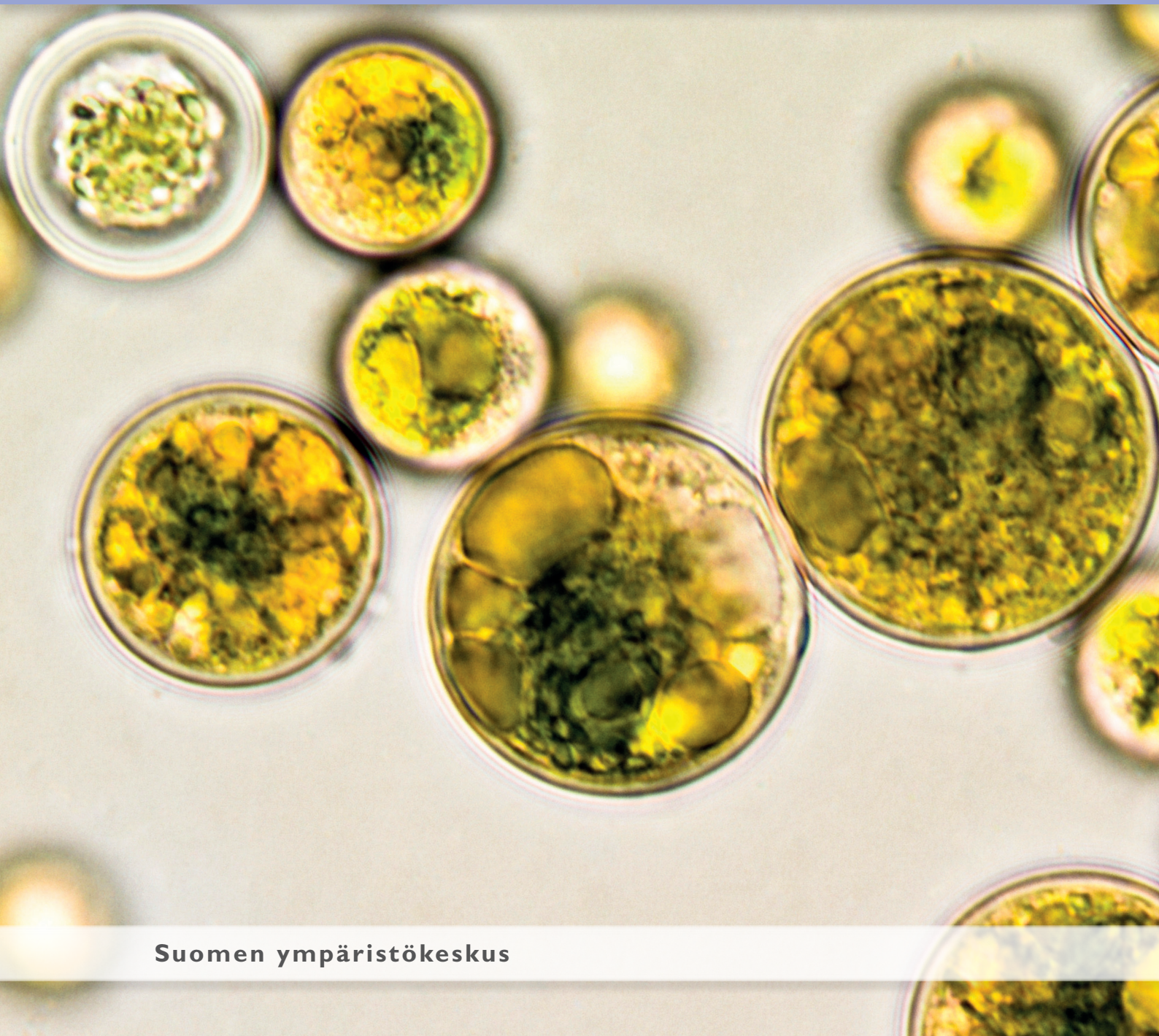


# Levät ja biotalous biotekniikan näkökulmasta

**Maria Lunkka-Hytönen, Katileeena Lohtander-Buckbee ja  
Marja Ruohonen-Lehto**





# Levät ja biotalous biotekniikan näkökulmasta

**Maria Lunkka-Hytönen, Katileena Lohtander-Buckbee ja  
Marja Ruohonen-Lehto**



SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTTEJA 4 | 2016

Suomen ympäristökeskus

Luontoympäristökeskus

Taitto: Maria Lunkka-Hytönen

Kannen kuva: Viherleväsoluja, joissa öljypisarointia sisällä (Hans Wolkers).

Julkaisu on saatavana vain internetistä: [www.syke.fi/julkaisut](http://www.syke.fi/julkaisut) | [helda.helsinki.fi/syke](http://helda.helsinki.fi/syke)

ISBN 978-952-11-4551-3 (PDF)

ISSN 1796-1726 (verkkojulkaisu)

## ALKUSANAT

Maailma tarvitsee yhä enemmän energiaa. Teollisen vallankumouksen jälkeen energiantuotanto on perustunut pääasiassa uusiutumattomiin fossiilisiin polttoaineisiin (maaöljy, kivihiili, maakaasu, turve) ja toisen maailmansodan jälkeen myös ydinvoimaan. Väestönkasvu, kehitysmaiden teollistuminen, maaöljyn hinnan vaihtelu ja uhkaava loppuminen, mutta ennen kaikkea ilmakehän kohoava hiilidioksidipitoisuus ja sen aiheuttama ilmastonmuutos pakottavat meidät etsimään vaihtoehtoisia, taloudellisesti kannattavia, uusiutuvia ja kestäviä energiantuotantotapoja.

Biotalous tarjoaa vaihtoehdon fossiilisiin polttoaineisiin perustuvalla taloudella. Biotalous perustuu kestävän talouden toimintatapaan ja siinä hyödynnetään uusiutuvia, luonnosta saatavia raaka-aineita kokonaisvaltaisesti, etenkin jalostamalla näitä raaka-aineita energiaksi ja polttoaineiksi. Kiinnostus biotaloutta kohtaan on kasvanut voimakkaasti maailmaa uhkaavan öljypulan, öljyn ja sähkön hinnanvaihtelun sekä ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi asetettujen päästövähennystavoitteiden takia. Biotalous on käsitteenä laaja ja sillä voidaan viitata moniin hyvin eri tasoilla toimiviin osa-alueisiin, joiden mm. työllistymiseen ja teollisuusalojen uudistumiseen liittyvät vaikutukset ovat hyvin erilaisia.

Biotalous kannalta merkittäviä uusiutuvia energialähteitä ovat vesivoima (virrat, aallot, vuorovesi), aurinkovoima (lämpö- ja valovoima), tuulivoima, geoterminen energia sekä erilaiset energiabiomassat. Aurinko on maapallon merkittävin energianlähde ja mahdollisesti ainoa kestävä keino tuottaa energiaa ihmiskunnalle. Aurinkoenergiaa voidaan muuttaa sähköksi aurinkokennojen tai polttoaineiksi yhteyttämisreaktion avulla. Yhteyttämisessä auringon energia sitoutuu eloperäiseen aineeseen, biomassaan, jota hyödyntämällä voidaan tuottaa sähkö- ja lämmitysenergiaa sekä erilaisia polttoaineita. Tässä selvityksessä biomassatermiä käytetään nimenomaan uusiutuvista, kestäväällä tavalla luonnosta saatavista raaka-aineista puhuttaessa, vaikka määritelmä pitää laajasti ottaen sisällään myös fossiiliset uusiutumattomat polttoaineet.

Biomassan tuotanto polttoaineiksi painottuu tällä hetkellä ns. energiakasvien viljelyyn. Ollakseen kestävää energiabiomassan tuotannon ei tulisi kuitenkaan perustua ravinnoksi kelpaaviin kasveihin tai viedä tilaa niiden viljelyltä. Levien kasvattaminen energiabiomassaksi on eräs merkittävistä biotalouden tulevaisuudennäkymistä. Levät tarvitsevat kasvaakseen auringon valoa, vettä, hiilidioksidia sekä ravinteita. Leviä voidaan kasvattaa ruoantuotantoon kelpaamattomalla maalla ja ne kasvavat nopeammin kuin maalla elävät kasvit. Lisäksi levät voivat tuottaa arvokkaita ja kaupallistettavia sivutuotteita kasvatuksen yhteydessä.

Varsinainen tutkimustyö levien käytöstä energiabiomassana aloitettiin Yhdysvalloissa 1970-luvun lopulla. 2000-luvulle tultaessa öljyn korkea hinta yhdessä molekyylibiologian, bioteknologian ja prosesitekniiikan kehitysaskelien kanssa mahdollistivat kaupalliset näkymät ja tutkimustyöhön panostetaan taas ympäri maailmaa. Vaikka öljynhinnan lasku 2014 saattaakin hidastaa tutkimustyötä, se ei toivottavasti viivästytä tehokkaan leväenergian käyttöönottoa. Levien ominaisuuksia voidaan mahdollisesti parantaa geeniteknologian keinoin, mutta tähän mennessä suurin osa leväkasvatuksesta on tapahtunut luonnonkannoista kartoitetuilla levillä. Leviä ei vielä kasvateta biopolttaineiksi teollisessa mittakaavassa, vaan suurin osa kasvatuksesta tapahtuu edelleen tutkimus- ja kehitystyönä laboratorioolosuhteissa. Muutamia suuren mittakaavan pilottihankkeita ja demonstraatioita on testausvaiheessa ja useita suunnitteilla pääasiassa Yhdysvalloissa ja Euroopassa, mutta niiden kaupallisesta kannattavuudesta ei ole vielä luotettavaa tietoa. Tässä selvityksessä on tarkoitus kartoittaa levätutkimuksen kansallista ja kansainvälistä tilannetta ja toimintaympäristöä.

Haluamme kiittää ympäristöministeriötä projektirahoituksesta ja Biotekniikan neuvottelukunnan ympäristö- ja biotalousryhmää ohjauksesta ja hyvistä kommentteista. Lisäksi haluamme kiittää Ilona Joensuuta ja Jukka Seppälää SYKEstä sekä Liisa Nohynekia ja Anneli Ritalaa Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:stä arvokkaista kommentteista.

Tämä raportti on jatkoa Biotekniikan neuvottelukunnan vuonna 2013 julkaisemalle ”Biotekniikan neuvottelukunta, Biotekniikan mahdollisuuksia ja sovelluksia – tapaustutkimus levistä” -lehtiselle ja se sisältää osin samoja elementtejä.

Helsingissä 2016

Maria Lunkka-Hytönen, Katileena Lohtander-Buckbee, Marja Ruohonen-Lehto



## Sisällys

ALKUSANAT.....	3
<b>1. Biotalous uutena suuntana.....</b>	<b>7</b>
1.1 Euroopan unionin energiastrategia .....	7
1.2 Biotalous Suomessa.....	8
1.2.1 Bioteknologia osana biotaloutta .....	9
<b>2. Energiantuotannon ja -kulutuksen haasteita.....</b>	<b>10</b>
2.1 Liikenteen polttoaineet .....	11
2.2 Miksi biopolttoaineita? .....	13
2.2.1 Energiaturva.....	13
<b>3. Biopolttoaineet .....</b>	<b>15</b>
3.1 Raaka-ainevaihtoehdot .....	15
3.2 Lopputuotevaihtoehdot.....	16
3.2.1 Biodiesel .....	16
3.2.2 Bioetanoli .....	17
3.2.3 Biovety .....	17
3.2.4 Biokaasu .....	17
<b>4. Levä biopolttoaineena .....</b>	<b>18</b>
4.1 Levätutkimuksen historiaa .....	18
4.2 Leväbiomassan mahdollisuudet – miksi levä? .....	19
4.3 Levistä saatavat biopolttoaineet.....	21
4.3.1 Leväbiodiesel.....	21
4.3.2 Leväbioetanoli .....	21
4.3.3 Leväbiovety .....	22
4.3.4 Leväbiokaasu .....	22
4.4 Levän geenitekninen muokkaus .....	22
4.5 Leväkasvatuksen sivutuotteet.....	23
<b>5. Leväbiologiaa .....</b>	<b>25</b>
5.1 Makrolevät.....	25
5.2 Mikrolevät ja syanobakteerit .....	26
<b>6. Leväbiomassan kasvatus.....</b>	<b>29</b>
6.1 Leväkasvatusmenetelmät.....	29
6.1.1 Levien kasvatus avoimissa järjestelmissä.....	31
6.1.2 Levien kasvatus suljetuissa järjestelmissä.....	31
6.2 Leväbiomassan keruu ja vedenpoisto .....	32
6.3 Leväöljyn erotus ja prosessointi .....	32
6.4 Leväkasvatuksen maantieteellinen sijoittaminen .....	33
<b>7. Leväbiopolttoainetutkimuksen nykytilanne .....</b>	<b>34</b>

7.1 Levätutkimus Euroopan ulkopuolella.....	34
7.1.1 Mikrolevätutkimushankkeita.....	35
7.1.2 Syanobakteeritutkimushankkeita.....	36
7.1.3 Makrolevätutkimushankkeita.....	37
7.2 Levätutkimus Euroopassa.....	37
7.2.1 Eurooppalaisia levätutkimushankkeita.....	38
7.3 Levätutkimus Suomessa.....	40
<b>8. Leväkasvatuksen tulevaisuus.....</b>	<b>42</b>
8.1 Levätutkimuksen kaupallistaminen.....	42
8.1.1 Kustannukset.....	43
8.1.2 Elinkaariarviointi (LCA).....	43
8.1.3 Biojalostamot.....	43
8.2 Levätutkimuksen tulevaisuudennäkymiä.....	44
8.2.1 Bioturvallisuus.....	45
8.2.2 Leväbiopolttoainetuotannon tulevaisuus Euroopassa ja Suomessa.....	45
LÄHTEET.....	48



# 1. Biotalous uutena suuntana

Uusiutumattomien luonnonvarojen käytöstä johtuva ympäristön saastuminen alkoi 1970-luvulla rajoittaa taloudellista kasvua. Myöhemmin talouskasvu on hidastunut myös itse uusiutumattomien luonnonvarojen ehtymisen takia. Näiden myötä ympäristönsuojelun ja puhtaan energian periaatteet ovat pikkuhiljaa siirtyneet osaksi kansallista ja kansainvälistä päätöksentekoa. Yleinen poliittinen ilmapiiri on muuttumassa ja hallitukset suhtautuvat entistä tiukemmin ilmastomuutokseen ja siihen liittyviin mahdollisiin ympäristöuhkiin. (Gao ym. 2012)

Vuonna 2008 alkaneen talouskriisin elvytyspolitiikassa otettiin käyttöön "vihreän" elvytyksen termi. Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestö OECD julkaisi vuonna 2011 vihreän kasvun strategiaraportin, jossa painotettiin talouskasvun edistämistä turvaamalla luonnonvarojen ja ekosysteemipalvelujen saatavuus myös tulevaisuudessa. Vihreän kasvun näkökulmasta tämä tapahtuu tukemalla innovaatioita ja investointeja, jotka luovat uusia taloudellisia mahdollisuuksia. (OECD raportti 2011)

Vähähiilisen yhteiskunnan tulevaisuus rakennetaan mm. biotalouden avulla. Siirtyminen biotalouteen vaatii uusia innovaatioita ja kokonaisvaltaista teknologista siirtymää tehokkaisiin matalahiilisiin ratkaisuihin. Tällaisen teknologian kehittäminen vaatii kuitenkin resursseja, joiden saatavuus on epävarmaa etenkin nykyisessä taloudellisessa tilanteessa (Suomen biotalousstrategia 2014).

