

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulkualan koulutusohjelma / merenkulkualan insinööri

Maija Grönroos

BIODIESELIÄ MIKROLEVÄSTÄ

Opinnäytetyö 2012

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulkuala

GRÖNROOS, MAIJA

Biodieseliä mikrolevästä

Insinööriyö

57 sivua

Työn ohjaajat

lehtori, DI Risto Korhonen, lehtori, Marita Söder

Toimeksiantaja

Kymi Technologies

Toukokuu 2012

Avainsanat

levät, mikrolevät, biodiesel, biopolttoaineet, jalostus, uusiutuva energia, päästöt, CO₂-sitouttaminen, NExBTL, Fischer-Tropsch, FAME, uusiutuvat energianlähteet

Fossiilisen öljyn ehtymisen uhka on johtanut erilaisten vaihtoehtoisten polttoaineiden kokeiluun. Myös mineraaliöljyn käytöstä aiheutuvat päästöt jouduttavat öljy-yhtiöitä kehittämään uudenlaisia, uusiutuvista raaka-ainesta jalostettavia liikenteen ja teollisuuden polttoaineita. Maailmanlaajuisesti on asetettu tavoitteita ja velvoitteita kestävän kehityksen normit täyttävien biopolttoaineiden käytön edistämiseksi. Uusiutuviksi raaka-aineiksi soveltuvista kasveista eräät kelpaavat myös ihmisten ravinnoksi, ja niiden viljely biopolttoainekäyttöön voi tuhota ympäristöä. Tässä työssä perehdytään siihen, kuinka mikrolevä voisi palvella polttoaineteollisuutta ekologisenä ja eettisenä raaka-aineena.

Mikrolevät ovat öljyntuotannossa erittäin tuotteliaita mikro-organismeja, joista voidaan muun muassa puristamalla valmistaa luonnonöljyä. Työssä tarkastellaan mikrolevän rakennetta ja kasvua, etenemistä kasvatuslaitoksista biodieseljalostamoon sekä erilaisia luonnonöljyn jalostusprosesseja. Lopuksi arvioidaan biodieselin käytöstä ja valmistuksesta aiheutuvia ympäristövaikutuksia.

Aineistoa työhön on hankittu biopolttoaineita käsittelevistä julkaisuista sekä orgaanisen kemian oppikirjoista. Valtaosa levänkasvatukseen liittyvästä materiaalista on julkaistu verkossa englannin kielellä. Työssä tarkasteltujen jalostusprosessien lähteenä on käytetty Neste Oil Oyj:lle biodiesellaitoksen perustamiseen myönnettyä ympäristölupaa sekä kemian ja tekniikan alojen julkaisuja.

Mikroleväpohjainen biodiesel saastuttaa huomattavasti vähemmän kuin fossiilinen diesel. Lisäksi mikroleväntuotannossa on mahdollista sitouttaa hiilidioksidia, puhdistaa jätevettä ja luovuttaa hedelmällinen maaperä ravintokasvien viljelyyn. Toistaiseksi ei ole löydetty kustannustehokkaita menetelmiä mikrolevän keräämiseksi ja öljyn erottamiseksi leväsoluista. Siksi mikroleväpohjainen biodiesel on vielä kallista, mutta tekniikoiden kehittyessä siitä saadaan erinomaista fossiilisen dieselin ominaisuudet päihittävää polttoainetta.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Marine engineering

GRÖNROOS, MAIJA

Biodiesel from microalgae

Bachelor's Thesis

57 pages

Supervisors

Risto Korhonen, Senior Lecturer

Marita Söder, Senior Lecturer

Commissioned by

Kymi Technologies

May 2012

Keywords

microalgae, biodiesel, biodiesel refine, renewable energy, NExBTL, FAME, Fischer-Tropsch, CO₂ sequestration, emissions

The continued use of fossil fuels is now widely recognized as unsustainable because of depleting supplies and the contribution of these fuels to the accumulation of carbon dioxide in the environment. Renewable, carbon neutral transport fuels are necessary for environmental and economic sustainability. There are several species of plants suitable as feedstock for renewable biofuels and some of them are used as a source of human nutrition. Also, the cultivation of the oil containing plants may cause serious detriment to the environment. The aim of this thesis is to study how microalgae could service the fuel industry as ethical and ecological feedstock.

Microalgae are very productive in converting carbon dioxide to oil. These microorganisms with high oil content can be compressed to natural oil. In the thesis has been examined the structure and growth of micro-algae, their progress from growing sites to biodiesel as well as a variety of natural oil refining processes. In the latter part of the study, the environmental impact of the usage and manufacturing of biodiesels is assessed.

The information regarding biodiesel refining methods was gathered from various sources. The sources include numerous publications of the technology and chemistry trades and the environmental permit granted for Neste Oil.

The conclusion of the study is that microalgae based biodiesel contaminates significantly less than fossil diesel. In addition, microalgae production enables carbon dioxide sequestration, waste water treatment and conserving the fertile soil for food cultivation. So far, the ideal method for microalgae harvesting or oil extraction has not been invented. That is why the microalgal biodiesel is still relatively expensive. As the techniques advance, it will become an excellent fuel, even surpassing the properties of fossil fuel.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄSITELUETTELO	6
1 JOHDANTO	8
2 UUSIUTUVA ENERGIA	9
2.1 Biopolttoaineiden raaka-aineet	10
2.2 Biodiesel	10
3 PÄÄSTÖRAJOITUKSET JA KÄYTTÖVELVOITTEET	13
3.1 Päästörajotukset	13
3.2 EU:n uusiutuvan energian direktiivi	14
4 MITÄ LEVÄ ON?	15
4.1 Fotosynteesi	15
4.2 Rakenne ja kasvu	15
4.3 Kasvuympäristö	16
4.4 Leväryhmät	16
4.5 Levätyypit	18
4.5.1 Mikrolevä	19
4.5.2 Makrolevä	19
5 KASVATUSMENETELMÄT	19
5.1 Avolaitos	20
5.2 Rengasallas	20
5.3 Suljettu laitos	21
5.4 Väliaine	24
6 KERÄYSMENETELMÄT	25
7 ÖLJYN EROTTELU	26
7.1 Mekaaninen erottelu	26
7.2 Kemiallinen erottelu	26

7.3 Ultraäänierottelu	27
8 LEVÄ ENERGIANLÄHTEENÄ	27
8.1 Levien monet edut	27
8.2 Vertailukohteita	28
9 DIESELIN VALMISTUSPROSESSIT	30
9.1 Vaihtoesteröinti	30
9.2 Esteripohjainen biodiesel, FAME	32
9.3 Vetykäsittely	33
9.4 NExBTL-diesel	36
9.5 BTL-diesel	37
9.6 Vertailua	38
10 KÄYTTÖ	39
11 PÄÄSTÖARVOT	41
11.1 Kasvihuonekaasut	42
11.2 Pakokaasut	45
12 VAIKUTUKSET YMPÄRISTÖÖN	47
12.1 Maa	47
12.2 Vesi	48
12.3 Ilma	48
13 HIILIDIOKSIDIN SITOUTTAMINEN	49
14 YHTEENVETO	50
LÄHTEET	52

KÄSITELUETTELO

Aromaatti	Hiilivety, jonka rakenneosana on kuuden hiiliatomin muodostama bentseenirengas. Aromaattien nimi johtuu niille ominaisesta makeasta eli aromaattisesta tuoksusta. Tyypillisiä aromaatteja ovat bentseenin lisäksi tolueni ja ksyleeni.
ASTM International	Amerikkalainen organisaatio, joka kehittää ja julkaisee standardeja materiaaleille, systeemeille, tuotteille sekä palveluille. (American Society for Testing and Materials)
Biodiversiteetti	Biologinen monimuotoisuus
BTL / GTL	Biodieselin jalostuksessa käytettävä Fischer-Tropsch - kaasutusmenetelmä. (Biomass to Liquid, Gas to Liquid)
HC	Pakokaasuissa esiintyvä hiilivety, joka on peräisin palamattomasta polttoaineesta.
FAME	Perinteinen esteröintiprosessiin perustuva biodiesel. (Fatty Acid Methyl Ester)
Fischer-Tropsch	Biodieselin valmistuksessa käytettävä kaasutusprosessi
HVO	Biopolttoaine, jota tuotetaan käsittelemällä kasviöljyjen tai eläinrasvojen rasvahappoja vedyllä. (Hydrogenated Vegetable Oil)
IMO	Kansainvälinen merenkulkujärjestö. (International Maritime Organisation)
MARPOL	Kansainvälinen yleissopimus alusten aiheuttaman meren (ja muun ympäristön) pilaantumisen ehkäisemiseksi.

NExBTL	Neste Oilin biodiesel, joka on valmistettu vetykäsittellyllä kasviöljyistä ja eläinrasvoista.
PAH	Polysykliset aromaattiset hiilivedyt (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)
SECA-alue	Rikkipäästöjen kontrollialue. (Sulphur Emission Control Area)
Setaaniluku	Dieselpolttoaineen syttymisherkkyttä mittaava luku.

1 JOHDANTO

Polttoaineita on kehitetty uusiutuvista materiaaleista jo monta kymmentä vuotta. Nykytrendeinä voidaan pitää sellaisia vaihtoehtoja, joissa energian lähteenä käytettyjen raaka-aineiden kasvatus ei vie tilaa eikä resursseja syötäväksi kelpaavilta kasveilta. Maankäytöllisiä ongelmia syntyy, jos maa-alue, jolla on suuri biopolttoaineen tuottokyky, soveltuu myös parhaiten ravinnoksi käytettävien kasvien viljelyyn. Pääperiaatteena on, että ruokaa ei enää käytettäisi polttoaineen raaka-aineena. Tutkijat pyrkivät löytämään raaka-ainevaihtoehtoja, joiden kasvattaminen ja jalostus veisivät mahdollisimman vähän energiaa ja tuottaisivat niukasti päästöjä. Pohjamateriaaleina käytetään niin palmuöljyä, biokaasua, biojätettä, lantaa kuin viime aikoina yhä enemmän huomiota saanutta mikrolevää. Kiristyvien päästöarvojen vuoksi yritetään löytää energiantuotantomuoto, jota käytettäessä myös päästöt vähenisivät.

Fossiiliset polttoaineet hupenevat ennen pitkää, kuten on nyt jo käymässä öljylle useiden eri ennusteiden mukaan kahden - neljänkymmenen vuoden sisällä. Lisäksi ne kuormittavat päästöillään ympäristöä. Polttoaineteollisuuden on astuttava uudelle aikakaudelle. Niin päästö- kuin riittävyysongelmiin voidaan vastata käyttämällä kasvi- ja eläinperäisiä raaka-aineita. Uusiutuvista lähteistä jalostettuja polttoaineita pidetään hiilidioksidineutraaleina siksi, että energian käytön yhteydessä ne vapauttavat kasvuaihana sitomansa hiilidioksidin eivätkä suoranaisesti tuo enää uutta hiilidioksidia ilmakehään. Hiilidioksidineutraalius tosin pätee vain niissä tapauksissa, jolloin hiilidioksidipäästöt on otettu huomioon erityisesti tuotantovaiheessa.

Biopolttoaineiden tutkimuksesta tekee erittäin mielenkiintoista hyvien tulosten lisäksi alan kansainvälisyys. Yhteistyötä tehdään globaalisti kymmenien kansallisuuksien voimin kaikilla maailman mantereilla. Odotukset ovat huimat, sillä biopolttoaineista toivotaan käänteentekeviä korvaajia fossiilisille polttoaineille.

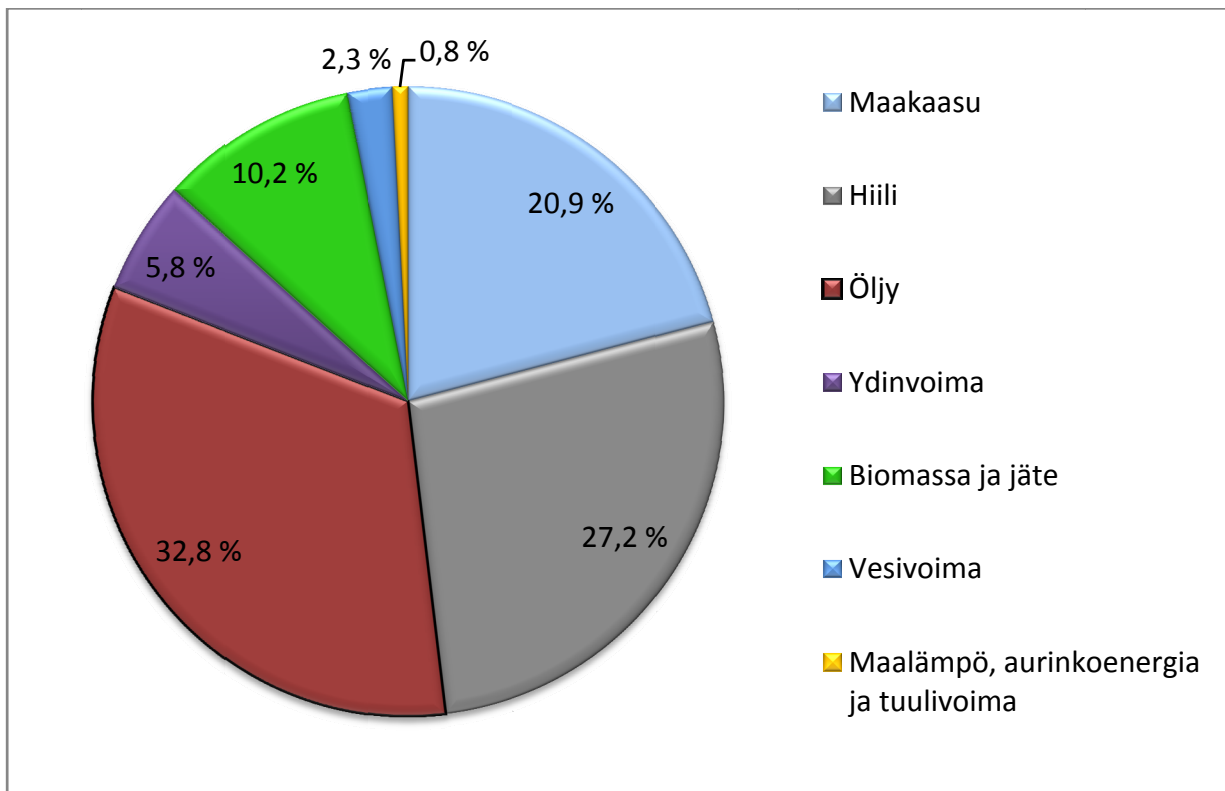
Biopolttoaineen raaka-aineista mikrolevä on valittu tämän opinnäytetyön aiheeksi, sillä se täyttää edellä mainitut kriteerit eettisenä ja ympäristöystävällisenä materiaalina. Mikroleviä voidaan kasvattaa lähes missä vain, ne ovat erittäin nopeakasvuisia ja tuottavat runsaasti öljyä eikä ravinteikasta maa-alaa tarvita, sillä viljely tapahtuu altaissa tai tankeissa. Lisäksi levä sitoo itseensä enemmän hiilidioksidia

jo kasvuvaiheessa kuin vapauttaa polttoaineen käytön yhteydessä. Mikrolevä kykenee hyödyntämään ravinnokseen juomakelvotontakin vettä hajottaen siitä epäpuhtauksia. Sille voidaan antaa ravinnoksi voimalaitosten päästämää hiilidioksidia ja tuloksena saadaan rikitöntä, niukkapäästöistä polttoainetta liikenteen ja teollisuuden käyttöön.

Tämän insinööriyön tarkoituksena on perehtyä mikroleväpohjaisen luonnonöljyn tuottamiseen ja jalostukseen. Merenkulussa ja maaliikenteessä kaivataan ratkaisuja kiristyvien päästörajoitusten saavuttamiseksi, ja mikroleväpohjainen biodiesel rikittömänä polttoaineena olisi yksi luonnollinen vaihtoehto, johon voitaisiin lähitulevaisuudessa siirtyä.

2 UUSIUTUVA ENERGIA

Uusiutuviin energianlähteisiin kuuluvat tuuli-, vesi-, aurinko-, bio- ja meren liikeistä saatava energia sekä maalämpö. Bioenergiaa taas edustavat kaikenlaiset kasviperäiset poltettavat raaka- ja polttoaineet, biokaasut sekä energiajätteen biohajoava osa. /1/ Vuonna 2009 vasta alle 15 % maailmassa tuotetusta energiasta oli uusiutuvaa ja noin 10 % saatiin eri keinoin biomassasta, esimerkiksi polttamalla tai valmistamalla etanolia /2/. Kaaviossa 1 on kuvattuna maailmalla tuotetun energian osuudet energialähteittäin. Suomella on tavoitteena nostaa uusiutuvista eri lähteistä peräisin olevan energian osuus energian kokonaisloppukulutuksesta 38 %:iin vuoteen 2020 mennessä. /1/



Kaavio 1. Maailmalla vuonna 2009 tuotetun energian osuudet energialähteittäin /2/.

