

Huaying Wang

**LEVÄPOHJAISET KOLMANNEN SUKUPOLVEN
BIOPOLTTOAINEET**

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2017**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Toukokuu 2017	Tekijä/tekijät Huaying Wang
Koulutusohjelma Kemiantekniikan koulutusohjelma		
Työn nimi LEVÄPOHJAISET KOLMANNEN SUKUPOLVEN BIOPOLTTOAINEET		
Työn ohjaaja Jana Holm	Sivumäärä 33	
Työelämäohjaaja Jana Holm		
<p>Opinnäytetyössä oli tavoitteena tutustua kolmannen sukupolven biopolttoaineisiin, joita saadaan makrolevistä ja mikrolevistä. Tässä työssä esitellään makrolevän ja mikrolevän ominaisuuksia, kasvatusmenetelmiä ja korjuumenetelmiä sekä niiden hyviä puolia biopolttoaineiden raaka-aineina. Tässä työssä esiteltävät biopolttoaineet ovat biokaasu ja biodiesel. Biokaasu saadaan levästä hapettomassa mädätysprosessissa, jossa tapahtuu anaerobisia mädätysreaktioita. Biodieseliä valmistetaan mikrolevästä vaihtoesteröinnillä.</p> <p>Työssä huomattiin, että vaikka levillä on valtavasti energiatuotantopotentiaalia, niiden viljely ja korjuu biopolttoaineiden raaka-aineeksi ovat yhä kalliita. Levien keräys ja öljynerotus ovat myös usein kalliita prosesseja. Biopolttoaineiden tuotantoon tarvitaan vielä lisää innovaatioita ja uusia menetelmiä. Leväbiomassan hyödyntäminen edellyttää, että levien kasvatus on kannattavaa. Fossiiliseen dieseliin verrattuna mikroleväpohjainen biodiesel saastuttaa huomattavasti vähemmän.</p> <p>Leviä voidaan kasvattaa nopeasti ja niiden materiaalit ovat myrkyttömiä ja biohajoavia. Levien kasvua voidaan olla mahdollista käyttää kasvihuonekaasupäästöjen hiilidioksidia sitomiseen biomassaan. Tämän lisäksi levien kasvatus ei vaadi peltopinta-alaa ja sitä voidaan siksi kasvattaa ilman kilpailua peltoalasta ruoan tai rehun viljelyyn kanssa. Biopolttoaineet ovat uusiutuvia energialähteitä ja ystävällisiä ympäristölle. Tässä työssä esitellään uusiutuvien energialähteiden hyötyjä ja biopolttoaineita, joiden käytöllä voidaan hidastaa kasvihuoneilmiötä.</p>		

Asiasanat biodiesel, biokaasu, biopolttoaineet, energiantuotanto, levät, makrolevä, mikrolevä

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date May 2017	Author Huaying Wang
Degree programme Degree programme in Chemical Engineering		
Name of thesis THIRD-GENERATION BIOFUEL FROM ALGAE		
Instructor Jana Holm	Pages 33	
Supervisor Jana Holm		
<p>The aim of this thesis was to study the third-generation biofuels, which can be obtained from macroalgae and microalgae. This thesis discussed the qualities, cultivation methods, harvesting methods and advantages of algae as raw material for biofuels. The biofuels, which are included in this research are biogas and biodiesel. Biogas can be derived from algae during anaerobic digestion process through anaerobic digestion reactions. Biodiesel is produced from microalgae by trans-esterification.</p> <p>It was found that although the algae has a considerable potential for energy supply, cultivation and harvesting is still expensive. Harvesting and oil extraction also is often too expensive. New innovations and methods are needed for biofuel production. The utilization of algae biomass requires a profitable cultivation process. Biofuels from microalgae cause noticeably less pollution than fossil fuels.</p> <p>Algae can be grown fast and all produced materials are non-toxic and biodegradable. It is possible to use algae biomass to absorb greenhouse gases from the atmosphere as it grows. In addition, cultivation of algae does not need land area and therefore it does not compete with food production or growing of fodder. Biofuels are renewable and environment friendly. This thesis discussed the advantages of renewable energy sources and biofuels, which can reduce the greenhouse effect.</p>		

<p>Key words algae, biodiesel, biofuel, biogas, energy production, macroalgae, microalgae</p>
--

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Anaerobinen		hapeton, ilman happea tapahtuva
ASTM	American Society for Testing and Materials	on kansainvälinen standardisointijärjestö, joka kehittää ja julkaisee vapaaehtoisia, yksimielisiä ja teknisiä standardeja.
biomassa		Orgaanisista yhdisteistä muodostuvaa kasviainesta
CHP	Combined Heat and Power	Yhdistetty lämmön- ja energiatuotanto
FAME	Fatty acid methyl esters	Rasvahappometyyliesterit
fotosynteesi		Yhteyttäminen: Kasvien biologinen taito muuntaa hiilidioksidia ja vettä sokereiksi ja happeksi auringon valoenergian avulla.
FT-polttonesteet (C _x H _y)		Fischer-Tropsch-synteesi. Menetelmä jossa synteesikaasusta valmistetaan pitkiä nestemäisiä hiilivetyjä.
katalysointi		Toteutettava muuntoprosessi, jossa käytetään katalyyttejä reaktion alulle panevana tekijänä.
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development	Taloudellinen yhteistyön ja kehityksen järjestö
transesteröinti		Menetelmä biodieselin valmistamiseksi.

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 BIOPOLTTOAINEET	3
3 LEVÄT	4
3.1 Makrolevät.....	4
3.2 Mikrolevät.....	5
4 LEVIEN KASVATUSMENETELMÄT	7
4.1 Kasvatus avoimissa altaissa.....	7
4.2 Kasvatus rengasaltaissa	8
4.3 Suljetut systeemit ja fotobioreaktorit.....	10
5 LEVÄBIOMASSAN KORJUUMENETELMÄT	13
6 POLTTOAINEEN VALMISTUS	15
6.1 Levästä saatu biokaasu	16
6.1.1 Anaerobinen mädätys prosessi	16
6.1.2 Anaerobinen mädätys reaktion	17
6.2 Mikrolevän öljyä ja öljyn erotus.....	19
6.2.1 Biodiesel saatava mikrolevästä	20
6.2.2 Vaihtoesteröinti-menetelmä	21
7 BIOPOLTTOAINEIDEN HYÖDYT	24
7.1 Biopolttoaine hidastaa kasvihuoneilmiötä	24
7.2 Uusiutuvat energianlähteet hyödyt.....	26
8 HAASTEET JA MAHDOLLISUUDET	28
8.1 Leväpohjaisten tuotteiden asema biopolttoaineiden joukossa.....	28
8.2 Leväpohjaisten polttoaineiden haasteet	28
8.3 Leväpohjaisten polttoaineiden mahdollisuudet.....	30
PÄÄTELMÄT	31
LÄHTEET	32
KUVIOT	
KUVIO 1. Biopolttoaineiden tuotanto lähteet	3
KUVIO 2. Levistä saatavia polttoaineita	15
KUVIO 3. Anaerobinen mädätys prosessin.....	19
KUVIO 4. Biodieselin emäskatalysoitu reaktioyhtälö.....	22
KUVIO 5. Levien transesteröintiprosessi	22
KUVAT	
KUVA 1. Esimerkkikuva kasvimaisesta makrolevästä	4

KUVA 2. Nannochloropsis-mikrolevä soluja mikroskoopin läpi kuvattuna.....	5
KUVA 3. Yksinkertainen rengasallas.....	8
KUVA 4. Rengasallas, joissa on monta virtauskanavaa.....	9
KUVA 5. Cyanotech-yhtiön Havaijilla sijaitseva tuotantolaitos ja kasvatusalutaita, joissa tuotetaan levää elintarvikkeeksi.....	9
KUVA 6. Putkifotobioreaktorin kaavakuva, jossa näkyvät reaktorin osat, tankki ja auringon valoa keräävä putkisto.....	11
KUVA 7. Putkimallinen fotobioreaktori, jossa putket ovat päällekkäin.....	12
KUVA 8. Maailman CO2 päästöt 1990-2035.....	25
KUVA 9. Maailman energian kulutuksesta vuonna 2014.....	26

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Mikrolevien käytössä raaka-aineena biodieselin tuotannossa on sekä hyviä että huonoja puolia.....	6
TAULUKKO 2. Öljypitoisuudessa mikrolevästä.....	20
TAULUKKO 3. Haasteita leväenergian tuotantoprosessissa.....	29

1 JOHDANTO

Fossiiliset polttoaineet ovat hupenevia luonnonvaroja ja kestämaton energiatuotannon muoto. Ne kuormittavat päästöillään ympäristöä. Fossiilisten energianlähteiden käyttöä vähentämällä voidaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja lisätä uusiutuvan energian käyttöä. Fossiilisia polttoaineita voidaan korvata uusiutuvilla energianlähteillä, kuten biomassalla. Leväbiomassaan liittyvä tutkimus- ja kehitystoiminta on niin voimakkaassa kasvussa, että se on vaihtoehtoisena energiamuotona alkanut herättää laajempaa kansainvälistä kiinnostusta. Leväbiomassan käyttöä energianlähteenä on tutkittu jo monta kymmentä vuotta.

Tällä hetkellä kaupallisessa käytössä olevat biopolttoaineet ovat bioetanoli, perinteinen FAME (Fatty acid methyl esters) -biodiesel ja biomassan mädätysprosessista saatava biokaasu. Nykyisin kasviöljyt, teollisuuden jäterasvat sekä maatalouden jätteet ovat biopolttoaineiden pääasiallisia raaka-aineita. Sokeriruokoa ja sokerijuurikasta sekä maissia tuotetaan bioetanoliiksi. Palmuöljyä ja Euroopassa lähinnä rypsiöljyä sekä erilaisia jäterasvoja käytetään biodieselin raaka-aineena. Jatrophaa on ehdotettu vaihtoehdoksi syötäväksi kelpaamattomana öljykasvina, sillä sitä voidaan viljellä myös alueilla, joilla ruokakasvit eivät menesty. Jos biopolttoaineilla haluttaisiin korvata fossiiliset polttoaineet kokonaan, pitäisi huomattava osa viljelykseen kelpaavasta maasta käyttää öljykasvien viljelykseen.

Myös levät voivat olla biopolttoaineraaka-aineena, ja niistä voidaan valmistaa biokaasua tai biodieseliä. Levät kasvavat nopeasti, ja ne käyttävät auringon energiaa ja ilman hiilidioksidia yhteyttämiseen. Leviä voidaan kasvattaa lähes missä vain, koska ne eivät tarvitse ravinteikasta maa-alaa. Biopolttoaineen leväpohjaiset raaka-aineet ovat ystävällisiä ympäristölle. Kuivaa leväbiomassaa voidaan teoriassa saada hehtaarilta vuoden aikana jopa 3 – 5 kertaa enemmän kuin sokeriruokobiomassaa ja öljyn tuotannossa levä päihittää palmuöljyn vuosituotoksen 2 – 20 kertaisesti litramäärissä viljelyalaa kohti mitattuna.