## 1.1 Euroopan unionin energiastrategia

IPCC:n (Intergovernmental panel on climate change) raportin mukaan ilmakehän hiilidioksidipitoisuudet ovat hälyttävällä tasolla (IPCC raportti 2007). Eri maiden hallitukset ovat päätyneet esittämään hiilidioksidipäästöille rajoituksia. Euroopan Unionissa (EU) päädyttiin rajoittamaan hiilidioksidipäästöjä 10-20% vuoteen 2020 mennessä. Tämän tyyppiset rajoitukset eivät kuitenkaan todennäköisesti riitä pitämään ilmakehän hiilidioksiditasoja turvallisen vyöhykkeen sisällä (alle 450 ppm CO<sub>2</sub>-e). Ilmastomuutoksen uutisoinneissa onkin viime aikoina alettu puhua ilmastomuutokseen sopeutumisesta sen torjumisen asemesta.

EU:n vuonna 2008 hyväksytty ilmasto- ja energiapaketti velvoittaa lisäämään uusiutuvien energialähteiden osuutta kaikista energialähteistä EU:ssa 20%:iin. Suomen tulee lisätä uusiutuvien energialähteiden osuus 38%:iin nykyisestä 28,5%:sta. Lisäksi ilmasto- ja energiapaketti velvoittaa lisäämään liikenteen biopolttoaineiden osuuden 10%:iin jokaisessa jäsenmaassa. (EU:n ilmasto- ja energiapaketti 2008)

EU:n vuoden 2010 julkaiseman energiastrategian, Energia 2020, tavoitteena on vähentää energiankulutusta, edistää kilpailua ja turvata energiahuolto, ottaen huomioon ilmastomuutoksen torjuminen (Euroopan komission raportti 2010). Taloustaantumien päätyttyä energiankysynnän odotetaan lisääntyvän nopeasti, joten suunnitelman avulla pyritään estämään energiapula ja edistämään jäsenmaiden talouskasvua. Euroopan komission vuonna 2011 julkaiseman vuoteen 2050 ulottuvan, energiaa koskevan pitkän tähtäimen etenemissuunnitelman mukaan kasvihuonepäästöjä tullaan leikkaamaan 80-95% vuoden 1990 tasosta (Euroopan komission raportti 2011).

EU:n komissio on myös asettanut vuoteen 2030 ulottuviksi politiikan puitteiden keskeisiksi tavoitteiksi mm. sen, että uusiutuvan energian osuus vuonna 2030 tulee olla vähintään 27% kokonaiskäytöstä. EU:n tavoitetta ei kuitenkaan muunneta kansallisiksi tavoitteiksi EU:n lainsäädännön kautta. Näin jäsenvaltioille jää joustavuutta muuntaa energiajärjestelmää kansallisten mieltymysten ja olosuhteiden mukaisesti (Euroopan komission tiedonanto 2014).

## 1.2 Biotalous Suomessa

Biotalous on uusiutuviin luonnonvaroihin perustuva osa vihreän kasvun mallia. Sillä ei ole vakiintunutta määritelmää, vaan määritelmä riippuu näkökulmasta. Sitran (Suomen itsenäisyyden juhlarahasto) mukaan sen voidaan katsoa kuvaavan tietyn tyyppistä tuotantoa, jonka avainsanoihin kuuluvat kestävyys, uusiutuvuus ja luonnonmukaisuus. Biotalous hyödynnetään biologisia prosesseja ja luonnosta saatavaa materiaalia ottaen huomioon tiettyjen luonnonvarojen ennakoitu niukkuus ja ekosysteemien toimivuus. Tuotantonäkökulmaan kuuluvat paitsi uusiutuvia luonnonvaroja tuottava, käyttävä, jalostava ja markkinoiva tuotanto, myös näin valmistettujen tuotteiden kulutus. Biotalous voidaan nähdä myös strategiana tai jopa uutena talous- ja yhteiskuntajärjestyksenä, jonka kautta haetaan yhteiskuntaan pitkäjänteisiä ongelmalähtöisiä ratkaisuja ja haastetaan totuttuja käytäntöjä. (Sitra.fi, Biotalous)

Biotalous on myös tulevaisuuden liiketoimiala, jossa liiketoimi voidaan nähdä suppeasti biopolttoainenäkökulmasta pelkäksi biomassan tuotannoksi tai sen voidaan katsoa kuvaavan vastakohtaa koko fossiilisiin polttoaineisiin perustuvalla taloudella. Biotalous visio vaatii poliittista tahtoa ja alan toimijoilta rohkeutta sekä ennakkoluulottomuutta. Biomassojen liiketoimintamahdollisuuksiin ei ole Sitran mukaan vielä tartuttu Suomessa laajamittaisesti. Suomi on perinteisesti metsäteollisuuteen painottunut maa ja puu onkin Suomen merkittävin uusiutuva luonnonvara. Metsän ja puubiomassan mahdollisuuksia tulevaisuuden biotaloudessa ollaan vasta kartoittamassa. (TEM raportti 2011.) Esimerkiksi sellu- ja paperiteollisuuden suodosvesiä voitaisiin käyttää hyödyksi tulevaisuudessa myös levän kasvatuksessa (**Tietoruutu 1**).

Puu, viljat ja turve muodostavat tällä hetkellä Suomen tärkeimmät biomassat. Suomen energiaomavaraisuudesta turpeenpolton osuus on viidennes. Turpeen polttoainekäyttö ja sen luokittelu ovat herättäneet Suomessa ja muualla maailmassa paljon keskustelua ja erimielisyyttä. Turpeen voidaan ajatella olevan erittäin hitaasti (noin 10 000 vuoden aikajaksolla) uusiutuva luonnonvara mutta esim. EU ja IPCC luokittelevat turpeen fossiiliseksi polttoaineeksi (IPCC raportti 2007). Maailmalla useat maat ovat päätyneet turpeenpolton lopettamiseen. On tärkeää arvioida millä aikataululla korvaavia energianlähteitä saadaan kaupalliseen tuotantoon, ja tämän arvion perusteella miettiä realistisia keinoja päästövähennystavoitteiden ja ennen kaikkea ilmastonmuutoksen torjumisen tavoitteiden saavuttamiseksi kansallisesti.

Epävarmuus maailmantaloudessa ja -politiikassa ohjaa omalta osaltaan maita tutkimaan ja kehittämään omia kansallisia luonnonvarojaan entistä kestävämmällä tavalla raaka-aine- ja energiatuotannon turvaamiseksi. Jokainen maa on erilainen, omaten erilaiset luonnonvarat ja erilaiset vahvuudet niiden kestäväan hyötykäyttöön, mikä tulee ottaa huomioon myös analysoitaessa tulevaisuuden energiaratkaisuja. Kukin maa tarkastelee siis biotaloutta omasta näkökulmastaan. Suomessa on runsaasti uusiutuvia luonnonvaroja ja onkin tärkeää miettiä missä määrin kansainvälisten biotaloustrendien (esim. aurinko-, tuulivoima, vetytalous) annetaan määrätä kansallisia ratkaisuja tehtäessä. Biotalous tarjoaa kilpailuedun maalle, joka tunnistaa ja ottaa käyttöön omat vahvuutensa ja on valmis panostamaan pitkäjänteiseen tutkimus- ja kehitystyöhön. (TEM raportti 2011)

#### **Tietoruutu 1:**

##### **Sellu- ja paperiteollisuuden suodosvedet hyödyksi levän kasvatuksessa**

Suomalainen perinteinen metsäteollisuus tarvitsee vaihtoehtoisia tuotteita, teknologioita ja toimialoja pysyäkseen kilpailukykyisenä käynnissä olevassa murroksessa. Eräs uusi, suurta kaupallista potentiaalia omaava idea on hyödyntää sellu- ja paperiteollisuuden lämpimiä suodosvesiä levän kasvatuksessa. Cursor Oy:n asiantuntijoiden mukaan teollisuuden hukkalämpö ja vesien ravinteet voisivat toimia levien kasvualustana. Olisi tärkeää selvittää monipuolisesti uusia ideoita, materiaaleja, keinoja ja työkaluja, joilla kotimaisen metsä- ja paperiteollisuuden kilpailukykyä voitaisiin kasvattaa. Asiantuntijoiden mukaan levästä voitaisiin ensin myydä elintarviketeollisuudelle funktionaalisten elintarvikkeiden tarvitsemia lisäaineita, kuten esimerkiksi omega-3-rasvahappoja. Tämän jälkeen levästä voitaisiin tuottaa biokaasua yhdessä jätteiden ja sivujakeiden kanssa. Jäljelle jäävää kiintoainetta olisi mahdollista käyttää lannoitteena. Lisäksi prosessi hyödyntäisi tuhkaa ja sitoisi hiilidioksidia avaten mahdollisuuden myös päästökauppaan. (Biotalouskonversion uudet yhteistyö- ja liiketoimintamahdollisuudet, puupohjaiset materiaalit ja prosessit -seminaari 2012)

### **1.2.1 Bioteknologia osana biotaloutta**

Biotaloutteen kuuluu myös bioteknologia biomassojen muokkauksen työkaluna. Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) Bioteknologia 2020 -selvityksessä vuodelta 2009 kuvataan kuinka bioteknologiaa voidaan parhaiten hyödyntää tulevaisuudessa sekä kotimaassa että kansainvälisillä markkinoilla. Selvityksen mukaan vuoteen 2020 mennessä tavoitteena olisi hyödyntää geeniteknologiaa uusien biomassojen tuotannossa. Tällaisiksi uusiksi biomassoiksi mainitaan nopeasti kasvavat puut ja kasvit, jätteet ja nopeasti kasvavat levät. Vuoden 2020 tavoitteisiin luetaan myös ensimmäiset suuren mittakaavan leväntuotantolaitokset. Selvityksen mukaan Suomessa on panostettava levien energiakäytön hyödyntämiseen tarvittavan teknologian kehittämiseen. (TEM raportti 2009)

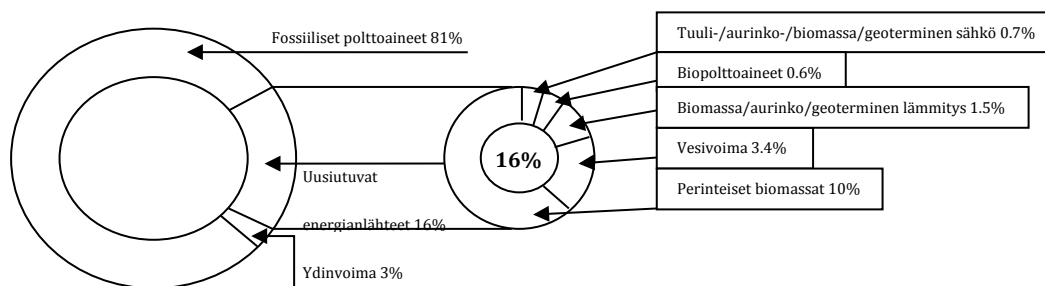
Geenitekniikan avulla voidaan kehittää nopeammin kasvavia puita ja kasveja. Sen avulla voidaan myös kehittää tehokkaammin jätteitä hajottavia mikrobeja. Biopolttoainetuotantoon parhaiten soveltuvat leväkannat voidaan joko kartoittaa luonnonkannoista tai kehittää muokkaamalla luonnonkantoja bioteknologian avulla. Leviä voidaan muokata mm. kestävämmän paremmin tiettyjä olosuhteita, käyttämään tiettyjä aineenvaihduntareittejä tai yhteyttämään tehokkaammin. Yhtenä vaihtoehtona on kokonaan keinotekoisien viherhiukkasten kehittäminen ja niiden myötä keinotekoinen fotosynteesi eli yhteyttäminen. Bioteknologian avulla voidaan muokata myös valmista leväbiomassaa, tai käyttää bioteknologiaa apuna biomassan jatkojalostuksessa. Geenitekniikan ja bioteknologian käyttö voisi tulevaisuudessa mahdollisesti edistää sekä uusiutuvan biomassan kilpailukykyyn kehittämistä että EU:n ilmasto- ja energiapolitiikan tavoitteiden saavuttamista. (TEM raportti 2009)

## 2. Energiantuotannon ja -kulutuksen haasteita

Energiankulutus ja liikenteen päästöt kasvavat jatkuvasti. Yhdysvaltain energiaministeriön alaisen EIA:n (Energy Information Administration) vuonna 2011 julkaistun arvion mukaan puolet maailman energiankulutuksen kasvusta seuraavien 25 vuoden aikana aiheutuu Kiinan ja Intian teollistumisesta (EIA raportti 2011). Kehittyvien teollisuusmaiden kasvava energiankäyttö aiheuttaa haasteita pyrittäessä rajoittamaan päästöjä ja siirtymään vaihtoehtoisiin energianlähteisiin. Maailmantalouden vuonna 2008 alkanut taantuma voi estää tai perua hankkeiden rahoituksia mutta toisaalta se voidaan myös nähdä tapana turvata ja edistää kotimaisia investointeja (Gao ym. 2012). Esimerkiksi kotimaisista biomassoista saatavien biopolttoaineiden avulla voitaisiin parantaa liikennepolttoaineiden kotimaisuusastetta ja saada tuontiöljyn ostamisen sijaan tuloja sekä kotimaiselle metsä- ja energiateollisuudelle että kotimaisille raaka-aineen tuottajille.