2.1 Biopolttoaineiden raaka-aineet

Uusiutuvista lähteistä peräisin olevia polttoaineita kehitellään erilaisista kasveista tai niiden osista. Runsaasti öljyä sisältäviä maalla kasvavia raaka-aineita ovat monenlaiset siemenkasvit, kuten auringonkukka, öljypalmu, rypsi, soija, sinappi sekä trooppiset pensaat jatropha ja neem. Metanolia ja etanolia saadaan lisäksi viljasta ja sokerikasveista sekä eri kasvien osista kuten riisin tai maissin varsista. Dieselin raaka-aineiksi soveltuvat öljyä tuottavat kasvit, kuten solukkoihinsa rasvaa varastoivat levälajit, jotka edustavat vesistöissä kasvavia yhteyttämiseen kykeneviä mikro-organismeja. Tehokkain tapa hyödyntää auringon säteilyenergiaa onkin mikrolevien kasvattaminen ja jalostus, sillä parhaimmillaan niiden öljypitoisuus kuivapainosta on 60-70 %. /3, s.20./

2.2 Biodiesel

Dieselmoottoareiden käytössä ympyrä on sulkeutumassa. Alkuperäinen saksalaisen Rudolf Dieselin keksimä dieselmoottori käytti nimittäin polttoaineenaan kasvipohjaista maapähkinästä valmistettua luonnonöljyä ja tuli alkuaan tunnetuksi öl-

jymoottorina. Aluksi dieselmoottorit kävivät ainoastaan puhtailta kasviöljyillä, minkä jälkeen alettiin kehittää halvempia polttoaineita 1900-luvun taitteessa helposti saatavilla olleesta fossiilisesta öljystä. /4, s.112./ Nyt katseet ovat taas kääntymässä kasviperäisiin vaihtoehtoihin, mutta takaisin alkuun ei silti olla palaamassa. Nykyiset modernit biopolttoaineet ovat huippuunsa jalostettuja niukkapäästöisiä, ominaisuuksiltaan hiottuja tuotteita. Hyvälaatuiset polttoaineet ovat edellytys alhaisen päästötason saavuttamiselle ja pakokaasupuhdistuslaitteiden tehokkaalle toiminnalle. Rypsiöljykin kelpaa dieselmoottorin polttoaineeksi sellaisenaan, mutta se ei ole kilpailukykyinen biodieselin kanssa voitelu-, kylmänkesto- ja päästöominaisuuksiltaan. Rypsiöljy ei myöskään pala puhtaasti vaan karstoittaa moottoria ja siten tukkii suuttimia. Puhdas rypsiöljy aiheuttaa muutoksia voiteluöljyn viskositeetissä sekä vaikeuttaa polttoaineensyöttölaitteiden toimintaa korkean viskositeettinsa takia. /5, s. 23./

Vain puhtaasti luonnontuotteista jalostettu esteripohjainen dieselöljy, joka ominaisuuksiltaan vastaa ASTM Internationalin standardia, voidaan Amerikassa luokitella biodieseliksi. Euroopassakin on oma esteripohjaiselle biodieselille tarkoitettu standardi, EN_14214, joka asettaa biodieselille laatuvaatimukset. Neste Oil valmistaa kehittyneemmällä tekniikalla biodieseliä, jota se kutsuu Renewable Biodieseliksi välttyäkseen sekaannukselta esteripohjaisen tuotteen kanssa. Raaka-aineiksi biodieseleille kelpaavat kasvien tuottamat öljyt, kuten mäntyöljy, aurin-gonkukkaöljy, palmuöljy sekä eläinperäiset rasvat. Biodiesel luokitellaan hiilineutraaliksi, sillä huolellisesti suunniteltuna ei mikään sen valmistus- tai käyttövaihe lisää hiilikuormaa maapallolla. /6/

Biodieselin nykyisin käytetyin sekä kustannustehokkain jalostustapa on vaihtoes-teröintiprosessi, jossa käsiteltyyn kasviöljyyn tai eläinrasvaan lisätään tietyssä lämpötilassa alkoholia nestemäisen katalyytin kiihdyttäessä reaktiota. Tuloksena syntyy biodieseliä sekä sivutuotteena glyserolia. /4, s. 166./ Tämä FAME:ksi kut-suttu biodiesel on ensimmäinen kaupallinen biodiesel, joka ei sellaisenaan kuiten-kaan vastaa toivottua tulosta fossiilisen dieselin korvaajana sekä päästöjen vähen-täjänä.

Neste Oilin biodieselin jalostusprosessi poikkeaa tunnetummasta esteröintiproses-sista kaikin tavoin. Siinä ei käytetä alkoholia, katalyytti on kiinteässä muodossa ja

näin käytettävissä uudelleen, eikä sivutuotteena muodostu glyserolia, vaan propania, jolla on suurempi käyttöarvo. Parhaiten ero on nähtävissä valmiissa tuotteessa, jonka ominaisuudet päihittävät fossiilisen dieselin. /7/

Kasvi- ja eläinöljyistä valmistettuja polttoaineita on alettu kutsua ensimmäisen, toisen ja joissain tapauksissa kolmannen sukupolven biopolttoaineiksi niiden raaka-aineiden ja valmistustekniikan perusteella (taulukko 1). Nimitykset eivät ole vielä kovin vakiintuneita. Välillä jaottelu eri sukupolviin tehdään pelkästään raaka-ainepohjalta. On myös määritelmiä, joissa sukupolvet eroavat toisistaan jalostustekniikassa sekä siinä, miten hyvin ne soveltuvat olemassa olevien ajoneuvojen polttoaineeksi ilman moottoriin tai sen järjestelmiin tehtäviä muutoksia. /8/

Ensimmäisen sukupolven biodiesel on valmistettu vaihtoesteröintiprosessilla kasviöljyistä, jotka ainakin osittain kelpaavat ihmisten ravinnoksi. Se on edullista, ja sitä valmistetaan laajasti. Siitä saadut käyttökokemukset ovat vaihtelevia. Päästöarvot ovat verrattain hyviä, mutta sen käyttöominaisuuksissa on parannettavaa. /8/

Toisen sukupolven biodiesel hyödyntää ravinnoksi kelpaamattomia öljykasveja sekä eläinrasvoja. Sitä valmistetaan Suomessa hydraamalla eli vetykäsittelyllä. Sen ominaisuudet peittoavat fossiilisen perinteisen dieselin niin voitelussa, päästöarvoissa kuin palamistehokkuudessa. /8/

Kolmannen sukupolven synteettinen biodiesel ei ole vielä ehtinyt laboratorioista markkinoille. Siinä yhdistyvät ekologisuus ja eettisyys polttoaineen koko elinkaar-ajalla, uudet vaihtoehdot raaka-aineet sekä polttoaineen ylivoimaiset ominaisuudet. /8/

Taulukko 1. Ensimmäisen, toisen ja kolmannen sukupolven biodieselin raaka-aineet sekä niiden valmistusprosessit. /8/

Sukupolvi	Raaka-aineet	Valmistusprosessi	Soveltuvuus ja sekoitussuhde
Ensimmäinen	Rypsi, rapsi, palmuöljy, soijapapu, auringonkukka, eläinrasvat	Vaihtoesteröinti	Ei voida käyttää 100-prosenttisena EU:n määräämä maksimipitoisuus 5 - 7 %
Toinen	Jatropha-öljy, mäntyöljy, palmuöljy, eläinperäiset rasvat kuten kalan perkeistä puristettu öljy sekä tali	Hydraus, NExBTL	Soveltuu nykyiseen autokantaan Tavallisin sekoitussuhde 10 - 30 %
Kolmas	Levä, puupohjainen raaka-aine sekä uudet innovaatiot	Kaasuttaminen, Fischer-Tropsch, BTL (=Biomass to Liquid)	Soveltuu nykyiseen autokantaan Ei vielä markkinoilla

3 PÄÄSTÖRAJOITUKSET JA KÄYTTÖVELVOITTEET

3.1 Päästörajoitukset

Maaliikenteen ohella myös laivaliikenteessä on alettu kiinnittää entistä enemmän huomiota päästöihin ja niiden sisältöön. On määritelty erillisiä merialueita, joilla päästöjä rajoitetaan jo tiukasti. Maailmanlaajuisesti meriliikenteen rikkipäästöjen yläraja on tällä hetkellä 3,5 %. Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO hyväksyi yksimielisesti lokakuussa 2008 alusten aiheuttaman meren pilaantumisen ehkäisemistä koskevan kansainvälisen yleissopimuksen eli MARPOL 73/78 -yleissopimuksen uudistetun VI liitteen eli ilmansuojeluliitteen, jolla rajoitetaan laivaliikenteen typenoksidi- ja rikkioksidipäästöjä ja siten myös laivaliikenteestä

aiheutuvia hiukkaspäästöjä. IMO:n maailmanlaajuinen rikkipäästöraja laskee 0,5 %:iin 1.1.2020 alkaen. Erityisillä SECA-alueilla, joihin Itämerikin kuuluu, on määrätty rikkipäästörajaksi 1 % eli huomattavasti alhaisempi verrattaessa maailmanlaajuiseen rajaan. SECA-alueilla rikkidioksidin päästörajoitus tiukkenee entistään 1.1.2015, jolloin se on 0,1 %. Nykyisiä erityisalueita ovat Itämeri, Pohjanmeri ja Englannin kanaali sekä USA:n ja Kanadan rannikoiden ulkopuolelle 200 merimailiin (n. 370 km) saakka ulottuva SECA-alue, joka astui voimaan 1.8.2011 /9, s.1/. Levästä valmistettava biodiesel on käytännössä täysin rikitöntä, minkä ansiosta se soveltuisikin erinomaisesti meriliikenteen käyttöön. Myös typen oksidi- ja hiilidioksidipäästöt ovat alhaisemmat kuin perinteisellä dieselillä. /7/

3.2 EU:n uusiutuvan energian direktiivi

Huhtikuussa 2009 hyväksytty EU:n direktiivi 2009/28/EY uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian edistämisestä asetti velvoitteeksi, että maaliikenteen energiankäytössä uusiutuvan energian osuus on vähintään 10 % vuoteen 2020 mennessä /10, s.32/. Liikenteen käyttämäksi kokonaisenergiaksi lasketaan tie- ja raideliikenteessä käytetyt sähkö, bensiini, dieselöljy ja biopolttoaineet. Liikenteen käyttämäksi uusiutuvaksi energiaksi lasketaan biopolttoaineiden lisäksi uusiutuvista lähteistä tuotettu sähkö. Euroopan unionin jäsenvaltiot ovat sitoutuneet edistämään biopolttoaineiden tuontia markkinoille esimerkiksi verohelpotuksin sekä lupauksin ostaa kaikki tuotettu biopolttoaine.

Öljy-yhtiö Neste Oilin mukaan tavoite saavutetaan Suomessa runsaasti ennen määräaikaa. Yhtiöllä on pääkaupunkiseudulla ja sen ympäryskunnissa jo myynnissä vihreää dieseliä, jossa on sekoitettuna vähintään 10 % uusiutuvista eri lähteistä peräisin olevaa NExBTL:ksi nimettyä biodieseliä ja perinteistä dieseliä. Suomessa kehitetty toisen sukupolven biodiesel NExBTL on ollut testattavana 30- ja 100-prosenttisena pääkaupunkiseudun julkisen liikenteen linja-autoissa vuosina 2007 - 2010. Testitulokset osoittivat, että 100-prosenttisena biodieselin käyttö vähensi hiukkaspäästöjä 30 % ja typen oksidipäästöjä 10 %. Myös hiilidioksidipäästöt vähenevät rajusti, jopa 40 %, kun tuotteen koko elinkaari on otettu huomioon. /11/

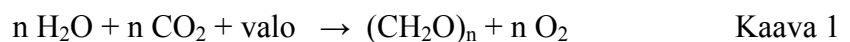
4 MITÄ LEVÄ ON?

Levät ovat omavaraisia yksinkertaisia vesikasveja, joiden rakenne vaihtelee yksisoluisista organismeista, kuten lammissa esiintyvä vaahto, mutkikkaampiin monisoluisiin, kuten esimerkiksi rakkolevä. Pisimmät monisoluiset levät kasvavat kymmenien metrien mittaisiksi. Ne määritellään kuitenkin yksinkertaisiksi, sillä niiltä puuttuu monia erillisiä osia, joita maakasveissa on.

4.1 Fotosynteesi

Auringon valo, vesi ja hiilidioksidi. Siinä kaikki tarvittava fotosynteesin toteutumiselle. Fotosynteesi eli yhteyttäminen on olennainen biokemiallinen prosessi, jossa kasvit, levät ja jotkut bakteerit, kuten sinilevä, muuntavat auringosta keräämäänsä energiaa kemialliseksi energiaksi. Kemiallisen energian ne varastoivat solukoihinsa hiilihydraattien, öljyn, ja proteiinien muodossa /3, s.4/.

Vedestä (H₂O) levä käyttää vedyn, mutta erittää vapautuneen hapen happikaasuna (O₂) ilmaan. Hiilidioksidin (CO₂) hiilestä (C) se rakentaa vedyn avulla sokereita ja muita orgaanisia hiiliyhdisteitä, joista osan levä käyttää itse kasvamiseen ja solujen uusimiseen. Prosessiin tarvittava energia saadaan fotoneista, joita viherhiukkaset nappaavat auringon valosta. /12/ Kaavan 1 reaktioyhtälössä on kuvattu, kuinka hiilidioksidi muuntuu hiiliyhdisteeksi valoenergian voimin /3, s. 5/.



4.2 Rakenne ja kasvu

Yksisoluiset viherlevät lisääntyvät suvuttomasti jakautumalla. Levät kykenevät muuntamaan 5 - 20 % saamastaan aurinkoenergiasta soluiksi, kun vastaava luku esimerkiksi maissilla ja sokeriruo'olla on yksi prosentti. Sinilevillä, jotka ovat aikoinaan edesauttaneet maailmassa yleisesti käytettyjen fossiilisten polttoaineiden syntymistä, energianmuuntokyky on kymmenen prosentin luokkaa. Ne pystyvät siis tuottamaan biomassaa vähintään kymmenkertaisella nopeudella peltoviljelykasveihin verrattuna. /13, s. 75./

Leväkasveilla ei ole perinteisiä juuria, oksia tai lehtiä, joten ne saattavat keskittää energiansa öljyntuotantoon. Tiettyjen mikrolevien öljyntuottokyky ylittää parhaankin öljyisiä siemeniä tuottavan maanpäällisen kasvin. /13, s. 75./

4.3 Kasvuympäristö

Levät ovat yksi elinvoimaisimmista organismeista maan päällä. Mikroleviä on löydetty erilaisista elinympäristöistä, joita ovat valtameret, järvet, joet, lammet, suot, kosteikot, autiomaat, ja on niitä tavattu jopa arktisissa olosuhteissa niin Etelä- kuin Pohjoisnavallakin. Ne voivat kasvaa kuumissa lähteissä tai lumessa. Eräät lajikkeet menestyvät maalla mudassa ja hiekassa tai maanpäällisten kasvien pinnoilla. Merkittävä osa maalla elävistä mikrolevistä tavataan kosteissa trooppisissa olosuhteissa ennemmin kuin kuivissa, sillä levillä ei ole suoniverkostoa eikä muita kykyjä, joilla ne soveltuisivat elämään maalla. Pääosin levät kasvavat kuitenkin vesistöissä. Noin puolet maailman leväbiomassasta kasvaa valtamerissä, toinen puoli sisävesissä ja lammikoissa. Mikrolevät sopeutuvat sekä hyvään että heikkoon vedenlaatuun. Jotkut levät kukoistavat jopa paremmin pilaantuneissa vesistöissä, sillä ne käyttävät epäpuhtauksia ravinnokseen. /3, s. 27; 14./

4.4 Leväryhmät

Mikrolevälajeja on arvioitu olevan kymmeniä tuhansia, mutta niillä on tiettyjä samankaltaisuuksia, joiden perusteella niitä on yritetty jaotella ryhmiin. Yksi tällainen luokitteluperuste on levän yhteyttämispigmentti (taulukko 2). Luokittelu ei kuitenkaan ole yksiselitteistä. Toisinaan levän silmämääräinen väri ei vastaa yhteyttämispigmenttiä, sillä levien sisältämät muut väriaineet saattavat joissain tapauksissa peittää yhteyttämispigmentin alleen. Esimerkiksi jotkut viherlevät, joiden yhteyttämispigmentti on siis vihreä, ovat punaisia niiden sisältämän värjäävän ainesosan vuoksi. Saman yhteyttämispigmenttiryhmän edustajat saattavat rakenteellisestikin muistuttaa vain etäisesti toisiaan, sillä levien kehityshistoria juontaa hyvin kauas menneisyyteen ja niiden polveutumishistoria on mutkikas. /15, s. 52-53./

Taulukko 2. Levien pääluokat yhteyttämispigmentin perusteella /13, s. 76/:

Yhteyttämispigmentti	Pääluokka	Latinankielinen nimi
Fykobiliini	Punalevät (makro)	<i>Rhodophyta</i>
Klorofylli b	Viherlevät (mikro)	<i>Chlorophyta</i>
Klorofylli c	Ruskolevät (makro) -Keltalevät (mikro) -Kultalevät (mikro)	<i>Chromophyta</i> <i>-Xanthophyceae</i> <i>-Chrysophyceae</i>

Mikrolevän lisäksi muita yhteyttäviä mikro-organismeja ovat sienet ja bakteerit. Bakteerit voivat lisääntyä jopa pimeässä toteuttaen kemosynteesiä eli yhteyttämistä ilman auringon energiaa. Se perustuu epäorgaanisten aineiden, kuten rikin, raudan ja typen yhdisteiden sisältämään kemialliseen energiaan. /15, s. 50 - 51./

Energiantuotannon kannalta ryhmittely voisi tapahtua seuraavasti:

- alkeistumalliset, joihin kuuluvat virukset, bakteerit ja syanobakteerit eli sinilevät
- alkueliöt, joihin kuuluvat nielulevät, panssarisiimalevät, tarttumalevät, kultalevät, keltalevät, piilevät, limalevät, silmälevät ja alkueläimet
- korkeampaa kehitystasoa edustavat kasvit, kuten viherlevät

Tutkimuksissa paljon esiintyviin ja nykyisin kaupallisesti kasvatettaviin mikrolevälajeihin kuuluvat esimerkiksi viherlevät *Chlorella*, *Dunaliella* sekä siniviherlevä *Spirulina* /16/. Taulukossa 3 on nähtävissä eräiden tutkittujen levälajien öljy-
toisuudet.

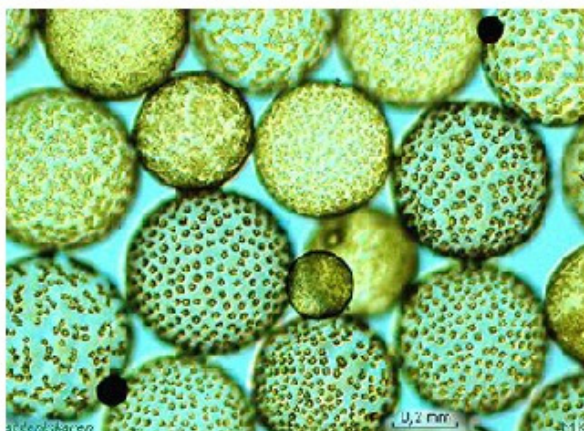
Taulukko 3. Eräiden tutkittujen mikrolevälajien öljypitoisuudet /17, s.295/:

Mikrolevä	Öljypitoisuus % kuivapainosta
<i>Botryococcus braunii</i>	25-75
<i>Chlorella</i> sp.	28-32
<i>Cylindrotheca</i> sp.	16-37
<i>Isochrysis</i> sp.	25-33
<i>Nannochloris</i> sp.	20–35
<i>Nannochloropsis</i> sp.	35–54
<i>Nitzschia</i> sp.	45–47
<i>Schizochytrium</i> sp.	50–77

4.5 Levätyypit

On olemassa kahden tyyppistä levää: makroleviä, jotka kansankielellä tunnetaan yleisesti merilevänä, sekä mikroleviä, jotka ovat pieniä kasvimaaisia organismeja (kuva 1). Makroleviä käytetään yleisesti ravinnoksi etenkin monissa Aasian maissa sekä eläinten rehuksi. Mikrolevistä voidaan valmistaa kauneudenhoitotuotteita sekä lisäravinne- ja hivenaineita. Molemmat tyypit soveltuvat erilaisten biopolttoaineiden kuten metaanin, vedyn ja alkoholien valmistukseen, mutta mikrolevää käytetään pääosin biodieselin jalostukseen sen korkean öljypitoisuuden vuoksi.

