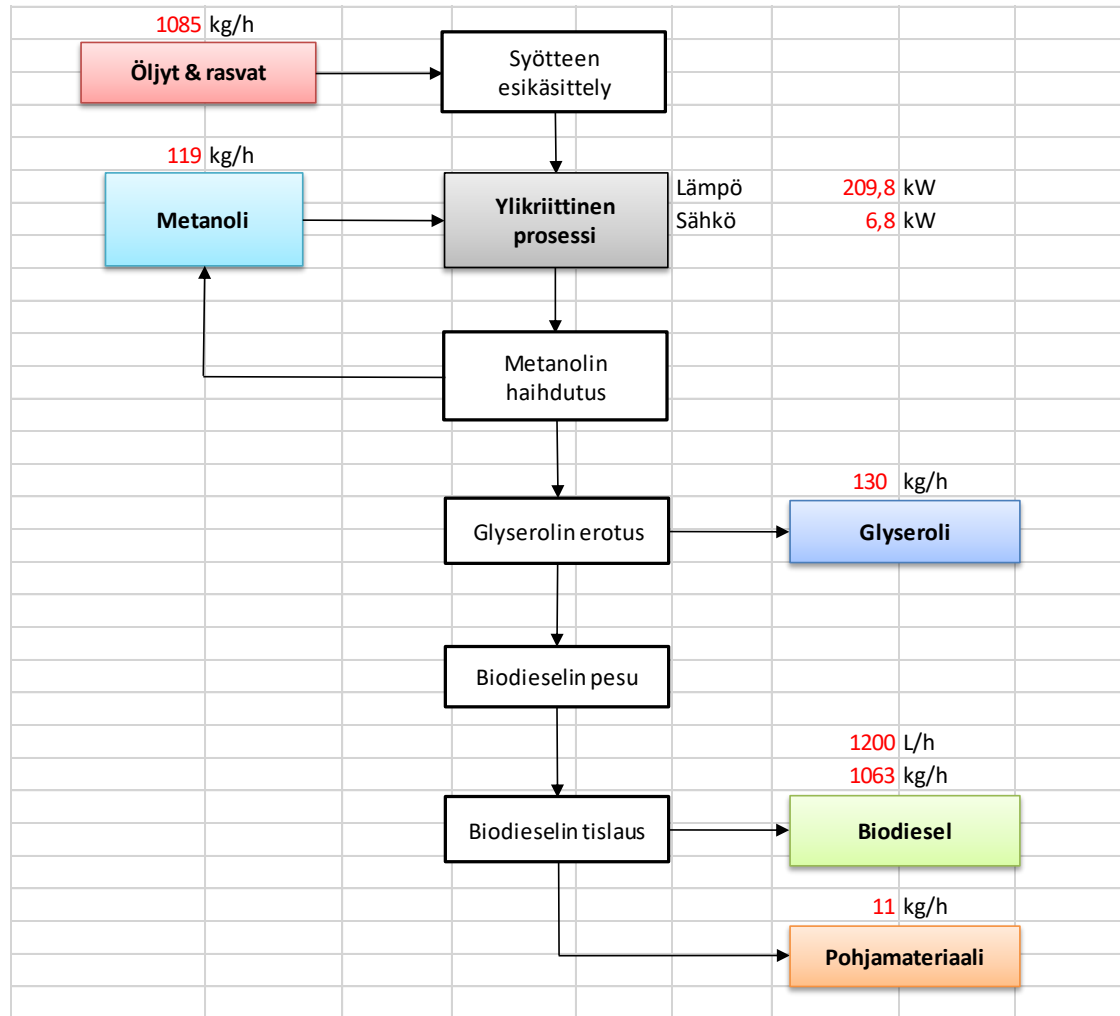


Kuvio 8. Ylikriittisen transesteröintilaitoksen virtauskaavio ja massatase.

Massatase

Kuviosta 8 ilmenee lisäksi massatase, jonka kertoimet kerättiin osittain salassa pidettävistä lähteistä ja RPS:n julkisilta kotisivuilta. Lähteistä kerätyt arvot ovat keskenään yhteneviä ja näin ollen yleistettävissä. Kuviosta nähdään, että jokaista syötettyä raaka-aineen massayksikköä kohti tuotetaan 98 prosenttia biodieseliä ja noin 12 prosenttia glyserolia. Metanolia tarvitaan raaka-aineeseen nähden noin 11 prosenttia. Tislauksen jälkeistä, takaisin prosessiin kierrätettävää tai eläinten rehuksi myytävää tislajäännöstä syntyy noin 1 prosentti. Massataseen avulla voitiin määritellä eri tuotantomäärille tarvittavien syötteiden ja tuotteiden määrät, joiden avulla voitiin arvioida tuotannosta koituvia kuluja sekä tuloja.

Kuviossa 9 on laskettu prosessin massavirrat kertoimien avulla 20 L/min eli 1200 L/h tuotantokapasiteetille. Laskuissa käytettiin biodieselin tiheyden arvona 886,5 kg/m³. Kuviossa näkyvät lisäksi ylikriittiseen prosessiin vaaditut sähkö- ja lämpöenergian määrät, joiden laskenta on selitetty kohdassa 5.4 (s. 31–32).



Kuvio 9. Kertoimien avulla lasketut massavirrat 1200 L/h kapasiteetille.

Massavirtojen perusteella laskettiin lisäksi vuotuiset tonnit ja päivittäiset kilogrammat käyttötuntien mukaan (taulukko 5). Laskuissa oletettiin laitoksen käyttöasteeksi 75 % vuoden tunteista eli 6570 h.

Taulukko 5. Vuotuiset tonnit ja päivittäiset kilogrammat.

Syötteet	Biodieselin tuotto	Öljyt	Metanoli	Lämpö (MWh)	Sähkö (MWh)	Käyttö- tunnit
Vuosittaiset tonnit	6 989	7 129	784	1 378	45	6 570
Päivittäiset kilogrammat (kWh)	25 531	26 042	2 865	5 035	163	

5.2 Investointikustannukset

Investointikustannusten osalta tietoa etsittiin laitosvalmistajien nettisivuilta sekä sisäisistä ja salaisista tarjouspyynnöistä. Jatro Renewablesin kotisivuilta löytyi julkinen taulukko, josta selviää kokonaisinvestointiarviot usealle eri tuotantokapasiteetin laitokselle. Hinta-arviot pitävät sisällään prosessiteknologian, tontin, rakennuksen, tiet sekä alkupääoman syötteelle ja kemikaaleille. Työn rajatun laajuuden ja ajan puutteen vuoksi ei ollut mahdollista selvittää investointikustannuksia laitekohtaisesti.

Jatron taulukossa tuotantomäärät on esitetty yksikössä mmgy eli miljoonaa galloniaa vuodessa ja hinnat USA:n dollareina. Jotta kannattavuustarkastelu voitiin suorittaa vaaditulle 20 L/min tuotolle, piti yksiköt muuttaa SI-yksikkömuotoon ja hinnat euroiksi. 1 gallona on 3,78541178 litraa ja dollarin kurssina käytettiin arvoa \$ 1 = 0,886600278 €. Taulukkoon 5 on koottu muutetut hinnat ja yksiköt helpommin luettavampaan muotoon.

Taulukko 6. Ylikriittisen transesteröintilaitoksen arvioitu investointikustannus – Lähteenä Jatro Renewables.