Maailmassa tuotetaan energiaa käytettäväksi pääasiassa sähkönä, lämmitykseen sekä liikenteen ja teollisuuden polttoaineina. Uusiutuvan energian verkoston, REN21:n (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century) raportin mukaan 81% maailmassa käytetystä energiasta tuotettiin vuonna 2010 fossiililla polttoaineilla (maaöljy, maakaasu, kivihiili ja turve), 3% ydinvoimalla ja 16% uusiutuvilla energiamuodoilla (**Kuva 1**). Uusiutuviin energiamuotoihin luettiin perinteiset biomassat, vesi-, aurinko- ja tuulivoima, geoterminen lämpö, modernit biomassat sekä biopolttoaineet (REN21 raportti 2011). Tällä hetkellä useat uusiutuvan energian lähteet, kuten vesi-, tuuli-, aurinko- ja vuorovesivoimat sekä maalämpö, kohdistuvat sähkömarkkinoihin (Schenk ym. 2008). REN21:n raportin mukaan sähköntuotannosta lähes 20% tapahtui vuonna 2010 uusiutuvien energialähteiden, lähinnä vesivoiman, avulla. Aurinkovoima on voimakkaassa nousussa teknologian hintojen laskettua ja uusien innovaatioiden seurauksena. EU-maissa, etenkin Saksassa, tuotetaan maailmassa eniten sähköä aurinkovoimalla. (REN21 raportti 2011)

Eri energiantuotantomuotojen suhteelliset käyttöasteet vaihtelevat suuresti eri maissa. Suhteessa eniten biomassaa käytetään kehitysmaissa, missä energiasta keskimäärin kolmasosa saadaan puuta ja lantaa polttamalla. Tämä perinteisten biomassojen käyttö muodostaakin 10% uusiutuvien energianlähteiden 16%:n osuudesta. (REN21 raportti 2011) Euroopan energiantuotannossa biomassan osuus on vain 2%. Biomassan osuus energian kokonaiskulutuksesta on kuitenkin Suomessa teollisuusmaiden korkein ja kaikesta Suomessa käytettävästä energiasta lähes 20% tuotetaan biomassasta. (Bioteknologia.info, Biomassa) Suomessa tuotetaan sähköä pääasiassa ydinvoiman, vesivoiman, kivihiilen, maakaasun, puupolttoaineiden sekä turpeen avulla. Ydinvoima oli vuonna 2011 tärkein sähköntuotannon tapa, muodostaen kolmanneksen koko Suomen sähköntuotannosta. Tuulivoiman osuus on vielä pieni, mutta kasvussa. (Energia.fi, Sähköntuotanto)



Kuva 1. Uusiutuvan energian osuus maailmassa käytetystä energiasta vuonna 2009 (Ren21 raportti 2011 mukaan).

Eräs tärkeä näkökulma energiankulutukseen on nykymaalouden toimintaperiaate, joka muuntaa fossiilista energiaa ruoaksi. Esimerkiksi Yhdysvalloissa ruoantuotanto tukeutuu vahvasti fossiiliseen energiaan lannoitteiden, torjunta-aineiden, pakkaus- ja kuljetuskustannusten sekä maatalouskoneiden käyttökustannusten muodossa. Yhden kasviproteiinikilokalorin tuottaminen Yhdysvalloissa vaatii tutkimusten mukaan noin 2,2 kcal fossiilista energiaa ja lihaproteiinin kohdalla vastaava luku on 11 kertaa suurempi, noin 25 kcal. (Pimentel ja Pimentel 2003) Ilmasto- ja energiapolitiikan tavoitteiden saavuttamiseksi tulisikin analysoida tarkkaan kunkin tuotantoketjun todellinen energiankulutus.

## 2.1 Liikenteen polttoaineet

Öljykriisi vuonna 1973 käynnisti toimenpiteet energian säästämiseksi ja joudutti vaihtoehtoisten energialähteiden kehittämistä öljyn ja muiden fossiilisten polttoaineiden rinnalle. Yhdysvalloissa päädyttiin jo vuonna 1978 ensimmäisiin alkoholiperäisten polttoainesekoitusten verohelpotuksiin. Liikenne maalla, ilmassa ja vedessä muodostaa noin 19 % maailman energiankulutuksesta ja 23 % hiilidioksidipäästöistä. Suurin osa, noin 80 %, liikenteen polttoaineista tuotetaan edelleen uusiutumattomasta maaöljystä. (IEA raportti 2009) Motivan mukaan bensiiniä ja dieselöljyä kulutetaan maailmassa yhdessä vuodessa 31 gigabarrelia eli yli 4,9 biljoonaa litraa. Liikenteen energiantarvetta voidaan tyydyttää käyttäen uusiutuvia energianlähteitä sähkön, biovedyn, biokaasun ja nestemäisten biopolttoaineiden avulla. Suomessa liikenne tuottaa Motivan mukaan viidenneksen kaikista hiilidioksidipäästöistä. Tieliikenteen hiilidioksidipäästöistä 60% muodostuu Suomessa yksityisestä henkilöautoliikenteestä ja 40% ammattiliikenteestä. Suomessa esim. tavaraliikenne perustuu pääosin tieliikenteeseen rautatie-, lento- ja vesiliikenteen asemesta. (Motiva.fi, Liikenne)

Maailmassa on nykyisin noin miljardi autoa ja määrän arvioidaan kasvavan vuoteen 2050 mennessä jopa 3 miljardiin kehittyvien teollisuusmaiden, kuten Intian ja Kiinan autoistuessa. Liikenne on merkittävä ilmakehää lämmittävien kasvihuonekaasupäästöjen tuottaja. Maaliikenteen arvioidaan aiheuttavan noin 75% liikenteen hiilidioksidipäästöistä, mutta ilma- ja laivaliikenne tulevat hyvää vauhtia perässä. (IEA raportti 2009) Erityinen ongelma ovat fossiilisia polttoaineita käyttävät bensiini- ja dieselautot. Markkinoille tarvitaan vaihtoehtoisia polttoaineita, jotka ovat paitsi uusiutuvia, myös ilmakehän hiilidioksidia sitovia. Lisäksi moottorien ja ajoneuvojen tulisi olla energiatehokkaampia. Ratkaisuja haettaessa on huomiota kiinnitettävä myös joukkoliikenteen ja logistiikan ratkaisuihin.

Yksi merkittävimmistä vaihtoehdoista ovat biopolttoaineet, joiden avulla voidaan vähentää liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä ja riippuvuutta hinnanvaihteluille alttiista öljystä. Kansainvälisen energiajärjestön (IEA) vuoden 2009 tilastojen mukaan biopolttoaineet ja jätteet muodostivat noin 10% osuuden primäärienergianlähteistä, vesivoiman jäädessä noin 2% osuuteen ja muiden uusiutuvien osuuden ollessa alle 1%. Biopolttoaineiden potentiaali tulevaisuuden uusiutuvana energianlähteenä näyttääkin lupaavalta. (Lam ja Lee 2012; IEA raportti 2011) Eräs mahdollinen tapa edesauttaa autokannan uudistumista ja sitä kautta päästöjen vähenemistä olisi valtion myöntämä hankintaetu autoille, joiden hiilidioksidipäästöt ovat tarpeeksi matalat (**Tietoruutu 2**).

## **Tietoruutu 2:**

### **Hankintaetu vähäpäästöisille autoille**

Ruotsissa on kaavailtu hiilidioksidipäästöiltään alle 50 g/km päästäville autoille noin 4 000 euron tilapäistä hankintatukea. Virossa tällainen hankintatuki on jo käytössä ja se on Ruotsin kaavailemaa tukea suurempi. Suomessakin hankintaetua voitaisiin harkita. Suomen autoverotus ei tue samalla tavalla päästöttömiä autoja, sillä niistä kannetaan hiilidioksidipäästöihin perustuva viiden prosentin autovero ja arvonnisävero huolimatta siitä, että päästöarvo on nolla. Norjassa, Tanskassa ja Virossa vähäpäästöisimmät autot saavat hankintatukea. Autotuoajat ry:n mukaan vähäpäästöisiä autoja pitäisikin saada nyt kaupan hyllyltä liikenteeseen. Myös sähköautoille olisi luotava latausinfrastruktuuri. (Autoalan tiedotuskeskus ry, 12.7.2012).

Biopolttoaineilla on kiinnostavia mahdollisuuksia myös lentoliikenteessä. Vaikka maaliikenteessä päästäisiinkin siirtymään sähköautoihin, tulee lentoliikenne luultavasti aina turvautumaan nestemäisiin polttoaineisiin. Polttoaineiden hinnanvaihtelu on saanut monet lentoyhtiöt (esim. Lufthansa, Virgin Airlines, Qantas, Boeing, Finnair, KLM) aloittamaan yhteistyön uusiutuvia biopolttoaineita tutkivien yritysten kanssa. Useat yritykset maailmassa kehittelevät myös levistä nimenomaan lentoliikenteeseen sopivaa polttoainetta. Esimerkiksi yhdysvaltalainen Solazyme on solminut yhteistyösopimuksen Yhdysvaltain puolustusvoimien kanssa. United Continental puolestaan lensi ensimmäisen kaupallisen lennon Solazymen levästä valmistamalla biokerosiinilla (40% sekoitussuhde perinteiseen kerosiiniin) Houstonista Chicagoon marraskuussa 2011 ja suunnitelmassa on ollut saada leväbiokerosiini käyttöön vuonna 2014 (Chicago Tribune uutinen 2011). Myös Suomessa Finnair on ollut voimakkaasti mukana biopolttoaineen käyttöönotossa (**Tietoruutu 3**).

Puolustusvoimat ympäri maailmaa käyttävät huomattavia määriä energiaa. Maa-, meri-, ja ilmapuolustusvoimat käyttävät tästä suurimman osan fossiilisinä polttoaineina. Esimerkiksi Yhdysvaltain puolustusvoimat on maailman suurin yksittäinen nestemäisten polttoaineiden käyttäjä ja vastaa suurimmasta osasta Yhdysvaltain vuosittaisesta energiankulutuksesta (Warner ja Singer 2008). Yhdysvaltain puolustusvoimat onkin tehnyt päätöksen, jonka mukaan se pyrkii käyttämään huomattavassa osassa joukkoajoneuvoistaan merellä ja ilmassa uusiutuvia polttoaineita vuoteen 2020 mennessä. Testejä leväbiopolttoaineen käytöstä merivoimien aluksissa (vedessä ja ilmassa) on jo tehty sekoittamalla leväpolttoainetta 50% tavalliseen fossiiliseen polttoaineeseen. (Schwartz ym. 2012)

### Tietoruutu 3:

#### Finnair biokerosiinien koekäyttäjäksi vuonna 2011

Lufthansa ehti muutamalla viikolla Finnairin edelle biokerosiinien käyttökokeilussa kesällä 2011 lentämällä NesteOilin biokerosiinilla. Finnairin lento oli kuitenkin yhtiön mukaan maailman pisin biokerosiinia käyttävä kaupallinen lento yltyen Amsterdamista Helsinkiin. Molemmat lennot lennettiin sekoituksella, joissa tavallisesta kerosiinista puolet oli korvattu biokerosiinilla. Finnairilla oli alun perin sopimus NesteOilin kanssa palmuöljystä valmistetun biokerosiinin käytön aloittamisesta vuonna 2011, mutta Finnair vetäytyi pois hankkeesta palmuöljyn nostattaman kritiikin takia. Finnair teki uuden sopimuksen yhteistyökumppaninaan SkyNRG, joka valmistaa biokerosiinia käytetystä ruokaöljystä. NesteOil päätyi hylkäämään palmuöljyn biokerosiinissaan, jota nyt valmistetaan jatropa- ja camelinaöljystä sekä eläinrasvoista, eikä yhtiön mukaan kilpaile suoraan ruoantuotannon kanssa tai vahingoita sademetsiä.

([http://yle.fi/uutiset/finnair\\_aloittaa\\_ensi\\_viikolla\\_lennot\\_biopolttoaineaseoksella/2722361](http://yle.fi/uutiset/finnair_aloittaa_ensi_viikolla_lennot_biopolttoaineaseoksella/2722361)). Finnair on myös kokeillut osittain käytetystä keitinrasvasta tehtyä biopolttoainetta

([http://www.finnairgroup.com/media/media\\_7.html?id=xml\\_1702152.html](http://www.finnairgroup.com/media/media_7.html?id=xml_1702152.html)).