/18/



Kuva 1. Mikro- ja makrolevä /19; 20/.

4.5.1 Mikrolevä

Mikrolevät ovat niin pieniä, että niitä voidaan tarkastella vain mikroskoopin avulla. Paljaalla silmällä katsottuna ne näkyvät ainoastaan samentumina tai vaahtona vedessä. Niillä ei ole maakasvien tapaan juuria, oksia tai lehtiä. Silti ne pystyvät yhteyttämään, minkä tuloksena ne tuottavat noin puolet ilmassa olevasta hapestasta ja kuluttavat samanaikaisesti kasvihuonekaasu hiilidioksidia. Elämä vesistöissä on riippuvaista mikrolevistä, sillä ne ovat alimpana portaana ravintoketjussa toimien sen perustana. Arvioiden mukaan mikrolevälajeja olisi jopa yhdestä kymmeneen miljoonaan, ja vain 40000 niistä oli identifioitu vuoteen 2009 mennessä. On löydetty lajikkeita, joiden koostumuksessa jopa 70 % kuivapainosta on öljyä. Mikrolevät ovat myös erittäin nopeakasvuisia ja tuottavat biomassaa kymmenkertaisella nopeudella maakasveihin verrattuna. /3, s. 1./ Tässä opinnäytetyössä käsitellään biopolttoaineen tuotantoa nimenomaan mikrolevistä.

4.5.2 Makrolevä

Makrolevät ovat meriheinää tai rakkoleviä, vesikasveja, jotka kasvavat niin maakeissa kuin suolaisissakin vesistöissä. Niitä viljellään käyttämällä alustana suoraan merta, jossa ne kasvavat kiinnitettynä kiinteisiin rakenteisiin, kuten tolppiin tai lauttoihin. Toisessa tapauksessa viljely tapahtuu kasvatuslaitoksissa, joissa alustana on eristetty avoin tai katettu lammikko. Makroleviä viljellään muun muassa niiden hyytelöä tuottavan ominaisuuden vuoksi ja niistä valmistetaan hyytelöimisaineena käytettyä agaria. Makrolevistä saadaan myös muita kemikaaleja sekä kosmeettisia ja farmaseuttisia aineita. Lisäksi niitä kasvatetaan ihmisten ruuaksi sekä eläinten rehuksi. Vuosittainen tuotto on useita miljardeja tonneja. Kasvatus ravinnoksi on kannattavaa, sillä nämä tuotteet ovat ainakin toistaiseksi myyntihinnaltaan arvokkaampia kuin polttoaineen raaka-aineet. /18/

5 KASVATUSMENETELMÄT

Leväkasvatus ei vie peltoalaa ravintokasveilta. Leviä viljellään erilaisissa altaissa ja laitoksissa, jotka eivät vaadi maalta muuta kuin kohtalaista tasaisuutta. Altaat voivat sijaita täysin ravinneköyhällä palstalla. Tärkeää viljelykselle on veden, valon ja hiilidioksidin saanti sekä tasainen lämpötila, noin 18 - 25 °C. /3, s.22./ Kasvatusmenetelmiä on erilaisia: leviä voidaan viljellä ulkona sijaitsevissa altaissa,

katetuissa altaissa tai suljetuissa tankeissa, joissa on läpinäkyviä osia auringon valoa varten. On myös kehitetty hybridilaitoksia, jossa yhdistyvät avoin allas ja suljettu laitos. Laitokset eritellään toisistaan myös sillä perusteella, säädelläänkö niiden olosuhteita keinotekoisesti vai ei. /21, s.15./

5.1 Avolaitos

Monenlaisia altaita on jo laajalti kokeiltu mikrolevän kasvatusalustaksi. Kokeiluissa on ollut eroja lammen koossa, laitteistossa, muodoissa, materiaaleissa sekä kasvatusliuoksen eli väliaineen koostumuksessa.

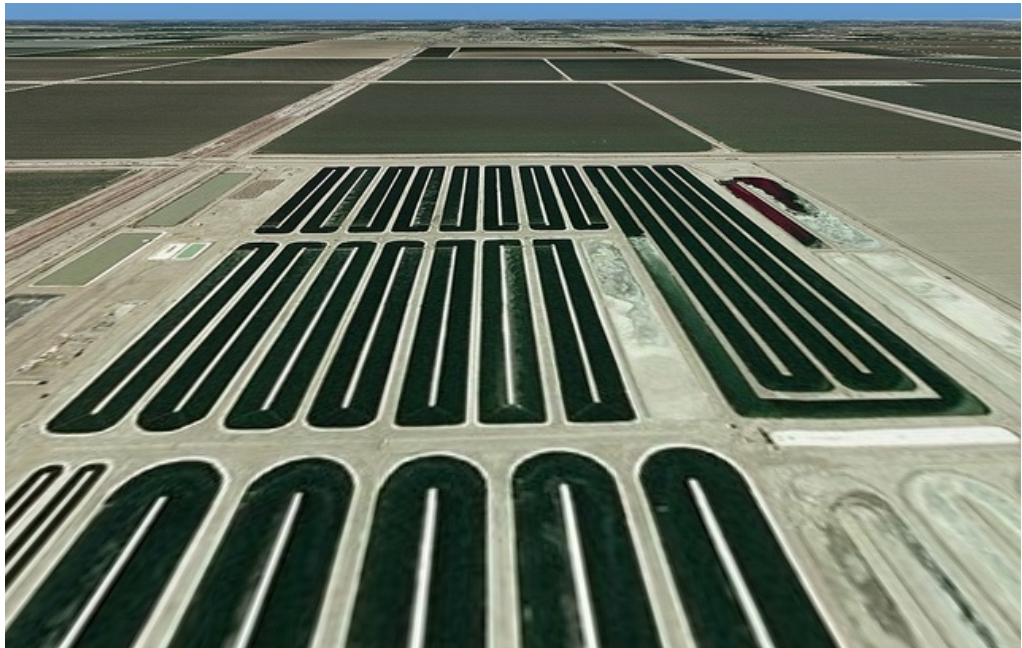
Suuret ulkoaltaat, jopa sadan hehtaarin kokoiset, voivat olla eristämättömiä luonnonpohjaisia tai vuorattuja jollain pohjamateriaalilla, kuten savella, tiilellä, sementillä, muovilla tai lasikuidulla. Siinä, missä altaiden vuoraus lisää hiukan kustannuksia, kärsivät luonnonpohjaiset altaat lietekerrostumista, läpivirtauksesta sekä siitä, että muut lajit saattavat tunkeutua altaisiin maaperän kautta. /3, s.27./

Avoimen lammen selkeät edut näkyvät kustannuksissa. Auringon valoa ja ilmassa olevaa hiilidioksidia voidaan suoraan hyödyntää ulkoilmassa. Yksinkertainen ulkoilma-allas on edullinen rankentaa. Myös käyttökustannukset ovat alhaisia, sillä olosuhteita ei säädellä eikä ravintoaineita lisätä. Avoimille altaille epäkohtia aiheuttaa kuitenkin juuri niiden sijainti ulkoilmassa. Sääolosuhteet saattavat haitata kasvua, kuten rankkasade ja kovat tuulet. Lisäksi ympäröivän ilman lämpötilanvaihtelut vaikuttavat suoraan levän kasvuun, tasaista kasvulle ideaalista lämpötilaa on mahdotonta pitää yllä. Ulkoilmassa ei voida estää vieraiden lajikkeiden pääsyä altaaseen. Altaiden kattaminen kasvihuoneella poistaisi ongelmia, mutta nostaa kustannuksia sekä pakottaa syöttämään hiilidioksidia laitokseen. Avoin allas ei kasvuympäristönä sovellu kaikkien levälajien viljelyyn, sillä herkimvät lajikkeet eivät selviä ulkopuolisten mikro-organismien tunkeutumisesta kasvatusaltaaseen. /21, s.15-16./

5.2 Rengasallas

Suosituin malli ulkoaltaalle on kehittyneempi kourumainen juoksurakenne, jossa jatkuvaa turbulენტtista virtausta pidetään yllä siipirattaan avulla. Näin pohjalle ei pääse syntymään sedimenttikerrosta. Tällaiset altaat ovat syvyydeltään ainoastaan

alle puoli metriä ja kooltaan usein 0,1 - 0,6 hehtaaria, jopa hehtaarin. Kanavamaiset altaat valetaan betonista ja päällystetään muovipinnoitteella, joka on väriltään auringon säteitä heijastava valkoinen. Rakenne voi olla yksinkertainen rengas (kuva 2), tai ratkaisu, jossa useampia mutkia on liitetty yhteen, jolloin lopputulos on kuvan oikeassa laidassa näkyvän suuremman altaan mukainen. Muitakin rakenteita on kokeiltu, esimerkkinä pyöreä allas, jossa keskelle kiinnitetty sädemäinen sekoitin pyörii hiljalleen toimittaen siipirattaan virkaa. Päivänvalon aikaan levän yhteyttäessä altaisiin syötetään hiilidioksidia ja ravinteita. /22/



Kuva 2. Rengasaltaita sekä oikealla useamman mutkan ränni. Kuvan altaat sijaitsevat eteläisessä Kaliforniassa. /23/

5.3 Suljettu laitos

Suljettuja kasvatussystemejä kutsutaan fotobioreaktoreiksi. Niissä leväviljelys ei ole suorassa yhteydessä ympäröivän ilmassa kanssa, joten se sopii herkemillekin levälajikkeille. Tuotto on huomattavasti parempi kuin vastaavan kokoluokan avolaitoksessa, sillä biomassan tiheysaste on korkeampi. Kooltaan ne ovat kuitenkin verrattain pieniä, maksimissaan 100 m², joten biopoltoainetuotannon kokoluokassa kalliita reaktoreita tarvitaan useita. /3, s.31; 13, s.78./

Suljetussa laitoksessa on helpompi huolehtia puhtaudesta, sekä estää vieraiden, epätoivottujen lajien tunkeutuminen laitokseen. Samalla olosuhteet ovat parem-

min kontrolloitavissa, jolloin ideaalitulannetta kyetään pitämään yllä ulkoilman sään tai lämpötilan muutoksista huolimatta. /13, s.87 - 88./

Leväkasvatuksen yhteydessä fotobioreaktorilla on muita tärkeitä tehtäviä. Sitä voidaan käyttää voimalaitoksen hiilidioksidipäästöpesurina, jolloin syntyneet hiilidioksidipäästöt ohjataan voimalaitoksen lähituntumaan sijoitetun leväviljelmän ravinnoksi. Sitä voidaan myös käyttää vedenpuhdistamona, sillä levät tarvitsevat ravinnokseen jätevesissä ilmaantuvia epäpuhtauksia, kuten fosforia ja natriumia. /12, s. 80./

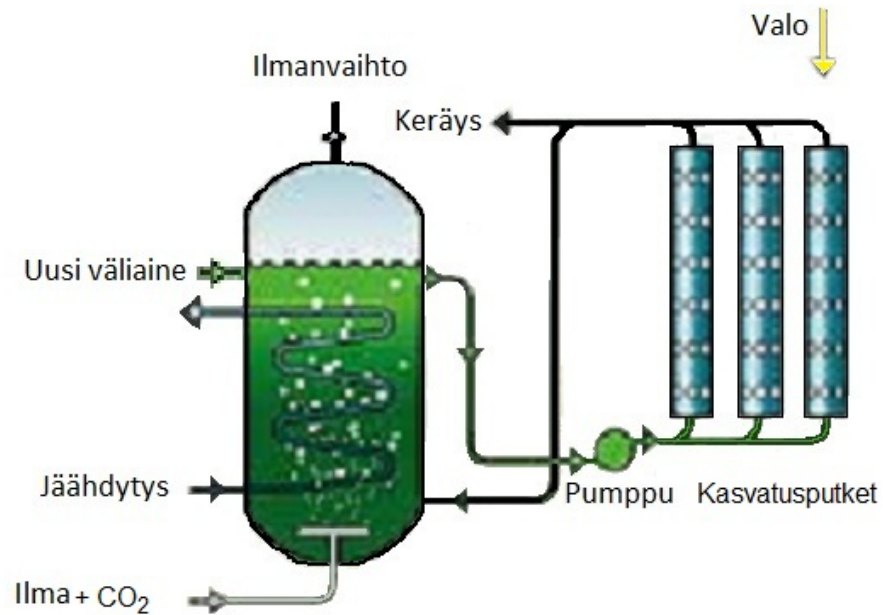
Tarkoin säädeltyjä kasvuun vaikuttavia olosuhteita ovat pH-arvo, liuenneen hapen sekä hiilidioksidin pitoisuus, lämpötila, väliaineen koostumus sekä ravinteiden li-säykset. Suljettu systeemi minimoi kasvatusliuoksen haihtumisen ja hyödyntää hiilidioksidia tehokkaammin, joten se myös sitoutuu paremmin. Fotobioreaktoreissa käytetään erilaisia rakenteita, mutta kaikissa niissä lähtökohtana voidaan pitää valon absorptiota, väliaineen koostumusta sekä leväsolun aineenvaihduntaa. /3, s. 29./

Tähänastisista kokeiluista kaikkein tyydyttävimpiä tuloksia on saatu putkimaisesta fotobioreaktorista (kuva 3).



Kuva 3. Putkimallinen fotobioreaktori /24/.

Putkimainen fotobioreaktori koostuu läpinäkyvistä putkista, jotka on tehty joustavasta muovista tai lasista ja ovat yhteydessä toisiinsa. Putkien asennolla ei ole suurta merkitystä: ne voivat olla vaaka- tai pystyasennossa, vinottain kohti aurinkoa tai vaikkapa spiraalimuodostelmassa. Yleensä putket järjestetään rinnakkain sillä tavoin, etteivät ne ole maan tasossa, jotta valo kulkeutuisi joka suunnasta putken sisälle. Halkaisijaltaan putket ovat usein maksimissaan 20 cm, sillä tätä paksummissa putkissa levämassat alkavat estää valon tunkeutumisen putken keskiosaan. Kasvatusväliainetta kierrätetään putkistosta tankkiin ja takaisin turbulenssilla virtauksella (kaavio 2). Näin pyritään maksimoimaan ravinteiden jakelu, helpottamaan kaasunvaihtoa, minimoimaan sedimentoitumista sekä takaamaan biomassalle yhtäläinen valaistus. Useimmissa malleissa osa biomassasta kerätään biomassan tullessa valonkeräysputkistosta takaisin tankkiin. Biomassaa kerätään vähän kerrallaan jatkuvan kasvamisen mahdollistamiseksi. /13, s. 80-81./



Kaavio 2. Esimerkki putkimaisen fotobioreaktorin rakenteesta /25/.

5.4 Väliaine

Jotta levät kasvaisivat nopeammin ja niiden tuottamat aineet olisivat koostumukseltaan optimaalisia, niitä ruokitaan erilaisin ravintein. Levät ottavat käyttämänsä vedyn ja hapen vedestä. Lisäksi ne tarvitsevat kasvaakseen koko joukon muita alkuaineita, kuten hiiltä (C), typpeä (N), rikkiä (S) ja fosforia (P), metalli-ioneja, hivenaineita sekä joissain tapauksissa piitä. Ravintoaineiden on oltava tasapainossa, koska ne vaikuttavat levän kasvunopeuteen, sedimentin muodostumiseen, levän tuottaman öljyn laatuun ja levämassan tiheyteen. Mitä tiheämmin levät kasvavat, sen helpompi niitä on kerätä ja kuivattaa jatkojalostusta varten. /3, s. 17./

Levien tuottavuuteen ja niiden tuotteisiin on siis mahdollista vaikuttaa tietyin ravintein. Koe osoittaa, että sopivassa suhteessa lisätyt natriumnitraatti (NaNO_3), kaliumvetyfosfaatti (K_2HPO_4), kaliumdivetyfosfaatti (KH_2PO_4), magnesiumsulfaattia (MgSO_4) ja rautatrikloridi (FeCl_3) kiihdyttävät rasvantuotantoa ja nostavat levän kasvutiheyttä. Taulukosta 3 nähdään, mitä ravintoaineita optimaalinen kasvatusväliaine sisältää. /3, s.121./

Taulukko 3. Optimaalisen väliaineen koostumus laboratorio-olosuhteissa /3, s. 134/.

Lisäaine	Kemiallinen kaava	g/l
Natriumnitraatti	NaNO ₃	0,35
Kaliumvetyfosfaatti	K ₂ HPO ₄	0,138
Kaliumdivetyfosfaatti	KH ₂ PO ₄	0,322
Magnesiumsulfaatti	MgSO ₄	0,0823
Rautatrikloridi	FeCl ₃	0,0068
Kalsiumkloridi	CaCl ₂ ·6 H ₂ O	0,025
Natriumkloridi	NaCl	0,025

Näiden lisäksi optimaaliseen kasvatusväliaineeseen lisätään 1 ml/l liuosta, joka sisältää erilaisten metallien kuten raudan, mangaanin, sinkin ja kuparin yhdisteitä /3, s. 121, 134/.