Levän tehokkaan massatuotantotavan luomiseksi on kehitetty monenlaista levien viljelyteknologioita ja on tutkittu, miten kasvuolosuhteiden säätely vaikuttaa leväviljelmän menestykseen. Sekä makro- että mikrolevien soveltuvuutta energialähteeksi on tutkittu. Levän kasvatukseen on jo olemassa kaupallisia sovelluksia, sillä leviä on jo kauan käytetty esimerkiksi ravintona,

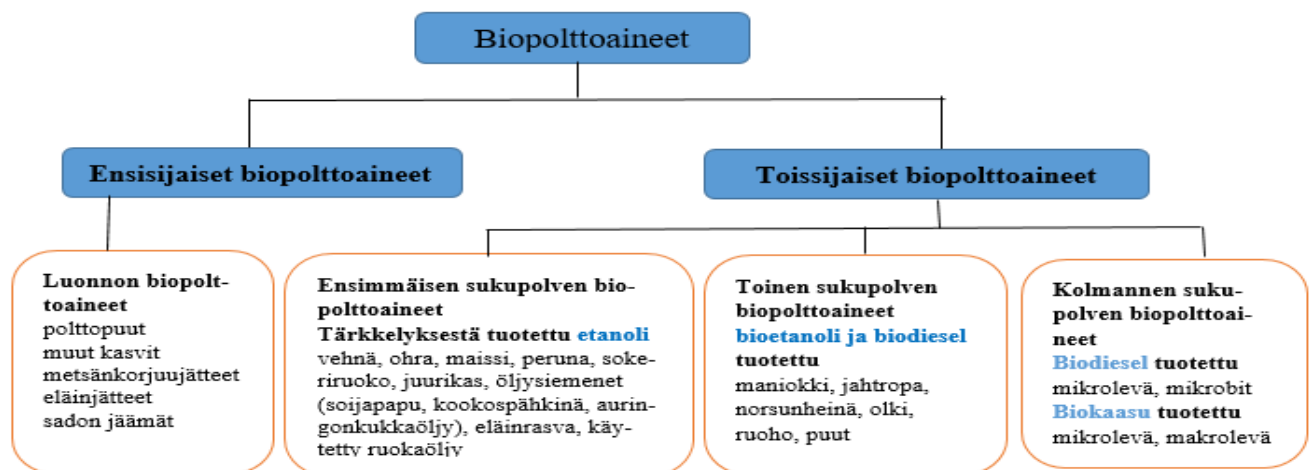
kosmetiikassa, lääkkeiden ja luontaistuotteiden ainesosina sekä rehuna. Mikrolevän massatuotantomalli on peräisin 1950 -luvulta. Energiantuotantoa varten levää ei ole kuitenkaan vielä laajamittaisesti kasvatettu.

Tämän työn tarkoituksena on tutustua kolmannen sukupolven makrolevä- ja mikroleväpohjaisiin biopolttoaineisiin. Tässä työssä esitellään makrolevän ja mikrolevän ominaisuuksia, kasvatusmenetelmiä ja korjuumenetelmiä sekä niiden hyviä puolia biopolttoaineiden raaka-aineina. Tässä työssä esiteltävät biopolttoaineet ovat biokaasu ja biodiesel, joiden käytöllä voidaan hidastaa kasvihuoneilmiotä. Biokaasu saada levästä hapettomassa mädätysprosessissa, jossa tapahtuu anaerobisia mädätysreaktioita. Biodiesel valmistetaan mikrolevästä vaihtoesteröinnillä. Biopolttoaineet ovat uusiutuvia energialähteitä ja ystävällisiä ympäristölle. Tässä työssä esitellään myös uusiutuvien energialähteiden hyötyjä.

2 BIOPOLTTOAINEET

Biopolttoaineet ovat uusiutuvista luonnonvaroista valmistettuja polttoaineita. Biopolttoaineet eivät kuormita luontoa niin kuin fossiilisista luonnonvaroista valmistetut polttoaineet. Ne ovat siten ollen paljon ympäristöystävällisempiä. Biopolttoaineilla tarkoitetaan yleisesti kiinteitä, nestemäisiä tai kaasumaisia polttoaineita, jotka ovat peräisin orgaanisesta aineksestä. Tässä työssä esitellään leväpohjaisia biopolttoaineita. Polttoaineiden raaka-aineina ovat tällöin mikrolevät ja makrolevät. (Laineenoja 2013, 6.)

Biopolttoaineet voidaan luokitella kahteen luokkaan: ensisijaisiin ja toissijaisiin biopolttoaineisiin. Ensisijaiset biopolttoaineet ovat luonnossa esiintyviä biopolttoaineita, kuten polttopuut, muut kasvit, metsänkorjuujätteet, eläinjätteet, tai sadon jäämät. Toissijaisia biopolttoaineita tuotetaan suoraan kasveista ja mikro-organismeista ja ne voidaan edelleen jakaa kolmeen eri sukupolveen. Ensimmäisen sukupolven biopolttoainetta on tärkkelyksestä tuotettu etanoli, jota saadaan ravintokasveista kuten vehnästä, ohrasta, maissista, perunasta, ja sokeriruosta sekä biodiesel, jota saadaan soijapavusta, auringonkukasta ja eläinrasvoista. Toisen sukupolven biopolttoaineita ovat muista kuin ravintokasveista valmistettu bioetanolin ja biodiesel. Näiden raaka-aineina käytetään useita eri kasvilajeja, kuten jatropaa, maniokkia, norsunheiniä, olkea, ruohoa ja puuta. Kolmannen sukupolven biopolttoaineiksi kutsutaan mikrolevästä ja mikrobeista tuotettua biodieseliä. (Rodionova, Poudyal, Tiwari, Voloshin, zharmukhamedov, Nam, Zayadan, Bruce, Hou & Allakhverdiev 2016, 3.) Kolmannen sukupolven biopolttoaineisiin kuuluu myös on levistä tuotettu biokaasu, jota valmistetaan mikrolevistä ja makrolevistä. Biopolttoaineiden luokittelu esitetään kuviossa 1. (Alam, Mobin & Chowdhury 2015, 764.)



KUVIO 1. Biopolttoaineiden tuotantolähteet (Alam, Mobin & Chowdhury 2015, 764)

3 LEVÄT

Levät ovat moninainen ryhmä yksi- ja monisoluisia yhteyttäviä eliöitä. Ne ovat kuin biologisia aurinkopaneeleja, jotka sitovat ilmakehän hiilidioksidia ja käyttävät auringon valoenergiaa solujen kasvuun ja solunsisäisten varastointiyhdisteiden tuotantoon. Ne ovat kasvien kaltaisia organismeja, sillä ne käyttävät fotosynteesiä ja ovat yleensä vesieliöitä. Niiden fotosynteesin tehokkuus on korkeampi kuin muiden kasvien; Joitakin levälajeja pidetään nopeimmin kasvavina kasveina maailmassa. On raportoitu, että levien fotosynteesin tehokkuudet vaihtelevat 3–8 %:iin, kun taas monilla maanpäällinen viljelykasveilla se on vain noin 0,5%. Levät voidaan jakaa kahteen luokkaan: mikrolevät ja makrolevät (merilevä). (Alaswad, Dassisti, Prescott & Olabi 2015, 1447.)

3.1 Makrolevät

Makrolevät tai merilevät ovat monisoluisia. Makrolevillä on eriytetty solurakenne ja toiminta, ja ne ovat siltä osin yleensä kasvienkaltaisia. Niillä ei ole aitoja juuria, ja varret, lehdet sekä verisuonten kudokset ovat yksinkertaisia lisääntymisrakenteita. Ne voivat kasvaa joko suolaisessa tai makeassa vedessä. Ne kasvavat usein nopeasti ja saavuttaa kooltaan jopa 60 m:n pituuden. Useimmat niistä voidaan luokitella kolmeen pääryhmään yhteyttämisspigmentin perusteella: ruskolevät, punalevät ja viherlevät. (Alaswad, Dassisti, Prescott & Olabi 2015, 1447–1449.) Makroleviä voidaan viljellä ravinnoksi tai eläinten rehuksi sekä agarin valmistukseen ja kosmetiikkateollisuuden tarpeisiin. Viljely tapahtuu joko suoraan meressä tai kasvatusta varten rakennetuissa laitoksissa. (Korpi 2016, 6.)

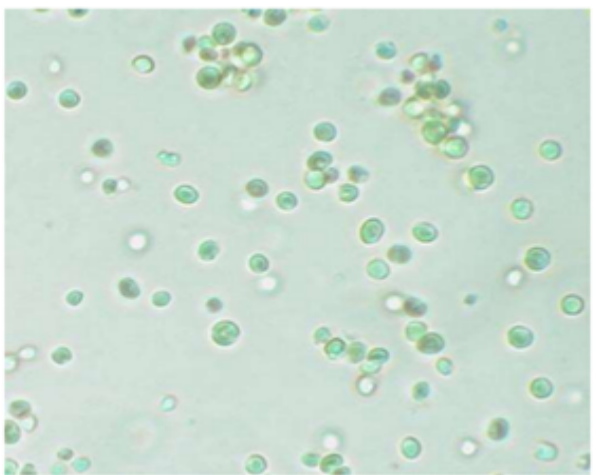


KUVA 1. Esimerkkikuva kasvimaisesta makrolevästä (Korpi 2016, 6)

Maanpäällisiin kasveihin verrattuna levän viljelyn merkittäviä hyötyjä ovat lyhyempi elinkaari sekä helpompi ja kustannustehokkaampi viljely. Niihin myös liittyy ympäristöystävällisiä viljelymenetelmiä. Meriympäristön merilevät eivät tarvitse makeaa vettä tai lannoitteita kasvaakseen, joten viljely ei aiheuta maankäytön muutoksia, eikä siten juuri mitään resurssikilpailua elintarviketeollisuuden kanssa. Mikroleviin verrattuna merilevillä on korkeampi tilavuustuotannon aste (biomassa per tilavuus per aika), ja ne tuottavat suurempia biomassan tiheyksiä. Kuitenkin levät eivät tuota merkittäviä määriä lipidejä. Toisaalta merilevät vaativat suhteellisen leudot prosessiolosuhteet verrattuna lignoselluloosabiomassaan. Yleensä tarvitaan alempia lämpötiloja, vähemmän happamia olosuhteita ja lyhyempiä reaktioaikoja. Toinen merkittävä etu on, että levät voidaan kerätä käsin eikä maanomistajille tarvitse maksaa maanvuokraa. (Alaswad, Dassisti, Prescott & Olabi 2015, 1449–1450.)

3.2 Mikrolevät

Mikrolevät ovat mikroskooppisia yksisoluisia tai monisoluisia organismeja, jotka ovat halkaisijaltaan pienempiä kuin 0,4 millimetriä. Mikrolevät voivat elää makeassa tai suolaisessa vedessä ja niillä ei ole maakasvien tapaan juuria, oksia tai lehtiä. Mikrolevät ovat niin pieniä, että niitä voidaan tarkastella vain mikroskoopin avulla. Kuvassa 2 voidaan nähdä nannochloropsis-mikrolevän soluja mikroskoopin läpi kuvattuna. Mikrolevät voidaan myös luokitella yhteyttämispigmentin perusteella sekä elintapojen ja solurakenteiden mukaan. Suurimmat ryhmät ovat viherlevät, piilevät ja kultalevät. Myös syanobakteerit eli sinilevät kuuluvat yleensä mikroleviin. (Korpi 2016, 7.)



KUVA 2. Nannochloropsis-mikrolevän soluja mikroskoopin läpi kuvattuna (Korpi 2016, 7)

Mikrolevän fotosynteesin mekanismi on samanlainen kuin maakasveilla. Mikrolevien yksinkertaisen solurakenteen vuoksi ne peittyvät vesiympäristöönsä, jossa niillä on tehokkaasti saatavilla vettä, hiilidioksidia ja muita ravintoaineita. Mikrolevät ovat myös niin nopeakasvuisia, että ne muuntavat tehokkaasti auringon energian biomassaksi ja tuottavat biomassaa kymmenkertaisella nopeudella maakasveihin verrattuna. (Alaswad, Dassisti, Prescott & Olabi 2015, 1551.)

Mikrolevien etuja ovat niiden nopeakasvuisuus, niiden viljelyssä säästettävät ravinteet ja lannoitteet. Mikrolevät tarvitsevat vähemmän vettä kuin perinteiset öljykasvit, eivätkä ne vaadi ravinnerikasta maata ja puhdasta vettä. Mikrolevien käytössä raaka-aineena biodieselin tuotannossa on sekä hyviä että huonoja puolia. Taulukossa 1 esitetään leväpohjaisen öljyntuotannon hyviä ja huonoja puolia. (Grönroos 2012, 27.)