## 2.2 Miksi biopolttoaineita?

Biopolttoaineiden kehitystyötä edistävinä voimina toimivat energiaitsenäisyys, ilmastonmuutoksen torjuminen, kestävän bionalouden kehitys sekä edullisempien ja hinnan vaihteluille vähemmän alttiiden polttoaineiden kehittäminen. Myös väkiluvun kasvaminen sekä fossiilisten polttoaineiden saatavuuden rajallisuus tukevat siirtymistä biopolttoaineisiin. Biopolttoaineiden kehitystyöhön suunnataan rahaa aina, kun öljyn hinta nousee, koska näistä vaihtoehtoisista ratkaisuista tulee sitä kustannustehokkaampia mitä korkeampi öljyn hinta on. (Gao ym. 2012.) Biopolttoaineille on olemassa markkinat, joita uudet hallitusten antamat määräykset tukevat. Määräyksillä halutaan vähentää sekä liikenteen hiilidioksidipäästöjä mm. päästökauppojen avulla että lisäämällä biopolttoaineiden sekoittamista perinteisiin fossiilisiin polttoaineisiin.

### 2.2.1 Energiaturva

Energiaitsenäisyys eli energiaturvan takaaminen kotimaassa on muodostunut yhä tärkeämmäksi ns. öljyhuipun (peak oil) mahdollisen läheisen ajankohdan takia. Öljyhuipulla tarkoitetaan öljyntuotannon maksimia, minkä jälkeen öljyn tarjonta ei pysty enää vastaamaan sen kysyntään ja öljyn hinta nousee. Öljyn tuotanto on pysynyt viime vuosina melko tasaisena, mutta etenkin kehittyvien teollisuusmaiden taloudet ovat kasvattaneet öljyn kysyntää. Myös väestönkasvu nostaa öljyn kysyntää entisestään. Joidenkin arvioiden mukaan öljyhuippu on jo saavutettu tai se on aivan lähellä, toisten arvioiden mukaan se saavutetaan noin 20-60 vuoden kuluttua. (Ghasemi ym. 2012)

Energian avulla käytetään ”talouden moottoria” ja siksi sillä on tärkeä rooli kansallisen turvallisuuden takaamisessa. Teollisen vallankumouksen alettua 200 vuotta sitten, kun fossiilisten energianlähteiden energia opittiin muuttamaan työksi höyrykoneen avulla, katsotaan, että energiaturva on jätetty lähinnä lyhyen aikavälin ratkaisujen varaan ja se on perustunut helppoon ja halpaan energiaan. Tulevaisuudessa energiaturvan ja energiaomavaraisuuden ratkaisujen on oltava huomattavasti kauaskantoisempia ja etenkin kehitysvaiheessa rahoittajilta ja päätöksentekijöiltä vaaditaan pitkäjänteisyyttä ja sitoutuneisuutta. (Gao ym. 2012)

Esimerkkinä tällaisesta kehityksestä voidaan mainita Japani, jossa ymmärrettiin vuoden 1973 öljykriisin jälkeen maan olevan lähes täysin tuontiöljystä riippuvainen. Ratkaisuna tähän Japanissa alettiin panostamaan ydinvoimaan, maakaasuun, julkiseen liikenteeseen, energiankulutuksen vähentämiseen ja uusiutuviin energiamuotoihin. Patenttimäärillä mitattuna Japani onkin tällä hetkellä maailman johtava maa puhtaan teknologian innovaatioissa. Luonnonsuojelujärjestö Pewin vuoden 2011 puhtaan energian raportin mukaan alan rahoitus on kasvanut 600% vuodesta 2004. Toisena esimerkkinä voidaan mainita Islanti, jonka tavoitteena on olla energiaitsenäinen vuoteen 2050 mennessä. Tällä hetkellä noin 72%

Islannin energiantuotannosta hoidetaan uusiutuvan energian, lähinnä maalämmön ja vesivoiman, avulla. (Pew raportti 2011)

Osa energiaturvaa on myös hinnanheilahteluihin vähemmän alttiiden biopolttoaineiden kehittäminen. Öljyn maailmanmarkkinahinta vaihtelee voimakkaasti ja valuuttakurssien vaihteluiden takia öljy on joillekin kalliimpaa kuin toisille. Hintaan vaikuttavat mm. maailmanpolitiikan ja -talouden vaihtelevat tilanteet ja esimerkiksi vuoden 2011 arabikevät nosti nopeasti öljyn hintaa, mutta hinta laski uudestaan sekä 2012 että 2014. Myös luonnonilmiöt vaikuttavat nopeasti kysyntään ja tarjontaan eli öljyn hintaan. Omavaraisuus biopolttoainetuotannossa toisi kansallista energiaturvaa niin kauan kuin niihin käytettävien raaka-aineiden riittävyys ja eettinen käytettävyys liitännäisilmiöineen ovat taattuina.



## 3. Biopolttoaineet

Menestyäkseen minkä tahansa biopolttoainetuotannon on täytettävä kolme kriteeriä: polttoaineen raaka-ainetta on oltava saatavilla kaupalliseen tuotantoon, polttoaineen hinnan on oltava alhaisempi kuin fossiilisen polttoaineen ja polttoaineen laadun on vastattava laatustandardia (Singh ja Gu 2010).

Biopolttoaineita on monenlaisia, kahtena merkittävimpanä kuitenkin bioetanoli sekä biodiesel. Biopolttoaineita voidaan valmistaa monenlaisista raaka-aineista. Energiakasveihin perustuvassa biopolttoainetuotannossa käytetään hyväksi korkeampien kasvien yhteyttämiskykyä eli kykyä muuntaa aurinkoenergiaa kemialliseksi energiaksi, joka varastoidaan erilaisiin molekyyliin. Teho, jolla aurinkoenergiaa muunnetaan kemialliseksi energiaksi, vaihtelee energiakasvista riippuen. Tämä puolestaan vaikuttaa suoraan tietyn biopolttoainemäärän saamiseksi vaadittavaan viljelypinta-alaan.

Suurin biopolttoaineiden tuottaja on tällä hetkellä Yhdysvallat, jonka jälkeen tulevat Brasilia ja EU. Eניתen uusiutuviin energiamuotoihin investoivat Kiina, Saksa ja Yhdysvallat. (REN21 raportti 2011) Saksan päätös luopua ydinvoimasta vuoteen 2022 mennessä vauhdittaa omalta osaltaan panostuksia korvaaviin vaihtoehtoihin. Suomessa biopolttoaineiden kehitys ja käyttö liikenteessä ovat vielä alkuvaiheessa. Bensiinin joukkoon sekoitettava bioetanoli on tuotu pääosin ulkomailta, esim. Brasiliasta. Biodieselin tuotanto, pääasiassa rypsiä ja rapsista, on Suomessa ollut 1990-luvulta lähtien pienimuotoista. Neste Oilin kehittämä NExBTL-diesel (Neste Biomass to Liquid) edustaa toisen sukupolven innovaatiota, jossa kasviöljyistä ja eläinrasvoista tuotetaan vetykäsittelyn avulla biopolttoainetta. Raaka-ainepohja on monipuolistunut NExBTL-dieselin myötä runsaasti, sillä menetelmän avulla voidaan tuottaa biodieseliä hyvin laajasta raaka-ainevalikoimasta, esimerkiksi eläin- tai kasvirasvajätteestä tai mäntyöljyistä (Neste verkkosivusto).

### 3.1 Raaka-ainevaihtoehdot

Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden raaka-aineina ovat ruoaksi kelpaavista tai niiden viljelyltä maa-alaa vievistä viljelykasveista saatavat sokerit (sokeriruoko, maissi) ja kasviöljyt (rypsi, rapsi, soijapapu, öljypalmu, auringonkukka). Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden mahdollisuudet olivat taloudellisesti ja ympäristönäkökohdiltaan rajalliset. Ruoaksi kelpaavien kasvien viljelyä ja käyttöä biopolttoaineiden raaka-aineena on vastustettu laajasti, lisäksi sen on arveltu vaikuttaneen ruoan hinnan nousuun. Toisen sukupolven biopolttoaineiden kohdalla on onnistuttu ratkaisemaan useita näistä ongelmista. Toisen sukupolven biopolttoaineilla tarkoitetaan uusiutuvia, kestäväällä tavalla tuotettuja biopolttoaineita, joihin käytetty raaka-aine ei ole ruoaksi kelpaavaa (esim. puu- ja leväbiomassa, jatropa, lännenhirssi, jäteöljyt). Täysin uusia polttoainelähteitä, joihin leväkin luetaan, kutsutaan myös kolmannen sukupolven biopolttoaineiksi tai edistyneiksi biopolttoaineiksi (advanced biofuels). (Schenk ym. 2008)

Aivan näin yksinkertaista ei biopolttoaineen sukupolven määrittely kuitenkaan ole, koska on otettava huomioon paitsi itse raaka-aineen, myös prosessin ja loppukäytön näkökulmat. Raaka-ainetuotanto ei saisi kilpailla ruoantuotannon kanssa, eikä ympäristöä saisi vahingoittaa raaka-ainetuotannon yhteydessä. Esimerkiksi jatropaa voidaan kasvattaa viljelyyn kelpaamattomilla maa-alueilla, mutta kasvatusta vaatii kastelua ja lannoitteiden runsasta käyttöä. Öljypalmua ei voida pitää toisen sukupolven biopolttoaineena, koska sen kasvattaminen vaatii hiilinieluna toimivan sademetsän tuhoamista. Tämän aiheuttaman hiilivielan takaisin maksaminen palmuöljyn avulla kestäisi arvioiden mukaan yli 400 vuotta, joten palmuöljyn hiilitasapaino jää kokonaisuudessaan melko heikoksi. Loppukäytön kannalta on myös otettava huomioon, että biopolttoaineen on oltava laadultaan perinteisiä polttoaineita vastaavaa ja sen päästöjen puolestaan fossiilisia polttoaineita pienemmät. (Inredwildi ja King 2009)

Biopolttoaineen kestävyys vaikuttaa paitsi itse käytetty raaka-aine, myös tuotantotapa (viljelykäytännöt, sadonkorjuukäytännöt, prosessointi) ja polttoaineen kuljetusmatkat, jotka on kaikki otettava huomioon hiilitasapainoa laskettaessa. Biopolttoaineen kestävyttä voidaan mitata esim. ympäristövaikutuksia mittaavan elinkaariarvioinnin (Life-cycle assessment = LCA) avulla. Biopolttoaineen uusiutuvuus riippuu sen valmistamiseen käytettyjen, uusiutumattomien energianlähteiden ja valmiin tuotteen

energiämäärän suhteesta, joka määrittelee biopolttoaineen energiatasapainon. Energiatasapainon laskeminen luotettavasti eri öljykasveille on hankalaa sekä tapauskohtaista ja luvut vaihtelevat lähteestä toiseen, koska myös energiatasapainon laskentatapoja on monenlaisia. (Schenk ym. 2008)

Biopolttoaineiden kykyä vastata merkittävällä tavalla maailman polttoainetarpeeseen on kyseenalaistettu mm. ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden huonon energiatasapainon ja ruoan hinnan kallistumisen takia. On arvioitu, että vaikka öljykasveja viljeltäisiin koko maapallon viljelyskelpoisella maa-alalla (oletuksina: maapallon pinta-alasta 30% maata, maa-alasta 13% viljelyskelpoista, öljykasvien yhteyttämisteho aurinkoenergiasta biomassaksi 1%, biomassasta 20% öljyksi), saataisiin energiantarpeesta vain alle puolet tyydytetyksi. Öljykasvien riippuvuus viljelykelpoisesta maasta aiheuttaa kilpailua ruoantuotannon kanssa ja öljyhuipun (peak oil) lisäksi onkin alettu jo puhua ”maahuipusta” (peak soil). (Schenk ym. 2008)

Kansainvälinen elintarvikepolitiikan tutkimuslaitos IFPRI varoitti elokuussa 2012 maailmanlaajuisen kuivuuden seurauksena nousseiden hintojen johtavan mahdollisesti kansainväliseen ruokakriisiin. Sen mukaan viljojen tuhlaminen polttoaineiden tuotantoon pitäisi lopettaa ja Yhdysvaltain hallituksen tulisi luopua biopolttoaineohjelmastaan, joka käyttää 40% maissisadosta biopolttoaineiden tuotantoon. Myös YK:n ruokajärjestö FAO on aiemmin ottanut kantaa bioetanolin tuotantoa vastaan. (Reuters uutinen 2012)

Uudet edistyneet biopolttoaineet, joita saadaan esim. levistä, bakteereista ja hiivoista tarjoavat kestävä mahdollisuuden tulevaisuuden biopolttoainekehitykselle. Esimerkiksi levät kasvavat nopeammin kuin maalla elävät kasvit ja niiden biomassa voikin kaksinkertaistua alle päivässä (Tredici 2010). Lisäksi levien öljypitoisuus voi olla öljykasveja korkeampi. Kaiken kaikkiaan leväbiopolttoainetuotannon voidaan katsoa vaativan vähiten maa-alaa, mikä tulee olemaan tärkeä tekijä tulevaisuudessa väestön kasvaessa ja ruoantuotannon vaatiessa yhä enemmän maa-alaa. (Lam ja Lee 2012)

## 3.2 Lopputuotevaihtoehdot

### 3.2.1 Biodiesel

Biodiesel on dieselöljyä vastaava polttoaine, jota valmistetaan perinteisesti öljykasveista saatavasta öljystä. REN21-raportin mukaan biodieseliä tuotettiin vuonna 2010 19 miljardia litraa, mikä vastaa noin 0,4% osuutta maailman vuotuisesta bensiinin ja dieselöljyn kulutuksesta. Puolet biodieseltuotannosta tulee EU:n alueelta. Euroopassa käytetäänkin enemmän biodieseliä kuin bioetanolia, toisin kuin esim. Yhdysvalloissa. (REN21 raportti 2011) Biodiesel on uudistuvista raaka-aineista valmistettu pitkäketjuisten rasvahappojen monoalkyyliesteri. Biodiesel on tyypillisesti nimenomaan esteri ja esim. Yhdysvalloissa tätä käytetäänkin biodieselin standardina. Toisen sukupolven biodiesel voi olla myös alkaani, joka muistuttaa kemiallisesti enemmän maaöljystä valmistettua petrodieseliä. Esimerkiksi Neste Oilin kehittämä NExBTL-biodiesel on alkaani, jota voidaan valmistaa monista eri biomassoista. Biodieseliä voidaan käyttää suoraan liikennepolttoaineena ilman muutoksia dieselmoottoriin ja voiteluominaisuuksiltaan se voi olla jopa petrodieseliä parempaa (Gao ym. 2012). Mahdollisena haittapuolena biodieselissä on sen heikot kylmänsieto-ominaisuudet (jäähmettyy -30°C jälkeen), joita joudutaan parantamaan lisäaineilla.