6 KERÄYSMENETELMÄT

Levien keräys alkaa levän erottamisesta kasvuympäristöstään. Keräyksen yhteydessä levät kuivataan ja tuloksena on paksua levätahnaa. Korjuuta hankaloittaa mikrolevän mikroskooppisen pieni koko (3 - 30 µm) sekä se, että tiheimminkin kasvavissa leväviljelyksissä kerättävää levää on noin 2,5 - 5 g/l. /3, s.132/ Keräys-tekniikoissa hyödynnetään levälajikkeesta riippuen sen ominaisuutta kerrostua ja sakkautua pohjalle tai kerääntyä pinnalle. Levä saostetaan suuremmiksi partikkeleiksi erottelun helpottamiseksi ennen suodattamista. Jotkut levätyypit flokkautuvat eli kerääntyvät kokkareiksi luonnostaan, toisia autetaan flokkulaatilla eli kemikaalilla, joka aiheuttaa paakkuuntumista. Lisäksi käytetään linkousta, jossa vesi erotellaan levämassasta keskipakovoiman avulla /26/. Erottelutekniikka on harkittava tarkoin kyseessä olevan levälajikkeen ominaisuudet huomioiden, koska suuria määriä käsiteltäessä epäedullinen tekniikka aiheuttaa suuria tappioita.

7 ÖLJYN EROTTELU

Öljyn erotus levämassasta on yksi kalleimpia prosesseja leväpolttoaineen tuotannossa keräyksen ohella. Ideana erotus on yksinkertainen: kerätään ja erotellaan levä kasvatusliemestään ja puristetaan öljy ulos. Erottelu voidaan yleisesti jakaa kahteen kategoriaan, mekaaniseen ja kemialliseen. Leväöljyn tuottajat ovat päätyneet käyttämään näitä molempia yhtäaikaaisesti energiansäästö- ja kustannussyistä, sillä kemikaalit tukevat ja nopeuttavat mekaanista prosessia. Erottelutekniikoiden tutkiminen on vasta alkutekijöissään, mikä merkitsee sitä, että toimivin ja energiatehokkain metodi on mahdollisesti vielä löytämättä. /27/

7.1 Mekaaninen erottelu

Kaikkein yksinkertaisin keino erottaa öljy leväsolusta on mekaaninen rakenteen murskaaminen. Siitä syystä, että eri mikrolevälajikkeet eroavat rakenteellisesti toisistaan, on kehitetty useita eri puristusmenetelmiä, jotka soveltuvat parhaiten tietyn tyyppiselle levälle. Vaihtoehtoja ovat muun muassa tiivistysjuoksupyörä, ruuvi- ja mäntäpuristin. Usein mekaanisen puristusprosessin tehostamiseksi käytetään myös kemikaaleja. Puristaminen on kallista ja kuluttaa runsaasti energiaa. /27/

7.2 Kemiallinen erottelu

Puristus ei ole ainoa vaihtoehto öljyn erottamiseksi ulos leväsolusta. Öljy saadaan erottumaan myös kemiallisesti orgaanisilla liuottimilla. Osa kemikaaleista on tuttuja esimerkiksi ruoan tuotannosta, kuten heksaani. Sitä käytetään laajalti ja näin ollen sen käyttökustannukset ovat verrattain alhaisia. Kemikaalien käytössä on kuitenkin noudatettava erityistä huolellisuutta. Kemikaalien käyttö erotuksessa tuoprosessiin omat riskinsä, sillä ne ovat usein terveydelle haitallisia. Haasteena on myös käytettyjen kemikaalien turvallinen ja ympäristöystävällinen hävittäminen. /27/

7.3 Ultraäänierottelu

Ultraääni kiihdyttää erotusprosessia rikkomalla solurakennetta. Ultraääniaallot saavat liuotinaineen kavitoimaan, jolloin syntyy kuplia. Kuplat rikkoutuvat lähellä soluseinämiä luoden sokkiaaltoja, mikä saa soluseinämät murtumaan ja luovuttamaan sisältönsä liuotinaiseeseen. /27/

8 LEVÄ ENERGIANLÄHTEENÄ

8.1 Levien monet edut

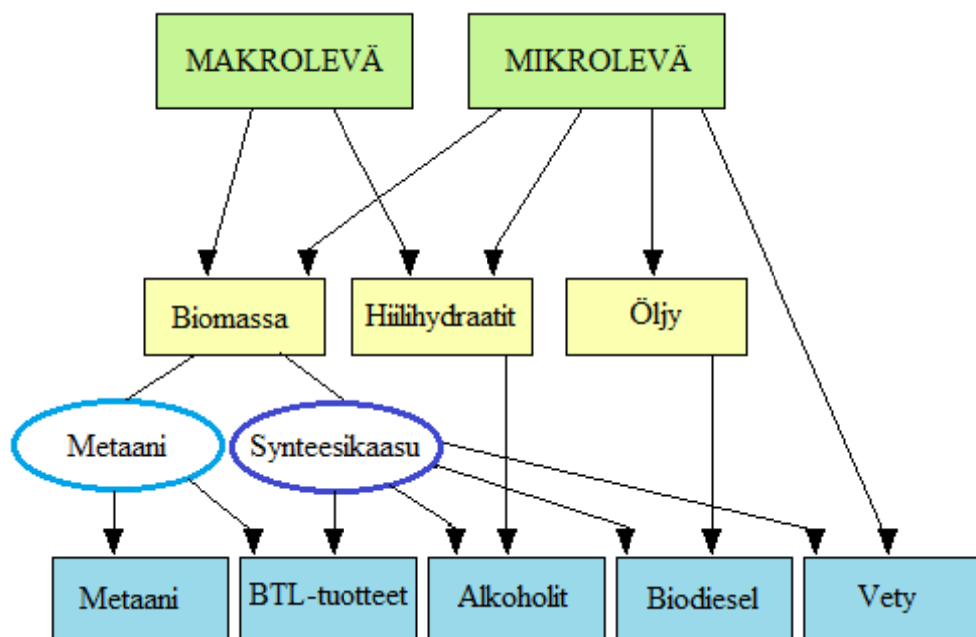
Mikrolevät ovat erittäin nopeakasvuisia. Parhaimmillaan ne jakautuvat vuorokaudessa. Mikrolevän viljelyssä säästetään erityisesti ravinteissa ja lannoitteissa, sillä levät eivät tarvitse yhteyttämiseen juuria, varsia tai lehtiä, eivätkä siksi kuluta energiaa niiden kasvattamiseen. Vettäkin ne tarvitsevat vähemmän kuin perinteiset öljykasvit. Mikrolevät eivät vaadi peltokasvien tapaan ravinnerikasta maata eivätkä puhdasta vettä. Leväöljyntuotannon hyviä ja huonoja puolia tarkastellaan taulukossa 4.

Taulukko 4. Biodieselin tuotannon hyviä ja huonoja puolia, kun raaka-aineena on mikrolevä /13, s.98/.

EDUT	HAITAT
✓ Nopeakasvuinen	○ Matala biomassan tiheysaste
✓ Vaatii vähemmän vettä kun peltoviljelykasvit	○ Korkeammat perustuskustannukset
✓ Kustannustehokas viljely	○ Leväöljyn erotuksen korkeat kustannukset
✓ Typen oksidien vapautumisen minimointi	
✓ Maksimaalinen hiilidioksidin talteenotto	
✓ Maankäytölliset edut	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ ravinteikasta maata ei tarvita ✓ paras tuotto pinta-alaan nähden 	

Mikroleväöljyt eroavat hiukan muista kasvipärisistä öljyistä siten, että monitydyttymättömien rasvahappojen osuus neljällä tai useammalla kovalenttisella kaksoissidoksella on yleisempi. Metyyliesteri neljällä tai useammalla kaksoissidoksella on alttiimpi hapettumiselle varastoinnin aikana ja siten se himmentää hiukan leväöljyn suosiota biodieselin raaka-aineena. Kuitenkin tämä haitallinen ominaisuus on helposti poistettavissa osittain katalyyttisesti hydraamalla öljy, jolloin kaksoissidoskohtiin liittyy vetyatomeja tyydyttäen kaksoissidoksia yksinkertaisiksi kovalenttisiksi sidoksiksi. /28, s.314./

Myös makroleviä tutkitaan mahdollisina raaka-aineina erilaisille biopolttoaineille, sillä nekin ovat nopeakasvuisia ja sisältävät monia energiantuotannon kannalta hyödyllisiä aineita. Kaaviosta 3 nähdään, mitä biopolttoaineita levästä voidaan valmistaa.



Kaavio 3. Levä erilaisten polttoaineiden raaka-aineena.

8.2 Vertailukohteita

Taulukossa 5 on listattuna viljelykasvien vuosittainen öljyntuotto hehtaaria kohden. Vaikka luvut perustuvat arvioihin, on niistä kuitenkin selkeästi nähtävissä, että mikrolevän mahdollisuudet tehokkaana öljyntuottajana ovat ylivoimaiset. Siinä missä maakasveista voidaan hyödyntää vain siemenet tai hedelmät, saattaa mikrolevän koko kuivapainosta 60 - 70 % olla öljyä. Varovaistenkin arvioiden mukaan

mikrolevä tuottaisi öljyä lähes kymmenkertaisesti tuottoisimpaan maakasviin, öljypalmuun, verrattuna. Uusia öljypalmuviljelmää perustetaan jatkuvasti, ja vuonna 2009 ne peittivät alleen jo 15 miljoonaa hehtaaria maata pääasiassa Malesiassa, Indonesiassa ja Nigeriassa./29/ Viljelemällä mikrolevää vastaavalla volyyymillä saataisiin maankäytölliset ongelmat kehitysmaissa laskuun eikä uusia sademetsä-alueita tarvitsisi hävittää biodieseltuotannon alta.

Suuri vaihtelu mikrolevän öljyntuoton arvioissa johtuu siitä, että niissä on otettu huomioon eri levälajikkeiden eriävät öljypitoisuudet. Arvioissa on myös mukana laboratorio-olosuhteissa saavutettuja tuloksia, joita varsinainen tuotto ei etenkään massatuotannossa välttämättä vastaisi. Taulukossa 5 esitellyt tulokset ovat keskiarvoja monista eri lähteistä, tosin useissa lähteissä suurin osa luvuista täsmää. Viimeisen sarakkeen tonnimäärä on laskettu käyttäen kasviöljyjen keskiarvoista tiheyttä 0,91 kg/l. /30/

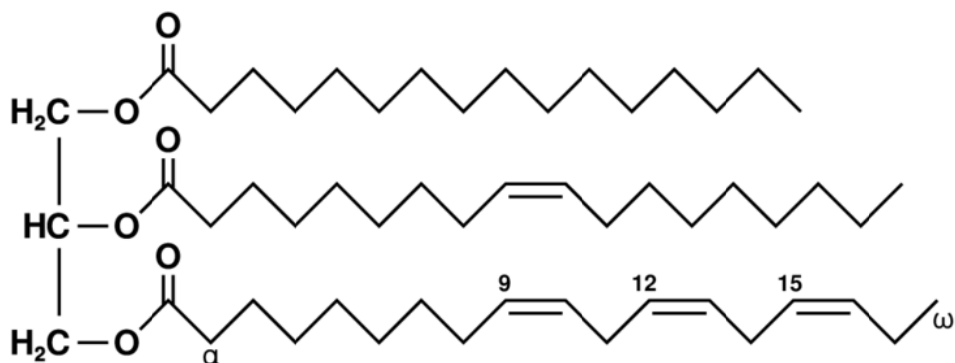
Taulukko 5. Vertailussa eri öljykasvien vuosittainen tuotto /3, s.68; 13, s.149/.

Öljykasvi	Öljyntuotto litraa / hehtaari / vuosi	tonnia / hehtaari / vuosi
Soijapapu	450	0,4
Auringonkukka	954	0,9
Rapsi	1 189	1,1
Jatropha	1 892	1,7
Kookospalmu	2 689	2,5
Öljypalmu	5 940	5,4
Mikrolevä	47 000-141 000	43,8 - 128,3

9 DIESELIN VALMISTUSPROSESSIT

9.1 Vaihtoesteröinti

Kasviöljyt ja eläinrasvat koostuvat triglyserideistä (kaavio 4), jotka sisältävät kolme rasvahappoketjua kiinnittyneenä yhteen glyserolimolekyyliin. Molekyylin suuri koko ja kaksoissidosten määrä aiheuttavat öljyn korkean viskositeetin. Kaaviossa 4 vasemmalla näkyy glyserolimolekyylin runko, jonka jokaiseen hiileen on kiinnittynyt rasvahappoketju. Ketjujen pituus vaihtelee, mutta hiilen määrä on yleensä parillinen luku 14:n ja 22:n välillä. Kaksoissidosten määrä ratkaisee, onko kyseessä tyydyttynyt, monityydyttymätön vai monityydyttymätön rasvahappo. /31/ Tulevissa kaavioissa yhtä rasvahappoketjua kuvataan termillä "R".

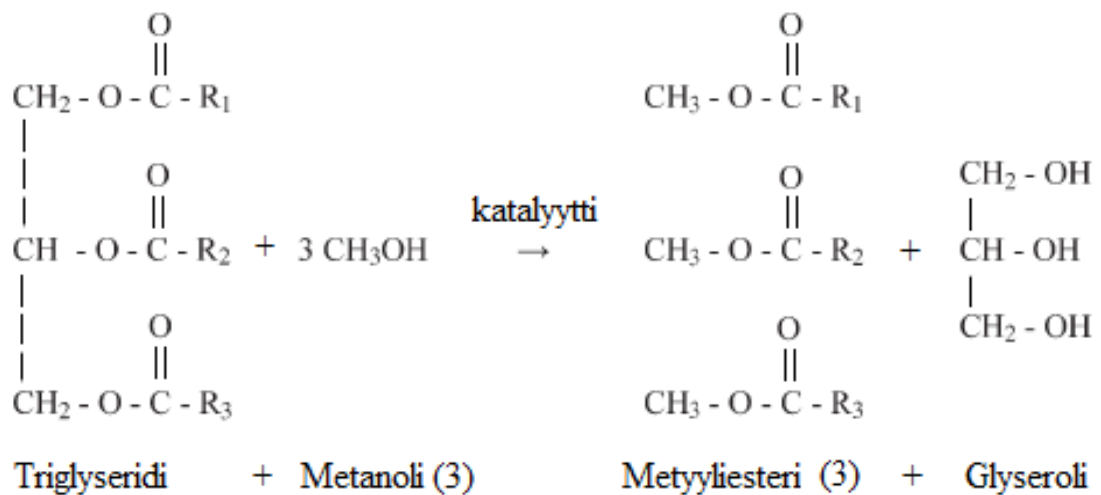


Kaavio 4. Triglyseridin kemiallinen rakenne /32/.

Yleisimmin käytetty kasviöljyjen jalostusprosessi on vaihtoesteröinti- tai transesterointiprosessi. Vaihtoesteröinti on tasapainoreaktio, johon vaikuttaa glyseridin ja alkoholin määrasuhde, katalyytti, lämpötila, aika, paine sekä vapaiden rasvahappojen ja veden määrä öljyssä. /4, s.121./

Esikäsiteltyyn bioöljyyn lisätään alkoholi-katalyyttiseosta. Reaktion nopeuttamiseksi lämpötilaa pidetään alkoholin kiehumispisteen (metanoli 64,7 °C ja etanoli 78,3 °C) yläpuolella. Veden ja vapaiden rasvahappojen määrä tulisi pitää minimissään, sillä niillä on taipumusta muodostaa saippuonia katalyytin läheisyydessä. /4, s.121 - 122./

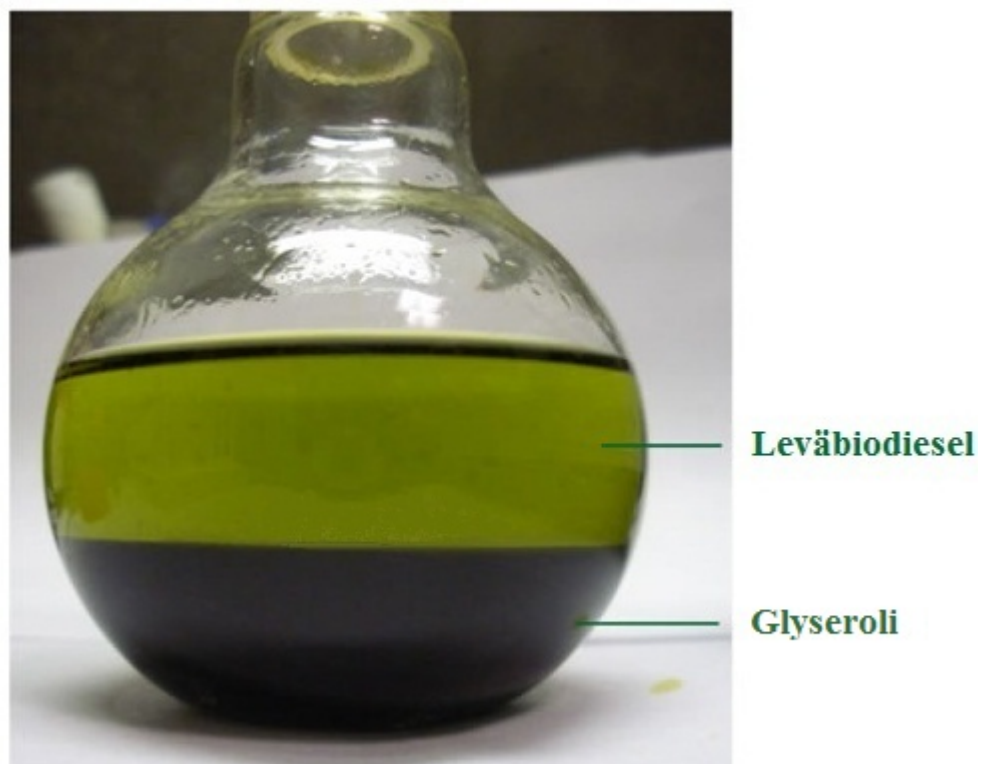
Katalyytin triglyseridistä irrottama rasvahappoketju sitoutuu alkoholiin, etanoliin tai metanoliin, jolloin syntyy rasvahapon etyyli- tai metyyliestereitä. Alkoholia tarvitaan aina kolme moolia yhtä triglyseridimoolia kohden, josta muodostuu yksi mooli glyserolia ja kolme moolia etyyli- tai metyyliesteriä (kaavio 5). Reaktio tapahtuu kolmessa vaiheessa: ensin yksi rasvahappo irtaantuu ja liittyy alkoholiin muodostaen esterin ja jättäen jälkeensä kaksi rasvahappoketjua ja diglyseridin. Sitten toinen rasvahappoketju irtaantuu ja tämän jälkeen kolmas jättäen jälkeensä glyserolin. /4, s.122./



Kaavio 5. Vaihtoesteröintireaktio metanolilla /4, s.121 - 122/.