TAULUKKO 1. Mikrolevien käytössä raaka-aineena biodieselin tuotannossa on sekä hyviä että huonoja puolia (Grönroos 2012, 27)

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

4 LEVIEN KASVATUSMENETELMÄT

Levät voidaan kasvattaa suljetuissa tai avoimissa järjestelmissä. Kasvatusmenetelmät ovat tällöin erilaisia. Leviä voidaan viljellä katetuissa altaissa, avoimissa ulkoaltaissa tai suljetuissa tankeissa. Levien kasvatusmenetelmät eivät näin ollen vie peltopinta-alaa ravintokasvien viljelyltä. Viljelyssä tärkeää on veden, valon ja hiilidioksidin saanti sekä tasainen lämpötila. (Grönroos 2012, 19.) Optimaalinen vuoden keskilämpötila on +20 – 30 °C, ja tärkeää on, että vuoden kylmimmän kuukauden lämpötila ei saisi laskea alle +15 °C: seen. (BTNK 2013.)

4.1 Kasvatus avoimissa altaissa

Avoimia viljelyjärjestelmiä ovat altaat ja kanavat, jotka sijaitsevat lähes poikkeuksetta ulkotiloissa. Tällöin auringon valo ja ilmassa oleva hiilidioksidi voidaan käyttää suoraan hyödyksi. Avoimet kasvatusallasjärjestelmät eroavat toisistaan koon, muodon, rakennusmateriaalien, sekoitustavan ja kaltevuuden suhteen. Suuret allasjärjestelmät ovat tyypillisesti pinta-alaltaan yhdestä sataan hehtaaria. Syvyydeltään ne ovat noin puoli metriä. Suurien allasjärjestelmien olosuhteita ei kontrolloida. Niistä puuttuu esimerkiksi mekaaninen sekoitus ja hiilidioksidin syöttö. Tällaisia allasjärjestelmiä voidaan käyttää Spirulinan ja Dunaliellan tuotantoon. Matalat altaat ovat intensiivisiä allasjärjestelmiä. Niiden syvyys on alle 0,3 metriä, ja niissä on mekaaninen sekoitus. Niihin syötetään hiilidioksidia ja kasvatusliuosta, joka laimennetaan optimaalisten kasvuolosuhteiden ylläpitämiseksi. Matalamman altaan kasvuympäristöä voidaan kontrolloida paremmin, ja sen vuoksi tuottavuus on moninkertainen verrattuna suuriin allasjärjestelmiin. (Rimppi 2009, 9–10.)

Avoimen järjestelmän etuja ja haittoja ovat:

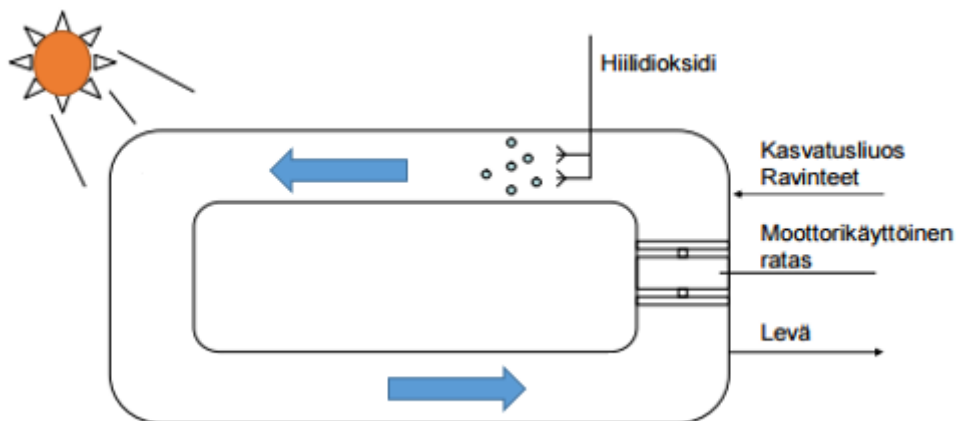
- halvat investointi- ja käyttökustannukset verrattuna fotobioreaktoreihin
- pinta-alaa on helpompi kasvattaa jopa hehtaareihin tuotantoa skaalattaessa ylöspäin
- huono hygienia
- lämpötilan ja olosuhteiden vaihtelevuus
- hiilidioksidin heikompi sitoutuminen ja haihtuvuus
- vain tietyt levälajit sopivat ulkoallaskasvatukseen

(Korpi 2016, 11.)

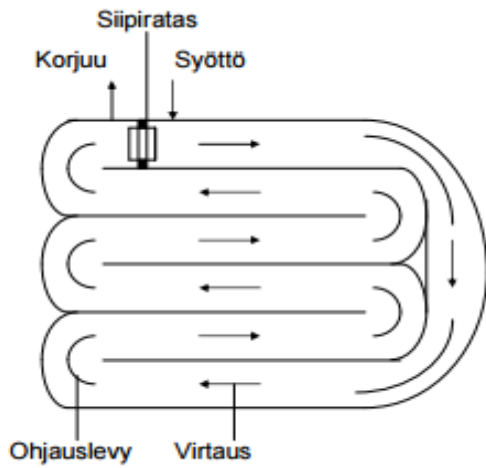
4.2 Kasvatus rengasaltaissa

Rengasallas on yleinen nykyisin käytössä oleva kasvatusallastyyppe. Sen eri muotoja, erityisesti siipiratasmallia, on käytetty kaupallisessa levän tuotannossa jo yli 30 vuoden ajan. Sitä käytetään pääasiallisesti neljän levälajin kaupallisessa kasvatuksessa. Nämä levälajit ovat Chlorella, Spirulina, Haematococcus ja Dunaliella. (Rimppi 2009, 11.)

Rengasallas voi olla yksinkertainen rengas (KUVA 3), tai allas, jossa useampia mutkia on liitetty yhteen (KUVA 4). (Grönroos 2012, 21.) Yksinkertaisia rengasaltaita on laajasti käytössä. Avoimet allasjärjestelmät voidaan kaivaa suoraan maahan tai valaa betonista. Ne voidaan halutessa päällystää muovipinnoitteella, jotta vuotaminen voidaan estää hyvin. Altaiden pinta-ala on yleensä 0,2– 0,5 hehtaaria ja syvyys noin 0,15– 0,35 m:n välillä, jotta levien riittävän auringonvalon saanti voidaan varmistaa. Useimmiten avoimet altaat ovat jatkuvatoimisia ja sekoitus tapahtuu siipirattaan avulla. Kasvatusaltaan rakenne pääpiirteittäin esitetään kuvassa 4. Tavallisesti siipirattaan jälkeen syötetään ravinteet, hiilidioksidi ja tuore vesi tai kasvatusliuos. Valmista levämassaa kerätään kierroksen toisesta päästä. Altaiden päädyissä voi olla jakolevyt, jotka ohjaavat virtausta mutkissa. (Korpi 2016, 10–11.)



KUVA 3. Yksinkertainen rengasallas (Rimppi 2009, 11)



KUVA 4. Rengasallas, joissa on monta virtauskanavaa (Rimppi 2009, 12)

Tavallisesti kasvatusaltaat sijaitsevat rannikolla, koska niihin tarvitaan runsaasti vettä. Avoimia allasjärjestelmiä käytetään levien elintarviketuotantoon, ja niistä suurin osa sijaitsee Japanissa, Kiinassa, Yhdysvalloissa, Australiassa ja Israelissa. Kuvassa 5 on Cyanotech-yhtiön kasvatus- ja tuotantolaitos Havaijilla Yhdysvalloissa. (Korpi 2016, 11.)



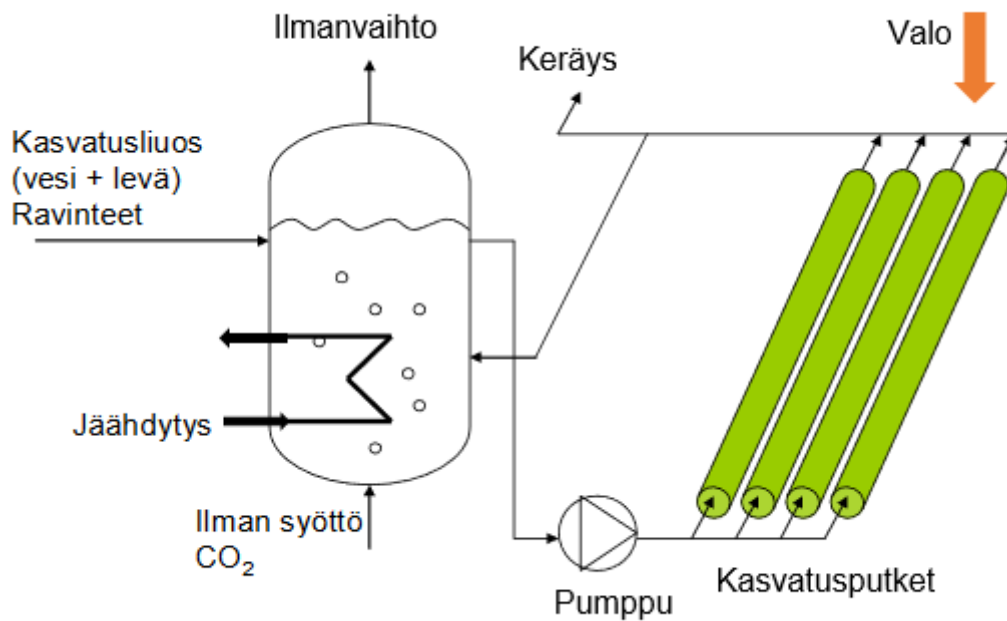
KUVA 5. Cyanotech-yhtiön Havaijilla sijaitseva tuotantolaitos ja kasvatusaltaita, joissa tuotetaan levää elintarvikkeeksi (Korpi 2016,11)

4.3 Suljetut systeemit ja fotobioreaktorit

Suljettuja kasvatusjärjestelmiä voidaan kutsua fotobioreaktoreiksi ja niitä on erilaisia malleja: putki-, paneeli-, säkki-, ja säiliöreaktori. (Rimppi 2009, 14.) Niissä levämassa ei ole suorassa yhteydessä ulkoilmaan, joten se sopii herkemmillikin levälajikkeille (näin mahdollistuu suurempi levälajivalikoima ja yhden levälajin yksittäiskasvatus). Suljetun järjestelmän etuja avoimiin altaisiin verrattuna ovat parempi hygienia, kasvatusolojen parempi hallittavuus, parempi hiilidioksidin sitoutuvuus sekä parempi tuottavuus ja levämassan suurempi konsentraatio. Suljetuissa järjestelmissä kasvatusolosuhteet ovat helpommin hallittavissa, kuten veden pH, lämpötila sekä liuennon hapen ja hiilidioksidin määrä. (Korpi 2016, 12.)

Tavallisesti fotobioreaktorit koostuvat tankista ja läpinäkyvistä paneeleista tai putkista, joita voi olla monenlaisia, mutta putkimallinen fotobioreaktori vaikuttaa lupaavimmalta suurimuotoiseen levänkasvatukseen. (Korpi 2016, 12.) Suuren mittakaavan sovelluksissa suositaan aurinkokeräintyyppisiä paneelifotobioreaktoreja ja putkifotobioreaktoreja. Kuvassa 6 on havainnollistettu putkimallisen fotobioreaktorin rakennetta. Jotta auringonvalon imeytyminen leväviljelmään saadaan maksimoiduksi, aurinkokeräintyyppiset paneelifotobioreaktorit ja putkifotobioreaktorit levittävät reaktorissa olevat kasvatusliuokset laajalle alalle. Nämä kaksi ovat ainoat fotobioreaktorimallit, joiden tilavuus on yli 1000 litraa. Tekniikan soveltamisessa suuressa mittakaavassa on kuitenkin kohdattu haasteita. Hyvin toimiva fotobioreaktorimalli on vielä kehitteillä. (Rimppi 2009, 14.)

Fotobioreaktorin suunnitteluun vaikuttavia tärkeitä tekijöitä ovat muun muassa järjestelmässä kiertävän kasvatusliuoksen (fluidin) dynamiikka, valon imeytyminen (absorptio) ja leväsolujen aineenvaihdunta. (Rimppi 2009, 14.)