Biodieselin etuina pidetään uusiutuvuutta, myrkyttömyyttä ja biohajoavuutta. Biodieselin tuotanto kuluttaa vähemmän energiaa kuin petrodieselin ja sen päästöt ovat ympäristöystävällisempiä. Biodieselin hyötysuhde on lisäksi bioetanolia parempi. Biodieselin raaka-aineina voidaan käyttää mm. soijapapua (*Glycine max*), rapsia (*Brassica napus*), rypsiä (*Brassica rapa*), sinappia (*Brassica/Sinapis*), öljypalmua (*Elaeis guineensis*), auringonkukkaa (*Helianthus*), jatropaa (*Jatropha curcas*), lännenhirssiä (*Panicum virgatum*), karanjaa (*Pongamia pinnata*), jäteruokaöljyä (esim. ravintoloiden paistorasvoja) tai selluteollisuuden sivutuotteena syntyvää mäntyöljyä. Öljykasvien viljelyn ongelmia ovat esim. lannoitteiden ja torjunta-aineiden käyttö, kastelu, eroosio, kasvihuonekaasujen vapautuminen ja ympäristön typpivalumat mutta erityisesti ravinnontuotantoon sopivan maa-alan käyttö öljykasvin viljelyyn. (Gao ym. 2012) Tuottamalla biodieseliä levistä voitaisiin kenties välttyä mm. kilpailulta ruoantuotannon kanssa. Tällaisissa arvioissa pitää kuitenkin ottaa huomioon leväkasvatuksen vaatiman maapinta-alan suuruus sekä veden ja ravinteiden saannin turvaaminen kestäväällä tavalla.

### 3.2.2 Bioetanoli

Bioetanoli on tällä hetkellä maailmassa eniten käytetty vaihtoehtoinen polttoaine ja Yhdysvallat on ohittanut Brasilian suurimpana tuottajana. REN21-raportin mukaan vuonna 2010 bioetanolia tuotettiin maailmassa 86 miljardia litraa, mikä vastaa noin 1,8% osuutta maailman vuotuisesta bensiinin ja dieselöljyn kulutuksesta. Tästä lähes 90% tuotettiin Yhdysvalloissa ja Brasiliassa. Maailman bioetanolista yli puolet tuotettiin maissista ja yli kolmannes sokerijuurikkaasta. (REN21 raportti 2011) Bioetanolin käyttö laimentamattomana vaatisi muutoksia moottorin rakenteeseen, joten sitä käytetään yleensä erilaisina seoksina fossiilisen polttoaineen kanssa (ns. drop-in fuel). Bioetanolia valmistetaan biomassasta kahdella eri menetelmällä, biokemiallisesti (käymisteitse) ja termokemiallisesti (kaasuunnuttamalla). Bioetanolin valmistukseen sopivat pääasiassa hiilihydraattipitoiset kasviraaka-aineet kuten ligniini, selluloosa tai tärkkelys. Raaka-aineena bioetanolituotannossa käytetään maissia, sokeriruokoa, perunaa sekä muita vilja- ja sokerikasveja, joiden sisältämästä tärkkelyksestä ja sokereista saadaan bioetanolia käymisteitse. Bioetanolituotantoon kasvatettavaan biomassaan liittyy biodieselin tavoin ongelmallinen kilpailu ruoantuotannon kanssa. (Singh ja Gu 2010)

Puubiomassa on esimerkiksi Suomelle tärkeä uusiutuva luonnonvara. Lignoselluloosasta voidaan valmistaa toisen sukupolven bioetanolia entsyymaattisen hydrolyysin avulla ja puuta tislaamalla saadaan valmistettua myös muun muassa metanolia (puuviinaa/tikkuviinaa). Suomessa energiayhtiö St1 on puolestaan alkanut valmistaa bioetanolia ja biokaasua biojätteestä. Kilpailua ruoantuotannon kanssa voidaan välttää myös valmistamalla bioetanolia levien avulla, koska levät varastoivat auringon energiaa paitsi öljynä myös hiilihydraatteina.

### 3.2.3 Biovety

Vetyä voidaan tuottaa biologisesti suoralla tai epäsuoralla fotolyysillä, vesi-kaasuvaihtoreaktiolla ja valo- tai pimeäfermentaatiolla. Fotolyysillä tarkoitetaan veden hajottamista hapeksi ja vedyksi. Epäsuorassa fotolyysissä voidaan käyttää veden asemesta myös solun hiilihydraattivarastoja. Epäsuoraan fotolyysiin kuuluu kaksi reaktiota. Ensin hiilihydraatteja varastoidaan yhteyttämisen avulla ja sen jälkeen niitä käytetään pimeäfermentaatioissa hiilen lähteenä vedyn tuotantoon. Fermentatiiviset organismit tuottavat vetyä hajottamalla orgaanisia yhdisteitä hapettomissa olosuhteissa joko käyttämällä hyväksi valoenergiaa (valofermentaatio) tai ilman sitä (pimeäfermentaatio). Pimeäfermentaatio on yksi tehokkaimpia biovedyn tuotantotapoja. Raaka-aineina voidaan käyttää mm. sokeria, selluloosaa, kasvibiomassaa tai leväbiomassaa. (Yu ja Takahashi 2007)

### 3.2.4 Biokaasu

Biokaasu on luonnonkaasuseos, jota syntyy kun orgaanista materiaalia hajotetaan hapettomissa olosuhteissa. Biokaasussa on tyypillisesti noin 60% metaania ja 40% hiilidioksidia. Biokaasun valmistukseen soveltuu melkein mikä tahansa biohajoava materiaali, puubiomassaa lukuun ottamatta. Erikokoisia biokaasun tuotantolaitoksia on ympäri maailmaa, Euroopassa Saksa on suuri biokaasun tuottaja. Biokaasu on käytännössä maakaasun uusiutuva korvaaja ja sitä tuotetaan lähinnä ajoneuvokäyttöön. Biokaasun käyttö liikennepolttoaineena vaatii erikoisvalmistetun auton sekä tankkausasemien perustamisen. Liikennekäytössä biokaasun mahdollisuuksia pidetään hyvinä ja sen katsotaan soveltuvan etenkin julkisen liikenteen vaihtoehdoksi.

## 4. Levä biopolttoaineena

### 4.1 Levätutkimuksen historiaa

Levätutkimus energiantuotantoa varten käynnistyi varsinaisesti Yhdysvalloissa vuonna 1978 aloitetulla energiaministeriön Aquatic Species -ohjelmalla, joka kartoitti biopolttoainetuotantoon sopivimpia levälajeja tuhansien joukosta. Aluksi ohjelmassa painotettiin vedyn tuotantoa levien avulla, mutta 1980-luvulla siirryttiin tutkimaan leviä biodieselin tuottajina. Tutkimuksia tehtiin sekä laboratorio- että kenttäoloissa. Laboratoriotutkimuksiin kuuluivat levälajien ja -kantojen keruu ja kartoitus, levien koostumuksen ja öljypitoisuuden tutkiminen biokemiallisilla ja fysiologisilla kokeilla sekä levien molekyylibiologinen analysointi ja geenitekkinen muokkaus. Kenttäkokeissa tavoitteena oli löytää paras kasvatusmenetelmä ja parhaat kasvatusolosuhteet kustannustehokkaaseen, suuren mittakaavan tuotantoon. (Gao ym. 2012)

Laboratoriotutkimusten aikana havaittiin, että typen suhteellisen määrän rajoittaminen kasvatusneiteissä lisäsi levien öljypitoisuutta. Samalla tämä tosin vaikutti negatiivisesti levien kasvunopeuteen johtaen tuotannon hidastumiseen. Kyseessä on levän stressireaktio, jonka seurauksena levä hidastaa kasvuaan ja alkaa kerätä varastorasvoja. (Gao ym. 2012) Levälle ei olekaan tyypillistä tuottaa suuria määriä rasvoja ekponentiaalisen kasvun aikana. Levän luonnollista kykyä reagoida kasvuolosuhteisiin öljyntuotantoa lisäämällä voidaan mahdollisesti käyttää hyödyksi leväbiopolttoainetta kehitettäessä mm. muokkaamalla levää geenitekniikan avulla, mikäli ko. aineenvaihduntareitit ja entsyymaattiset reaktiot tunnetaan. (Radakovits ym. 2010)

Vuonna 1986 Aquatic Species -ohjelmassa tehtiin havainto, jonka mukaan kasvatusneiteen piiväen seurauksena piilevät alkoivat käyttää hiiltä rasvojen rakennusaineena, sen sijaan että olisivat syntetisoineet hiilihydraatteja. Vuonna 1988 löydettiin tätä aineenvaihduntareittiä säätelevä entsyymi asetyyliKoA-karboksyylaasi (ACCCase), ja geenin kloonauksen jälkeen alettiin kehittää menetelmiä ilmentää vieraita geenejä piilevissä. 1990-luvulla projektissa edettiin nopeasti ja tutkimustyössä painotettiin erityisesti geenitekkinen muokkauksen tärkeyttä. Samaan aikaan löydettiin myös hiilihydraattiaineenvaihdunnalle tärkeitä entsyymejä, joiden toimintaa estämällä saatiin muokattua levää käyttämään hiiltä ensisijaisesti rasvojen rakennusaineena. Näin saadut hyödyt öljypitoisuuksien kasvussa olivat kuitenkin aina pienempiä kuin samanaikaiset menetykset kasvunopeudessa. (Gao ym. 2012)

Ensimmäisissä kenttäkokeissa tuotanto jäi pieneksi ja syyksi paljastuivat matalat päivälämpötilat. Tutkijat päättelivät, että leväkasvatusta varten optimaalinen alue maaston sekä veden ja hiilidioksidinsaannin turvaamisen kannalta olisi Yhdysvaltojen lounaisosissa. Kaikkien olosuhteiden optimointi osoittautui kuitenkin mahdottomaksi. Vuonna 1995 energiaministeriö lakkautti biopolttoaineohjelman alaisen levätutkimusohjelman rahoituksen ja suuntasi määrärahoja lähinnä bioetanolin kehitysohjelmaan. Aquatic Species -ohjelman kustannukset olivat kokonaisuudessaan 25 miljoonaa dollaria 20 vuoden aikana. Tämä vastaa noin viittä prosenttia samaan aikaan koko biopolttoaineohjelmaan sijoitetuista 458 miljoonasta dollarista. (Gao ym. 2012)

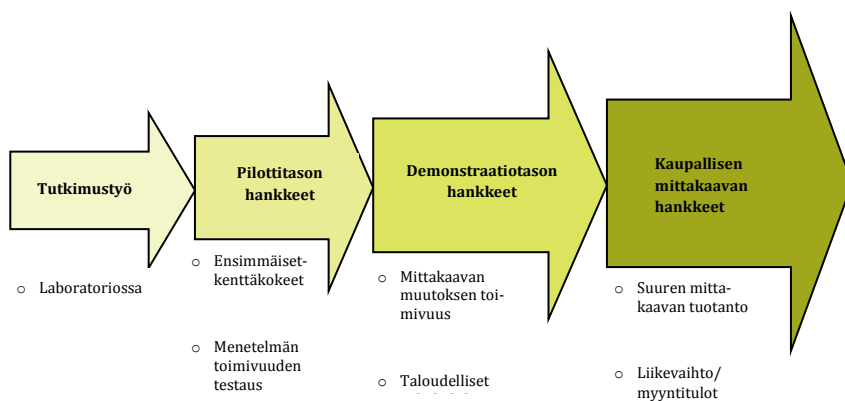
Aquatic Species -ohjelman loppuraportti ilmestyi vuonna 1998. Loppuraportin arvioiden mukaan öljyn hinnan tulisi olla paljon korkeampi kuin tuolloinen 15-20 dollaria barrelilta, jotta leväpolttoainekenaario olisi toteuttamiskelpoinen (ASP raportti 1998). Ohjelman lakkautuksen ja vuosituhannen vaihteen jälkeen levätutkimuksessa koettiin suvantovaihe. Vuoteen 2007 mennessä öljyn hinta kipusi ennätyslukemiin, yli 100 dollariin barrelilta, ja leväpolttoaineen tutkimus- ja kehitysohjelmaan alettiin taas panostaa maailmanlaajuisesti, kunnes hinta taas laski.