Katalyyttinä käytetään yleensä natriumhydroksidia tai kaliumhydroksidia, mutta muitakin katalyyttejä on käytössä, kuten natriummetoksidi sekä lipaasi, joka on rasvoja hajottava entsyymi. Entsyymikatalyytti on kaikista vaihtoehdoista luonnollisin, mutta sen käyttökustannukset ovat korkeimmat. Katalyytin valintaan vaikuttavat sen nopeus, taipumus muodostaa haitallista saippuaa sekä hinta. /3, s.70./

Aineiden reagoitua on säiliöön muodostunut kaksi selvästi havaittavaa nestekerrosta (kuva 4). Näistä kirkkaampaa ja kevyempää on biodiesel. Glyseroli painuu raskaampana säiliön pohjalle, sillä sen tiheys on $1\,261 \text{ kg/m}^3$ kun biodieselin tiheys puolestaan on 864 kg/m^3 . Glyseroli on helppo erottaa biodieselistä pohjaventtiilin kautta. Erottamiseen käytetään myös linkousta nopeamman tuloksen saavuttamiseksi. /33, s.13./



Kuva 4. Esteröintireaktion lopputuloksena saadaan kaksi nestekerrosta. /27/

9.2 Esteripohjainen biodiesel, FAME

Esteripohjainen biodiesel koostuu rasvahappoketjuista, jotka ovat sitoutuneet kemiallisesti metanolimolekyylisiin eli rasvahapon metyyliestereistä (FAME = fatty acid methyl esters). Jos prosessissa on käytetty alkoholina etyyliä, on kyseessä rasvahapon etyyliesteri FAEE. Rypsipohjaisen biodieselin vakiintunut nimitys on rypsin metyyliesteri RME. Jotta biodiesel olisi standardin mukaista, tulee siitä olla poistettu alkoholi, vesi, veden ja katalyytin muodostama saippua, glyseriini, katalyytit sekä reagoimattomat tai osittain reagoineet triglyserolit sekä vapaat rasvahapot. Lopputuloksena on kirkasta, kellertävää nestettä, jonka tuoksu on aavistuksen tunkkainen ja saippuainen. /4, s.114./

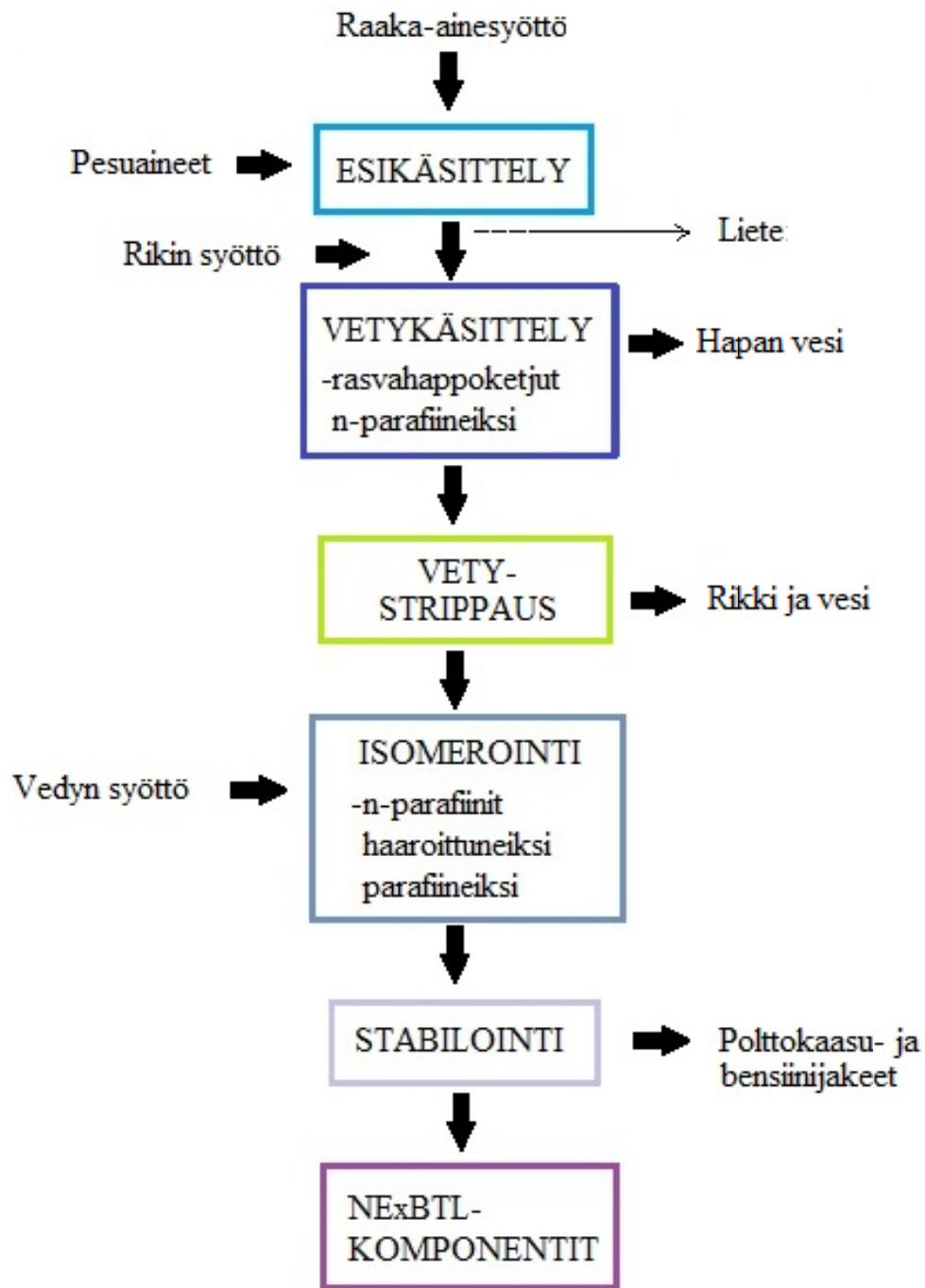
FAME:n ominaisuuksiin vaikuttaa hieman se, mikä raaka-aine on kyseessä. FAME-tyyppistä biodieseliä varastoitaessa sekä sekoitettaessa perinteiseen dieseliin tulee ottaa huomioon, että se on täysin biohajoavaa. Esteripohjainen diesel hajoaa neljä kertaa nopeammin kuin fossiilinen diesel. Aine on epästabiili, mikä tarkoittaa, että sen hapettumisen kestävyys on alhainen. FAME sisältää noin 11 % happea, mikä myös vaikuttaa tilavuuspohjaiseen lämpöarvoon alentavasti. /10, s.137./

Biodiesel sekoittuu täydellisesti perinteiseen dieseliin, jossa jo muutaman prosentin pitoisuus parantaa voitelua huomattavasti. Koska biodiesel on toistaiseksi vielä kallista, sitä käytetään sekoitettuna tavallisen dieselin joukkoon. Euroopan dieselstandardin mukainen suurin sallittu pitoisuus on 5 - 7 % /10, s.101/. Sekoitussuhde pidetään alhaisena myös siitä syystä, että FAME ei sovellu suurina pitoisuuksina käytettäväksi aivan kaikissa jo olemassa olevissa ajoneuvoissa ilman rakenteellisia muutoksia. /7/

9.3 Vetykäsittely

Ölly-yhtiö Neste Oil Oyj:n patentoitu biodiesel on nimeltään NExBTL. Nimi tulee sanoista Next Generation Biomass to Liquid. Sen valmistuksessa käytetään uudistunutta tekniikkaa ja lopputuloksena on kemialliselta rakenteeltaan hapeton fossiilista dieseliä vastaava tuote. Maailmalla vetykäsittely biodiesel kulkee nimellä Hydrotreated Vegetable Oil eli HVO. Sen raaka-ainevaihtoehdot ovat entistä monipuolisemmat vetykäsittelyprosessin ansiosta. Valmistukseen soveltuvat minkä tahansa kasvin öljy sekä eläinrasvat, joista käytettävissä ovat esimerkiksi tali ja elintarviketuotannossa sivutuotteena syntyvät rasvat sekä kalan perkausjätteistä puristettu kalaöljy /34, s.2/. Neste Oil on osoittanut kiinnostuksensa leväöljyä kohtaan ja aloitti tutkimukset noin kymmenen henkilön voimin vuonna 2007. Nopeakasvuisella ja tehokkaasti öljyä tuottavalla mikrolevällä on Neste Oilin mukaan loistava tulevaisuus. Siitä halutaan kehittää kustannustehokas raaka-aine NExBTL-dieselille. /35/

NExBTL-biodieselin valmistuksessa tarvitaan kaksi reaktiota, joissa ensin muokataan käytettävästä öljystä hiilivetyjä poistamalla happi. Vetykäsittely nostaa polttoaineen setaanilukua. Toisessa reaktiossa käsitellään hiilivetyjen rakenne paremman kylmänkestävyyden saavuttamiseksi. Kaaviossa 6 on esitetty NExBTL:n valmistus vaiheittain. Valmiin biodieselin koostumukseen ei vaikuta raaka-ainevalinta. Usein NExBTL onkin sekoitus eri lähteistä olevaa prosessoitua öljyä. /36/



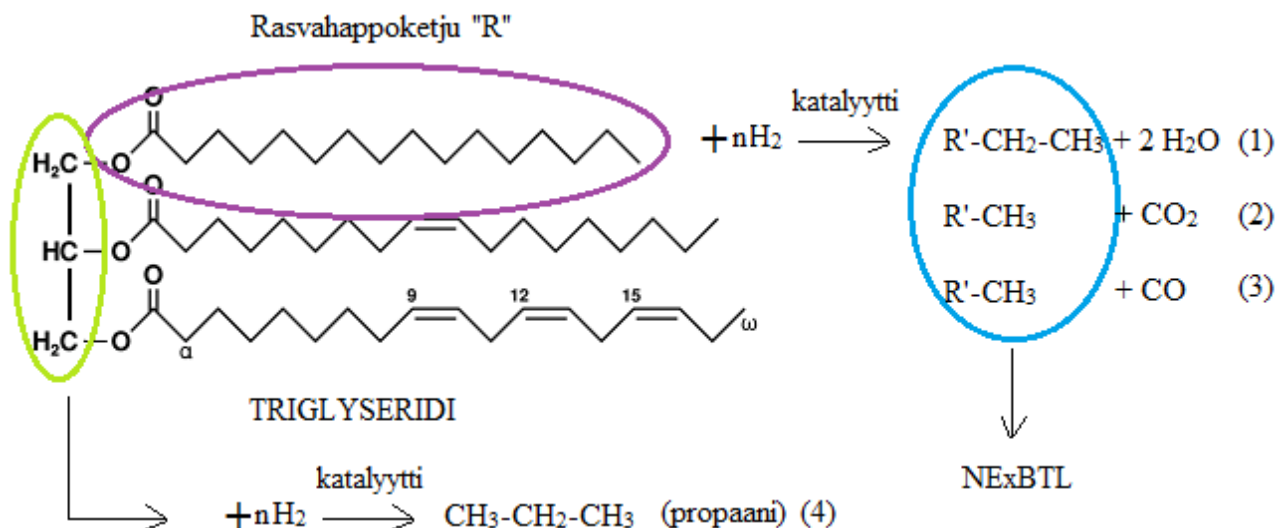
Kaavio 6. NExBTL-biodieselkomponenttien valmistusprosessi /37, s.12 - 13/.

NExBTL-biodieselin valmistus alkaa raaka-aineen esikäsittelyllä. Fosforihappo-, lipeä- ja vesipesuilla kasviöljystä ja eläinrasvasta erotetaan niiden sisältämät katalyyttiselle prosessille haitalliset aineet, kuten fosfori ja metallit. Esikäsittelyn tuloksena muodostuu lietettä, joka sisältää fosforia, typpeä sekä metalleja, kuten rautaa, kalsiumia ja magnesiumia. Puhdistettu bioraaka-aine siirretään seuraavaan käsittelyvaiheeseen. /37, s.12./

Ensimmäisessä reaktiossa hydrausreaktorissa öljystä ja rasvasta muodostuu n-parafiineja eli tyydyttyneitä hiilivetyjä sekä propaania. Tämä tapahtuu hajottamalla öljyn ja rasvan triglyseridit vetykäsittelyllä. Triglyseridit sisältävät 11% happea, joka poistuu reaktiossa vapauttaen vettä, hiilidioksidia ja hiilimonoksidia. Vetykäsittely tapahtuu 300-350 °C:n lämpötilassa ja 5000 kPa:n absoluuttisessa paineessa. Katalyyttinä reaktiossa käytetään nikkeli-molybdeenikatalyyttipatjoja. Rikin on oltava läsnä reaktiossa, jotta vetykäsittelyreaktorin katalyytti säilyisi aktiivisessa sulfidimuodossa. Syöttöaineen sisältämä typpi konvertoituu ammoniakiksi. Tuoresyötön konversio triglyserideistä dieselalueen hiilivedyiksi on käytännössä täydellinen. /37, s.12./

Syntyneet parafiiniset hiilivedyt ovat rakenteeltaan suoraketjuisia. Sivutuotteena ei muodostu glyserolia, kuten vaihtoesteröintiprosessissa, vaan propaania, jota käytetään polttokaasuna tai ohjataan jalostamon muihin prosesseihin. /37, s.12./

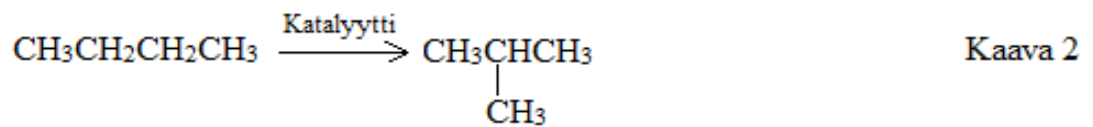
Kaaviossa 7 on kuvattuna vetykäsittelyn reaktioyhtälö, jonka tuloksena saadaan vettä, hiilidioksidia, hiilimonoksidia sekä biodieselin komponentteja. R' tarkoittaa hiilivetyketjua, jossa on yksi hiili vähemmän kuin alkuperäisessä ketjussa R. [R' = (n-1)C]



Kaavio 7. Vetykäsittelyn reaktioyhtälö /38/.

Seuraava vaihe on isomerointi, joka on reaktio, jossa hiilivetyjen molekyylipaino säilyy, mutta ominaisuudet ja rakenne muuttuvat. Tämä tapahtuu katalyytin ja vedyn avulla isomerointireaktorissa samankaltaisessa lämpötilassa ja paineessa kuin

ensimmäinen reaktio. Käsittelyn tuloksena hiilivetyketjuun muodostuu metyylihaaroja ja ketjuja muokataan lyhyemmiksi. Uusi rakenne parantaa polttoaineen kylmänkestoa huomattavasti. /37, s.13./ Kaavasta 2 nähdään, kuinka metyylihaara kiinnittyy hiilivetyketjun hiileen /39, s.1053/.



Isomerointia seuraa jälkikäsitely, jossa syntynyt tuote stabiloidaan. Hiilivetyjakeesta erotetaan polttokaasu- ja bensiinijakeet höyrystrippauksella. Tämän jälkeen biodieseltuote vielä kuivataan vedenpisaraerottimella. /37, s.13./ Biobensiinijakeita prosessissa syntyy noin 5 % lopputuotteesta /10, s.142/.

9.4 NExBTL-diesel

NExBTL on hapetonta ja vastaa koostumukseltaan fossiilista dieseliä. Tyypillinen NExBTL-biodieselkomponentti on kemialliselta kaavaltaan $\text{C}_{18}\text{H}_{38}$. Hiilimolekyylien määrä (C_n) vaihtelee välillä C14 - C22. Vetyä on hiileen verrattuna kaksinkertainen määrä sekä lisäksi kaksi ylimääräistä vetyatomia ($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$). Vetykäsittelyllä biodieselistä tulee lähes hajutonta, kirkasta ja väritöntä nestettä. /40, s.35./

Vetykäsittelyllä saadaan optimoituja biodieselin ominaisuuksia. Ensimmäisellä käsittelyllä muokataan setaanilukua edulliseksi. NExBTL:n setaaniluku on lähes sata, mikä tarkoittaa, että polttoaine syttyy erittäin helposti. Syttymisviive on lyhyt, jolloin polttoaine palaa puhtaammin. Mikäli setaaniluku on alhainen, syntyy enemmän päästöjä, melua sekä moottoria rasittavia iskuja. /41/

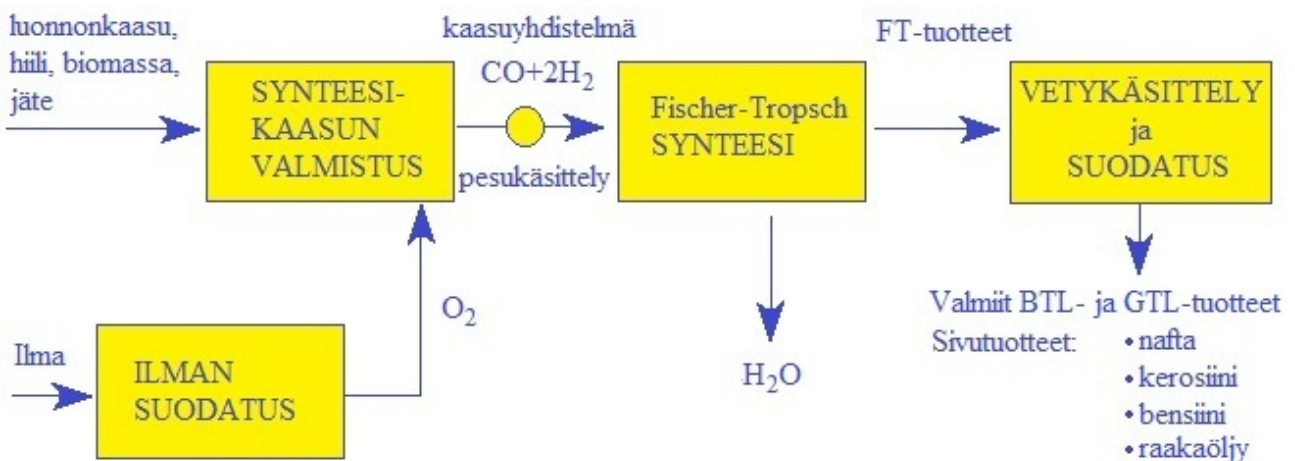
Toinen vetykäsittely, isomerointi, parantaa biodieselin kylmänkestoa. Sataprosenttista NExBTL:iä voidaan käyttää 5-30 asteen pakkasessa. Lisäaineilla parannetaan pakkasenkestoa entisestään, Neste Oilin arktinen NExBTL-diesellaatu kestää $-44\text{ }^\circ\text{C}$:seen asti. Sitä markkinoidaan muun muassa Kanadaan.