KUVA 6. Putkifotobioreaktorin kaavakuva, jossa näkyvät reaktorin osat; tankki ja auringon valoa keräävä putkisto (Rimppi 2009, 16)

Putkimainen fotobioreaktori koostuu läpinäkyvistä putkista ja tankista. Läpinäkyvät putket on tehty joustavasta muovista tai lasista ja ne ovat yhteydessä toisiinsa. Putkien asennolla ei ole suurta merkitystä. Ne voivat olla vaaka- tai pystyasennossa, spiraalimuodostelmassa tai vinottain kohti aurinkoa. Kuvassa 7 on putkimallinen fotobioreaktori. Jotta valoa kulkeutuisi joka suunnasta putken sisälle, putket järjestetään yleensä rinnakkain sillä tavoin, että ne eivät ole aivan maan tasolla. (Grönroos 2012, 23.)

Putkistossa levät keräävät yhteyttämiseen tarvittavaa auringonvaloa. Tankissa poistetaan syntynyt happi, lisätään uutta kasvatusliuosta, lisätään hiilidioksidia ja säädellään tarvittaessa kasvatusliuoksen lämpötilaa. (Korpi 2016, 12.)



KUVA 7. Putkimallinen fotobioreaktori, jossa putket ovat päällekkäin (Korpi 2016, 13)

Tavallisesti putkien halkaisija on noin 0,1 m tai vähemmän. Niiden pituus ei saisi ylittää 80 metriä, koska putkistosta ei voida poistaa syntynyttä happea. Putkiston sisään liuosta kierrätetään tankin kautta. Kasvatustehokkuuteen voidaan vaikuttaa putkien läpimitalla. Eteenkin kasvun alkuvaiheessa, kun biomassan tiheys on pieni, solut saattavat saada liikaa auringon säteilyä, jolloin halkaisijalta pienissä putkissa saattaa tapahtua fotoinhibitiota. Fotobioreaktorien investointi- ja käyttökustannukset ovat suuria levien teollisessa tuotannossa. Bioöljyn tuottamisessa levien kasvatuksessa voitaisiin käyttää hybridijärjestelmää. Levälajien, joiden solut kasvavat hitaasti ja jotka tuottavat runsaasti lipidejä, kasvatusta voidaan jakaa kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa, jossa kasvatusta tapahtuu normaalissa kasvatusliuoksessa suljetussa fotobioreaktorissa, saavutetaan suuri biomassan konsentraatio. Toisessa vaiheessa, jossa levämassa siirretään avoimeen altaaseen, käytetään vähän typpeä sisältävää kasvatusliuosta lipidikonsentraation kasvattamiseksi. Muut levälajit ja kontaminantit eivät kasva altaassa, jossa on hyvin alhainen typpipitoisuus, koska levälajin konsentraatio on jo valmiiksi suuri. (Korpi 2016, 12–13.)

5 LEVÄBIOMASSAN KORJUUMENETELMÄT

Levämassan keräys alkaa levän erottamisesta kasvatusliuoksesta. Prosessissa levämassaa voidaan konsentroida ja kuivata. Tuloksena on paksua levätahnaa tai haluttaessa kuivattua jauhetta. (Korpi 2016, 14.). Leväbiomassan korjuuta hankaloittaa leväsolujen pieni koko sekä se, että tiheimminkin kasvavissa leväviljelyksissä kerättävää kuivaa biomassaa on vain noin 2,5–5g/l. Leväsolujen halkaisija on noin 3–30µm. Keräystekniikoissa hyödynnetään levälajikkeesta riippuen levälajikkeen ominaisuutta kerrostua ja sakkautua pohjalle tai kerääntyä pinnalle. (Grönroos 2012, 25.)

Myös biomassan korjuu riippuu kasvatusliuoksessa olevien levälajien määrästä. Monilajisen leväbiomassan korjuu voi olla vaikeaa. Levien korjuu voidaan jakaa kaksivaiheiseen prosessiin. Ensimmäisessä vaiheessa tapahtuu pääasiainen sadonkorjuu, missä viljelmän biomassaa erotetaan esimerkiksi flokkulaatiolla, vaahdottamalla tai sedimentaatiolla. Toinen vaihe keskittyy biomassan lietteenkäsittelytekniikoihin, kuten sentrifugointiin ja suodattamiseen. Näitä kahta prosessia kutsutaan paksuunnuttamiseksi. Vedenerotus voidaan toteuttaa sentrifugoinnilla ja suodatuksella tai voidaan hyödyntää painovoiman aiheuttamaa kerrostumista (sedimentaatio). Flokkulaatiovaiheessa myös flotaatiota on käytetty apuna korjuuprosessissa. Ennen kuin biomassaa voidaan hyödyntää talteen otettu leväbiomassa pitää yleensä korjuun jälkeen vielä kuivattavaa termisesti. (Rimppi 2009, 24). Keräysmenetelmä valitaan kasvatettavan levälajin ominaisuuksien mukaan (Korpi 2016, 14).

Flokkulaatiolla voidaan helpottaa levämassan keräystä. Levän partikkelikokoa voidaan suurentaa käyttämällä flokkulaatiota ennen sedimentointia, suodatusta tai sentrifugia. Näin jatkokäsittelyä saadaan helpotettua. Mikroleväsoluilla on negatiivinen pintavaraus. Se estää solujen yhteen kerääntymisen. Kasvatusliuokseen voidaan lisätä flokkulantteja, esimerkiksi kationisia polymeerejä. Silloin leväsolujen pintavaraus neutraloituu ja ne voivat kiinnittyä toisiinsa suuremmiksi partikkeleiksi. (Rimppi 2009, 24.)

Sedimentointi on painovoimaan perustuvaa erottelua. Flokkulaation käyttö apuna sedimentoinnissa tulee kyseeseen sellaisten levätuotteiden valmistuksessa, joiden hinta on erittäin alhainen. Levän voidaan antaa laskeutua sedimentaatiösäiliössä tai -altaassa. (Rimppi 2009, 25.)

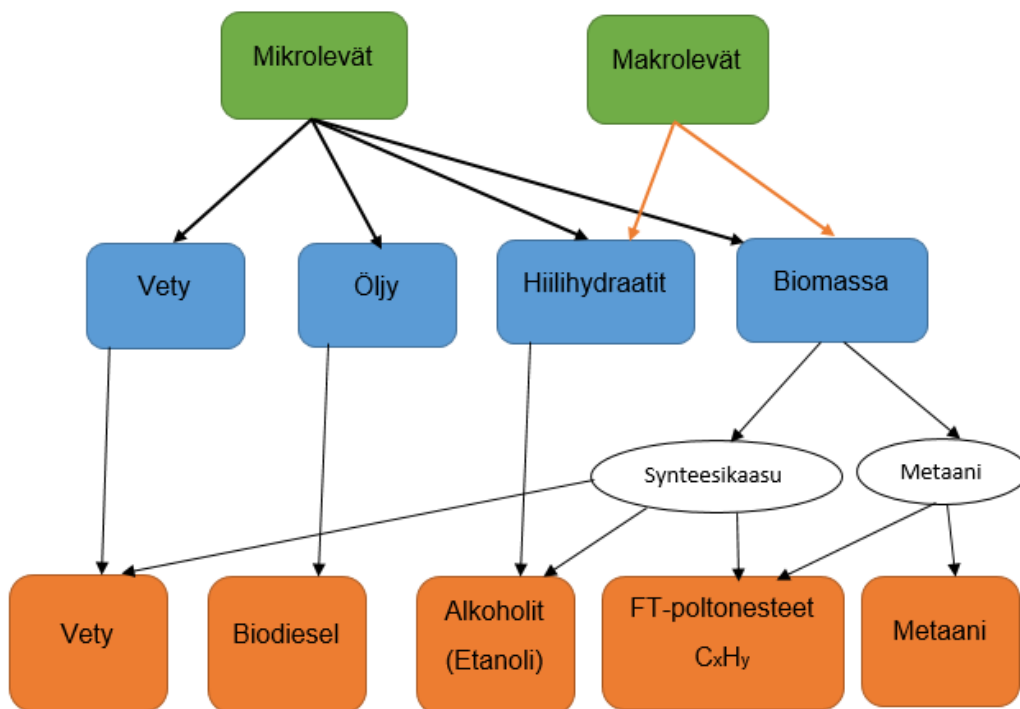
Suodatus voidaan toteuttaa myös paineen avulla. Se sopii suhteellisen suurille mikrolevälajeille. Pienten bakteerien kokoisten levien (Dunaliella, Chlorella) korjuu tällä tavoin ei onnistu. Mikrolevän korjuussa voidaan käyttää apuna irtopintasuodatusta ennen biomassaliuoksen laskemista suodatimen läpi. Suodatinmateriaali voidaan päällystää jollakin apuaineella, esimerkiksi selluloosakuiduilla. Levä saadaan tällöin talteen kaapimalla se suodatinkankaan pinnasta. (Rimppi 2009, 25.)

Useimmat mikrolevät voidaan korjata talteen sentrifugien avulla. Biomassan korjuu sentrifugeilla on kannattavaa valmistettaessa korkeahintaisia tuotteita. Energiaintensiivisillä sentrifugeilla voidaan käsitellä suuria määriä biomassaa kohtalaisen nopeasti. Sentrifugit ovat yleisin tapa, jolla erotetaan leväbiomassa kasvatusliemestä. (Rimppi 2009, 26.) Sentrifugoinnissa levämassa erotetaan keskipakovoiman avulla. Vaarana sentrifugoinnissa on kuitenkin se, että herkimmät solut saattavat vaurioitua. (Korpi 2016, 14.)

Termisen kuivauksen tarkoituksena on vähentää leväbiomassan kosteuspitoisuutta. Se on menetelmä, jossa haihdutetaan vettä ilmaan lämmön avulla. Mikrolevän keräämisen aikana sen biomassakonsentraatio kasvaa 50–200-kertaiseksi alkuperäisestä. Korjatun biomassan kuiva-ainepitoisuus on tyypillisesti 5–15%. Kuivauksella voidaan pidentää biomassan säilyvyysaikaa. Mikrolevälle sopivia kuivausmenetelmiä ovat ruisku-, rumpu-, jäädytys- ja aurinkokuivaus. (Rimppi 2009, 26–27.)

6 POLTTOAINEEN VALMISTUS

Leväbiomassassa on kolme pääkomponenttia, jotka ovat hiilihydraatit, proteiinit ja luonnolliset öljyt. Biomassasta on mahdollista valmistaa useita eri polttoainetta. Leväbiomassan jalostamisessa polttoaineeksi voitaneen soveltaa pitkälti samoja periaatteita, jotka nykyään pätevät muun biomassan käsittelyssä. (Rimppi 2009, 28.) Kuvion 2 kaaviosta nähdään, mitä eri biopolttoaineita levästä voidaan valmistaa. Mikrolevistä voidaan tuottaa vetyä, öljyä, hiilihydraattia ja biomassaa ja niistä jalostaa edelleen biodieseliä, alkoholia, FT-polttonesteitä (C_xH_y) ja biokaasua (CH_4). Makrolevistä voidaan tuottaa hiilihydraattia ja biomassaa, ja lopulta saada alkoholia ja FT-polttonesteitä C_xH_y ja metaania (biokaasua). Tässä opinnäytteessä esitellään, miten biokaasu tuotetaan mikrolevästä ja makrolevästä sekä miten biodiesel tuotetaan mikrolevästä.



KUVIO 2. Levistä saatavia polttoaineita (Rimppi 2009, 28)

Leväbiomassasta saatavasta öljystä voidaan esteröintiprosessilla valmistaa biodieseliä. Biomassaa voidaan myös mädättää anaerobisesti, jolloin syntyy metaanikaasua, eli biokaasua. Seuraavissa luvuissa esitellään tarkemmin biokaasun ja biodieselin valmistamismenetelmiä.

6.1 Levästä (mikrolevästä ja makrolevästä) saatava biokaasu

Biokaasu on kaasuseos, jonka pääkomponentteja ovat metaani (CH₄) ja hiilidioksidi (CO₂), mutta johon sisältyy myös muita kaasuja. Tavallisesti kaasussa on noin 60 % metaania ja noin 40 % hiilidioksidia. Poistamalla hiilidioksidi (CO₂) biokaasusta voidaan nostaa metaanipitoisuus samalle tasolle kuin se on maakaasussa, jolloin sillä on sama suorituskyky käytettäessä sitä polttomoottoreiden polttoaineena tai ruoanlaitossa kotitalouksissa. Metaani on erityisen arvokas polttoaine. Verrattuna muihin hiilivety-polttoaineisiin metaanin polttaminen tuottaa vähemmän hiilidioksidia jokaista vapautuvan lämmön yksikköä kohti. Yleisimmin metaanipohjaista biokaasua käytetään sähkön ja lämmön (CHP) tuotannossa. (Alaswad, Dassisti, Prescott & Olabi 2015, 1452.)