Ongelmat suuren mittakaavan tuotannon saavuttamisessa ovat liittyneet teknologisiin ja taloudellisiin rajoituksiin. Vielä nykyäänkin tutkimus- ja kehitysohjelmassa kamppaillaan samojen ongelmien kanssa ja pyritään mm. löytämään tasapaino levien kasvuvauhdin ja öljypitoisuuden maksimoinnin välille. Aquatic Species -ohjelma loi perustutkimuksen avulla edellytykset levien kustannustehokkaan biopolttoainetuotannon mahdollistamiseksi ja onnistui kartoittamaan noin 3 000 levälajia, joista 51 luokiteltiin arvokkaiksi biopolttoainekehitykselle. Kantojen ylläpito vaatii jatkuvaa hoitoa ja valitettavasti määrärahojen puutteen vuoksi suuri osa säilötyistä kokoelmista onkin tuhoutunut. (Gao ym. 2012)

## 4.2 Leväbiomassan mahdollisuudet – miksi levä?

Leväbiomassasta voidaan tuottaa monenlaisia uusiutuvia biopolttoaineita, kuten biodieseliä, bioetanolia, biometania ja biovetyä. Leväbiomassasta saadaan myös erilaisia kaupallisesti hyödynnettäviä sivutuotteita (Singh ja Gu 2010). Levien etuihin kuuluvat myös maalla eläviä kasveja korkeampi öljypitoisuus ja yhteyttämisteho sekä jatkuva, luotettava ja tasainen biomassan tuotanto. Levien kasvatusta onnistuu myös suolaisessa tai jätevesissä, jolloin levä voidaan hyödyntää jätevesien puhdistuksessa. Levissä yhdistyvät myös hiilineutraali polttoainetuotanto ja hiilensitomiskyky (Schenk ym. 2008).

Levien biomassaja- ja öljytuotannon vertailu maalla eläviin kasveihin on monimutkaista. Kirjallisuudessa esitetyt arviot vaihtelevat suuresti mm. eri laskentatapojen ja huomioon otettujen tekijöiden takia. Lisäksi levien kohdalla on otettava huomioon, ettei suuren mittakaavan kasvatusta ole vielä olemassa, joten kaikki arviot levien biomassaja- ja öljytuotannosta kaupallisessa mittakaavassa perustuvat teoreettisiin lukuihin. Leväkasvatuksen kaupallistaminen tapahtuu vaiheittain (**Kuva 2**) ja tällä hetkellä ollaan siirtymässä pienen mittakaavan laboratoriokokeista pilottihankkeisiin sekä suuren mittakaavan demonstraatioihin. Kaikissa vaiheissa leväbiomassaa tuottavan yrityksen on kyettävä todistamaan rahoittajille ja sijoittajille toiminnan kannattavuus näyttämällä toteen teknologian toimivuus sekä kykenemällä tuottamaan tietyn verran leväbiopolttoainetta.



Kuva 2. Leväbiomassan tuotannon kaupallistamisen vaiheet (Algae 2020 -raportti 2009).

Levien katsotaan olevan eräitä maailman vanhimpia mikro-organismeja ja niiden kyky sitoa ilmakehän hiilidioksidia on omalta osaltaan luonut edellytykset myös fossiilisten polttoaineiden raaka-aineiden muodostumiselle miljoonien vuosien aikana. Levillä on teoreettisesti suurempi potentiaalinen yhteyttämisteho, eli teho jolla ne muuttavat aurinkoenergiaa kemialliseksi energiaksi (biomassaksi), kuin millään maalla kasvavalla kasvilla. Kasvit menettävät yhteyttämistehoa, koska niiden on kasvatettava juuret ja lehdet, joita levillä ei ole. Useimpien kasvien yhteyttämisteho onkin alle 1%. Arviot levien yhteyttämistehosta vaihtelevat suuresti. Usein päätelmiä mahdollisesta suuren mittakaavan tuotannon yhteyttämistehokkuudesta on tehty pienten, lyhyiden ja optimaalisissa oloissa tapahtuneiden kokeiden perusteella. Levien yhteyttämistehon on arvioitu olevan jopa 5-10% ja syanobakteerien mahdollisesti tätäkin korkeamman (noin 10%). Realistinen arvio optimaalisissa oloissa tapahtuvasta yhteyttämistehokkuudesta kaupallisessa mittakaavassa lienee kuitenkin 3-6%. (SEI leväraportti 2009)

Levät pystyvät teoreettisesti tuottamaan paitsi enemmän biomassaa myös enemmän öljyä hehtaaria kohti kuin maalla kasvavat perinteiset öljykasvit. Leväbiomassan tuotantokapasiteetista on esitetty monenlaisia arvioita. Realistisen arvion mukainen leväbiomassatuotanto lienee 15-25 tonnia/ha/vuosi (Tsukahara ja Sawayama 2005). Levän öljypitoisuudet ovat tyypillisesti noin 20-50%, mutta luku vaihtelee levälajista riippuen huomattavasti (**Taulukko 1**). Mikrolevien öljypitoisuudet voivat saavuttaa jopa 80% osuuden kuivapainosta joko luonnostaan tai geenitekniikan avulla. Luonnostaan korkean öljypitoisuuden omaavat levälajit tosin kasvavat vastaavasti hitaammin. Realistinen arvio öljypitoisuudesta suuren mittakaavan tuotannossa on todennäköisesti 30% ilman kasvuolosuhteiden optimointia (Lam ja Lee 2012).

Mikrolevälaji	Öljypitoisuus (% kuivapainosta)
<i>Botryococcus braunii</i>	25-75
<i>Chlorella sp.</i>	28-32
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
<i>Cylindrotheca sp.</i>	16-37
<i>Dunaliella primolecta</i>	23
<i>Dunaliella salina</i>	28
<i>Isochrysis sp.</i>	25-33
<i>Nannochloris sp.</i>	20-35
<i>Nannochloropsis sp.</i>	31-68
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35-54
<i>Schizochytrium sp.</i>	50-77
<i>Haematococcus pluvialis</i>	25
<i>Spirulina plantensis</i>	16

Taulukko 1. Eräiden levälajien öljypitoisuuksia (Ghasemi ym. 2012, Chisti 2007).

Kaikissa arvioissa levien biomassa- ja öljyntuotantokapasiteetista tulee ottaa huomioon ne maantieteelliset olosuhteet (aurionvalo ja lämpötilat), joissa leviä aiotaan kasvattaa. Levät ovat nopeakasvuisia ja niiden lajirunsaus mahdollistaa kuhunkin sovellukseen parhaiten soveltuvan lajin löytymisen. Levät voivat kasvaa nopeammin kuin maalla elävät kasvit ja leväbiomassa kaksinkertaistuu keskimäärin 24 tunnin aikana, eksponentiaalisen kasvun aikana jopa 3,5 tunnissa (Chisti 2007). Jos arviot leväbiomassan tuotannosta (15-25 tonnia/ha/vuosi) ja öljypitoisuudesta (30% kuivapainosta) pitävät paikkansa, olisi leväöljyn vuotuinen tuotanto hehtaarilla noin 4,5-7,5 tonnia (Lam ja Lee 2012). Vertailua eri biomassalähteiden öljypitoisuuksista ja öljyntuotantokapasiteetista on esitelty **Taulukossa 2**.

Raaka-aine	Öljypitoisuus (% kuivapainosta)	Öljyn saanto (t/ha/vuosi)
Soijapapu	18	0,4
Rypsi/rapsi	41	0,68
Öljypalmu	36	3,62
Jatrofa	28	4,14
Levä	30	4,5-7,5

Taulukko 2. Eri biomassalähteiden öljypitoisuuksia ja öljyntuotantokapasiteetteja (Mata ym. 2010, Lam ja Lee 2012).

Leviä voidaan kasvattaa altaissa maa-alalla, joka ei kelpaa ruoantuotantoon tai kasvien viljelyyn. Leväkasvatuksessa ei tarvita suuria määriä rikkakasvien ja tuholaisten torjunta-aineita. Levät voivat kasvaa makean veden lisäksi myös jäte- tai suolavedessä, joten niiden makean veden tarve on pienempi kuin maalla kasvavilla kasveilla. Suurin osa levistä on kasvien tapaan yhteyttämiskykyisiä organismeja (autotrofeja), jotka käyttävät energiana auringonvaloa ja hiilen lähteenä ilmakehän hiilidioksidia. Veden lisäksi levä tarvitsee ravinteita, kuten typpeä ja fosforia, joita se voi saada suoraan orgaanisesta jätevedestä tai lisättyinä kasvatusnesteeseen. Jätevedessä kasvatettaessa tiettyjen levälajien on myös mahdollista elää ilman auringonvaloa (heterotrofisesti) käyttäen hiilenlähteenään jäteveden orgaanisia yhdisteitä ja puhdistuen samalla jätevesiä. Levien kasvatusta jätevesissä biopolttoainetarkoitukseen on kuitenkin hankala optimoida niin, että ainoastaan haluttu levälaji kasvaisi hyvin muiden jäteveden mikroorganismien asemesta. (Rodolfi ym. 2008)

Se, voidaanko leväkasvatukseen raaka-aineita (esim. hiilidioksidi ja ravinteet) pitää kalliina vai edullisina, riippuu levätuotannon lopputuotteen arvosta. Lopputuotteen ollessa esim. arvokas lisäravintoaine ovat raaka-aineiden suhteelliset kustannukset huomattavasti matalammat kuin silloin, jos levää kasvatetaan suuressa mittakaavassa biopolttoainetarkoitukseen. (Williams ja Laurens 2010)

Leväkasvatuksessa voidaan hyödyntää tehdastuotannon savukaasujen hiilidioksidia hiilen lähteenä sijoittamalla leväkasvatuslaitos tehtaan yhteyteen. Yhden kuivatun leväbiomassakilon tuottaminen voi laskennallisesti sitoa 1,83 kg hiilidioksidia ja näin ollen toimia ns. hiilidioksidinieluna teollisuuden kasvihuonekaasupäästöille (Chisti 2007). Leväbiopolttoaineen tuotanto voi olla hiilineutraalia, mutta ei ole selvää voidaanko sen avulla saavuttaa todellista ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden nettomääräistä vähenemistä. MIT:n (Massachusetts Institute of Technology) tutkimusten mukaan levät voivat sitoa voimalaitoksen yhteyteen asennettuna palamiskaasujen päästöistä jopa 82% hiilidioksidista ja 85% typpioksidista (MIT.edu, Algae).

### 4.3 Levistä saatavat biopolttoaineet

Levistä voidaan saada monenlaisia biopolttoaineiden raaka-aineita, kuten öljyä, tärkkelystä ja selluloosaa. Näistä voidaan valmistaa biopolttoaineita, kuten biodieseliä sekä bioetanolia. Eräät levät ja syanobakteerit kykenevät lisäksi tuottamaan biovetyä ja leväbiomassasta voidaan tuottaa hapettomissa olosuhteissa myös biokaasua. (Schenk ym. 2008)

#### 4.3.1 Leväbiodiesel

Suurin osa tämänhetkisestä tutkimuksesta kohdistuu nimenomaan leväbiodieseliin levän suuren öljypitoisuuden vuoksi, mutta myös koska biodieselin tuotantomenetelmä ja käyttökelpoisuus dieselmoottorissa on tunnettu jo yli 50 vuoden ajan (Chisti 2007). Biodieselin ns. kalorinen arvo on myös korkeampi kuin bioetanolin, mikä osaltaan selittää painotusta biodieseltutkimukseen. Leväbiomassasta erotetusta öljystä toivotaan voitavan tuottaa biodieseliä olemassa olevien menetelmien avulla. Levä varastoi rasvaa mm. triglyseridinä, joka on sellaisenaan liian viskoosia biodieseliksi. Leväöljyn käsitteleminen transesterifikaation aikaansaamiseksi vaatii poikkeuksellisesti kaksi vaihetta suuren vapaiden rasvahappojen määrän vuoksi, nostaten biodieseltuotannon hintaa. Biodieseltuotannon optimointia on tutkittu vielä melko vähän ja olosuhteita muuttamalla reaktion tehokkuutta voitaisiin kenties nostaa tai kustannuksia pienentää. Paras vaihtoehto olisi muuntoreaktion olosuhteiden muokkaaminen niin, että leväöljyä voitaisiin prosessoida olemassa olevissa biodieselin tuotantolaitoksissa. Kustannuksia saataisiin pienennettyä myös yhdistämällä öljyn erotus ja transesterifikaatioreaktio. (Lam ja Lee 2012)

#### 4.3.2 Leväbioetanoli

Mikrolevissä on paljon hiilihydraatteja ja proteiineja, joita voidaan käyttää hiilenlähteenä mm. bioetanolituotannon käymisprosessissa (**Taulukko 3**). Bioetanolituotanto vaatii vähemmän ulkopuolista energiaa ja on menetelmänä yksinkertaisempi kuin biodieselin tuotanto. Lisäksi käymisen yhteydessä syntyvä hiilidioksidi voidaan käyttää uudelleen leväviljelmän hiilenlähteeksi. Bioetanolituotanto kaupallisessa mittakaavassa on kuitenkin edelleen kehitysasteella ja vaatii lisää tutkimustyötä (Singh ja Gu 2010). Leviä kasvatetaan tyypillisesti rajoittamalla kasvatusnesteeseen typpipitoisuuksia öljyn varastoinnin maksimoimiseksi, mutta samalla tämä stressireaktio vähentää levien kykyä varastoida bioetanolituotannon vaatimia hiilihydraatteja.

Leväkanta	Proteiinia (% kuivapainosta)	Hiilihydraattia (% kuivapainosta)
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	48	17
<i>Chlorella vulgaris</i>	51-58	12-17
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	57	26
<i>Dunaliella bioculata</i>	49	4
<i>Dunaliella salina</i>	57	32
<i>Spirulina platensis</i>	52	8-14
<i>Spirulina maxima</i>	28-39	13-16

Taulukko 3. Eräiden mikroleväkantojen proteiini- ja hiilihydraattipitoisuuksia (Singh 2010).