Tuotto			Hinta-arvio	
mmgy*	milj. L/a	L/min	milj. \$	milj. €
5	18,9	36,0	1,00	0,887
10	37,9	72,0	2,75	2,438
15	56,8	108,0	3,00	2,660
30	113,6	216,1	6,00	5,320
50	189,3	360,1	10,00	8,866

*milj. galloniaa vuodessa

Tuoton muunnos miljoonasta gallonasta vuodessa miljoonaksi litraksi vuodessa ja edelleen litroiksi minuutissa laskettiin kaavoilla 1 ja 2. Laskuissa oletettiin, että tuotanto on käynnissä vuoden jokaisena tuntina.

$$q_{V,l} = q_{V,gal} * 3,78541178 \frac{l}{gal} \quad (1)$$

missä,

$$q_{V,l} = \text{Tuotto miljoonina litroina vuodessa} \quad [\text{milj. L/a}]$$

$q_{V,gal}$ = Tuotto miljoonina gallonina vuodessa [milj. gal/a]

$$q_{V,min} = \frac{q_{V,a} * 1000000}{365 \frac{d}{a} * 24 \frac{h}{d} * 60 \frac{min}{h}} \quad (2)$$

missä,

$q_{V,min}$ = Tuotto litroina minuutissa [L/min]

$q_{V,a}$ = Tuotto miljoonina litroina vuodessa [milj. L/a]

Kuten taulukosta 5 huomataan, Jatron tarjoama pienin laitos tuottaa noin 36 L/min.

Karkea hinta-arvio 20 L/min tuotolle laskettiin linearisoimalla kaavalla 3.

$$H_{20} = H_{36} * \frac{q_{V,20}}{q_{V,36}} \quad (3)$$

missä,

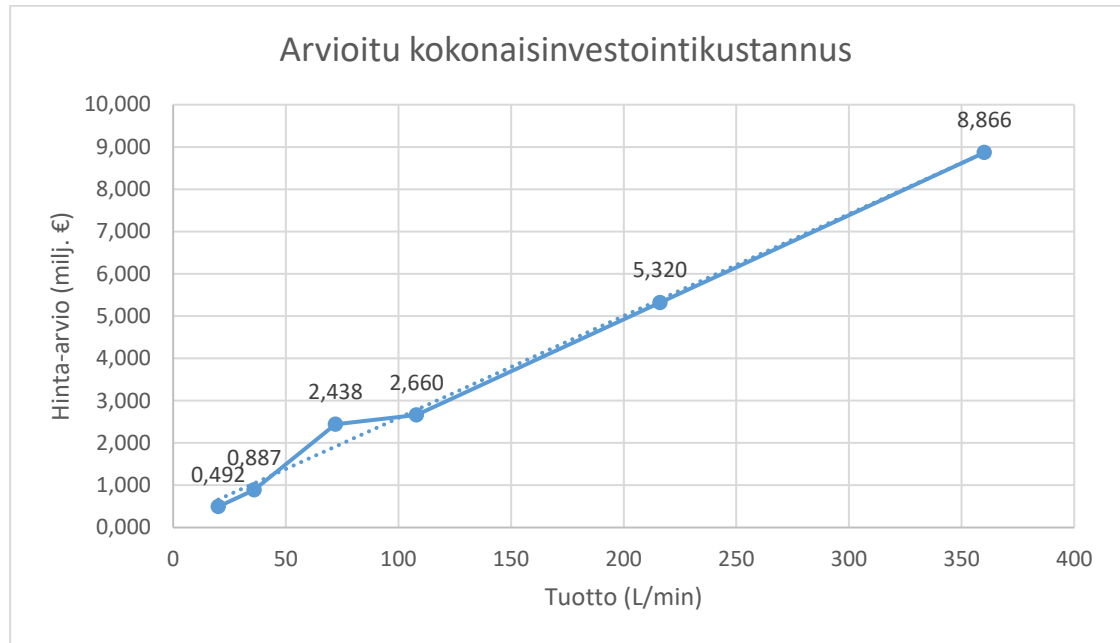
H_{20} = Hinta-arvio 20 L/min tuotolle [milj. €]

H_{36} = Hinta-arvio 36 L/min tuotolle [milj. €]

$q_{V,20}$ = Tuotto 20 L/min [L/min]

$q_{V,36}$ = Tuotto 36 L/min [L/min]

20 L/min tuotolle saatiin karkeaksi arvioksi noin 492 000 €, mikä asettuu lähelle käyrän lineaarista trendiviivaa (kuvio 10). Hinta-arviossa tapahtuva heitto 72 L/min kohdalla saattaa selittyä sillä, että tietyn tuotantomäärän ylittäessään prosessiin tarvitaan esimerkiksi jokin uusi laite. Todellisuudessa investointikustannukset eivät todennäköisesti kuitenkaan käyttäydy täysin lineaarisesti tuotantokapasiteetin matalimmassa päädyssä, ja eräs asiantuntija arvioikin kustannusten olevan 600 000–700 000 €.



Kuvio 10. Arvioitu kokonaisinvestointikustannus 20 L/min kapasiteetille.

5.3 Tulot

Biodieselin ja glyserolin hintoja selvitettiin opinnäytetyön tekohetken aikaisten markkina-arvojen perusteella Internetiä hyödyntäen. Biodieselin eli FAMEn markkina-arvoksi asetettiin 852,59 USD/t eli 755,91 €/t Nesteen seuraaman FAMEn markkina-arvon perusteella. Glyserolin myyntihinta vaihtelee voimakkaasti riippuen sen laadusta ja hankinnan minimimäärästä. Biodieselin tuotannosta syntyvän raakaglyserolin arvo laskee jatkuvasti lisääntyvän biodieseltuotannon vuoksi, ja opinnäytetyön tekohetkellä hinnaksi määriteltiin 305 €/t. Talouslaskelmassa huomioitiin lisäksi tuotantotuki, mikäli sitä kohdemaassa myönnetään. Biodieselistä saatavat tulot koottiin osaksi talouslaskelmataulukkoa (taulukko 7), ja vuosituloiksi saatiin yhteensä 6 224 078 €/a.

Taulukko 7. Biodieselin tuotannosta saatavat tulot.

Tulot:					
Nimi	Määrä	Yksikkö	Hinta yksikköä kohden (€)	Summa	
Biodieselin myynti	7 884 000	L/a	0,75591	5 959 594 €	
Glyserolin myynti	855	tn/a	305,00	260 920 €	
Tislausjäännös rehuksi	71	tn/a	50,00	3 564 €	
Tuotantotuki	7 884 000	L/a	0,00	- €	
TULOT YHT.				6 224 078 €	0 % Alv.

5.4 Menot

Menot jaetaan usein muuttuviin kustannuksiin ja kiinteisiin kustannuksiin. Muuttuviin kustannuksiin lasketaan prosessiin tarvittavat hyödykkeet, kuten raaka-aineet ja energia, ja kiinteisiin kustannuksiin esimerkiksi henkilöstön palkat, vakuutukset ja tilavuokrat. Vuotuiset menot koottiin omaksi osioksi talouslaskelmataulukoon (taulukko 8). Kokonaiskustannuksiksi saatiin 6 076 541 euroa vuodessa.

Metanolin markkinahinta opinnäytetyön tekohetkellä oli 360 €/t. Valmistevero ja huoltovarmuusmaksu ovat 30,39 snt/L, mikäli biodieselin tuotannossa on huomioitu bionesteistä annetussa laissa säädetyt kestävyyskriteerit ja niiden valvonta. Glyserolin tavoin käytetyn paistoöljyn hinta vaihteli suuresti sen laadun ja minimihankintamäärän mukaan. UCO:n hinta vaihteli yleisesti 400–700 USD/t eli 354,64–620,62 €/t välillä. Hinta on kuitenkin neuvoteltavissa tapauskohtaisesti. Tarkastelua varten raaka-aineöljyn hankintahinnaksi asetettiin 370 €/t.