6.1.1 Anaerobinen mädätysprosessi

Biokaasun tuotanto on saatavan puhtaan energian määrässä mitaten kaikkein tehokkain teknologia erilaisten biomassan polttoaineeksi muuntavien teknologioiden joukossa, koska anaerobista mädätystä on mahdollista käyttää kaikkien hajoavien komponenttien (hiilihydraatin, proteiinin ja lipidin) osalta biokaasun tuottamisessa. Tämän lisäksi anaerobinen mädätystekniikka havaittiin energia/panos-suhteessa hyvin tehokkaaksi verrattuna muihin biologisiin ja termokemiallisiin muuntoprosesseihin, kuten selluloosan etanoliksi muuntamiseen. Anaerobinen mädätys on prosessi, jossa orgaaninen aine hajoaa bakteerien toimesta hapettomissa oloissa. Mädätysprosessissa yksisoluiset ja prokaryoottiset organismit toimivat synergistisesti bakteerien kanssa ja muuttavat joitakin hajonneita lopputuotteita hiilidioksidiksi ja metaaniksi. (Alaswad, Dassisti, Prescott & Olabi 2015, 1452.)

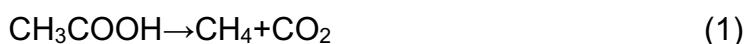
Leväbiomassa – kuten kaikki biomassa – koostuu orgaanisesta aineesta, joka koostuu monimutkaisia polymeerisistä makromolekyyleistä, kuten proteiineista, polysakkarideista, lipideistä, nukleiinihappoista sekä muista yksinkertaisemmista yhdisteistä, kuten sokereista ja aminohappoista. Anaerobinen mädätysprosessi muuntaa orgaanisen aineen lopputuotteiksi, joita ovat metaani, hiilidioksidi, biomassa ja epäorgaaniset jäämät. Prosessissa on mukana useita eri mikro-organismiryhmiä ja koko prosessi käsittää useita reaktioita monine välituotteineen. Prosessi voidaan jakaa biokemiallisia reaktioiden mukaan kolmeen eri

ryhmään: (1) hydrolyysi (2) acetogenesis ja (3) metaanin muodostumiseen. (Alaswad, Dassisti, Prescott & Olabi 2015, 1452–1453.)

6.1.2 Anaerobiset mädätysreaktiot

Anaerobisessa prosessissa on usein neljä eri ryhmää biokemiallisia reaktioita, joita ovat vesireaktio (hydrolyysi), käyminen (acidogenesis), haponmuodostus (acetogenesis) ja metaaninmuodostus (metanogeneesi). Hydrolyysissa orgaaniset polymeerit eli proteiinit, rasvat ja hiilihydraatit hajoavat pienemmiksi molekyyleiksi, kuten aminohappoiksi, rasvahappoiksi ja yksinkertaisiksi sokereiksi. Vaikka jotkut hydrolyysissä syntyneet välituotteet käytetään prosessissa suoraan anaerobisen mädätyksen metanogeenien toimesta, suurimman osan näistä välituotteista täytyy ensin muuntaa haponmuodostusreaktioissa, jota kutsutaan acetogenesisikseksi, ennen kuin ne voivat toimia ravinteina metaania tuottaville organismeille. Nämä organismit voivat sitten tuottaa energiaa näistä ravintoaineista, muuttuessaan metaaniksi. (Alaswad, Dassisti, Prescott & Olabi 2015, 1453.)

Asetaatti-ionien muodostuminen tapahtuu tässä vaiheessa. Tämä tapahtuu, kun acetogeenit pilkkovat biomassan ravintoaineosia. Acetogeenit ovat käymiskykyisiä bakteereja, ja ne tuottavat happaman ympäristön samalla kun luovat ammoniumsuoloja, hiilidioksidia (CO₂), ja mahdollisesti vetyä (H₂), sekä pieniä määriä muita sivutuotteita. Metanogeenijä muodostuu tietyssä mielessä anaerobisen mätänemisen loppuvaiheessa. Näiden reaktioiden aikana metanogeenijä syntyy metaaninmuodostuksen lopputuotteista yhtäläillä kuin joistakin hydrolyysin välituotteista. Metaanin reaktiot voidaan jakaa kahteen reaktioon, joissa molemmissa muodostuu metaania. Toisessa reaktiossa lähtöaineena on etikkahappo ja toisessa yksi lähtöaineista on hiilidioksidi. Reaktiot voidaan kirjoittaa seuraavasti:



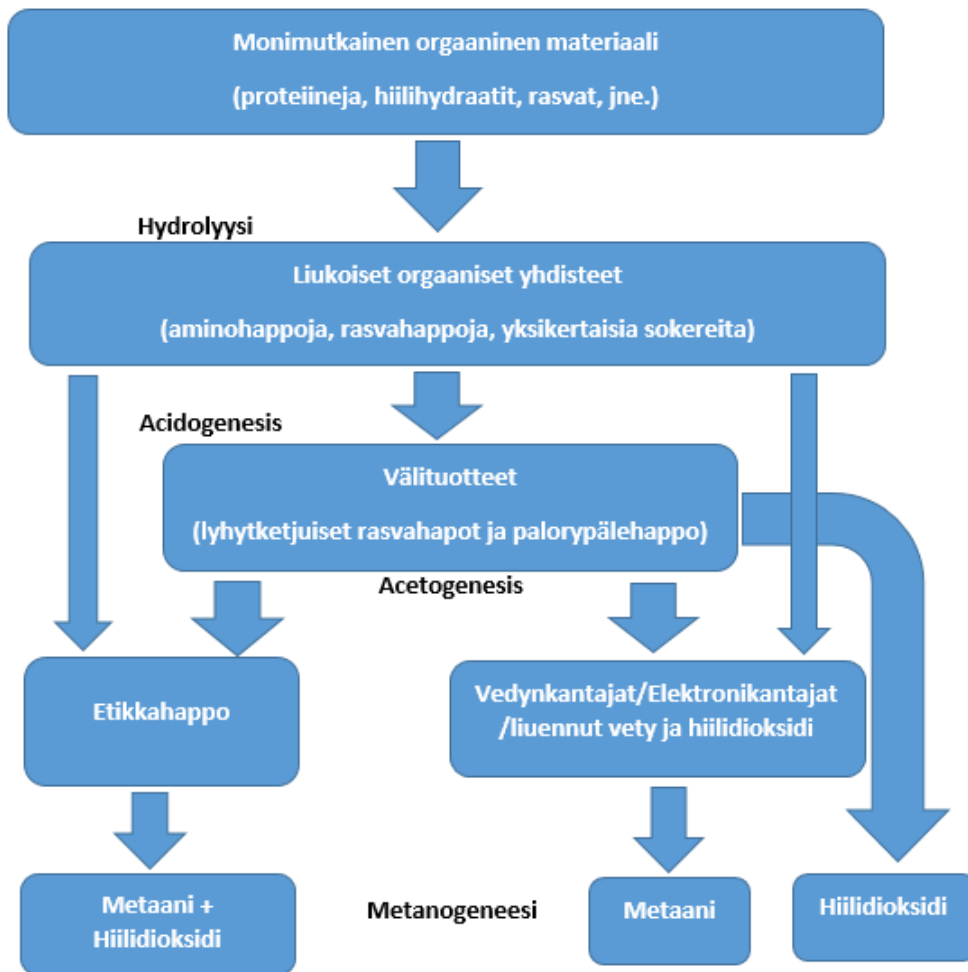
Oteltaessa huomioon epävarmuus siitä, että syntyykö tässä vaiheessa suuria määriä vetyä, toinen reaktio mahdollisesti pitäisi kirjoittaa muotoon:



Kirjoitettaessa yhtälö tässä muodossa mahdollistuu se, että vetyä voidaan saada anaerobisessa ympäristössä monista eri ”vedynkantajista”. Näin ollen anaerobinen mädätyksen aikana voi olla erittäin vähän varsinaisia vetykaasua liuenneena vesiliuokseen. (Alaswad, Dassisti, Prescott & Olabi 2015, 1453.)

Kuten nähdään, reaktiosta (1) metaania tuottava reaktioreitin avulla metaania voidaan valmistaa etikkahaposta. Useimmissa anaerobisissa mädätysympäristöissä tämä reaktioreitti tuottaa todennäköisesti suurimman määrän metaania. Kuitenkin epätavallista olisi, että se olisi ainoa metaanimuodostumisreaktio. Toinen reaktioreitti muuntaa hiilidioksidia (CO_2) metaaniksi ja sitä esiintyy usein lipidien ollessa lähtöaineita. Tämä johtuu siitä, että suhteellisen suuret määrät pelkistäviä aineita (tai vedynkantajia) on syntynyt acetogeneettisissä reaktioissa, joissa lipidit muuntuvat etikkahapoksi. (Alaswad, Dassisti, Prescott & Olabi 2015, 1453.)

Toinen reaktioreitti (2) esiintyy myös silloin, kun lähtöaineet sisältävät vain hiilihydraatteja. Näin tapahtuu sokereita etikkahapoiksi muuttavien aineenvaihduntareittien vuoksi, jotka liittyvät palorypälehapon muodostukseen. Ja kun tätä happoa muodostuu, syntyy myös pelkistäviä aineita (tai vedynkantajia). Tämän vuoksi nämä reaktiot eivät voi tapahtua jatkuvalla syötöllä ilman jotakin mekanismia, joka poistaa pelkistäviä aineita. Tämän suorittavat mikro-organismiyhteisöt, jotka toimivat yhdessä synergistisesti, ja sitä seuraa toinen reaktioreitti, jossa jonkin verran hiilidioksidia (CO_2) muuntuu metaaniksi. Kun palorypälehapo on muodostunut, se muuttuu etikkahapoksi acetogeneettisten bakteerien vapauttaman hiilidioksidin (CO_2) vaikutuksesta. Anaerobisessa mädätysprosessissa tapahtuvat reaktiot on esitetty ryhmittäin kuviossa 3. (Alaswad, Dassisti, Prescott & Olabi 2015, 1453.)



KUVIO 3. Anaerobinen mädätysprosessi. (Alaswad, Dassisti, Prescott & Olabi 2015, 1453)

6.2 Mikrolevän sisältämä öljy ja öljyn erotus

Jotkut mikrolevät voivat kaksinkertaistaa biomassansa 24 tunnin aikana ja lyhin kaksinkertais-tumisaika niiden kasvussa on noin 3,5 tuntia, mikä tekee mikrolevästä ihanteellisen lähteen uusiutuvan biopolttoaineen tuotantoon. Useiden mikrolevälajien öljypitoisuus voi olla lähes 80 % niiden kuivapainosta. Eri mikrolevien öljypitoisuuksien suhteita kuivapainoonsa on esitetty taulukossa 2. (Alam, Mobin & Chowdhury 2015, 765.)