Levien potentiaali bioetanolituotannossa perustuu niiden varastoimien hiilihydraattien ominaisuuksiin. Ensimmäisen sukupolven bioetanoliraaka-aineiden ongelmana on kilpailu ruoantuotannon kanssa. Toisen sukupolven bioetanolin kohdalla ongelmana on lähinnä raaka-aineena käytettävän puuaineksen sisältämän lignoselluloosamassan hankala hajotusprosessi, joka vaatii paljon energiaa eikä ole ympäristölle edullinen vaihtoehto (Lam ja Lee 2012). Levien rakenne ei vaadi tukimateriaaleiksi ligniiniä tai hemiselluloosaa, joten leväbioetanolin tuotannon uskotaan olevan helpompaa ja kustannustehokkaampaa. On kuitenkin otettava huomioon, että suuri osa hiilihydraateista on levän soluseinässä, jonka hajottaminen ja vapautuvien hiilihydraattien muuntaminen fermentoitaviksi sokereiksi vaatii oman prosessin. (John ym. 2011)

Leväbiomassasta voidaan myös tuottaa biodieseliä ja bioetanolia samanaikaisesti. Tällöin leväbiomassasta erotetaan ensin öljy, minkä jälkeen jäljelle jäänyt biomassa käytetään bioetanoliksi. Vuonna 2010 julkaistussa tutkimuksessa tällä menetelmällä saatiin tuotettua bioetanolia jopa 60% enemmän kuin ilman käymisreaktiota edeltävää öljynerotusta. Tällainen yhdistetty biojalostamatoiminta saattaa olla ratkaisu kaupallisen leväpolttoainetuotannon kustannustehokkuuteen. (Harun ym. 2010)

### 4.3.3 Leväbiovety

Eräät levät ja syanobakteerit kykenevät erottamaan yhteyttämisessä vedestä vedyn ja hapen erilleen (biofotolyysi) ja voivat näin toimia vedyntuottajina. Vetyä voi syntyä myös ilman happea ja auringonvaloa, pimeäfermentaatioissa, jolloin levä käyttää hiilenlähteenä orgaanisia yhdisteitä tai päivän aikana varastoimiaan hiilihydraatteja. Käymisreaktio voi tapahtua myös auringonvalossa, jolloin puhutaan valofermentaatiosta. Suurin osa leväbiovetyyn kohdistuvasta tutkimuksesta on tehty *Clamydomonas reinhardtii* -viherlevällä, joka on yhteyttämis tutkimuksen malliorganismi. Tuotettaessa biovetyä esim. *C. reinhardtii* -levän avulla suoralla fotolyysillä vältetään käymisreaktioissa usein ongelmaksi muodostuvalla kasvatusnesteen toksisuudelta, koska kaasumainen biovety ei kerry liuokseen. Ollakseen kaupallisesti kannattavaa, täytyy biovetytuotantoa vielä optimoida sekä geeni- ja prosessiteknologian keinoin että kasvuolosuhteita muokkaamalla. (Schenk ym. 2008) Syanobakteeri puolestaan tuottaa biovetyä vedestä hieman eri tavalla. Se kykenee tuottamaan biovetyä sekä suoran että epäsuoran biofotolyysin avulla (Yu ja Takahashi 2007).

### 4.3.4 Leväbiokaasu

Biokaasua syntyy anaerobisten mikro-organismien hapettoman hajotuksen tuotteina ja se sisältää pääasiassa metaania ja hiilidioksidia. Valmistettaessa levistä käymisteitse bioetanolia, syntyy samalla myös biokaasua, jonka hiilidioksidi voidaan käyttää uudelleen leväviljelmän hiilenlähteenä. Biokaasun metaani puolestaan voidaan käyttää polttoaineena tai se voidaan muuttaa sähköenergiaksi. Ylijäänyt biomassa voidaan käyttää esim. lannoitteiden tuotantoon, joskin prosessiin joudutaan lisäämään ravinteita levien kasvua varten. Tällainen kokonaisvaltainen prosessi laskisi leväkasvatuksen kustannuksia ja tukisi samalla kestävän maatalouden käytäntöjä. Mikrolevien anaerobinen hajotus on prosessina vakaa ja tehokas ligniinin puuttumisen ja matalan selluloosapitoisuuden takia. Tulevaisuudessa leväkasvatuksen kustannustehokkuutta voidaan mahdollisesti nostaa liittämällä leväkasvatus jätevesien puhdistukseen ja biometaanituotantoon. Tällaista biojalostamoajatusta käsitellään tarkemmin kohdassa 8.1.3. (Singh ja Gu 2010)

## 4.4 Levän geenitekniinen muokkaus

Levälajien runsaus ja maantieteellinen hajonta antavat viitteitä siitä, että kuhunkin käyttötarkoitukseen sopivimmat leväkannat voitaisiin löytää kartoittamalla luonnonkantoja ja suorittamalla valintaa kasvatuksen aikana. Tällainen perinteinen toimintatapa olisi kuitenkin aikaa vievää ja kallista. Uusien geenitekniikan menetelmien avulla levää voidaan muokata haluttuun suuntaan. Geenitekniikan menetelmien käyttö aiheuttaa lisäkustannuksia, mutta esimerkiksi merkittävä lasku DNA:n sekvensointihinnoissa viime aikoina on tuonut runsaasti lisää informaatiota useista mikrolevistä ja syanobakteereista. (Rodolfi ym. 2008, Flynn ym. 2010)



Jo 1980-luvun loppupuolta lähtien on puhuttu levien muokkaamisesta geenitekniikan avulla mm. tuottavuuden kasvattamiseksi (Gao ym. 2012). Wijffels ym. (2013) mukaan syanobakteerien geenitekkinen muokkaaminen on verrattain helppoa ja erilaisia tekniikoita on jo olemassa runsaasti. Sen sijaan aitotumallisten mikrolevien geenitekkinen muokkaaminen on vasta aluillaan ja niitä varten on edelleen kehitettävä tehokkaampia menetelmiä. Kasvuolosuhteita tai itse levää muokkaamalla voidaan levän biokemiallista koostumusta muuttaa ja siten esim. lisätä öljyn saantoa. Kasvuolosuhteita muokkaamalla levä voidaan saada vaihtamaan aineenvaihduntareittiään esim. hapen tuotannosta vedyn tuotantoon. Samantyyppinen muokkaus voitaisiin tehdä myös geenitekniikan avulla. Öljypitoisuuksia sääteleviä aineenvaihduntareittejä voitaisiin muokata geenitekkinisesti joko kokonaislipidimääriä (määrällinen muokkaus) tai tiettyjen rasvahappojen tuotantoa lisäämällä (laadullinen muokkaus). Aineenvaihduntareittien muokkaaminen olisi mahdollista myös niin, että levä saataisiin tuottamaan yhteyttämisreaktiossa suoraan biopolttoaineeksi kelpaavia yhdisteitä, kuten alkoholeja (etanoli, butanoli, isopropanoli). Myös levän stressinsietokykyä (valo, lämpötila, pH, suola) voitaisiin muokata ja näin laajentaa levälle sopivia kasvatusolosuhteita maksimoimalla samalla biomassan tuotanto. Levä voitaisiin muokata myös niin, että ne saataisiin erittämään tuottamaansa biopolttoaineen raaka-ainetta suoraan solujensa ulkopuolelle. Tällöin säästettäisiin paljon leväbiomassan keruun ja öljyn tms. erottamisen kustannuksissa. Jos levä saataisiin vielä tuottamaan suhteellisen valmista biopolttoaineeksi kelpaavaa lopputuotetta, säästettäisiin edelleen jalostuskustannuksissa. (Radakovits ym. 2010, Christi 2013)

Christi (2013) mukaan geenitekkinistä muokkausta tarvitaan erityisesti fotosynteesin tehostamiseen. Viherhiukkasten fotosynteesitehokkuutta voidaan tulevaisuudessa mahdollisesti muokata tai kehittää jopa kokonaan keinotekoinen viherhiukkanen, ja siten mahdollistaa keinotekoinen yhteyttäminen aurinkopolttoaineiden (esim. vety) tuottamiseksi. Yhdysvalloissa perustettiin vuonna 2010 keinotekoisin fotosynteesin tutkimusohjelma (Joint Center for Artificial Photosynthesis = JCAP), jonka tarkoituksena on energiaministeriön tukemana tuottaa aurinkopolttoaineratkaisuja. Myös Suomessa tehdään tutkimusta tällä alueella Turun yliopistossa (Sci.utu.fi, Turun yliopisto). Keinotekoinen yhteyttäminen on prosessina kuitenkin niin monimutkainen, että menetelmän kaupallisia sovelluksia voitaneen odottaa vasta kymmenien vuosien päästä (Tekniikka & Talous uutinen 2007).

Levien muokkaus geenitekkinisesti on sinänsä melko yksinkertaista, mutta sen toteutus on osoittautunut hankalaksi ja levien DNA:n sekvensointihankkeet sekä geenitekkinen muokkauksen tutkimus ovatkin vasta aluillaan. Stabiili geeninsiirto pitäisi usein onnistua tekemään viherhiukkasen genomiin fotosynteesin tehostamiseksi. Toisaalta aineenvaihduntareittien entsyymejä koodaavat geenit sijaitsevat usein mikrolevän tumen genomissa. (Radakovits ym. 2010) Sekvensointikustannusten laskiessa ja geenitekniikan menetelmien vakiintuessa levien geenitekkinen muokkaus vaikuttaa yhä lupaavammalta. Täsmällisiä tietoja levien geenitekkinen muuntamisen nykytilanteesta on hankala saada, koska suuri osa tutkimuksesta tehdään yrityssalaisuuksien alaisuudessa, eikä tuloksista ole saatavilla tieteellisiä julkaisuja. (Flynn ym. 2010) Muuntogeenisten levien ympäristövaikutuksista on tehtävä kattava ympäristövaikutusten arviointi ennen kuin niitä voidaan kasvattaa laajemmassa mittakaavassa laboratorioolosuhteiden ulkopuolella.

#### 4.5 Leväkasvatuksen sivutuotteet

Levät voivat tuottaa kaupallistettavia sivutuotteita kasvatuksen yhteydessä. Tällaisia sivutuotteita ovat mm. proteiinit ja öljynerotuksessa ylijäävä biomassa, joita voidaan käyttää rehuna (**Kuva 3**) ja lannoitteena tai fermentoida bioetanoliksi/biometaaniksi. Levärehua voidaan käyttää kalankasvatuksessa sekä sika- ja siipikarjan proteiininlähteenä. Levistä saa muokkaamalla raaka-ainetta hyvin erilaisiin käyttötarkoituksiin, esim. muoveihin tai kosmetiikkateollisuuden käyttämiin öljyihin ja väripigmenteihin. Levistä on eristetty arvokkaita lääkeaineita ja fluoresoivia aineita, joita lääketieteellinen tutkimus voi hyödyntää. (Singh ja Gu 2010)



Kuva 3. Leväbiomassasta valmistettua rehua. Kuva: Hans Wolkers.

Levistä voidaan myös eristää arvokkaita lisäravinteina käytettäviä aineita, kuten erilaisia omega-3/6-rasvahappoja ja antioksidantteja. Kaupallisia omega-3-rasvahappoja ovat mm. eikosapentaeenihappo (EPA) ja dokosaheksaeenihappo (DHA). *Haematococcus pluvialis* -mikrolevästä saatava astaksantiini on voimakas lisäravinteena käytettävä antioksidantti. (Singh ja Gu 2010) *Spirulina*-levä puolestaan on tunnettu ravinteikas levä, joka sisältää runsaasti proteiineja (mukaan lukien kaikki välttämättömät aminohapot) sekä useita vitamiineja, kivennäisaineita ja antioksidantteja. *Spirulina* sisältää myös huomattavia määriä gammalinoleenihappoa (GLA), joka on tärkeä omega-6-ryhmän rasvahappo.

Leväkasvatuksen kaupallistettavana sivutuotteena voidaan pitää myös jätevesien puhdistusta levien avulla. Leväkasvatuksen vaatimien ravinteiden lisääminen kasvatusnesteeseen, kalliina ja ympäristölle haitallisina kemiallisina lannoitteina, heikentää leväkasvatuksen energiatasapainoa huomattavasti. Tutkimuksen kannalta saattaa olla kuitenkin hankalaa järjestää pienen mittakaavan laboratorio-olosuhteissa tehdyt koejärjestelyt niin, että niissä voisi käyttää jätevesiä, koska jätevesien ravinnesisältö vaihtelee jatkuvasti. Levien jätevesikasvatuksen suuri kontaminaatoriski vaikeuttaa myös osaltaan tutkimusten toistettavuutta ja kontrolloitavuutta. Suurin osa pienen mittakaavan leväkasvatuksesta onkin tehty käyttäen kemiallisia lannoitteita, ja hyvät tulokset öljypitoisuuksista sekä kasvunopeudesta ovat osin näiden lannoitteiden ansiota. Suuren mittakaavan leväkasvatuksessa kemiallisten lannoitteiden laajamittainen käyttö saattaa muodostua rajoittavaksi tekijäksi ja vaikuttaa negatiivisesti elinkaariarvioihin. Toisaalta ei ole olemassa juurikaan tietoa suuren mittakaavan leväkasvatuksen toimivuudesta käytettäessä jätevesiä, eikä siten tiedetä tarkkaan millaiset vaikutukset ovat öljypitoisuuksiin ja/tai levän kasvunopeuteen. (Lam ja Lee 2012)

## 5. Leväbiologiaa

Kasvit muodostavat levien kanssa suurimman osan planeettamme biomassasta ja tuottavat suurimman osan ilmakehän hapestä. Levät vastaavat pienemmästä osasta maapallon biomassaa mutta nopean kasvun ja kierron ansiosta niiden tuotanto vastaa kasvien tuotantoa. Levät muuntavat yhteyttäessään auringon energiaa kemialliseksi energiaksi ja varastoivat energiaa öljyihin, hiilihydraatteihin ja proteiineihin. Näitä energiavarastoja voidaan käyttää hyväksi biopolttoainetuotannossa.