Menoihin laskettiin lisäksi ylikriittiseen prosessiin vaadittu lämpö- ja sähköenergia. Prosessin paineen ja lämpötilan arvoina käytettiin erään laitoksen prosessiarvoja. Laskenta suoritettiin seuraavilla arvoilla:

η pumppu	0,8
ρ biodiesel	886,5 kg/m ³
c biodiesel	2,4 kJ/(kg°C)
ΔT syöte	290 °C

Δp syöte

250 bar

Prosessoitavan syötteen lämmittämiseen vaadittu energia laskettiin kaavalla 4. Laskennassa syötteen ominaislämpökapasiteettina käytettiin biodieselin ominaislämpökapasiteettia. Syöte lämmitetään huoneenlämpöisestä (20 °C) noin 310 °C:een.

$$\Phi = q_m * c * \Delta T \quad (4)$$

missä,

Φ = Siirtyvä lämpöenergia [W]

q_m = Massavirta [kg/s]

c = Biodieselin ominaislämpökapasiteetti [kJ/(kg°C)]

ΔT = Syötteen lämpötilaero [°C]

Näin ollen tarvittava lämpöenergia on noin 210 kW. Opinnäytetyön tekohetkellä kaukolämpöenergian markkinahintojen keskiarvo oli noin 80 €/MWh.

Korkean lämpötilan lisäksi prosessi vaatii myös korkean paineen. Pumpun tarvitsema sähköteho laskettiin kaavalla 5, ja pumpun hyötysuhteeksi oletettiin 0,8.

$$P = q_V * \Delta p * \eta \quad (5)$$

missä,

P = Pumpun teho [W]

q_V = Tilavuusvirta [m³/s]

Δp = Paine-ero [Pa]

η = Pumpun hyötysuhde

Laskennan tuloksena pumpun tarvitsemaksi sähkötehoksi saatiin noin 7 kW. Sähkön kokonaishinta opinnäytetyön tekohetkellä oli noin 110 €/MWh.

Kiinteiden kulujen osuudeksi arvioitiin yhteensä noin 598 000 euroa vuodessa. Kiinteät kulut pitävät sisällään muun muassa henkilökunnan palkat, erilliset huolto- ja kunnossapitomaksut, työkalut ja tarvikkeet, ulkoiset laboratoriokulut, toimitilojen vuokrat sekä yleiset hallintokulut kuten vakuutukset ja kirjanpito- ja muut kulut.

Taulukko 8. Vuotuiset menot ja niiden prosenttiosuudet kokonaiskustannuksista.

Tuotantokustannukset:					
Raaka-aineet:					
Nimi	Määrä	Yksikkö	Hinta yksikköä kohden (€)	Summa	Prosenttiosuus
Käytetyt paistöljyt	7 129	tn/a	370,00	2 637 711 €	43,4%
Metanoli	784	tn/a	360,00	282 306 €	4,6%
Prosessiin tarvittava lämpö	1 378	MWh/a	80,00	110 261 €	1,8%
Prosessiin tarvittava sähkö	45	MWh/a	110,00	4 914 €	0,1%
			Väli Summa 1	3 035 193 €	
Valmistevero ja huoltovarmuusmaksu	7 884 000	L/a	0,3039	2 395 948 €	39,4%
			Väli Summa 2	2 395 948 €	
Henkilöstö, hallinto, vakuutukset, muut kulut:					
Henkilökunta (esim. 1 laitospäällikkö, 4 operaattoria, 0.5 toimistotyöntekijä)			Kiinteä summa/a	400 000 €	6,6%
Huolto ja kunnossapito			Kiinteä summa/a	40 000 €	0,7%
Muut työkalut ja tarvikkeet			Kiinteä summa/a	40 000 €	0,7%
Ulkoiset laboratoriokulut			Kiinteä summa/a	8 000 €	0,1%
Toimitilat			Kiinteä summa/a	50 000 €	0,8%
Yleiset hallintokulut (kirjanpito, vakuutukset, yhteydet jne.)			Kiinteä summa/a	60 000 €	1,0%
			Väli Summa 3	598 000 €	
Annuiteetti				47 400 €	0,8%
			MENOT YHT.	6 076 541 €	100,0%

5.5 Annuiteetti

Investointia varten otettua lainaa maksetaan takaisin vakiosumma. Vuosittainen maksu sisältää koron jäljellä olevasta lainasta ja lainan lyhennyksen. Lainan vähene-
misen myötä koron osuus tasaerässä pienenee ja lyhennyksen osuus kasvaa. Annuiteetin osuus huomioidaan laskettaessa vuotuisia menoja.

Annuiteetti laskettiin käyttäen Excelin omaa annuiteettilainan tasaerän funktiota (ku-
vio 11), joka on englanninkielisessä versiossa PMT ja suomenkielisessä versiossa

MAKSU. Laskennassa käytettiin 5 prosentin laskentakorkoa, joka on tyypillinen arvo teollisuuslaitoksille. Tyypillinen käyttöikä vastaaville tuotantolaitoksille on 15 vuotta. Investoinnin suuruus on 492 000 €. Annuiteetin osuudeksi vuosittaisista kustannuksista saatiin näin ollen 47 400 €/a.

PMT

Rate	5 %	=	0,05
Nper	15	=	15
Pv	492000	=	492000
Fv		=	number
Type		=	number

= -47400,4055

Calculates the payment for a loan based on constant payments and a constant interest rate.

Type is a logical value: payment at the beginning of the period = 1; payment at the end of the period = 0 or omitted.

Formula result = -47400,4055

[Help on this function](#) OK Cancel

Kuvio 11. Annuiteettilainan tasaerän funktio Excel-tilukkolaskentaohjelmassa.

5.6 Takaisinmaksuaika

Kun vuosittaiset tulot ja menot saatiin määriteltä, voitiin laskea vuosittainen liikevoitto vähentämällä menot tuloista. Liikevoitoksi saatiin 147 537 €/a. Liikevoittoa tarvitaan, kun määritellään investoinnin takaisinmaksuaikaa ja kannattavuutta.

Takaisinmaksuaika on aika, jona investointi maksaa hintansa takaisin eli vuosittaisia tuloja kertyy perushankintamenon verran. Takaisinmaksuaika laskettiin hyödyntäen Excelin valmista takaisinmaksuajan funktiota NPER (suomeksi NJAKSO) (kuvio 12). Laskentakoron arvona käytettiin 5 prosenttia ja vuotuisten liikevoittojen arvona 147 537 €. Investoinnin arvo 492 000 € tuli syöttää miinusmerkkisenä, jotta funktio laskisi oikean takaisinmaksuajan. Takaisinmaksuajaksi saatiin noin 3,7 vuotta eli 45 kuukautta.

NPER

Rate	5 %	= 0,05
Pmt	147537	= 147537
Pv	-492000	= -492000
Fv		= number
Type		= number

= 3,738601127

Returns the number of periods for an investment based on periodic, constant payments and a constant interest rate.

Pv is the present value, or the lump-sum amount that a series of future payments is worth now.

Formula result = 3,738601127

[Help on this function](#)

OK Cancel

Kuvio 12. Investoinnin takaisinmaksuajan funktio.