TAULUKKO 2. Mikrolevien öljypitoisuuksia. (Alam, Mobin & Chowdhury 2015, 765)

	Levän nimi	(pitoisuus% Kuivapainosta)
1	<i>Botryococcus braunii</i>	25 - 75
2	<i>Chlorella</i> sp.	28 - 32
3	<i>Cryptothecodinium cohnii</i>	20
4	<i>Cylindrotheca</i> sp.	16 - 37
5	<i>Dunaliella primolecta</i>	23
6	<i>Isochrysis</i> sp.	25 - 33
7	<i>Monallanthus salina</i>	20
8	<i>Nannochloris</i> sp.	20 - 35
9	<i>Nannochloropsis</i> sp.	31 - 68
10	<i>Neochloris oleoabundans</i>	35 - 54
11	<i>Nitzschia</i> sp.	45 - 47
12	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20 - 30
13	<i>Schizochytrium</i> sp.	50 - 77
14	<i>Tetraselmis sueica</i>	15 - 23

Levöpohjaisen polttoaineen tuotannossa öljynerotus levämassasta on yksi kalliimpia prosesseja. Yleisesti ottaen erottelu voidaan jakaa kahteen kategoriaan, jotka ovat mekaaninen ja kemiallinen erottelu. Erotus on pohjimmiltaan yksinkertainen prosessi, joka voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen: levän keräys, levän erottelu kasvatusliemestä ja öljyn ulospuristaminen. (Grönroos 2012, 26). Mekaanista erottelua ovat perinteinen puristus ja ultraääniavusteinen erotus. Kemialliset erottelumenetelmät perustuvat yleensä johonkin kemialliseen liuottimeen. Energiansäästö- ja kustannussyistä mekaanista ja kemiallista erotusta käytetään tavallisesti yhtäaikaisesti. Kemikaalit voivat tukea ja nopeuttaa mekaanista prosessia. (Korpi 2016, 14.)

6.2.1 Biodiesel saatava mikrolevästä

Biodiesel on vaihtoehtoinen polttoaine, joka on formuloitu yksinomaan dieselmoottoareihin. Se on uusiutuva energiamuoto, muttei täysin puhtaasti palava vaihtoehto dieselin polttamiseen.

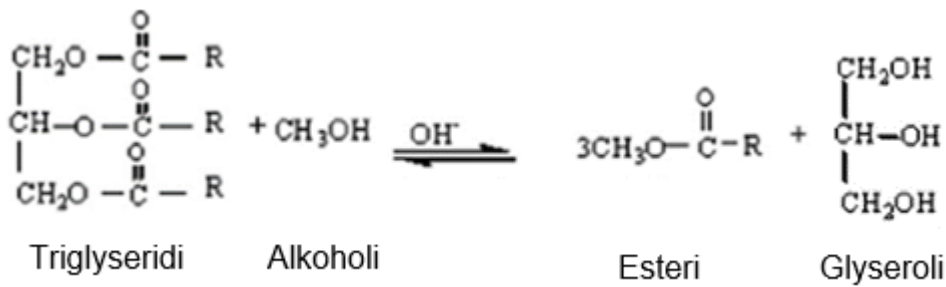
Se voidaan valmistaa kasviöljyistä, eläinöljystä, eläinrasvoista, jätteistä tai ruokaöljystä. Biodiesel on nykyisin kiinnostava vaihtoehto, koska se on uusiutuva ja sen käytöllä on parempia ympäristövaikutuksia kuin tavanomaisella dieselöljyllä. Sen palamis- ja höyrystymisominaisuudet tekevät siitä sopivan käytettäväksi dieselmootoreissa. Näitä ominaisuuksia esiintyy joissakin estereissä, jotka on muodostettu alkoholeista karboksyylihapojen kanssa. Jotta alkoholit olisivat käyttökelpoisia eri biodieselin sovelluksiin, niiden täytyy olla lyhyinä ketjuina ja pääasiassa etanolia tai metanolia. Karboksyylihapot ovat rasvahappoja, joiden ketjun pituudet ovat C₁₄:n ja C₂₂:n välillä. (Alaswad, Dassisti, Prescott & Olabi 2015, 1456.)

Biodiesel voidaan valmistaa öljystä ja rasvasta seuraavilla menetelmillä: 1) öljyn emäskatalysointi-transesteröinnillä alkoholin kanssa, 2) öljyn suoralla katalyytilakka-trans-esteröinnillä metanolin kanssa, 3) öljyn rasvahappokonversiolla, jota seuraa muuntamalla rasvahappojen muunto alkyyliestereiksi happokatalyysillä. Emäskatalysointi-transesteröinnin käytössä on paljon etuja, kuten matalampi prosessipaine, matalampi prosessilämpötila, lyhyempi reaktioaika ja saatavat korkeammat muuntoprosentit. Lisäksi emäskatalysoitu muuntoprosessi on suora prosessi ilman välivaiheita, ja emäksiset katalyytit ovat vähemmän syövyttäviä kuin happamat aineosat. (Alaswad, Dassisti, Prescott & Olabi 2015, 1456.)

Yhdysvalloissa ASTM-biodieselin määrittelee standardi D6751. Euroopassa on erilaisia standardeja; ajoneuvokäyttöön tarkoitetun biodieselin standardin määrittelee EN 14214 ja lämmitysöljynä käytettävän biodieselin standardin määrittelee EN 14213. (Chisti 2007, 301.)

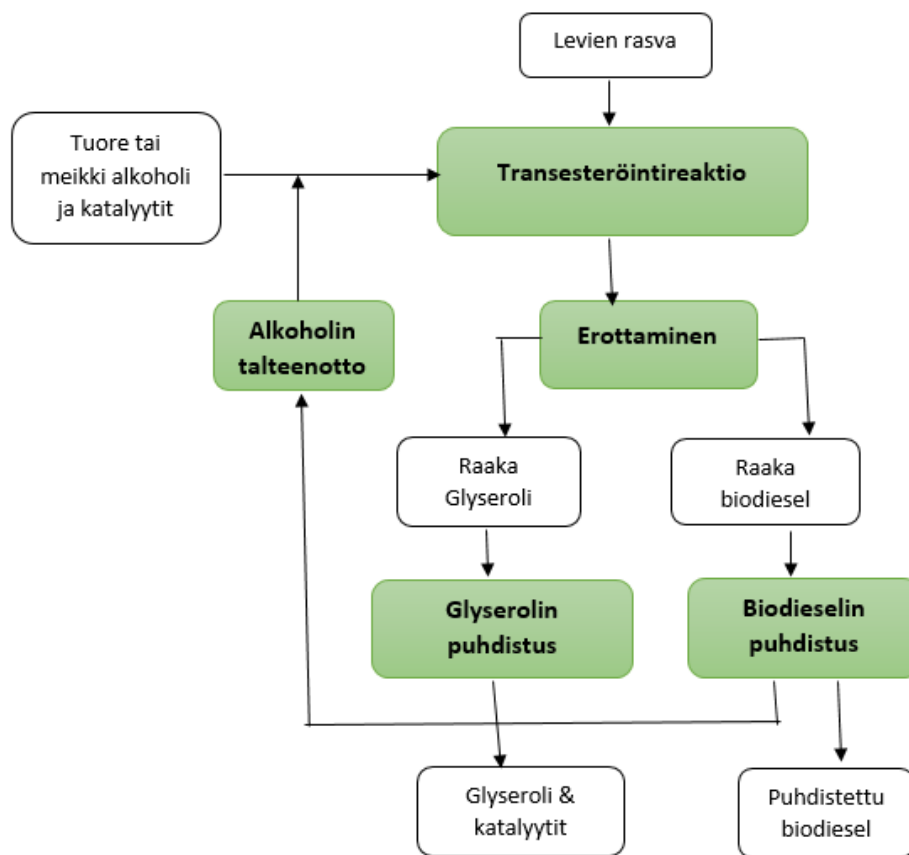
6.2.2 Transesteröinti-menetelmä

Transesteröinti on triglyseriinin (rasvan tai öljyn) reaktio alkoholin kanssa, jossa muodostuu estereitä ja glyserolia. Esteröintiprosessi aikana triglyseridi reagoi alkoholin kanssa katalyytin, joka on tavallisesti natrium- tai kaliumhydroksidia myötävaikuttamana. Alkoholin ylijäämää käytetään normaalisti varmistamaan rasvan tai öljyn täydellinen muuttuminen estereiksi. Alkoholi reagoi rasvan tai öljyn kanssa muodostuakseen mono-alkyyliesteriksi, jotka ovat aktiivisia biodieselin ainesosia. Myös glyserolia muodostuu. Esteri- ja glyserolikerroksen erkaneminen öljyvaiheessa loppureaktiossa on merkki onnistuneesta transesteröinti-reaktiosta. Metyyliesterin, joka on yleisin biodieselin ainesosanen, muodostumisen kemiallinen kaava esitetään kuviossa 4. (Alaswad, Dassisti, Prescott & Olabi 2015, 1457.)



KUVIO 4. Biodieselin emäskatalysoitu reaktioyhtälö. (Alaswad, Dassisti, Prescott & Olabi 2015, 1457)

Glyseroli on huomattavasti tiheämpää kuin biodiesel. Se ja esterit voidaan erottaa painovoiman avulla niin, että glyserolin kerros yksinkertaisesti vedetään pois laskeutusaltaan pohjalta. Joissakin tapauksissa käytetään sentrifugia näiden kahden materiaalin erottamiseksi tehokkaammin toisistaan. Kun glyseroli ja biodiesel on erotettu, ylimääräinen alkoholi voidaan osittain poistaa joko leimahdushöyrystyksellä molempien aineiden osalta tai jakotislaamalla, jolloin poistaminen on vieläkin täydellisempi. Kuviossa 5 esitetään transesteröintiprosessia tiettyine prosessivaiheineen. Ennen kuin biodieseliä käytetään kaupallisena polttoaineena, on tarpeen analysoida aine, jotta varmistutaan siitä, että se täyttää vaaditut tekniset tiedot. Tärkeimmät asiat biodieselin häiriöttömän toiminnan varmistamiseksi dieselmootoreissa ovat, että siitä puuttuvat: glyseroli, katalyytit, reagoimatta jäänyt alkoholi ja vapaat rasvahapot. (Alaswad, Dassisti, Prescott & Olabi 2015, 1457.)



KUVIO 5. Levien transesteröintiprosessi (Alaswad, Dassisti, Prescott & Olabi 2015, 1456)

Tarvitaan energiatehokas, edullinen lipidiuutto ja kustannuksiltaan alhainen transesteröintiprosessi, jotta leväbiodiesel voi kilpailla polttoöljyn kanssa markkinoilla, jotka ovat alhaisten hintojen dominoimia. Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että lipidiuuttosta saatua biomassaa voidaan käyttää biokaasun tuotannossa seuraavan vaiheen anaerobisessa mädätyslaitoksessa. Tällöin biokaasusta tulee erillinen tuote, joka saadaan lisätuotteena alkuperäisestä levämateriaalista ilman, että saatavan biodieselin määrä vähenee. Jos tämä biokaasu voidaan myydä ja saada siitä myyntituloja, biodieselin kokonaistuotantokustannuksia saadaan laskettua, jolloin biodieselin myyntihinta voidaan laskea ja biodieselin kilpailukyky polttoöljyn suhteen kasvaa. (Alaswad, Dassisti, Prescott & Olabi 2015, 1457.)

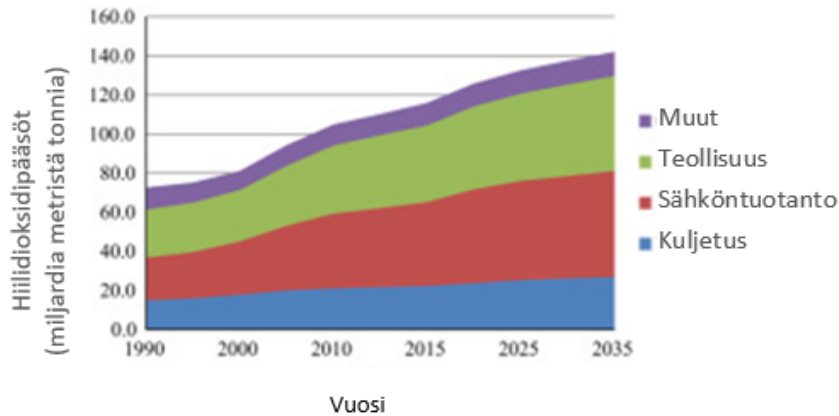
7 BIOPOLTTOAINEIDEN HYÖDYT

7.1 Biopolttoaine hidastaa kasvihuoneilmiötä

Maapallon ilmakehä toimii kasvihuoneen tavoin päästään sisään auringon lyhytaaltoisen säteilyn, mutta estäen tehokkaasti pidempi aaltoisen lämpösäteilyn poistumisen maanpinnasta ja ilmakehästä. Tätä ilmiötä kutsutaan kasvihuoneilmiöksi. Yksi kasvihuonekaasujen vaaroista on ilmaston lämpeneminen. Vapauttamalla kasvihuonekaasuja ilmakehään aiheutuu vakavia vaaroja luonnon tasapainolle. (Ilmatieteen laitos 2017.)