9.5 BTL-diesel

BTL on määritelmästä riippuen toisen tai kolmannen sukupolven biopolttoaineen tuotantomuoto. Kaasutusprosessissa voidaan hyödyntää suurta raaka-aineiden kirjoa, joka laajenee ensimmäisen ja toisen sukupolven biodieselin raaka-ainevaihtoehtoista esimerkiksi puubiomassoihin. Biojalostamossa voidaan erottaa biomassasta puussa olevia kemiallisia yhdisteitä ja jalostaa niistä biodieseliä, bioetanolia, biopolttoöljyä sekä bioenergiaa. Lähes mikä tahansa raaka-aine, joka sisältää hiiltä, soveltuu BTL-tekniikan käyttöön. Tällä hetkellä tärkein raaka-aine on maakaasu, mutta polttoainetta voidaan valmistaa niin hiilestä, oljista, kaislasta, heinistä, metsäteollisuuden puuperäisistä jätteistä kuin yhdyskuntajätteistä. Puuperäiset raaka-aineet ovat selvästi edullisempia verrattuna kasviöljyihin, mutta investoinnit ovat suuremmat kuin vetykäsittelyprosessilla. /42/

Hiiliperäinen bioraaka-aine kaasutetaan, puhdistetaan, ja nesteytetään polttoaineeksi saksalaisella, jo vuonna 1923 kehitetyllä Fischer-Tropsch -menetelmällä. Tuloksena on HVO:n kaltainen tuote, jolla on samat ominaisuudet sekä kemiallinen rakennekaava C_nH_{2n+2} . /43, s.13./

Kaaviossa 8 on BTL- tai GTL- eli Biomass to Liquid tai Gas to Liquid -prosessin kuvaus pääpiirteittäin.



Kaavio 8. Biomass - / Gas to Liquid -prosessin vaiheet /44/.

Kaasun valmistuksessa raaka-aineiden sisältämä hiili muutetaan kuumentamalla vesihöyryn ja hapen avulla kaasuksi. Kaasuttimessa raaka-aineesta on muodostu-

nut kaasuseos, jossa on pääkomponentteina hiilimonoksidi (CO) ja vety (H_2). Seoksessa on mukana myös aromaatteja, ammoniakkia, joka on konvertoitunut raaka-aineen sisältämästä tyypestä, sekä rikkivetyä ja vetykloridia. Nämä jakeet poistetaan kaasunpuhdistustekniikoilla. /45, s.4./

Syntetisoinnissa on kyse hiilimonoksidin (CO) ja vedyn (H_2) reagoinnista. Ekso-termisen eli lämpöä vapauttavan reaktion katalyyttinä käytetään kobolttia tai rautaa. Reaktiossa syntyy alifaattisia eli ei-aromaattisia yhdisteitä, alkeeneja, alkoholeja sekä vettä. Reaktion tulos on seos erimittaisia hiilivety-yhdisteitä, jotka ovat pidempiä matalassa lämpötilassa, kun taas korkeammassa lämpötilassa syntetisoi-tuu lyhytketjuisia hiilivetyjä. Reaktio tapahtuu normaalisti 200 - 350 °C:n lämpö-tilassa ja 1 500 - 4 000 kPa:n paineessa. /45, s.4 - 5./

Jälkikäsitellyssä pitkäketjuiset parafiinit katkotaan halutun mittaisiksi vetykrakka-uksella. Lopputuotteesta noin 60 % on biodieseliä. Prosessin sivutuotteena synty-vät komponentit voidaan käyttää raaka-aineina kemianteollisuudessa tai jalostaa niistä polttoaineita omilla prosesseillaan. Valmis biodiesel on erittäin puhdasta ja korkealaatuista polttoainetta, jota NExBTL:n tapaan voidaan käyttää 100-prosenttisenä jo olemassa olevissa autoissa ilman rakenteellisia muutoksia. /45, s.6./

9.6 Vertailua

Taulukossa 6 on esitetty leväpohjaisen biodieselin olennaisia ominaisuuksia fos-siiliseen dieseliin verrattuna. Ensimmäinen vertailukohde on vaihtoesterointipro-sessilla valmistettu mikroleväpohjainen biodiesel. Seuraavassa sarakkeessa on Neste Oil Oyj:n jalostustuote NExBTL, jonka raaka-aineeksi leväöljyä voidaan käyttää ilman, että lopputuotteen ominaisuudet muuttuvat.

Taulukko 6. Esteripohjaisen biodieselin sekä vetykäsittelyn NExBTL-biodieselin sekä BTL-dieselin ominaisuuksia verrattuna fossiiliseen dieseliin /10, s.137; 37, s.13, 22/.

Ominaisuus	Mikrolevä- pohjainen FAME	NExBTL, BTL	Fossiilinen diesel
Tiheys (kg/m ³ , 15 °C)	864	770 - 790	838
Viskositeetti (mm ² /s, 40 °C)	5,2	2,0 - 4,0	1,9 - 4,1
Leimahduslämpötila (°C)	115	59	55
Jähmettymislämpötila (°C)	-12	-25 - (-5)	-50 - 10
Happamuusluku (mg KOH/g)	0,374	0,01	maks. 0,5
Lämpöarvo (MJ/kg)	41	44	40-45
Setaaniluku	min. 47	84-99	min. 51
Rikkipitoisuus (mg/kg)	3	<1	5
Säilyvyys	käytettävä määräajassa	hyvä	hyvä
Kemiallinen rakenne	O H ₃ C-O-C-R	C _n H _{2n+2}	C _n H _{2n+2}

10 KÄYTTÖ

Biodiesel on tarkoitettu käytettäväksi sekä kaikissa liikenteen ja teollisuuden moottoreissa että lämmityskattiloissa kotitalouksissa ja teollisuudessa. Sen menekki kasvaa tuntuvasti EU:n uusiutuvan energian säädösten myötä. Näillä näkymin vuoteen 2030 mennessä biopolttoaineen osuutta liikenteen polttoaineessa halutaan kasvattaa entisestään.

FAME:n käytössä on havaittu joitakin ongelmia nykyisillä dieselmoottoreilla. Etenkin käytön alkuvaiheessa saattaa polttoainesuodatin likaantua tavallista nopeammin, koska esteripohjaisella polttoaineella on liuottavia ominaisuuksia. Dieselkäytöstä letkujärjestelmään ja tankin pohjalle jääneet epäpuhtaudet liukenevat biodieseliin ja kulkeutuvat suodattimiin ja suuttimiin. Liukenemista esiintyy jo pienillä sekoitussuhteilla. Biodieselillä on taipumusta liuottaa myös maalipintoja

sekä luonnonkumia. Ajoneuvon polttoainejärjestelmän luonnonkumiset osat on syytä vaihtaa muovisiin biodieseliä käytettäessä. Varastoinnissa tulee kiinnittää huomiota materiaaleihin. FAME:en liukenemattomia materiaaleja ovat ainakin teräs ja alumiini sekä muoveista fluoripinnoitettu polyetyleni, polypropyleeni sekä polytetrafluorieteeni eli teflon. /33, s.11 - 12./

Autonvalmistajat eivät ole täysin vakuuttuneita FAME:n yhteensopivuudesta dieselmootoreihin, sillä vain harvojen valmistajien takuu on voimassa, kun polttoaine sisältää FAME:a. Parhaiten se vaikuttaisi soveltuvan raskaiden ajoneuvojen ja työkoneiden käyttöön. Esimerkiksi Sisu Diesel on antanut täyden takuun 100-prosenttisen RME:n käyttöön tietyille Valmet-moottorimalleille. /46/

Esteripohjaisen biodieselin kylmäominaisuudet eivät ole kilpailukykyisiä perinteisen dieselin kanssa. Kylmänkestävyyttä ja säilyvyyttä voidaan kuitenkin hieman parantaa lisäaineilla, joita lisätään valmistusvaiheessa. /33, s.11./

Kuitenkin FAME:n käytölle löytyy perusteita: päästöt vähenevät suurimmilta osin, tuote on uusiutuvaa, palaminen ja syttyminen on tehokasta, näkyvät savukaasut vähenevät radikaalisti sekä riippuvuus fossiilisesta dieselistä laskee. /13, s. 58./

NExBTL:n käytöstä saadut kokemukset ovat hyviä. Polttoainejärjestelmän suodatimet ovat pysyneet puhtaina, käyntiäänät ovat hiljaisemmat ja päästöt pienentyneet huomattavasti. NExBTL:n käytöllä moottorin suorituskyky kasvaa sekä parantuneen voitelun ansiosta dieselmootorista saadaan entistä pitkäikäisempi. /7/

Sekoitussuhde on vapaa. Nykyinen liikennekalusto voi käyttää NExBTL:iä ilman rakenteellisia muutoksia millä pitoisuudella hyvänsä. Toistaiseksi käytetään kymmenen prosentin sekoitussuhdetta.

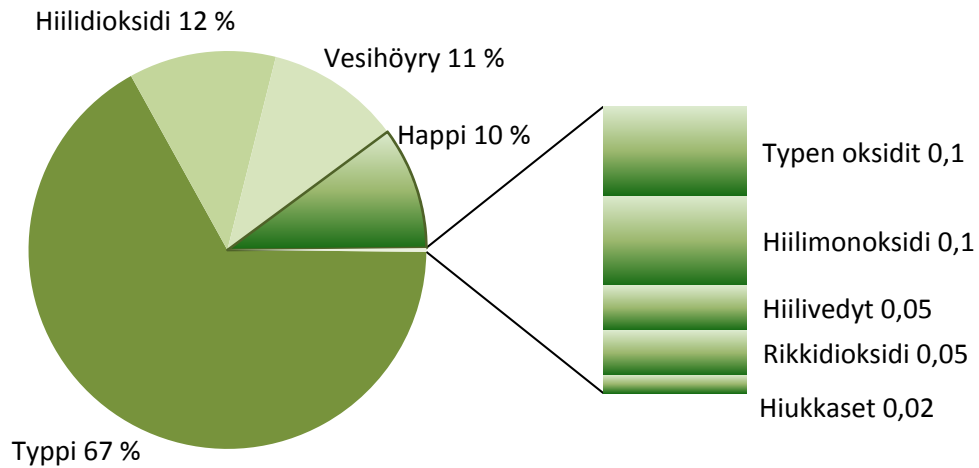
Maaliikenteen polttoaineiden lisäksi Neste Oil valmistaa NExBTL-lentopolttoainetta. Lufthansan kanssa toteutettu kuuden kuukauden mittainen koe osoitti, että Nesteen uusiutuvalla lentopolttoaineella hiilidioksidipäästöt vähenivät testijakson aikana 1 471 tonnia sekä polttoainetta säästyi yli 1 %. /46/

NExBTL on koekäytössä myös laivaliikenteessä. Yhteistyökumppaneina ovat Rotterdamin satama sekä Rotterdam Climate Initiative. Se on Rotterdamin kaupungin, sataman sekä ympäristönsuojelujärjestöjen perustama hanke CO₂-päästöjen vähentämiseksi ja ilmaston parantamiseksi Rotterdamissa. /47/ Nesteen uusiutuvaa dieseliä testataan Rotterdamin satamaviranomaisen partioaluksessa. Kyseessä on ensimmäinen NExBTL-kokeilu laivaliikenteessä. Testin on tarkoitus kestää 1 000 tuntia ja siinä kerätään tietoa polttoainekulutuksesta, laivamoottorin suorituskyvystä sekä päästöistä. /49/

11 PÄÄSTÖARVOT

Vähintäänkin yhtä tärkeä syy biodieselin kehittämiseksi fossiilisen öljyn uhkaavan loppumisen lisäksi on päästöjen vähentäminen. Päästökijät voidaan jakaa kolmeen ryhmään, jotka ovat kasvihuoneilmiö, terveysvaikutukset ja luontovaikutukset. Kasvihuoneilmiöön vaikuttavia kaasuja ovat hiilidioksidi (CO₂), dityppioksidi (N₂O) ja metaani. Terveyshaittoja aiheuttavat hiukkaspäästöt, typen oksidit (NO_x), häkä (CO), otsonin (O₃) muodostuminen typen oksideista sekä hiilivetyyhdisteistä (HC), aromaattiset yhdisteet, kuten bentseeni sekä aldehydit. Luontovaikutuksia ovat otsonin muodostuminen sekä ympäristön happamoituminen, jota aiheuttavat typen oksidit, rikin oksidit (SO_x) ja ammoniakki (NO₃). /50, s.4./

Kaaviossa 9 on nähtävissä dieselmoottorin tyypillinen päästökajakauma fossiilisella dieselillä moottorin täydellä kuormituksella. Kaaviosta nähdään, että valtaosa päästöistä on puhdasta typpeä, joka on peräisin palamisilmasta. Toiseksi suurimman ryhmän muodostavat hiilidioksidi, vesihöyry sekä palamaton ja reagoimaton happi. Varsinaisten saasteiden osuus pakokaasuista on alle 0,5 %. Näistä terveydelle haitallisimpia ovat typen oksidit sekä pienhiukkaset.

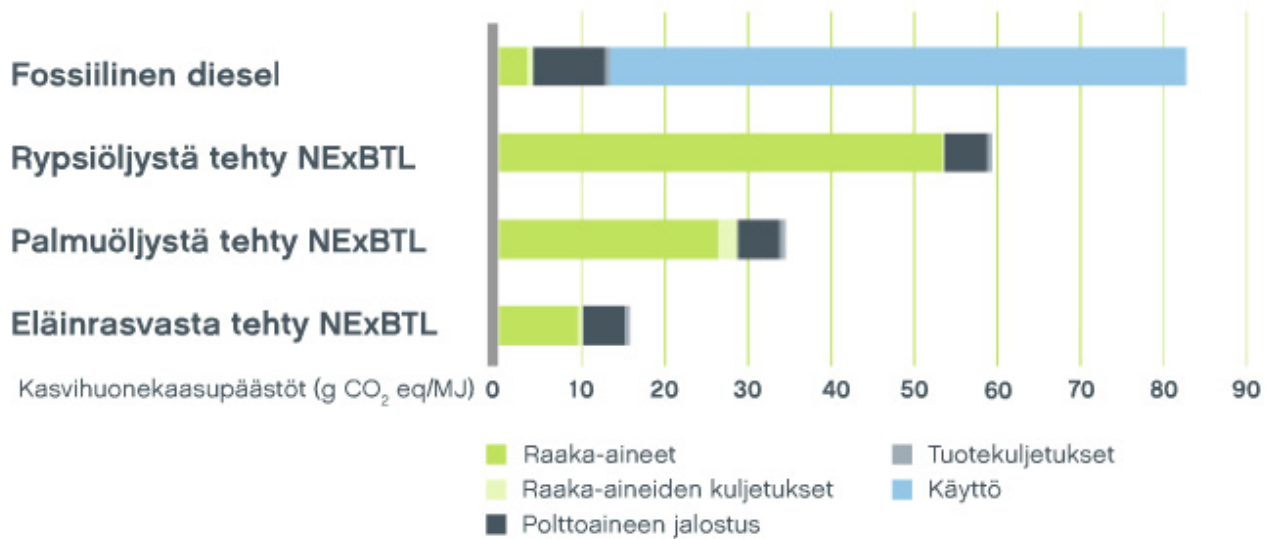


Kaavio 9. Tavanomaisen dieselmoottorin päästöjakauma fossiilisella dieselpolttoaineella täydellä kuormituksella /51, s.12/.

11.1 Kasvihuonekaasut

Ensimmäisten biodieselin astuessa markkinoille pidettiin tuloksia aluksi lupaavina. Poltettaessa biodieseliä päästöt vähenivätkin suurilta osin. Hiilimonoksidipäästöt vähenivät paljon, rikkipäästöjä ei syntynyt lainkaan sekä suurten pienhiukkasten osuus väheni huomattavasti, minkä ansiosta pakokaasujen silmämääräinen havaittavuus pieneni huomattavasti. Ainoastaan typpipäästöt olivat hieman korkeammat verrattuna perinteiseen dieseliin. /10, s.143./

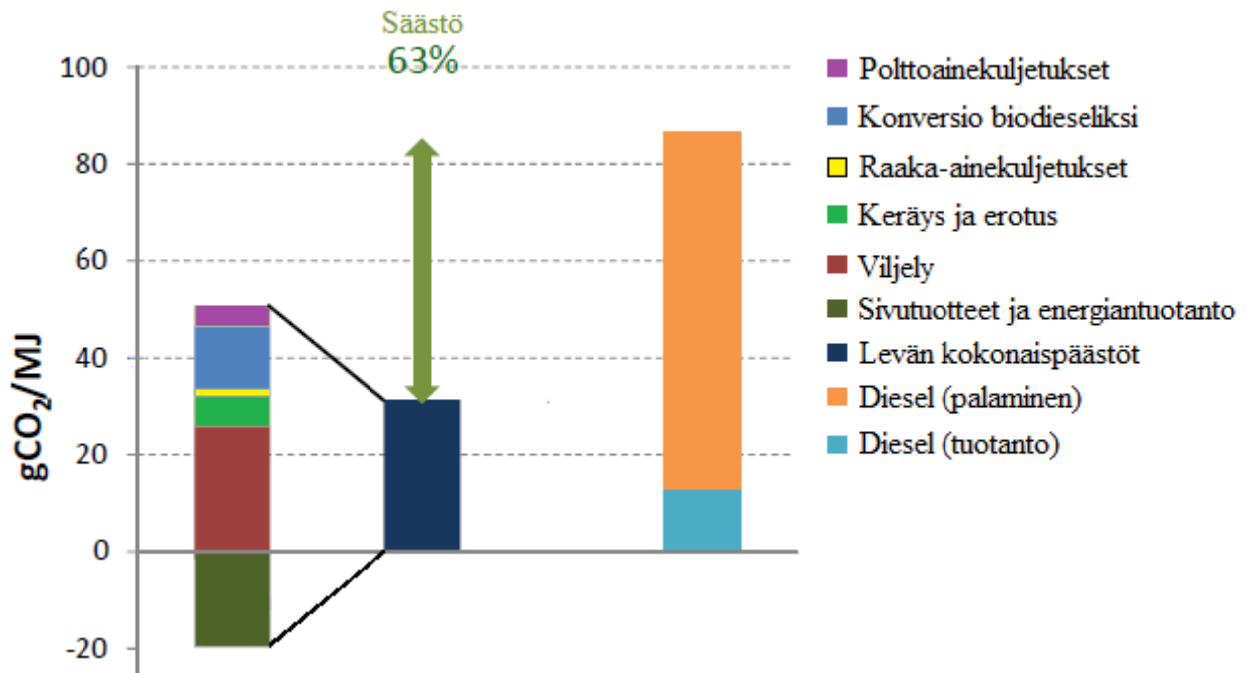
Kuitenkaan kaikkia tekijöitä ei otettu huomioon FAME:a tuotettaessa. Prosessin eri osia, jotka tuottavat hiilidioksidipäästöjä, ovat muun muassa viljely, ravinteet, sadonkorjuu, raaka-aine- sekä polttoainekuljetukset, öljyn puristus, biodieselin valmistusprosessi ja sivutuotteet. Kun osatekijöistä muodostuneet päästöt summaataan kokonaisuudessaan, eivät kasvihuonekaasut välttämättä vähene lainkaan. Nämä kaikki osatekijät korjaantuvat tekniikan kehittyessä sekä siinä tapauksessa, että prosessin vaiheet harkitaan tarkkaan ja minimoidaan syntyvät päästöt tehokkaasti. Seuraavassa kaaviossa (kaavio 10) on nähtävissä Neste Oilin arvio hiilidioksidipäästöjen jakautumisesta dieselintuotannon eri vaiheille eri raaka-aineiden kohdalla. /52, s.37./



Kaavio 10. Kasvihuonekaasujen syntyminen tuotantoketjun eri vaiheissa - uusiutuvista raaka-aineista valmistettu NExBTL-diesel verrattuna fossiiliseen dieseliin /52, s.37/.