5.7 Herkkyystarkastelu

Herkkyysanalyysin avulla tutkitaan yksittäisissä muuttujissa tapahtuvien muutosten vaikutusta investoinnin kannattavuuteen. Riskiä ajatellen nimenomaan epäedullisesti vaikuttavien arviointivirheiden tutkiminen on keskeistä.

Herkkyystarkastelu suoritettiin biodieselin tuotantokustannusten osalta siten, että yhden oletusarvon arvoa muutettiin muiden arvojen pysyessä vakiona ja todettiin muutoksen vaikutus laskelmien lopputulokseen. Biodieselin yhteenlasketut tuotanto- ja investointikustannukset saatiin jakamalla kokonaisinvestointikustannusten ja vuosittaisten menojen summa tuotetun biodieselin määrällä. Tuotantokustannusten oletusarvoksi muodostui näin ollen 0,833 €/L. Herkkyysanalyysissä huomioidut muuttujat olivat käyttöaika, sähkön hinta, lämmön hinta, metanolin hinta ja UCO:n hinta. Kukin arvoa muutettiin 20 prosenttiyksikön välein oletusarvoon nähden suurempaan tai pienempään (taulukko 9).

Taulukko 9. Yksittäisille muuttujille lasketut uudet arvot.

	60 %	80 %	100 %	120 %	140 %
Käyttöaika (h)	3942	5256	6 570	7884	
Sähkön hinta (€/MWh)	66	88	110	132	154
Lämmön hinta (€/MWh)	48	64	80	96	112
Metanolin hinta (€/tn)	216	288	360	432	504
UCOn hinta (€/tn)	222	296	370	444	518

6 Tulokset

6.1 Laskentatyökalu

Työn tuloksena rakennettiin Excelillä ylikriittisen transesteröintilaitoksen talouslaskelmataulukko, joka on esitelty liitteessä 1. Taulukko laskee automaattisesti halutun tuotantokapasiteetin perusteella massataseen, jonka arvot se syöttää suoraan liiketoimintamalliin. Liiketoimintamalliin syötetään investointikustannukset ja mahdollisen energiatuen suuruus sekä hyödykkeiden ja tuotteiden hinnat. Taulukko laskee vuosittaiset tulot ja menot sekä antaa tärkeimmät talousluvut (taulukko 10). Näiden arvojen perusteella taulukko suorittaa automaattisesti herkkyysanalyysin valittujen muuttujien mukaan. Talouslaskelmataulukko toimii apuvälineenä konsultointi- ja suunnittelutyössä ja sitä voidaan muokata tarpeen mukaan.

6.2 Tärkeimmät talousluvut

Taulukosta 10 nähdään, että biodieseliä saadaan 1106 litraa käytettyä UCO-tonnia kohti. Kiinteiden ja muuttuvien kustannusten osuus tuotettua biodiesellittraa kohti on 0,771 €/L, kun taas investointikustannusten osuus on 0,062 €/L. Näiden yhteenlaskettu summa eli yhteenlasketut tuotanto- ja investointikustannukset tuotettua biodiesellittraa kohti ovat 0,833 €/L. Jos tuotantokustannuksissa ei huomioida valmisteveron ja syöteöljyn osuutta, jää tuotantohinnaksi 0,132 €/L. Biodieselin omakustannushinta on 0,737 €/L, ja tuotantokapasiteetti 6570 h käyttötunneilla on 7884 m³

biodieseliä vuodessa. Investoinnin takaisinmaksuaika ilman energiatukea on noin 3,7 vuotta eli 45 kuukautta.

Taulukko 10. Tärkeimmät talousluvut.

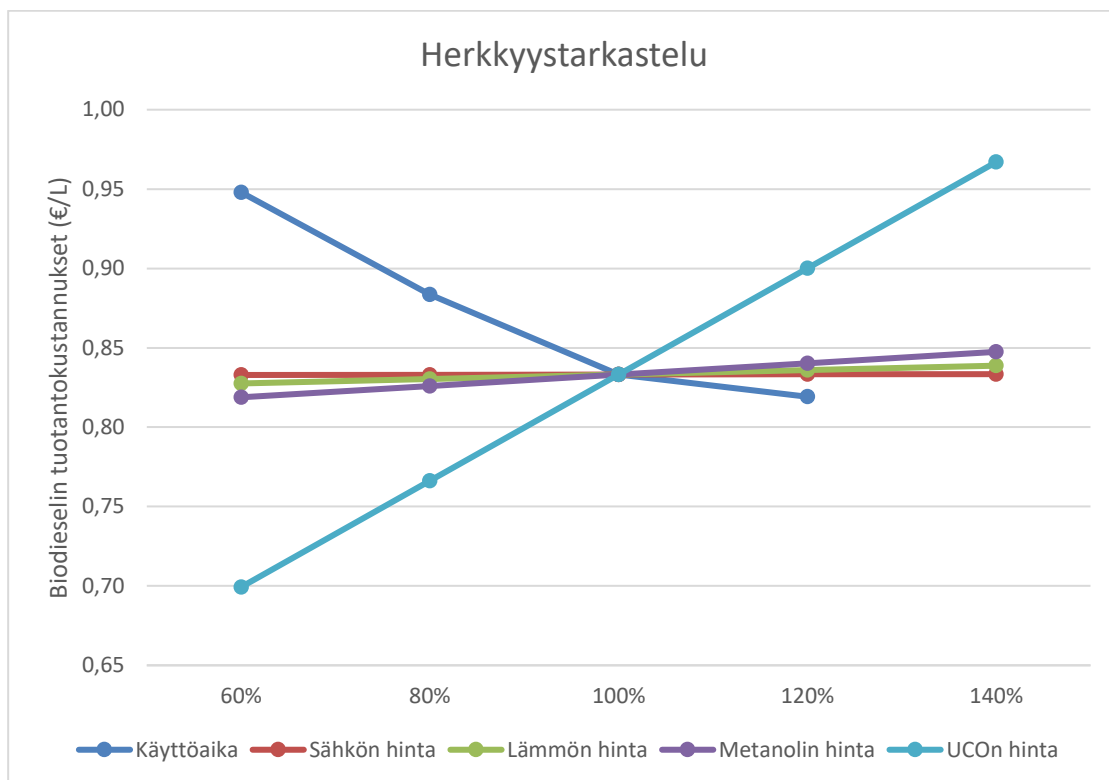
Minimisaanto biodieseliä litroina käytettyä UCO tonnia kohti		1 106	L/tn		
Yhteenlasketut tuotantokustannukset tuotettua biodieselilitraa kohti		0,771	€/L		
Investointikustannukset tuotettua biodieselilitraa kohti		0,062	€/L		
Yhteenlasketut tuotanto- ja investointikustannukset tuotettua biodieselilitraa kohti		0,833	€/L		
Tuotantokustannukset litraa biodieseliä kohti ilman syöteöljyn ja valmisteveron osuutta		0,132	€/L		
Biodieselin omakustannushinta		0,737	€/L		
Käyttötunnit vuoden aikana		6 570	h/a	75%	
Tuotantokapasiteetti kuutioina vuodessa		7 884	m ³ /a		
Takaisinmaksuaika		3,7	a	=	45 kk

6.3 Herkkyysanalyysi

Taulukosta 11 nähdään herkkyysanalyysin tulokset. Tulokset on koottu helpommin hahmotettavaan muotoon kuvioon 13. Kuviosta havaitaan, että eniten biodieselin tuotantokustannuksiin vaikuttavat UCO:n hinta sekä vuosittainen käyttöaika. Vuosittaisen käyttöajan merkitys korostuu, mitä kauemmaksi jätetään laskennan perustilanteesta 6570 tuntia vuodessa, joka on todennäköisesti lähellä käytännössä saavutettavissa olevaa maksimia. Sähkön, lämmön ja metanolin hintojen vaihteluista johtuvat vaikutukset puolestaan jäävät miltei olemattomiksi.