Niin sanottu keinotekoinen (tai ihmisen aiheuttama) kasvihuoneilmiö, johtuu ihmisen toiminnasta, joka tuottaa ilmakehään vapautuvia kasvihuonekaasuja. Näiden tärkein lähde on fossiilisten polttoaineiden käyttö. On hyvin tunnettua, että fossiilisten polttoaineiden käyttö on johtanut kasvihuonekaasupäästöjen, kuten hiilidioksidin (CO_2), rikkidioksidin (SO_2), typen oksidien (NO_x) ja hiilimonoksidin (CO) lisääntymiseen. Näiden päästöjen osuus kasvihuonekaasuista on kasvanut vuosi vuodelta, ja tällä on ollut vakavia ilmastoja lämmittäviä vaikutuksia. Kolme neljäsosaa ihmisen aiheuttamista hiilidioksidipäästöistä syntyy fossiilisten polttoaineiden hyödyntämisen yhteydessä. Fossiilisia polttoaineita ovat öljy, maakaasu, kivihiili ja turve. Fossiiliset polttoaineet, jotka sisältävät hiiltä, muodostavat hiilidioksidiksi hiilen yhdistyessä ilmakehän hapen kanssa niitä poltettaessa. (NERC 2017.)

Maailmanlaajuisesti hiilidioksidipäästöjen arvioidaan nousevan kaksinkertaiseen määrään vuoteen 2035 mennessä, noin 1,6 prosentin vuosittaisen kasvun nopeudella. Hiilidioksidipäästöt ennustetaan nousevan vuoden 2010 110 miljardista tonnista ja yli 140 miljardiin tonniin vuoteen 2035 mennessä. Maailman hiilidioksidipäästöjen osuus eri aloilla vuosina 1990–2035 on esitetty kuvassa 8. Korkean tason CO_2 , ilmakehän ylempien kerrosten hiilidioksidi, estää infrapunasäteilyn paluuta maan pinnasta takaisin termiseksi säteilyksi, mikä näin ollen aiheuttaa maan lämpötilan kohoamisen. (Milano, Ong, Masjuki, Chong, Lam, Loh & Vellayan 2015, 181.)



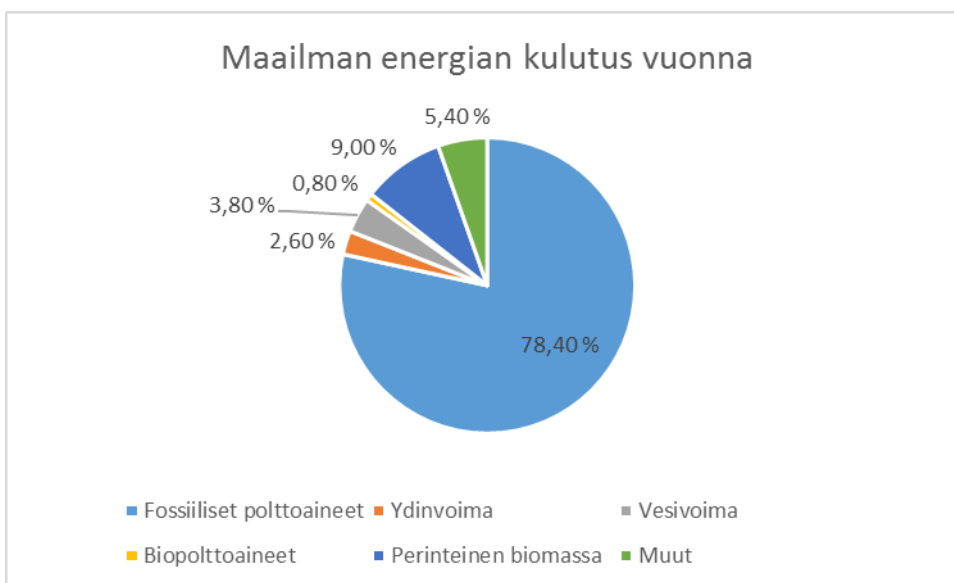
KUVA 8. Maailman hiilidioksidipäästöt 1990–2035. (Milano, Ong, Masjuki, Chong, Lam, Loh & Vellayan 2015, 181)

Ihmisen vapauttaman hiilidioksidin, muiden kasvihuonekaasupäästöjen ja niiden ilmastonmuutosvaikutuksen näkökulmasta katsottuna biopolttoaineilla on yksi suuri etu bensiiniin, dieseliin ja muiden fossiilisten polttoaineisiin verrattuna: Biopolttoaineiden raaka-aineet ovat jo osa maanpäällistä kiertoa. Biopolttoainetta ei kaiveta maan alta toisin kuin kivihiliä ja öljyä. Poltettaessa eivät myöskään vapautta kauan varastoituna ollutta hiiltä hiilidioksidiksi ilmaan. Sen sijaan biopolttoaineita poltettaessa niihin äskettäin sitoutunut hiilidioksidia vapautuu takaisin ilmaan. (eXtension 2017.)

Biodieselille olisi paljon kysyntää, jos se voisi korvata fossiilisista lähteistä peräisin olevaa dieseliä. Kun biodiesel on käytetty korvaamaan tavallista dieseliä, tärkeämpänä syynä on ollut mahdollisuus vähentää hiilidioksidipäästöjä. Biodiesel tuotetaan kasveista tai levistä. Niiden kasvaessa ne imevät hiilidioksidia ilmakehästä. Kun biodieseliä kulutetaan, hiilidioksidia vapautuu ilmaan. Nettovaikutus on siksi biodieselin osalta vähemmän vapautuvaa hiilidioksidia kuin se on tavallisen dieselöljyn kyseessä ollessa. Kasvihuonekaasupäästöjen suhteen mikrolevistä valmistetut biopolttoaineet ovat yleensä hiilineutraaleja, koska vastaava hiilidioksidimäärä otettiin pois ilmakehästä silloin kun leväbiomassan kasvoi. Näin ollen biopolttoaineiden tuottaminen mikrolevästä ei lisää uutta hiiltä ilmaan. Bensiiniin tai dieseliin verrattuna biopolttoaine mahdollistaa huomattavasti hiilidioksidipäästöjen vähentämistä. Vähentämällä hiilidioksidipäästöjä voidaan lopulta auttaa kasvihuoneilmaston hidastamisessa. (Alaswad, Dassisti, Prescott & Olabi 2015, 1456.)

7.2 Uusiutuvat energianlähteet hyödyt

OECD:n kansainvälinen energiajärjestö (IEA) ennustaa, että fossiilisten polttoaineiden kysynnän kehitys, kauppa ja kasvihuonekaasupäästöt jatkavat nykyisellä kestäättömällä teilläään vuoteen 2030 asti. 78,4 % maailman kaikesta käytetystä energiasta on peräisin kolmesta fossiilisesta polttoaineesta: öljystä, hiilestä, ja maakaasusta. Noin 98% hiilidioksidipäästöistä aiheuttavat fossiilisista polttoaineista. Kuva 13 havainnollistaa niiden osuutta maailman energiankulutuksesta vuonna 2014. Uusiutuvan tuotannon energian osuus on yhteensä 19 % koko maailman energiankulutuksesta. Tästä 10 % on modernia uusiutuvaa energiaa ja 9 % perinteistä biomassaa. Moderni uusiutuvan energiaa sisältää 3,8 % vesivoimaa, 0,8% biopolttoaineita ja 5,4 % muita energialähteitä, kuten biomassaa, aurinkoenergiaa, geotermistä lämpöä, ja tuulisähköä. (Milano, Ong, Masjuki, Chong, Lam, Loh & Vellayan 2015, 182.)



KUVA 9. Maailman energiankulutus vuonna 2014 (Milano, Ong, Masjuki, Chong, Lam, Loh & Vellayan 2015, 182)

Uusiutuvalla energialla on tärkeä rooli energiaturvallisudessa ja ympäristöasiassa sekä maailmanlaajuisella että kansallisella tasolla. Uusiutuva energia tarjoaa mahdollisuuden puhtaampaan sähköntuotantoon ja ilmakehän kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. On olemassa vaihtoehtoisia energialähteitä, kuten aurinkoenergiaa, tuulivoimaa, bioenergiaa, maa-

lämpöä, vesivoiman ja merienergia, joista monilla on vähemmän negatiivisia ympäristövaikutuksia kuin fossiilisten polttoaineiden käytöllä. (Milano, Ong, Masjuki, Chong, Lam, Loh & Velayan 2015, 182)

Nykyinen maailmanlaajuinen energiakriisi on herättänyt maailmassa suurta huomiota. Uusiutuvat energialähteet ovat kriittisiä maailmanlaajuinen energiakysymyksen ratkaisemisen kannalta. Biopolttoaineet ovat erinomainen esimerkki uusiutuvasta energiasta, joka voidaan tuottaa käyttämällä biologisia organismeja ja joka vähentää riippuvuutta fossiilisista polttoaineista. Fotosynteesillä voidaan lisätä kasvien ja levien sitoman ilmakehän hiilidioksidin määrää suuressa mittakaavassa. Siksi biomassapohjaiset biopolttoaineet ovat polttoaineita, jotka perustuvat fotosynteesiin. Ne voidaan olla ympäristöystävällisen ja kustannustehokkaan energiantuotannon avaintekijä. (Radionava, Poudyal, Tiwari, Voloshin, Zharmukhamedov, Nam, Zayadan, Bruce, Hou & Allakhverdiev 2016, 2.)

8 HAASTEET JA MAHDOLLISUUDET

8.1 Leväpohjaisten tuotteiden asema biopolttoaineiden joukossa

Fossiiliset polttoaineet ovat nykyisin tärkein energialähde maailmassa. Ne tyydyttävät energian lisääntyvää globaalia kysyntää, mutta loppujen lopuksi tämä on kestämaton ratkaisu. Nimittäin tämä johtaa heikentyviin luonnon resursseihin sekä lisää edelleen hiilidioksidipäästöjä. Kaikki biomassapohjaiset polttoaineet ovat peräisin materiaaleista, jotka ovat uusiutuvia, myrkytön ja biologisesti hajoavia. Kolmannen sukupolven biopolttoaineista puhuttaessa leväpohjaiset tuotteet ovat lupaavia seuraavista syistä: Levät voidaan kasvattaa nopeasti. Kaikki tuotetut materiaalit ovat myrkyttömiä ja biohajoavia. Levien kasvu on mahdollistaa kasvihuonekaasupäästöjen lisääntyvää sitoutumista. Ja lisäksi, koska levien kasvatusta ei vaadi peltopinta-alaa, niitä voidaan kasvattaa ilman kilpailua ruoan tai rehun viljelyyn käytettävästä peltoalasta. Tämän vuoksi niitä kutsutaan ”kolmannen sukupolven” biopolttoaineiksi. (Alaswad, Dassisti, Prescott & Olabi 2015, 1446.)

Tärkeimmät perusteet biopolttoaineiden tuotantoon levälajien valinnassa ovat tavallisesti seuraavia: 1) Lajia on oltava saatavissa suurina määrinä maan eri osissa, jotta tuotannon vaatimukset voidaan täyttää; 2) Lajin pitäisi olla saatavilla ympäri vuoden tai suurimman osan vuotta; 3) Kestävä viljely voidaan suorittaa ilman ympäristöön kohdentuvia haitallisia vaikutuksia. Biopolttoaineiden tuotantolajien valintakriteereistä riippuen, levät ovat hyviä tai erittäin hyviä biopolttoaineen raaka-aineita. Kaikkien merilevälajien rasvapitoisuus on hyvin pieni verrattuna mikroleviin; Se on vähemmän kuin 5 % kuivapainosta. Merilevälajeissa (makrolevissä) hiilihydraatteja ja proteiinia on suurempia määriä. Levien ominaisuuksien perusteella, niitä käytetään joko biokaasun tuotantoon tai biodieselin tuotantoon (mikrolevät). (Alaswad, Dassisti, Prescott & Olabi 2015, 1450.)