NExBTL-dieselin ei katsota lisäävän kasvihuonekaasuja käytössä, sillä siinä vapautunut hiilidioksidi on bioperäistä, eikä se siten lisää fossiilisen hiilen osuutta ilmakehässä. Bioöljystä valmistettavan dieselin hiilidioksidipäästöistä suurin osa vapautuu raaka-ainetuotannon aikana. Myös kuljetukset ovat oma lukunsa kokonaispäästöjen arvioinnissa. Kaaviosta 10 nähdään, että palmuöljy tulee kaukaa, sillä sen kohdalla raaka-ainekuljetuksista syntyvät päästöt ovat suuremmat kuin muilla.

Levä-energiasta on esitetty useita tutkimustuloksia, jotka vaihtelevat paljon. Yleisin johtopäätös on, että viljely bioreaktorissa tuottaa selvästi enemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin viljely altaassa. FAME:n tuotannossa arviot hiilidioksidin kokonaispäästöistä vaihtelevat. Jonkun tutkimuksen mukaan hiilidioksidipäästöjen väitetään vähenevän 80 % fossiiliseen dieseliin verrattuna, toisissa arvioidaan niiden kasvavan jopa 300 % fotobioreaktorien energiankulutuksen vuoksi. Kaaviosta 11 nähdään, kuinka leväbiodieselin kasvihuonekaasupäästöt syntyvät tuotannon eri vaiheissa. Tässä mallissa on otettu huomioon myös sivutuotteet ja niistä saatava energia, joka voidaan ottaa viljelylaitoksen käyttöön.



Kaavio 11. Esimerkki leväbiodieselin tuotannossa ja käytössä syntyvien kasvihuonepäästöjen jakautumisesta verrattuna fossiiliseen dieseliin /53/.

Mikroleväöljyn tuotannossa viljely ja öljyn erotus vievät usein eniten energiaa, ja näin ne vapauttavat eniten kasvihuonepäästöjä. Tutkimuksissa on käyty läpi eri viljely- ja erotustekniikoita, joita optimoimalla saavutetaan erittäin hyviä tuloksia. Kasvihuonepäästöjen osalta leväbiodieselin avulla päästään jopa 63 %:n vähenykseen fossiiliseen dieseliin verrattuna (kaavio 11). /53/

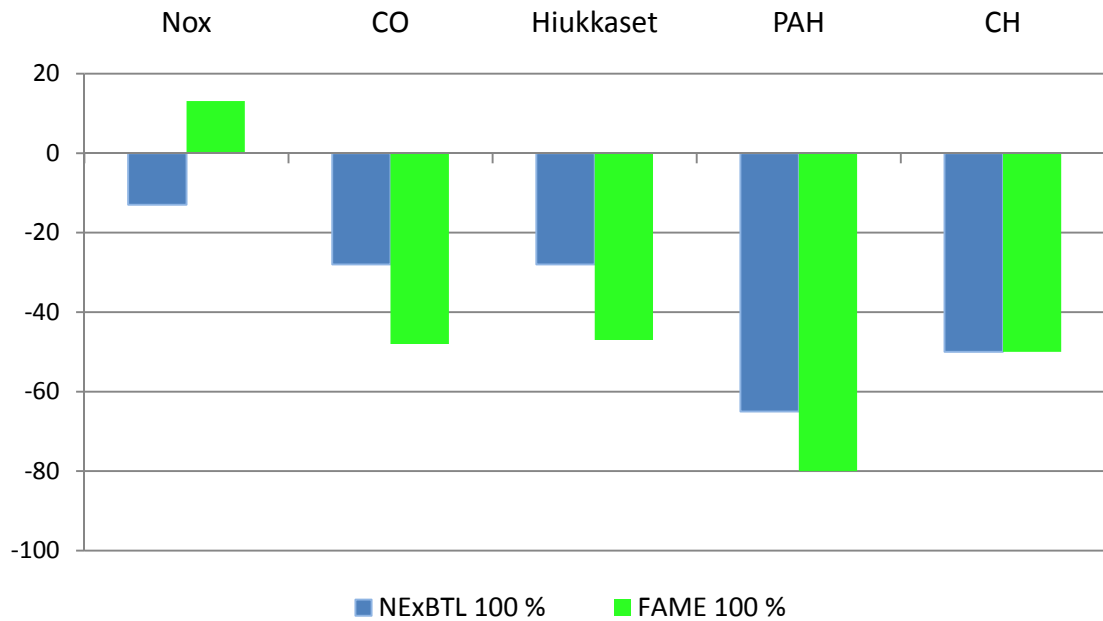
Energiatehokkain malli koostuu seuraavista optimoiduista komponenteista /53/:

- allasrakenne avoin
- väliaine suolainen merivesi - suora yhteys mereen
- tarkkaan valikoitu suotuisa levälajike - tuottaa runsaasti öljyä
- jatkuva hiilidioksidisyöttö - suora yhteys lähellä sijaitsevaan teolliseen CO₂-lähteeseen (tehdas tai voimalaitos)
- ravinteiden jatkuva syöttö
- sivutuotteiden hyödyntäminen
 - ✓ eläinten rehu
 - ✓ sähköntuotanto
 - ✓ kaasutus - biopolttoaineet
 - ✓ mädätys - biokaasu
 - ✓ lisäravinne- ja kauneudenhoitotuotteet.

11.2 Pakokaasut

Polttoaineen palamisesta tehdyt mittaukset osoittavat, että uusiutuva diesel palaa fossiilista tehokkaammin ja puhtaammin. Kaaviosta 12 nähdään, kuinka päästöt vähenevät käytettäessä puhdasta biodieseliä verrattuna fossiiliseen dieseliin.

Vaikka hiilidioksidipäästöt eivät vähenisikään tehokkaasti tuotteen koko elinkaarella, tarkoittaa biopolttoaineiden käyttö katukuvassa puhtaampaa hengitysilmaa.



Kaavio 12. Palamisen tuottamien päästöjen muutos fossiiliseen dieseliin verrattuna /13, s.115; 26, s.336; 50, s.13; 54, s.91/.

Kaavioon 11 kerätty päästötieto on peräisin seostamattomien NExBTL:n ja FAME:n pakokaasumittauksista. NExBTL:n päästöjakauma on mitattu Helsingin paikallisliikenteen linja-autokokeessa, FAME:n testeissä on käytetty henkilöautoja.

Typhen oksidien nousu FAME:a poltettaessa voi osittain selittyä sillä, että polttoaineessa oleva happi nostaa palamislämpötilaa. Näin pienhiukkaspäästöt vähenevät, mutta korkea lämpötila edesauttaa typhen oksidien muodostumista. Pienillä, noin viiden prosentin seostussuhteilla ei typhen oksidien lisääntyminen ole merkittävää. /10, s.126./

Näkyvien partikkeleiden osuus vähenee NExBTL:n poltossa 28 - 46 %. Polttoaine sisältää vähemmän tuhkaa sekä palaa puhtaammin, jolloin partikkeleita syntyy vähemmän, joten etenkin suurten partikkelien osuus laskee /7/. Kuten kuvasta 5 on nähtävissä, puhdas palaminen synnyttää vähemmän silmämääräisiä savukaasuja.



Kuva 5. Silmämääräisesti havaittavat savukaasut vähenevät selvästi biodieselin käytön myötä. Kuvassa vasemmalla palaa fossiilinen ja oikealla uusiutuva diesel /55, s.21/.

Dieselmoottorin optimoinnilla 100 -prosenttiselle synteettiselle dieselille voidaan päästä vieläkin parempiin päästöarvoihin sekä polttoaineen entistä puhtaampaan palamiseen /56, s.95/.

12 VAIKUTUKSET YMPÄRISTÖÖN

12.1 Maa

Tärkeitä tekijöitä biomassan kannattavuutta arvioitaessa ovat maankäytölliset ympäristövaikutukset. Tällaisia ovat esimerkiksi vaikutukset biodiversiteetin, maaperän elolliseen tuottavuuspotentiaaliin sekä ekologiseen maaperän laatuun. Nämä ovat sellaisia tekijöitä, joihin ihminen ei saisi toimillaan vaikuttaa heikentävästi. /13, s.191./

Kun ensimmäisen sukupolven biodieselin kasvihuonekaasupäästöjen syntyä alettiin tarkastella tuotantoprosessin alusta alkaen, jouduttiin pettymään. Biodieselin valmistuksessa ei ollut otettu huomioon maankäytön muuttumista. Biodieseltuotanto nykyisellään vaatii paljon maa-alaa, mikä tarkoittaa sitä, että uusia viljelysaloja perustetaan jatkuvasti. Koska nyky maailmassa raaka-aineita hankitaan sieltä, missä ne ovat edullisimpia, tarkoittaa se usein jo olemassa olevan hiilidioksidia sitovan kasvuston hävittämistä trooppisissa kehitysmaissa. /57/

Viljelykasvit eivät sido itseensä läheskään yhtä paljon hiilidioksidia kuin trooppinen sademetsä, jolloin pahimmassa tapauksessa hiilidioksidipäästöt vain lisääntyvät entisestään. Epäsuorat maankäytölliset ongelmat ovat oma lukunsa, sillä ravinnoksi viljeltävät kasvit saavat usein väistyä biomassatuotannon tieltä. Tämä tarkoittaa taas uusien peltojen raivaamista johonkin muualle. Näitä kauaskantoisia epäsuoria vaikutuksia on usein erittäin vaikea arvioida. /57/

Mikrolevän viljelyssä maankäytölliset ongelmat voitaisiin ratkaista sijoittamalla viljelmät ravinneköyhälle joutomaalle esimerkiksi jonkin tehtaan tai tuotantolaitoksen läheisyyteen. Suuri osa levän tarvitsemista raaka-aineista on halpoja, jopa ilmaisia, kuten auringon valo, hiilidioksidi, vesi ja ravinteet, kuten typi ja fosfori. Ravinteita saadaan puhdistamalla jätevesiä ja hiilidioksidia voidaan hyödyntää suoraan tehdastuotannon savukaasuista. /36/

Vaarallisten aineiden tai suolaveden läikkyminen leväviljelmistä voi johtaa maaperän saastumiseen. Pakokaasuista voi myös purkautua vaarallisia partikkeleita, jotka tulevat sadeiden mukana maan pinnalle ja huuhtoutuvat sadevesien mukana pohjaveteen. /58, s.4./

Biodiversiteetillä kuvataan tietyllä alueella elävien kasvi- ja eläinlajien määrää. Sitä voidaan käyttää ekosysteemin terveydentilan mittarina. Maankäytölliset muutokset, veden ja maaperän saastuminen, ilmansaasteet sekä muualta tulleet alueelle tunkeutuvat lajit ovat uhkia ympäristölle. Huolimattomasti hoidettu leväviljelmä voi pahimmillaan järkyttää seudun luonnontasapainoa. /58, s.4./

Biodiversiteettiin voidaan vaikuttaa myös positiivisesti viljelemällä paikallisia lajikkeita ja valitsemalla toisen menetelmän levien käsittelyyn kemikaalien sijaan /58, s.5/.

12.2 Vesi

Vedenkäsittelyn pääkomponentit koskevat veden kulutusta, jakelua, laatua, pohjavettä ja pohjavesikerroksen kertymiä. Jokaiseen näistä voidaan vaikuttaa, positiivisesti tai negatiivisesti, erilaisilla leväbiodieselin tuotantovaiheilla. Leväviljelmät osoittavat tehokasta veden käyttöä. Samalla, kun kasvatetaan arvokasta raaka-ainetta biopolttoainetuotantoon, voidaan jätevedenkäsittelyä hoitaa taloudellisesti pitäen yllä veden jakelua sekä estää pohjaveden saastumista.

Vedenkulutusta vähentää se, että levät menestyvät monen tyyppisissä ravinteikkaissa ja rehevöityneissä vesissä, sellaisissakin, jotka sisältävät maatalousjätettä ja eläinten lantaa, sekä teollisuuden jätevesissä. Leväviljelyssä voidaan siis hyödyntää vedenjakeluun kelpaamattomat vedet. Mikrolevät kuluttavat jätevesien ravinteita, metalleja ja muita patogeeneja vapauttaen hapen takaisin veteen. Näin viljelmä muuntuu myös tehokkaaksi ja luonnonmukaiseksi jätevesienkäsittelyjärjestelmäksi. Lisäksi alueilla, joilla veden saanti on rajallista, voi mikrolevällä toteutettu vedenpuhdistus tuoda taloudellisia etuja. /58, s.12./

12.3 Ilma

Etenkin avoimista kasvatussesteimeistä haihtuu kasvatusnestettä ilmaan. Haihtumiseen vaikuttavat avoimet pinta-alat, lämpötila sekä laitoksen yllä olevan ilman kosteus. Haihtumisesta aiheutuvista ongelmista ei ole esittää suurta näyttöä, mutta ainakin teoriassa suuren skaalan kaupallisista viljelmistä voisi haihtua sen verran vettä, että vaikutuksia paikalliseen ilmankosteuteen, sateisiin ja paikalliseen ekosysteemiin voi ilmetä. /58, s.6./

13 HIILIDIOKSIDIN SITOUTTAMINEN

Kasvaessaan levät käyttävät hiilidioksidin hiiltä solujen rakennusaineena. Yksinkertaisen rakenteensa sekä korkean pinta-ala/määrä -suhteensa ansiosta levät ovat nopeakasvuisia, joten ne käyttävät runsaasti hiilidioksidia. Niiden kyky sitoa hiilidioksidia vangitessaan auringon energiaa on 10 - 50 kertainen maa- ja viljelykasveihin verrattuna. /3, s.57./ Yksi tonni leväbiomassaa sitoo 1,83 tonnia hiilidioksidia /13, s.90/.

Yleinen oletus on, että liiallinen hiilidioksidin vapauttaminen ilmakehään kiihdyttää kasvihuoneilmiötä. Levien kasvatuksesta on alettu kehittää vaihtoehtoisia menetelmiä hiilidioksidipäästöjen talteenottoon erilaisten kemiallisten ja mekaanisten menetelmien sijaan. Perusteluja levän avulla sitouttamiselle alettiin etsiä hiilivoimalaitosten savukaasupäästöistä. Tähän tarkoitukseen on tutkittu monia levälajeja. /59, s.42./

Levillä, jotka ovat erittäin nopeakasvuisia 5 - 10 %:n hiilidioksidipitoisuuden valitessa, on taipumus osoittaa radikaalia kasvuvauhdin hidastumista mentäessä yli 20 %:n hiilidioksidipitoisuuksiin. Haasteena on ollut löytää tarkoitukseen soveltuva lajike, joka vielä kestäisi hyvin kuumaa, sillä suoraan tehtaalta tulevat savukaasut nostavat kasvatuslaitoksen lämpötilaa. On löydetty levälajeja, jotka menestyvät 30 - 70 %:n hiilidioksidipitoisuuksissa. Lisäksi hiilidioksidin syötön yhteydessä kasvatuslaitoksen pH-arvoa säätelämällä voisi levän saada menestymään puhtaassa hiilidioksidissa. /59, s.42./

Hiilidioksidin suora sitominen tarkoittaa sitä, että leväviljely kuluttaa hiilidioksidia kasvamiseen ja lisääntymiseen. Leväviljely sitoo hiilidioksidia parhaimmillaan myös epäsuorasti. Esimerkiksi käytettäessä leväviljelmää vedenpuhdistamon jäävä tavanomaisen puhdistamon käytöstä johtuvat hiilidioksidipäästöt vapautumatta. /59, s.42./

14 YHTEENVETO

Mikrolevien nopea lisääntyminen ja hyvä öljyntuottokyky on havaittu jo 1950-luvulla, mutta tehokkaita viljely-, keräys- sekä puristusmenetelmiä tutkitaan yhä. Nykyisillä menetelmillä saadaan jo kohtalaisesti hyödynnettyä mikrolevien ominaisuuksia, mutta menetelmien energiatehokkuudessa on edelleen parantamisen varaa. Ei ole mielekäästä tuottaa vähäpäästöistä polttoainetta, jos sen tuotantovaiheissa käytetään kohtuuttoman paljon energiaa.

Levien öljyntuottokyky on ylivoimainen maakasveihin verrattuna. Öljyvarojen ehtymiseen on käytännössä mahdotonta vastata millään maalla kasvavalla öljyä tuottavalla kasvilla, sillä hedelmällistä maaperää ei ole riittävästi. Geenimuuntelu, jolla levästä voitaisiin saada entistä tuottoisampi, ja leväviljelmien sijoittaminen esimerkiksi meren pinnalle tai autiomaahan voisivat ratkaista maankäytöllisiä ongelmia. Saman öljymäärän tuottamiseen levät tarvitsevat huomattavasti vähemmän kasvatuspinta-alaa kuin esimerkiksi öljypalmu.