Taulukko 11. Herkkyysanalyysin tulokset.

Biodieselin tuotantokustannukset (€/L)					
	60 %	80 %	100 %	120 %	140 %
Käyttöaika	0,948 €	0,884 €	0,833 €	0,819 €	
Sähkön hinta	0,833 €	0,833 €	0,833 €	0,833 €	0,833 €
Lämmön hinta	0,828 €	0,830 €	0,833 €	0,836 €	0,839 €
Metanolin hinta	0,819 €	0,826 €	0,833 €	0,840 €	0,847 €
UCO:n hinta	0,699 €	0,766 €	0,833 €	0,900 €	0,967 €



Kuvio 13. Herkkyystarkastelu, biodieselin tuotantokustannukset.

7 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella ylikriittisen transesteröintilaitoksen kannattavuutta, kun syötteenä käytetään heikkolaatuisempia raaka-aineita. Lisäksi tuli selvittää laitoksen kustannusrakenne sekä mitkä tekijät vaikuttavat biodieselin tuotantokustannuksiin.

Opinnäytetyön tuloksina saatiin rakennettua Excelillä talouslaskelmataulukko. Talouslaskelmataulukkoon liitettiin prosessin massatase, jonka avulla voitiin määritellä eri tuotantomäärille tarvittavien syötteiden ja tuotteiden määrät. Massataseen laskenta mahdollisti tuotannosta koituvien kulujen ja tulojen määrän arvioinnin, joita tarvittiin vuotuisen liikevoiton määrittämiseen. Kun laitoksen kokonaisinvestoinnit ja annuiteetti oltiin selvitetty, voitiin laskea laitoksen takaisinmaksuaika ja suorittaa herkkyystarkastelu.

Tulokset raaka-aineöljyn osuudesta tuotantokustannuksista myötäilevät kirjallisuutta. UCON osuus kustannuksista on suurin, mutta valmisteveron osuus on lähes yhtä suuri. Herkkyystarkastelun perusteella nähdään, että UCON hinta, vuosittaisen käyttöajan lisäksi, vaikuttaa tuotantokustannuksiin eniten. Hintaa on erittäin vaikea määritellä, koska jäteöljyn vastaanottamisesta voidaan periä niin kutsuttua porttimaksua, jolloin siitä saadaan tuloja.

UCON hintaan vaikuttaa merkittävästi myös saatavuus ja laatu. Koska 1200 L/h kapasiteetin laitos käyttää vuodessa yli 7000 tonnia raaka-aineöljyä, voidaan sitä joutua tuomaan Suomeen ulkomailta. Kuljetus puolestaan lisää luonnollisesti raaka-aineen kustannuksia. Tarvittavan raaka-aineöljyn määrän hahmottamiseksi todettakoon, että koko Hesburger-ketju tuotti vuoden 2016 aikana kokonaisuudessaan vain alle 300 tonnia kierrätysrasvaa. Raaka-aineen saatavuudesta johtuva epävarmuus kasvat-
taa investoinnin riskiä, sillä raaka-aineen puute laskee laitoksen käyttöaikaa, joka puolestaan nostaa merkittävästi biodieselin tuotantokustannuksia. Raaka-aineöljyn saatavuudesta ja riittävyydestä Suomessa tarvitaankin lisätutkimusta.

Lisätutkimusta vaativat myös eri raaka-aineiden sekoitus ja sen vaikutus biodieselin ominaisuuksiin sekä biodiesellaitoksen integrointi muuhun tuotantoon. Mikäli syötteenä käytetään esimerkiksi UCON, VCON ja eläinrasvan sekoitusta, voivat saatavuusongelmat ratketa. Eläinperäisten jätteiden hyödyntäminen vaatii kuitenkin massan hygienisointia, mikä puolestaan lisää investointi- ja käyttökustannuksia. Opinnäytetyön rajallisuuden vuoksi hygienisointia ei työssä käsitelty. Muuhun tuotantoon integroituna, esimerkiksi biokaasun tuotantoon, biodieseliä voitaisiin tuottaa tuotantoerinä silloin, kun raaka-ainetta on riittävästi tarjolla. Integrointi saattaa myös laskea palkkakuluja henkilökunnan tarpeen laskiessa.

Opinnäytetyön tekohetken aikaisten markkinahintojen perusteella biodieselin tuotanto ylikriittisesti transesteröimällä on karkeiden laskujen mukaan kannattavaa, vaikka biodieselin hinta on suhteellisen alhainen. Glyserolin myynnillä on kuitenkin kriittinen osuus tuloista. Mikäli glyserolia ei saada myytyä, muuttuu liikevoitto negatiiviseksi. Huolestuttavaa on, että glyserolin hinta laskee jatkuvasti maailmalla lisääntyneen biodieselin tuotannon myötä. Glyserolin ylitarjonnan lisäksi myyntihintaan

vaikuttaa voimakkaasti myös glyserolin puhtaus. Vastaavien laitostoimittajien lupaus-
ten perusteella prosessista syntyvä glyseroli on korkealaatuista ja sitä voidaan myydä
paremmalla hinnalla kuin heikkolaatuisempaa glyserolia.

Kokonaisinvestointikustannukset on todennäköisesti arvioitu liian pieniksi ja erään
asiantuntijan mukaan kokonaisinvestoinnin suuruus saattaa olla 600 000 – 700 000 €.
Mikäli investoinnille myönnetään täysi 30 prosentin energiatuki, investoinnin suuruus
ja vastaavasti takaisinmaksuaika pienenevät. Prosessiteknologiainvestoinnit tulee
kuitenkin olla eriteltynä, sillä energiatukea myönnetään vain hyväksyttävillä prosessi-
teknologiainvestoinneille. Tällaisia prosessiteknologioita ovat esimerkiksi kuumaöljy-
kattila, jolla ylikriittisen prosessin lämpötila saadaan nousemaan yli 300 °C:een sekä
säiliöt ja pumput. Prosessiteknologian kartoitus ja selvittäminen vaatii kuitenkin lisää
tutkimusta.

Lähteet

Abreu, P., Coldebella, A., Cunha, A. jr., Feddern, V., Filho, J., Higarashi, M., Prá, M. & Sulenta, M. 2011. Animal Fat Wastes for Biodiesel Production. Biodiesel – Feedstocks and Processing Technologies. Viitattu 9.1.2019.