8.2 Leväpohjaisten polttoaineiden haasteet

Leväpohjaisten polttoaineiden hyödyntämisessä on myös paljon haasteita. Kehitettäessä uusia biopolttoaineita pitää huomioida, että niiden laatu on samanlainen tai parempia kuin fossiilisella dieselillä, jotta ne sopivat käytettäväksi nykyisiin moottoreihin ilman muutoksia. Leväöljystä

valmistettava biodiesel, yleisesti FAME–biodieseliä, valmistetaan emäskatalysoidulla valmistusmenetelmällä eli vaihtoesteröinti-prosessilla. Tällöin täytyy kiinnittää huomiota katalysointioptimointiin. Myös tässä dieselpolttoaineessa on ongelmia, jotka aiheuttavat moottorissa ja polttoainejärjestelmissä karstoittumista ja suuttimien tukkeutumista. Jos leväöljystä voitaisiin tuottaa dieselpolttoainetta vetykäsittelyllä tai Fischer-Tropsch kaasutusmenetelmällä, siitä voitaisiin saada laadukkaampi tuote kuin mitä fossiilinen diesel on. Fossiiliseen dieseliin verrattuna biodieselin lämpöarvo on litraa kohden suurempi ja se palaminen tehokkaampaa. Kolmannen sukupolven biopolttoaineita tullaan käyttämään tulevaisuudessa todennäköisesti enemmän biopolttoaineiden käytön lisääntyessä. (Korpi 2016, 28.)

Leväkasvatus biopolttoainetuotantoa varten vaatii suuria investointeja, eikä se ole vielä energiatehokasta. Nykyisen prosessin kalleimpia vaiheita ovat levämassan keräys ja öljyn erotus soluista. Tähän vaiheeseen tarvitaan uusia teknisiä keksintöä. Taloudellisesta näkökulmasta katsottuna kannattavuus vaatii koko leväbiomassan hyödyntämistä. Levän sisältämät öljyt ja proteiinit pitää erottaa soluista tehokkaasti ja samalla jäljelle jäävä biomassa mädättää mahdollisesti biokaasuksi. Biopolttoaineiden tuotannon kannattavuus todennäköisesti riippuu osittain myös fossiilisen öljyn hinnasta ja mahdollisista biopolttoaineille kohdennettavista verohelpotuksista. (Korpi 2016, 28.)

Leväpohjaisen energian tuotantoprosesseissa pitää huomioida monia erityisiä seikkoja ja kasvatusteknologiaan liittyviä haasteita. Taulukossa 3 esitellään näitä seikkoja ja haasteista.

TAULUKKO 3. Haasteita leväenergian tuotantoprosessissa (Rimppi 2009,40)

Haasteet

- ❖ Fotobioreaktorien suunnittelu
 - ❖ Pääoma- ja käyttökustannukset
 - ❖ Lämpötilan hallinta
 - ❖ Valaistusolosuhteiden hallinta ja valon absorptio levään
 - ❖ Vesikemia, suolainen vesi ja altaista haihtuvan veden korvaaminen
 - ❖ Hiilidioksidin saatavuus ja kuljetus
 - ❖ Vaadittavat ravinteet, niiden hankinta ja syöttö kasvatusjärjestelmään
 - ❖ Lajit, joilla viljely aloitetaan ja mahdollinen geenimuuntelu
 - ❖ Kasvunopeus
 - ❖ Öljypitoisuus
 - ❖ Kilpailevien lajien vastustuskyky
 - ❖ Ympäristövaikutukset ja niiden hallinta
-

8.3 Leväpohjaisten polttoaineiden mahdollisuudet

Levillä on monia ominaisuuksia, joiden perusteella ne sopivat biopolttoaineiden tuotantoon. Leviä voidaan kasvattaa nopeasti ja niiden kasvu sitoo ilman hiilidioksidia. Leväviljely voidaan yhdistää jäteveden käsittelyyn puhdistamaan ja käyttämään siinä virtaavaa ravinteikasta vettä. (Rimppi 2009, 39.)

Levän hyödyntämiseen liittyy paljon tulevaisuuden teknologiaa, jota ei vielä pystytä tehokkaasti soveltamaan käytännössä. Esimerkiksi kehitystyötä on vielä tehtävä teollisuuden hiilidioksidipäästöjen talteenottoon ja varastointiin liittyen. Ennen kuin levän energiakäyttö voidaan aloittaa jossain päin maailmaa, energian tuottamiseen tarvitaan vielä paljon yleistä tutkimustyötä. Jokaisen maan tilanne on erilainen ja siksi haasteet ovat erilaisia. Tavallisesti leväbiomassan tuotantolaitokset sijaitsevat lämpimässä ilmastossa. Suomessa ei vielä ole suuren mittakaavan leväbiomassan tuotantoa. Levänkasvatus Suomessa vaatii huomioimaan ilmasto-olosuhteet, kuten lämpötilan vaihtelut ja valon määrän. Jos levää viljellään ulkona, viljelyteknologiaan kohdistuu erityisiä haasteita. Sisätiloissa levän viljelyn haittapuolena taas on korkeat valaistuskustannukset. Viljeltävä levälaji pitää valita ominaisuuksiensa perusteella, jotta ne voivat sopia valitseviin olosuhteisiin. (Rimppi 2009, 40–41.)

Ympäri maailmassa uskotaan levädieselin potentiaaliin, mutta toistaiseksi Suomessa on hyvin vähän kasviperäisistä aineksista valmistettavaa biodieselin tuotantoa. Suomen levätuotannolle epäsuotuisien luonnonolosuhteiden vuoksi pitää tarkastella, miten Suomessa voitaisiin luoda levätuotannon mahdollistavat puitteet. (Rimppi 2009, 42)

9 PÄÄTELMÄT

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin erilaisia leviä makroleviä ja mikroleviä. Työssä esiteltiin myös erilaisia tekniikoita tehdä biopolttoaineita, kuten leväpohjaista biokaasua ja biodieseliä. Makrolevät ja mikrolevät ja niiden ominaisuudet kuvattiin ja hahmoteltiin niiden viljelytekniikoita. Merilevien anaerobista mädätystä tutkittiin huomioiden siihen ja biokaasutuotannon prosessiin vaikuttavia tekijöitä. Työssä selitettiin biodieselin mikroleväpohjaisessa tuotannossa käytettävää transesterointiprosessia. Tehtiin yhteenveto merilevästä ja mikrolevästä biokaasun lähteinä eritellen niiden etuja ja haittoja sekä vastaavasti biodieselin tuotannon osalta ja myös muihin biomassalähteisiin verrattuna.

Leväpohjaiset biopolttoaineet ovat puhdasta, kestäväää ja uusiutuvaa energiaa, mutta ne ovat edelleen kalliita verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin. Jotta ne voisivat kilpailla tai jopa korvata fossiilisia polttoaineita, tulisi suunnitella kohtuullisin kustannuksin toteutettavaa suuren mittakaavan tuotantoa. Tarvitaan innovatiivisia tekniikoita kehittämään kohtuullisin kustannuksin tapahtuvaa levien laajamittaista ja kokonaisvaltaista viljelyä. Ravinteilla ja viljelyolosuhteilla voidaan vaikuttaa levien tuottavuuteen ja niiden koostumukseen. Lisäksi esikäsittelytekniikoiden kehitys on tärkeää, jotta voidaan lisätä biopolttoaineiden tuottoa ja lyhentää konversion sykliä. Kuitenkin esikäsittely parametrit luettava huolellisesti niin, että positiivinen tasapaino saavutetaan. Lisäksi geenitekniikalla uskotaan olevan tärkeä rooli lipidien ja hiilihydraattien tuotannon merkittävässä lisäämisessä.

Tässä opinnäytetyössä esiteltiin myös uusiutuvat energialähteet hyötyjä, biopolttoaineiden haasteita ja mahdollisuuksia. Biopolttoaineet ovat uusiutuvat energialähteitä ja ne voivat hidastaa kasvihuoneilmiötä. Vaikka levien biopolttoaineilla on suuria mahdollisuuksia korvata fossiilisia polttoaineita, ne eivät vielä kykene vastaamaan suuren mittakaavan kaupalliseen tuotantoon haasteisiin.

LÄHTEET

Alaswad, A., Dassisti, M., Prescott, T. & Olabi, G. 2015. Technologies and developments of third generation biofuel production. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier Ltd. ScienceDirect. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115007054>. Viitattu 27.3.2017.

Alam, F., Mobin, S. & Chowdhury, H. 2015. Third generation biofuel from Algae. 6th BSME International Conference on Thermal Engineering. Elsevier Ltd. ScienceDirect. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815008656>. Viitattu 4.4.2017.

BIODIESEL. 2014. Bioste Oy. Saatavissa: <http://bioste.fi/bioenergia/biodiesel/>. Viitattu 29.3.2017.

Biodiesel. 2009. AutoWiki.fi. Saatavissa: <http://www.autowiki.fi/index.php/Biodiesel>. Viitattu 30.3.2017.

Biofuels and Greenhouse Gas Reductions. 2007. eXtension. Saatavissa: <http://articles.extension.org/pages/27533/biofuels-and-greenhouse-gas-reductions>. Viitattu 4.4.2015.

Chisti, Y. 2007. Biodiesel from microalgae. Research review paper. Elsevier Inc. ScienceDirect. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975007000262>. Viitattu 4.4.2017.

Firoz, A., Saleh M. & Harun C. 2015. Third Generation Biofuel from Algae. Elsevier Ltd. Saatavissa: http://ac.els-cdn.com/S1877705815008656/1-s2.0-S1877705815008656-main.pdf?_tid=31991656-07bf-11e7-9b19-00000aab0f02&acdnat=1489390521_013335d0699d7dc399a9a1627730b6de. Viitattu 13.3.2017.

Juva, A., Aukia, J. P. & Uusikylä, M. 2011. Uusiutuvan dieselin kehityspolku. Tekes. Saatavissa: https://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/biodiesel_285_2011.pdf. Viitattu 31.3.2017.

Korpi, J. 2016. Mikrolevien kasvatus biopolttoaineiden tuotantoon. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Saatavissa: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/113205/Korpi_Joonas.pdf?sequence=1. Viitattu 10.3.2017.

KASVIHUONEILMIÖ. 2017. Ilmatieteen laitos. Saatavissa: <http://space.fmi.fi/oppimateriaali/envi-sat/otsoni/kasvihuone.html>. Viitattu 5.4.2017.

Laineenoja, J. 2013. Ensimmäisen sukupolven liikennebiopolttoaineiden valmistus. Tampere. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/61438/Laineenoja%20Jonne.pdf?sequence=1>. Viitattu 10.3.2017.

Lunkka-Hytönen, M., Lohtander-Buckbee, K. ja Ruohonen-Lehto, M. 2013. Biotekniikan mahdollisuuksia ja sovelluksia. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: http://www.btnk.fi/files/pdf/Julkaisu/BTNK_levaselvitys.pdf. Viitattu 16.3.2017.

Milano, J., Ong, H. C., Masijuki, H.H., Chong, W.T., Lam, M.K., Loh, P.K. & Vellayan, V. 2015. Microalgae biofuels as an alternative to fossil fuel for power generation. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier Ltd. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115015336>. Viitattu 6.4.2017.

Rodionova, M.V., Poudyal, R.S., Tiwari, I., Voloshin, R.A., Zharmukhamedov, S.K., Nam, H.G., Zayadan, B.K., Bruce, B.D., Hou, H.J.M. & Allakhverdiev, S.I. 2016. Korea. Saatavissa: http://ac.els-cdn.com/S0360319916334139/1-s2.0-S0360319916334139-main.pdf?_tid=71b1fd70-07c4-11e7-9116-00000aab0f6c&acdnat=1489392776_ff6b2c73410805c4e6f9a66d41fef9d1. Viitattu 13.3.2017.

Rimppi, H. 2009. Leväbiomassan tuotanto energiataroituksiin: teknologian nykytila, haasteet ja mahdollisuudet suomen olosuhteissa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Saatavissa: <https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/43800/nbnfi-fe200902101171.pdf>. Viitattu 16. 3. 2017.