Leväviljelykset hyödyttävät ihmisiä ja ympäristöä monella tavalla. Kun viljelysmaa saadaan ruoantuotannon käyttöön ja laidunmaaksi, ei ihmisten tarvitse kärsiä biopolttoaineiden tuotannosta. Sademetsät säästyvät myös hävitykseltä. Jätevesien puhdistus leväviljelmillä poistaa vedenkäytöllisiä ongelmia, eikä puhdasta juomavettä tarvitse syöttää laitokseen. Hiilidioksidia päästävät laitokset, kuten voimalaitokset, voivat kanavoida savukaasuja levien ravinnoksi, jolloin hiilidioksidipäästöt ilmaan pienenevät. Levillä voidaan parantaa kaupunkien ilmanlaatua, sillä ne poistavat ilmasta hiilidioksidia ja tuottavat tilalle runsaasti happea.

Opinnäytetyössä on tarkasteltu kolmea erilaista biodieseljalostusprosessia ja niiden tuotteita. Leväöljystä voidaan jalostaa biodieseliä aivan kuten mistä tahansa muusta luonnonöljystä. Työssä havaittiin, että vaihtoesteröintiprosessilla valmistettu ensimmäisen sukupolven biodiesel ei ominaisuuksiltaan vastaa ihanteellista dieselpolttoainetta. Se aiheuttaa ongelmia moottorissa ja polttoainejärjestelmissä karstaamalla ja tukkimalla suuttimia. Lisäksi sen sisältämän hapen vuoksi polttoaineen lämpöarvo on alhaisempi kuin fossiilisen dieselin, jolloin sitä kuluu hiukan enemmän.

Kun leväöljystä tuotetaan dieselpolttoainetta vetykäsittelyllä tai Fischer-Tropsch - kaasutusmenetelmällä, on tuote fossiiliseen dieseliin verrattuna laadukkaampaa. Biodieselin lämpöarvo litraa kohden on suurempi, jolloin päästään pieniin säästöihin polttoaineen kulutuksen osalta. Biodiesel myös palaa tehokkaammin, mikä vähentää pienhiukkasten muodostumista. Dieselmoottorin nakutusäänet ja moottoriin kohdistuvat iskut vaimenevat biodieselin käytön ansiosta. Voitelevuus ja tehokkuus paranevat sekä moottorin elinikä pitenee.

Materiaalia työhön on kerätty monenlaisista lähteistä, joista kaikkia ei niiden puutteellisten alkuperämerkintöjen vuoksi voitu hyödyntää. Luotettavimpia lähteitä ovat olleet biodieseliä käsittelevät kirjat, joiden antamat vastaukset olivat kuitenkin riittämättömiä toisen ja kolmannen sukupolven biodieseleitä käsiteltäessä. Siksi työssä on käytetty verkossa julkaistuja tutkimuksia, joita on tehty eri puolilla maapalloa, kuten Uudessa-Seelannissa, Yhdysvalloissa, Turkissa ja Aasian maissa. Parhaiten luotettavaa tietoa vetykäsittelyprosessista on saatu suoraan Suomesta eli Neste Oililta. Kaikkialla halutaan kehittää polttoaineteollisuutta kestävämpään ja eettisempään suuntaan.

Tämä opinnäytetyö on, paitsi tutkimus levien prosessoimisesta polttoaineeksi, katsoa mikroleväpohjaisen biodieselin tulevaisuuteen, joka viimeaikaisten tutkimusten perusteella on valoisa. Kiristyvien päästörajoitusten vuoksi rikitön ja vähäpäästöinen dieselpolttoaine on kysyttyä. Vetykäsitelty biodiesel täyttää biodiesellille asetetut vaatimukset korkeasta laadusta niin Euroopassa kuin Amerikassakin. Loistavaa tulevaisuutta ennakoit myös se, että kaikki maailman johtavat öljy-yhtiöt ovat tahoillaan käynnistäneet mittavat tutkimukset mikrolevien mahdollisuuksista biodieseltuotannossa.

LÄHTEET

1. Uusiutuva energia. Motiva Oy:n verkkosivut. Saatavissa: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia [Viitattu 20.1.2012]
2. Share of total primary energy supply in 2009. IEA Energy Statistics. Saatavissa: http://www.iea.org/stats/pdf_graphs/29TPESPI.pdf [Viitattu 20.1.2012]
3. Wang, B. & Lan, C., 2008. Microalgae for biofuel production and CO2 sequestration. Hauppauge, N.Y. : Nova Science Publishers, cop.
4. Demirbas, A., 2008. Biodiesel: a realistic fuel alternative for diesel engines. London : Springer.
5. Jokiniemi T., 2008. Lämmitetty rypsiöljy dieselmoottorin polttoaineena. Pro gradu -tutkielma. Helsinki: Helsingin yliopisto.
6. Stenger, W. 2009. New Wave Biofuels. Twentyfour7, Nro. 3/2009. Saatavissa: <http://www.wartsila.com/en/search?q=new+wave+biodiesel> [Viitattu 28.3.2012].
7. NExBTL-diesel, Neste Oil Oyj:n verkkosivut. Saatavissa: <http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,11990,11993,12252>
8. Biodiesel. Motiva Oy:n verkkosivut. Saatavissa: http://www.motiva.fi/liikenne/polttoaineet_ja_ajoneuvotekniikka/polttoaineet/biodiesel [Viitattu 1.3.2012].
9. Taustatietoa laivapolttoaineen rikkipitoisuusmääräyksistä, 2010. Muistio. Liikenne- ja viestintäministeriö. Saatavissa: http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=913406&name=DLFE-11760.pdf&title=Taustatietoa%20laivapolttoaineen%20rikkipitoisuusm%C3%A4%C3%A4r%C3%A4yksist%C3%A4%2021.12.2010 [Viitattu 13.3.2012].
10. Nylund, N.-O., Sipilä, K., Mäkinen, T. & Aakko-Saksa, P., 2009. Polttoaineiden laatuporrastusten tekeminen. Tiedote. Espoo: VTT. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2528.pdf> [Viitattu 9.4.2012].

11. Kammonen, O., 2008. Neste Oilin 100-prosenttinen biopolttoaine käyttöön pääkaupunkiseudun linja-autoliikenteessä. Mediatiedote. Neste Oil Oyj:n verkkosivut. Saatavissa: <http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,88,100,101,9643,10096> [Viitattu 23.1.2012].
12. Näin fotosynteesi toimii, 2007. Verkkoartikkeli Tiede.fi -lehdessä. Saatavissa http://www.tiede.fi/artikkeli/718/nain_fotosynteesi_toimii [Viitattu 23.1.2012].
13. Demirbas, A. & Demirbas M. F., 2010 Algae energy : algae as a new source of biodiesel. New York : Springer.
14. Algae Growth Environments. Oilgae.com-sivusto. Saatavissa: <http://www.oilgae.com/algae/sources/sources.html>. [Viitattu 19.1.2012].
15. Rikkinen, J. 1999. Leviä, sieniä ja leväsieniä. Helsinki: Yliopistopaino.
16. Suomen ympäristökeskus, 2007. Planktonlevien luokittelu. Verkkojulkaisu. Saatavissa <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=19406&lan=fi> [Viitattu 13.2.2012].
17. Yusuf Chisti, 2007. Biodiesel from microalgae. New Zeland: Massey University. Saatavissa: <http://www.tamu.edu/faculty/tpd8/BICH407/AlgaeBiodiesel.pdf> [Viitattu 6.2.2012].
18. Difference between micro- and macroalgae. Hollanti: Wageningen universityn verkkojulkaisu. Saatavissa: http://www.algae.wur.nl/UK/factsonalgae/difference_micro_macroalgae/ [Viitattu 23.1.2012].
19. Al Fin Energy. Kuva mikrolevästä. Saatavissa: http://www.google.fi/imgres?q=algae&start=186&hl=fi&biw=1366&bih=643&tbn=isch&tbnid=wMu82hsF-MWe0M:&imgrefurl=http://alfin2300.blogspot.com/2011/02/whimsical-claims-from-bard-agal-fuels.html&docid=hahaIdNtHhkT_M&imgurl=http://3.bp.blogspot.com/4ify7vDXrDs/TUiqPJXjgNI/AAAAAAAAG-c/QntPqPR71iw/s640/bard-algae-far-ming.jpg&w=360&h=260&ei=wSmxT4X6NqXk4QSo_PTSCQ&zoom=1&iact=hc&vpx=575&vpy=341&dur=609&hovh=191&hovw=264&tx=142&ty=136&sig=116808390985985154062&page=9&tbnh=134&tbnw=185&ndsp=24&ved=1t:429,r:8,s:186,i:22 [Viitattu 2.2.2012].

20. AlgaeBase a great online reference for aquarium macroalgae identification, 2011. Kuva makrolevästä. Saatavissa: <http://reefbuilders.com/2011/02/15/algabase/> [Viitattu 2.2.2012].
21. Vatanen, J-P., 2010. Leväbiomassan kasvatus, kaasutus ja energiantuotanto. Opinnäytetyö. Kotka: Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.
22. Cultivation of Algae. Oilgae.com-sivusto. Saatavissa <http://www.oilgae.com/algae/cult/op/op.html> [Viitattu 30.1.2012].
23. Pacific Northwest National Laboratory. Kuva rengasaltaista. Saatavissa: <http://info.octaform.com/blog/?Tag=algae> [Viitattu 2.2.2012].
24. Putkimallinen fotobioreaktori. Saatavissa: <http://chlorelle.wordpress.com> [Viitattu 2.2.2012].
25. The other biofuel, 2009. Kuva fotobioreaktorin rakenteesta. Verkkoartikkeli. New Zealand: Massey University. Saatavissa: http://www.massey.ac.nz/massey/about-massey/news/article.cfm?mnarticle_uid=F431533C-96BF-57FE-AE37-BABB55F2DCC2 [Viitattu 16.3.2012].
26. Algae Harvesting. Oilgae.com -sivusto. Saatavissa: <http://www.oilgae.com/algae/har/mia/mia.html>, [Viitattu 2.4.2012].
27. Kyndh, J., 2010. Algae for Biofuels. Advanced Energy Creations Lab:n verkkoartikkeli. Saatavissa: <http://algaeformbiofuels.com/algae-based-biodiesel-current-procedures-and-innovations/#more-35> [Viitattu 6.2.2012].
28. Khanal, S. K., Surampalli R. Y., Zhang, T. C., Lamasal B. P., Tyagi, R. D. & Kao, C. M., 2010. Bioenergy and Biofuel from Biowastes and Biomass. Virginia: American Society of Civil Engineers. Saatavissa: Ebrary-tietokanta.
29. Glp Report, 2012. Raportti 4/12. Kööpenhamina: GLP International Project Office, University of Copenhagen. Saatavissa: [http://www.globallandproject.org/Documents/Kongsager_R_and_Reenberg_A_\(2012\)_Contemporary_land_use_transitions_The_global_oil_palm.pdf](http://www.globallandproject.org/Documents/Kongsager_R_and_Reenberg_A_(2012)_Contemporary_land_use_transitions_The_global_oil_palm.pdf) [Viitattu: 3.4.2012].
30. Nouredдини, H., Teoh, B. C., & Clements, L. D. 1992. Densities of Vegetable Oils and Fatty Acids. University of Nebraska.

31. Rasvahapot, 2006. Solunetti.fi-sivusto. Saatavissa: <http://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/rasvahapot/2/> [Viitattu 13.4.2012].
32. Solid Fat and Liquid Oil. Kuva triglyseridin rakenteesta. Indiana Universityn verkkosivut. Saatavissa: <http://www.indiana.edu/~oso/Fat/SolidNLiquid.html> [Viitattu 14.4.2012].
33. Heikinmäki, T., 2006. Biodieselin käyttö dieselmoottoreissa. Opinnäytetyö. Pori: Satakunnan ammattikorkeakoulu.
34. Siitonen, J. & Stade, S., 2006. Nesteen biodieselprosessi. Kemiantekniikan osasto. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Saatavissa: <http://www3.lut.fi/webhotel/teke/kklemola/2006-NExBTL.pdf> [Viitattu 3.4.2012].
35. Levästä tulevaisuuden polttoainetta. Neste Oilin verkkoartikkeli. Julkaistu 1.7.2010. Saatavissa: <http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,88,17746,17926,17993> [Viitattu 6.3.2012].
36. Neste Green -diesel. Neste Oil Oyj:n verkkosivut. Saatavissa: <http://www.neste.fi/artikkeli.aspx?path=2589%2c2655%2c2698%2c8158%2c10254> [Viitattu 13.3.2012].
37. Ympäristölupapäätös, 2007. Neste Oil Oyj:n biodiesellaitos. Länsi-Suomen ympäristölupavirasto.
38. NExBTL: Renewable Synthetic Diesel. Kuva vetykäsittelykaavio. Saatavissa: http://www.climatechange.ca.gov/events/2006-06-27+28_symposium/presentations/CalHodge_handout_NESTE_OIL.PDF [Viitattu 3.3.2012].
39. Zumdahl, S.S., 1993. Chemistry. Kolmas painos. Lexington : D.C. Heath and Company.
40. Juva, A. & Aukia, J.-P., 2011. Tekesin katsaus 285/2011. Saatavissa: http://www.tekes.fi/u/Biodiesel_285_2011.pdf [Viitattu 13.3.2012].
41. Sanasto. Neste Oil Oyj:n verkkosivut. Saatavissa: <http://nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,62,175> [Viitattu 14.4.2012].

42. Biojalostamot monipuolistavat tulevaisuuden metsäteollisuutta, 2012. Metsäteollisuuden verkkoartikkeli. Saatavissa: <http://www.metsateollisuus.fi/infokortit/tutkimus3/Sivut/default.aspx> [Viitattu 13.3.2012].
43. Turpeinen, H., 2009. Integration of biofuels output into an existing refinery. Neste Oil 13th annual meeting, pdf-tiedosto. Saatavissa: http://core.theenergyexchange.co.uk/agile_assets/556/Harri_Tyrpenien.pdf [Viitattu 9.4.2012].
44. Definition and properties, 2012. ASFE:n (Alliance for Synthetic Fuels in Europe) verkkosivu. Saatavissa: http://www.synthetic-fuels.eu/about_synthetic_fuels/definition_en.php [Viitattu 13.3.2012].
45. Virtanen, S., 2005. Biodieselin valmistus Fischer–Tropsch-synteessillä. Tutkimustyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Saatavissa: <http://www3.lut.fi/webhotel/teke/kklemola/2005-biodiesel-FT.pdf> [Viitattu 13.3.2012].
46. Dieselpolttoaineet. Edu.fi-www-sivusto. Saatavissa: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutarhakoneteknologia/tekniik/pol_voit/vpo12.htm [Viitattu 13.4.2012].
47. Uusiutuvan NExBTL-lentopolttoaineen käytöstä erinomaiset testitulokset. Neste Oilin verkkosivut. Saatavissa: <http://www.2011.nesteoil.fi/vastuullisuus/ymparistovastuu/toimitusketjunymp%C3%A4rist%C3%B6vaikutukset/lopputuotteiden-kaytto/case-uusiuutuvan-nexbtl-lentopolttoaineen> [Viitattu 12.4.2012].
48. About Us. Rotterdam Climate Initiative. Saatavissa http://www.rotterdamclimateinitiative.nl/en/english_2011_design/about_us [Viitattu 23.3.2012].
49. Neste Oilin 100-prosenttista uusiutuvaa dieseliä testataan ensimmäistä kertaa laivaliikenteessä. Neste Oilin lehdistötiedote 21.11.2011. Saatavissa <http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35;52;88;100;101;16745;18316> [Viitattu 13.3.2012].
50. Juva, A., 2007. Poltto- ja voiteluaine- tekniset keinot päästöjen vähentämiseksi. Neste Oil, pdf-tiedosto. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/969/poltto--ja-voiteluaineet_juva_041207.pdf [Viitattu 1.4.2012].

51. Orpana, K. Neste Oil Dieselpolttoaineopas, 2007. Pdf-tiedosto. Ladattavissa: <http://www.neste.fi/artikkeli.aspx?path=2589%2C2655%2C2710%2C2734%2C2739%2C3361> [Viitattu 13.3.2012].
52. Neste Oil Oyj:n vuosikertomus 2009. Saatavissa <http://www.digipaper.fi/nesteoil/41104/index.php?pgnumb=41> [Viitattu 30.3.2012].
53. Bauen, A., 2011. Prospects for algae biofuels and their potential for GHG emissions reduction. EU-GCC:n tutkimusseminaari. Saatavissa: <http://www.eugcc-cleaner-gy.net/LinkClick.aspx?fileticket=rn6XrwbV2Gc%3D&tabid=296&mid=1026> [Viitattu 4.4.2012].
54. Nylund, N.-O., Erkkilä, K., Ahtiainen, M., Murtonen, T., Saikkonen, P., Amberla, A. & Aatola, H., 2011. Optimized usage of NExBTL renewable diesel fuel. VTT tiedote. Espoo: VTT. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2011/T2604.pdf> [Viitattu 30.3.2012].
55. Nylund, N.-O., 2008. Liikenteen biopolttoaineet. Energiatekniikan tutkijakoulun vuosiseminaari. Vtt. (lähde ASFE) Saatavissa: http://energia.aalto.fi/fi/ajankohtaista/uutiset/est_vuosiseminaari_08_nylund.pdf [Viitattu 12.4.2012].
56. Nylund, N.-O. & Aaakko-Saksa, P., 2007. Liikenteen polttoainevaihtoehdot. Kehitystilanneraportti. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/files/954/liikenteen-polttoainevaihtoehdot----kehitystilanneraportti.pdf> [Viitattu 14.4.2012.]
57. Talouselämä. 2011. EU yliarvioi biopolttoaineiden hyödyt - kasviuonepäästöissä laskuvirhe. Artikkelii.. Saatavissa: <http://www.talouselama.fi/uutiset/eu+yliarvioi+biopolttoaineiden+hyodyt++kasviuonepaastoissa+laskuvirhe/a2002719> [Viitattu: 19.1.2012]
58. Ryan, C., 2009. The Promise of Algae Biofuels. Projektiraportti. USA: Natural Resources Defence Council (NRDC)
59. Carlsson, A. S., van Beilen, J. B., Möller, R. & Clayton, D., 2007. Micro- and macro-algae: utility for industrial applications. EPOBIO-projektin julkaisu. UK: University of York