<https://www.intechopen.com/books/biodiesel-feedstocks-and-processing-technologies/animal-fat-wastes-for-biodiesel-production>

Adrianos, H., Antunes, D., Braga, J., Brescia, C., Camacho, S., Cocchi, M., Filice, M., García, P., Giglio, F., Johnson, L., Magnolfi, V., Oliveira, M., Paraiba, O., Ruiz, J., Tournaki, S., Tsoutsos, T., Uggè, C. & Yorgos, K. 2015. RecOil: Used Cooking Oil to Biodiesel Guide. Viitattu 15.1.2019.

https://www.researchgate.net/publication/281347879_RecOil_Used_Cooking_Oil_to_Biodiesel_Guide

Arvonlisävero. N.d. Arvonlisävero.com. Viitattu 19.2.2019. <http://arvonlisavero.com/>

Cederlöf, M. 2018. Euroopan unionin ilmastopolitiikka. Ympäristöministeriö. Viitattu 21.1.2019. http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Euroopan_unionin_ilmastopolitiikka

http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Euroopan_unionin_ilmastopolitiikka

Choi, J., Karki, S., Oh, S., Poudel, J. & Sanjel, N. 2017. Supercritical Transesterification of Waste Vegetable Oil: Characteristics Comparison of Ethanol and Methanol as Solvents. Verkkojulkaisu. Viitattu 14.1.2019.

https://www.researchgate.net/publication/317686627_Supercritical_Transesterification_of_Waste_Vegetable_Oil_Characteristic_Comparison_of_Ethanol_and_Methanol_as_Solvents

Cubas, A., Dutra, A., Feller, R., Machado, M., Moecke, E., Santos, H., Santos, L. & Soares, S. 2016. Biodiesel production from waste cooking oil for use as fuel in artisanal fishing boats: Integrating environmental, economic and social aspects. Journal of Cleaner Production, 135, 679–688. Viitattu 15.1.2019.

https://www.researchgate.net/publication/304027998_Biodiesel_production_from_waste_cooking_oil_for_use_as_fuel_in_artisanal_fishing_boats_Integrating_environmental_economic_and_social_aspects

Ding, C., Fitzgibbon, T. & Szabat, P. 2018. Diesel demand: still growing globally despite Dieselgate. Petroleum blog. McKinsey&Company. Viitattu 18.1.2019.

<https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/petroleum-blog/diesel-demand-still-growing-globally-despite-dieselgate>

D 2009/28/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi. Uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä sekä direktiivien 2001/77/EY ja 2003/30/EY muuttamisesta ja myöhemmästä kumoamisesta. Annettu 23.4.2009.

Viitattu 19.2.2019. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=FI>

Elomatic. N.d. Elomaticin kotisivut. Viitattu 21.1.2019. <https://www.elomatic.com/fi/>

Energiatuki. N.d. Työ- ja elinkeinoministeriö. Energia- ja investointituet. Viitattu 15.2.2019. <https://tem.fi/energiatuki>

Farobie, O. & Matsumura, Y. 2015. Biodiesel production in supercritical methanol using novel spiral reactor. *Procedia Environmental Sciences*, 28, 204–213. Viitattu 13.1.2019. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187802961500239X>

Guerrero, C., Guerrero-Romero, A. & Sierra, F. 2011. Biodiesel Production from Waste Cooking Oil. *Biodiesel – Feedstocks and Processing Technologies*. Viitattu 9.1.2019. <https://www.intechopen.com/books/biodiesel-feedstocks-and-processing-technologies/biodiesel-production-from-waste-cooking-oil>

Jätehuolto ja jätteiden lajittelu. N.d. Isännöitsijätoimisto Hirvonen. Viitattu 15.1.2019. <https://www.isannoitsijatoimistohirvonen.fi/asukasinfo/jatehuolto+ja+jatteiden+lajittelu/>

Kestävyytlaki 393/2013. Laki biopolttoaineista ja bionesteistä. Annettu 7.6.2013. Viim. muutos 23.11.2018. Viitattu 18.2.2019. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130393>

Kananen, J. 2015. Opinnäytetyön kirjoittajan opas: näin kirjoitan opinnäytetyön tai pro gradun alusta loppuun. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. <https://janet.finna.fi>

Kannisto, R. 2012. Biodieselin valmistus – prosessin seuranta ja tuotteen laadunvarmistus. Opinnäytetyö, AMK. Turun ammattikorkeakoulu, bio- ja elintarviketekniikka, laboratoriotekniikka. Viitattu 9.1.2019. http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/42267/Kannisto_Roope.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Karki, S., Oh, S., Poudel, J., Sanjel, N. & Shah, M. 2017. Comparison of Biodiesel Obtained from Virgin Cooking Oil and Waste Cooking Oil Using Supercritical and Catalytic Transesterification. *Energies*, 10, 546, 1–14. Viitattu 15.1.2019. https://www.researchgate.net/publication/316229562_Comparison_of_Biodiesel_Obtained_from_Virgin_Cooking_Oil_and_Waste_Cooking_Oil_Using_Supercritical_and_Catalytic_Transesterification

Kotrba, R. 2014. Elegant engineering. *Biodiesel magazine*. Verkkojulkaisu. Viitattu 10.1.2019. <http://www.biodieselmagazine.com/articles/9483/elegant-engineering>

Kusdiana, D., Minami, E. & Saka, S. 2006. Non-catalytic biodiesel fuel production with supercritical methanol technologies. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 65, 420–425. Viitattu 14.1.2019.

<https://pdfs.semanticscholar.org/380a/3265d6d285714cfe47ebc02852194c6b3907.pdf>

Lihantuotanto Suomessa. 2018. Lihatie dotus. Viitattu 15.1.2019.

<https://www.lihatiedotus.fi/tilastotietoa/lihantuotanto-suomessa-2.html>

Malkki, L. 2006. Rypsiöljyn metyyliesterin paikallinen valmistus ja käyttö. Pro gradu – tutkielma. Jyväskylän yliopisto, kemian laitos, uusiutuvan energian koulutusohjelma. Viitattu 9.1.2019.

https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/8963/URN_NBN_fi_jyu-2006612.pdf?sequence=1

Meier, G., Sanford, S., Shah, P., Valverde, M., Wee, C. & White, J. 2009. Feedstock and Biodiesel Characteristics Report. Renewable Energy Group, Inc. Viitattu 17.1.2019. https://www.biodiesel.org/reports/20091117_gen-398.pdf

Musa, I. 2014. The effects of alcohol to oil molar ratios and the type of alcohol on biodiesel production using transesterification process. Egyptian Journal of Petroleum, 25, 1, 21–31. Viitattu 11.1.2019.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110062115000914>

Nestemäisten polttoaineiden verotaulukot. 2019. Vero. Valmisteverolajit, Nestemäisten polttoaineiden valmistevero. Viitattu 18.2.2019.

https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/tietoa-yritysverotuksesta/valmisteverotus/valmisteverolajit/nestemaiset_polttoaineet/nestemaisten_polttoaineiden_verotaulukko/

Ngamprasertsith, S. & Sawangkeaw, R. 2011. Transesterification in Supercritical Conditions. Biodiesel – Feedstocks and Processing Technologies. Viitattu 13.1.2019.

<https://www.intechopen.com/books/biodiesel-feedstocks-and-processing-technologies/transesterification-in-supercritical-conditions>

Paistorasva. N.d. Kiertokaari – Kestävän kiertotalouden edistäjä. Viitattu 15.1.2019.

<https://kiertokaari.fi/jatehaku/paistorasva/>

Polttoaineverolaki 1472/1994. Laki nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta. Annettu 29.12.1994. Viim. muutos 19.12.2018. Viitattu 18.2.2019.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19941472#P2>

Salmijärvi, A. 2015. Biodieselin valmistusprosessin optimointi ja tuotteen karakterisointi FTIR-analyysillä. Opinnäytetyö, AMK. Oulun ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Viitattu 10.1.2019.

http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/91024/Salmijarvi_Antti.pdf?sequence=1&isAllowed=y

SFS-EN 14214:2012+A1:2014. Liquid petroleum products. Fatty acid methyl esters (FAME) for use in diesel engines and heating applications. Requirements and test methods. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 17.2.2014. Viitattu 16.1.2019. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

Stavroula, T. & Tsoutsos, T. 2013. Assessment of best practices in UCO processing and biodiesel distribution. D4.3 – Guide on UCO processing and biodiesel distribution methods. RecOil. Technical University of Crete. Saatavilla PDF-tiedostona. Viitattu 17.1.2019. https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/d4.3_guide_on_uco_processing_and_biodiesel_distribution_v4tuc.pdf

Supercritical Biodiesel. 2018. Jatro Renewables. Viitattu 5.3.2019. <http://www.jatrorenewables.solutions/Super-Biodiesel/super-biodiesel.html>

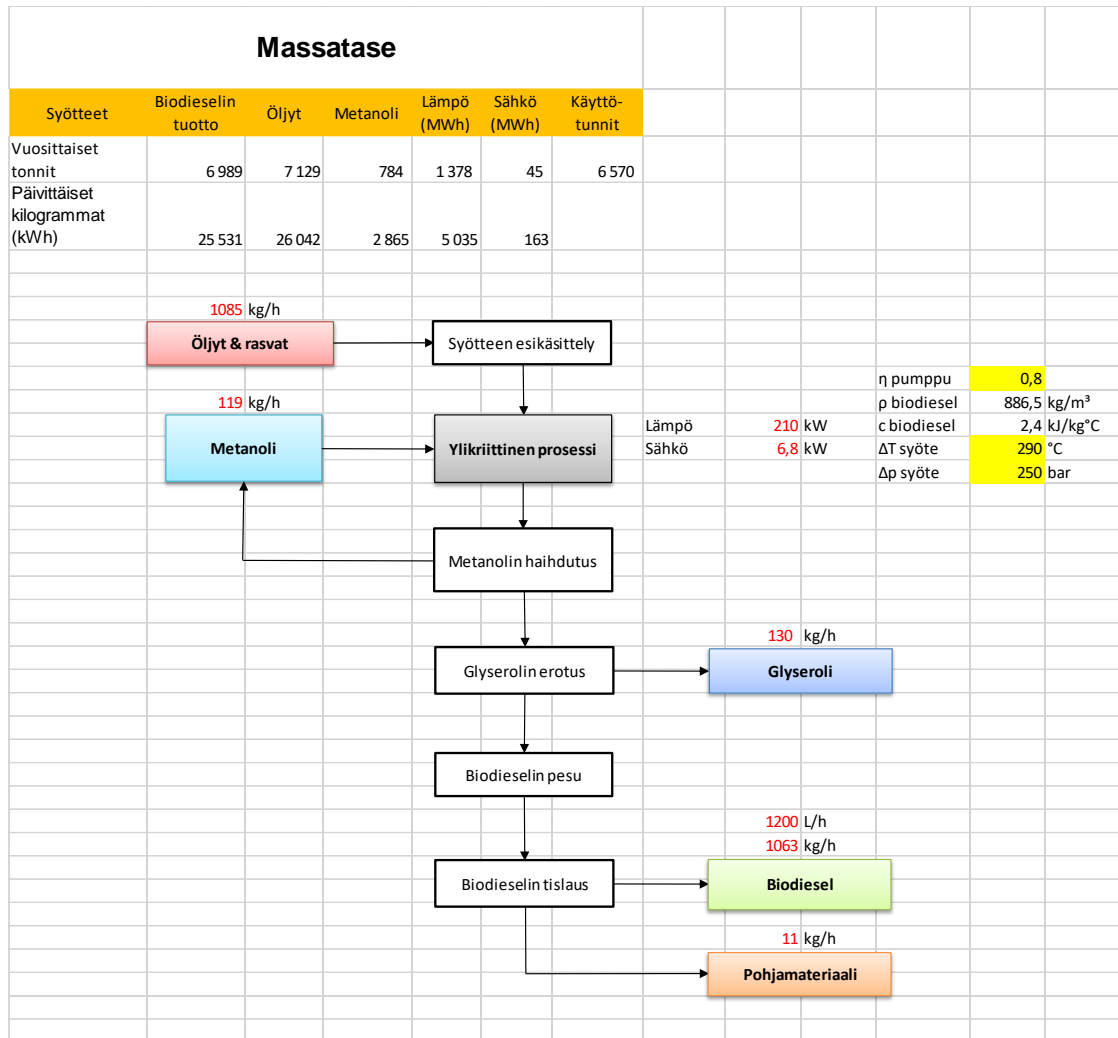
Vastuullisuusraportti. 2017. Hesburger Suomi. Ladattavissa PDF-tiedostona Hesburgerin Internetsivuilta. Viitattu 15.1.2019. <https://www.hesburger.fi/hesburger-yrityksena/vastuullisuus>

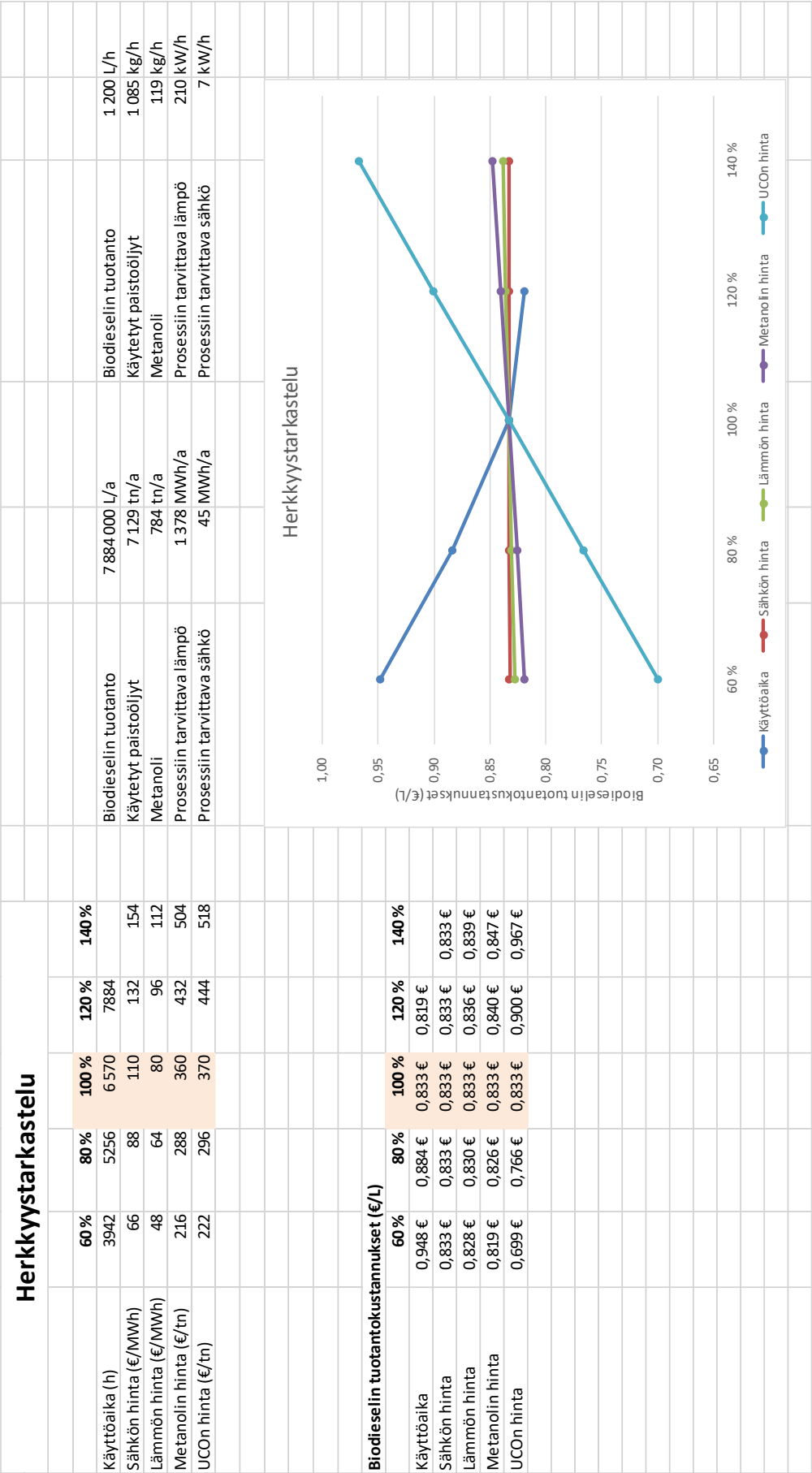
Liitteet

Liite 1. Ylikriittisen transesteröintilaitoksen talouslaskelmataulukko

Ylikriittinen transesteröintilaitos									
Yksinkertainen talouslaskelmataulukko									
									Syötettävät aivot
Laitteiston kapasiteetti					1 200 L/h				
Prosessitekniologiainvestoinnit					492 000,00 €				
Laitoksen kokonaiskustannukset (sis. mm. pystytyksen ja suunnittelun)					492 000,00 €	Kerrolin	1	4,73	(Lähde: Esa Kurkela, 1996. Diesel power plants based on biomass gasification. VTT)
TEM energiatuiki (%)					0%				
Energiatuon määrä (€)					- €				Tuki koskee vain hyväksyttävää prosessitekniologiainvestointeja
Budjetti					492 000,00 €				
Tulot:									
Nimi	Määrä	Yksikkö	Hinta yksikköä kohden (€)	Summa					
Biodieselin myynti	7 884 000	L/a	0,75591	5 959 594 €	Neste				https://www.neste.com/fi/konsepti/siioitaat/markkinatieto/biodieselin hinnat-sma-fame
Glyserolin myynti	855	tn/a	305,00	260 920 €	Öljeline				http://www.hbint.com/datas/media/590046d776e381e7a29/sample-quarterly-glycerine.pdf
Tislausjäännös rehuksi	71	tn/a	50,00	3 564 €	Arvio, vaikutus merkityksetön				
Tuotantotuki	7 884 000	L/a	0,00	- €	Mikäli tuettua				
				6 224 078 €	0 % Alv.				
Tuotantokustannukset:									
Raaka-aineet:									
Nimi	Määrä	Yksikkö	Hinta yksikköä kohden (€)	Summa	Prosentti-osuus				
Käytetyt paistoböllyt	7 129	tn/a	370,00	2 637 711 €	43,4% Alibaba				https://www.alibaba.com/showroom/used-cooking-oil-price.html
Metanoli	784	tn/a	360,00	282 306 €	4,6% Methanex				https://www.methanex.com/our-business/pricing
Prosessiin tarvittava lämpö	1 378	MWh/a	80,00	110 261 €	1,8% Energiateollisuus				https://energia.fi/ajankohtaista/ia-materiaalipankki/materiaalipankki/kuukauden-hintatilasto.html#material-view
Prosessiin tarvittava sähkö	45	MWh/a	110,00	4 914 €	0,1% Energiavirasto				https://www.sähköhintatieto.fi/summaries-and-graphs
				3 035 193 €					

Valmistevero ja huoltovarmuusmaksu	7 884 000	L/a	0,3039	2 395 948 €	39,4%	Polttoaineverolaki 1472/1994			
			Välisumma 2	2 395 948 €					
Henkilöstö, hallinto, vakuutukset, muut kulut:									
Henkilökunta (esim. 1 laitospäällikkö, 4 operaattoria, 0.5 toimitusryhteyttäjä)									
Huolto ja kunnossapito				400 000 €	6,6%	Arvio			
Muut työkalut ja tarvikkeet				40 000 €	0,7%	Arvio			
Ulkoiset laboratoriokulut				40 000 €	0,7%	Arvio			
Toimitilat				8 000 €	0,1%	Arvio			
Yleiset hallintokulut (kirjanpito, vakuutukset, yhteydet jne.)				50 000 €	0,8%	Arvio			
				60 000 €	1,0%	Arvio			
			Välisumma 3	598 000 €					
Annuiteetti						Laitoksen käyttöikä	15 vuotta		
				47 400 €	0,8%	Laskentakorko	5,0 %		
			MENOT YHT.	6 076 541 €	100,0%				
Liikevoitto (€/a):				147 537 €					
Minimisaatio biodieselillä litroina käytettyä UCO tonnia kohti			1 106 L/tn						
Yhteenlasketut tuotantokustannukset tuotettua biodieselilitraa kohti			0,771 €/L						
Investointikustannukset tuotettua biodieselilitraa kohti			0,062 €/L						
Yhteenlasketut tuotanto- ja investointikustannukset tuotettua biodieselilitraa kohti			0,833 €/L						
Tuotantokustannukset litraa biodieselillä kohti ilman syöteöljyn ja valmisteveron osuutta			0,132 €/L						
Biodieselin omakustannushinta			0,737 €/L						
Käyttötunnit vuoden aikana			6 570 h/a		75%				
Tuotantokapasiteetti kuutioina vuodessa			7 884 m³/a						
Takaisinmaksuaika			3,7 a	=	45 kk				





FAME laatuvaatimukset SFS-EN 14214/2012 mukaan				
Ominaisuus	Yksikkö	Minimi	Maksimi	Testausmenetelmä
Tiheys (15 °C)	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675 / EN ISO 12185
Viskositeetti (40 °C)	mm ² /s	3,5	5,0	EN ISO 3104
Vesipitoisuus	mg/kg		500	EN ISO 12937
Kokonais epäpuhtaudet	mg/kg		24	EN 12662
Leimahduspiste	°C	101		EN ISO 2719
Esteripitoisuus	%(m/m)	96,5		EN 14103
Tislausjännös	%(m/m)		0,30	EN ISO 10370
Sulfinoidun tuhkan pitoisuus	%(m/m)		0,02	ISO 3987
Rikkipitoisuus	mg/kg		10	EN ISO 20846 / EN ISO 20884 / EN ISO 13032
Maametallit (Na + K)	mg/kg		5	EN 14108 / EN 14109 / EN 14538
Maa-alkalimetallit (Ca + Mg)	mg/kg		5	EN 14538
Fosforipitoisuus	mg/kg		4	EN 14107 / prEN 16294
Kuparikorroosiotesti (3 h, 50 °C)	Luokka		1	EN ISO 2160
Setaaniluku	-	51		EN ISO 5165
Happoluku	mgKOH/g		0,50	EN 14104
Vapaa glyseroli	%(m/m)		0,02	EN 14105 / EN 14106
Kokonaiglyseroli	%(m/m)		0,25	EN 14105
Monoglyseridipitoisuus	%(m/m)		0,70	EN 14105
Diglyseridipitoisuus	%(m/m)		0,20	EN 14105
Triglyseridipitoisuus	%(m/m)		0,20	EN 14105
Metanolipitoisuus	%(m/m)		0,20	EN 14110
Jodiluku	g/100g		120	EN 14111 / EN 16300
Hapetuksen kestävyys (110 °C)	h	8		EN 14112
Linoleenihapon metyyliesteri	%(m/m)		12	EN 14103
Polytydyttymättömät metyyliesterit	%(m/m)		1	EN 15779