Yleisesti ottaen levät ovat laaja ja kirjava ryhmä melko alkeellisia, yksisoluisia (mikrolevä) tai monisoluisia (makrolevä) organismeja, jotka eivät muodosta tieteellisen luokittelun kannalta kehityshistoriallisesti yhtenäistä ryhmää, eikä niillä ole yhteistä kantamuotoa. Levät kykenevät lisääntymään sekä suvutomasti jakautumalla että suvullisesti. Ne ovat joko omavaraisia (yhteyttäviä) autotrofeja, toisenvaraisia (ei-yhteyttäviä) heterotrofeja tai mikсотrofeja. Autotrofiset eliöt käyttävät energianaan auringonvaloa ja hiilenlähteenään veteen liuennutta ilmakehän hiilidioksidia. Toisenvaraiset eli heterotrofiset eliöt tarvitsevat elintoimintojensa ja kasvunsa turvaamiseen energiaa sekä hiilenlähteen, jotka ovat peräisin muiden eliöiden toiminnasta, esim. jätevesien orgaanisista aineista. Heterotrofiset eliöt eivät tarvitse auringonvaloa, vaan ne voivat elää pimeässä. Mikсотrofiset eliöt puolestaan saavat tarvitsemansa ravinteet ja energian yhdistämällä yhteyttämisen ja orgaanisen aineen käytön. Ne voivat yhteyttää päivällä, kun auringonvaloa on saatavilla, ja jatkaa kasvua yöllä heterotrofian avulla.

Levä viittaa nimityksenä lähinnä elintapoihin ja ulkoisiin piirteisiin. Leviä pidettiin ennen vedessä elävinä kasveina, mutta leviltä puuttuvat juuret, varsi, lehdet sekä siemenaiheet ja nykyisin ne luetaan omiksi ryhmikseen. Ainoastaan viherlevät luetaan edelleen kasveihin. Uuden luokittelun mukaan levät jaetaan kolmeen eri pääryhmään. Esitumallisten eli prokaryoottien (*Monera*) pääryhmään luetaan virusten ja muiden bakteerien lisäksi nykyisin myös ennen sinilevinä tunnetut syanobakteerit. Alkueliöiden (*Protista*) pääryhmään kuuluvat alkueläimien lisäksi nielulevät, panssarisiimalevät, tarttumalevät, kultalevät, keltalevät, piilevät, limalevät ja silmalevät. Viherlevät puolestaan luetaan korkeampaa kehitystasoa edustavien eliöiden pääryhmään kasvien kanssa ja ne edustavatkin varsinaisten kasvien esimuotoja. Viherleviin kuuluu yksisoluisien alkeellisten muotojen eli mikrolevien lisäksi kehittyneitä monisoluisia muotoja eli makroleviä.

Arviot maapallon levälajien lukumäärästä vaihtelevat suuresti osin puutteellisten tietojen, osin erilaisten luokittelutapojen vuoksi. Lähteestä riippuen eri levälajeja arvioidaan olevan noin 50 000 - 300 000. Yli 40 000 levälajia on jo tunnistettu (Radakovits ym. 2010). Nykykäsityksen mukaan hyvinkin erilaiset eliöt ovat evoluution aikana ottaneet soluihinsa endosymbionteiksi yhteyttäviä yksisoluisia eliöitä ja näin kehittyneet levämäisiksi eliöiksi. Biopolttoainetutkimuksessa on keskitytty laajasta levälajien ja -kantojen kirjosta hyvin pieneen osaan kartoituksissa ominaisuuksiltaan parhailta vaikuttavilta mikro- ja makroleviin.

### 5.1 Makrolevät

Makrolevät ovat monisoluisia, makeassa ja suolaisessa vedessä eläviä leviä, joita kutsutaan myös merileviksi (seaweed). Osa makrolevistä kasvaa kiinnittyneenä kovalle pohjalle tai vaihtoehtoisesti vapaana vedessä muistuttaen joskus vesikasveja (Kuva 4). Makroleviä on viherlevissä (Chlorophyta), punalevisissä (Rhodophyta) ja ruskolevisissä (Phaeophyta; ruskeiden levien alaryhmä). Osa makrolevistä on syötäviä, esim. *Saccharina japonica* (kombu), ja näitä merileviä onkin käytetty ravintona aasialaisessa ruokakulttuurissa jo vuosituhansia. Nykyisin useita makroleviä käytetään paitsi elintarviketeollisuudessa myös rehuna sekä esim. saippuan, hammastahnan ja lasin valmistuksessa. Makroleviä voidaan kasvattaa kaupallisesti rannikoiden läheisyydessä tai tuotanto voi perustua luonnonkantojen keruuseen ilman varsinaista viljelyä. Euroopassa suurin osa kerättävistä makrolevistä on luonnonkantoja, mutta esim. Aasiassa makroleviä on viljelty kaupallisesti jo pitkään.

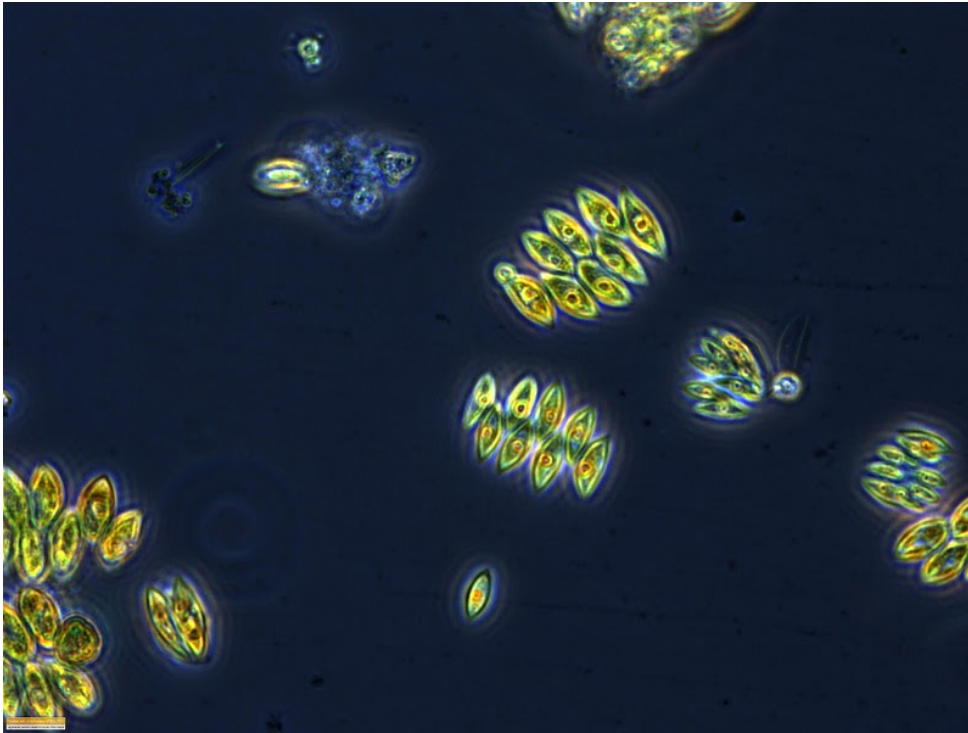


Kuva 4. Rakkoleviä. Kuva: Anja Holmsten, YHA kuvapankki.

Makrolevien kasvatusta biopolttoainetuotantoa varten on herättänyt kiinnostusta ympäri maailmaa, joskin pääpaino on edelleen mikrolevissä, koska ne kasvavat nopeammin ja sisältävät enemmän öljyä biodieseltuotantoon. Makrolevien etuna mikroleviin verrattuna on niiden yksinkertainen kerääminen vedestä suuren makroskooppisen rakenteen takia. Keruu voidaan suorittaa helposti verkoilla. Makroleviä on lisäksi edullisempaa ja yksinkertaisempaa kasvattaa kuin mikroleviä. Makrolevien öljypitoisuudet ovat huomattavasti pienemmät kuin mikrolevien, joten makrolevistä voidaan realistisesti ajatella tuotettavan lähinnä biometaania ja bioetanolia fermentoimalla. Makrolevistä kuten mikrolevistäkin puuttuu ligniini ja selluloosapitoisuus on pieni, joten biologinen hajotus metaaniksi on helpompaa kuin maalla elävien kasvien kohdalla. Makrolevistä saadaan biopolttoainetuotantoon tyypillisesti noin 50% niiden sisältämistä sokereista, mutta tätä osuutta voidaan kasvattaa kehittämällä menetelmiä alginaatin, makrolevän sisältämän polysakkaridin, sekä selluloosan hajotukseen käymisteitse. (SEI leväraportti 2009)

## 5.2 Mikrolevät ja syanobakteerit

Sekä mikrolevät (**Kuva 5**) että syanobakteerit (entiseltä nimitykseltään sinilevät) (**Kuva 6**) ovat joko yhteyttäviä tai ei-yhteyttäviä eliöitä, joita kasvaa sekä makeissa että suolaisissa vesissä. Ne ovat yksisoluisia, happea tuottavia, mikroskooppisen pieniä ja kasvustoja muodostavia eliöitä. Mikrolevät ovat aitotumallisia (eukaryootteja), kun taas syanobakteerit ovat esitumallisia (prokaryootteja). Mikrolevillä DNA on toisin sanoen pakattuna tumaan, mutta syanobakteereilla se on ympyränmuotoisissa kromosomeissa irrallaan solulimassa. Endosymbioositeorian mukaan kasvien ja levien kehityslinjaan kuuluvat eliöt ovat syntyneet aitotumallisia edeltäneiden solujen otettua solusyönnillä syanobakteereja sisäänsä. Evoluution myötä näistä kehittyi aitotumallisiin soluihin yhteyttämiskykyisiä soluelimiä, viherhiukkasia. Osa viherhiukkasen toiminnalle tarpeellisista geeneistä on myöhemmin siirtynyt kasveissa isäntäsolun tumaan.



Kuva 5. *Scenedesmus obliquus*-mikrolevä. Kuva: Kristian Spilling, SYKE.

Aikaisemmin kaikki viherhiukkaselliset eliöt luokiteltiin kasveiksi. Eri eliöryhmillä tavataan kuitenkin erilaisia viherhiukkasia, jotka ovat syntyneet toisistaan riippumattomien endosymbioottisten tapahtumisen seurauksena. Nykyisin vain viherlevät luetaan kasveihin kuuluviksi. Kasviplanktonsystematiikan mukaan mikrolevät jaetaan **Taulukossa 4** lueteltuihin kuuteen pääluokkaan. Eri eliöryhmissä esiintyy kolmenlaisia viherhiukkasia. Kasveilla ja viherlevillä on kloroplastit, joita tavataan myös silmälevillä ja verkkolevillä sekundaarisen endosymbioosin kautta muodostuneina.

Punalevillä puolestaan tavataan rodoplasteja, joita löytyy sekundaarisen endosymbioosin kautta myös ruskeilta leviltä, nieluleviltä ja tarttumaleviltä. Glaukofyyttilevillä tavataan syanelleja, joita pidetään surkastuneina syanobakteereina. Kasvien viherhiukkasissa valo absorboi pääasiassa klorofylli-a, mutta karotenoidit ja klorofylli-b toimivat apupigmentteinä ja ne absorboivat eri aallonpituutta kuin klorofylli-a. Kaikissa leväryhmissä tavataan a-klorofylliä, b-klorofylliä esiintyy vain silmä- ja viherlevillä ja c-klorofylliä tavataan kultalevillä, piilevillä, panssarisiimalevillä, nielulevillä ja ruskolevillä. Syanobakteereille tyypillisiä yhteyttämisväriaineita ovat fykosyaniini ja fykoerytriini.

Mikrolevien pääluokat		
1	Syanobakteerit	<i>Cyanophyta</i>
2	Nielulevät	<i>Cryptophyta</i>
3	Panssarisiimalevät	<i>Dinophyta</i>
4	Ruskeat levät; mm. kulta- ja piilevät	<i>Chromophyta</i>
5	Silmälevät	<i>Euglenophyta</i>
6	Viherlevät	<i>Chlorophyta</i>

Taulukko 4. Mikrolevien pääluokat kasviplanktonsystematiikan mukaan.

Aquatic Species -ohjelmassa tutkittiin pääasiassa viittä eri mikroleväryhmää: varsinaisia viherleviä (*Chlorophyceae*), tarttumaleviä (*Prymnesiophyceae*) ja ruskeisiin leviin kuuluvia *Eustigmatophyceae*-

luokan leviä, piileviä eli diatomeja (*Bacillariophyceae*) ja kultaleviä (*Chrysophyceae*). Myös syanobakteereja (*Cyanophyceae*) tutkittiin jonkin verran. (Gao ym. 2012, ASP raportti 1998) Biopolttoainetutkimuksissa on perinteisesti keskitytty mikrolevien kohdalla lähinnä viherleviin mutta myös piileviä eli diatomeja ja syanobakteereja tutkitaan paljon (Hildebrand ym. 2012).

Esitumalliset eliöt tunnetaan yleisesti aiotumallisista paremmin, mutta syanobakteerien kohdalla tutkimus ei ole ollut yhtä kattavaa. Esimerkiksi täydellinen sitruunahappokierto syanobakteerissa todistettiin vasta vuonna 2011 (Zhang ja Bryant 2011). Tämän toivotaan mahdollistavan sitruunahappokierron muokkauksen biopolttoainetuotantoon. Vaikka useiden syanobakteerien genomit on jo sekvensoitu, aineenvaihduntareitit ovat vielä kaiken kaikkiaan huonosti tunnettuja. Syanobakteereja voitaisiin kuitenkin muokata helpommin kuin varsinaisia leviä, koska niillä ei ole tumaa eikä mitokondrioita ja niiden genomit ovat varsin pieniä. Syanobakteerit tuottavat glykogeenia varastohiilihydraattina tärkeilyn asemesta. (Quintana ym. 2011)

Vaikka mikrolevien ja syanobakteerien aineenvaihduntareitit tunnetaan vielä suhteellisen huonosti, on useita entsyymejä jo tunnistettu, eristetty ja jopa muokattu geeniteknisesti. Rasvahapposynteesi tapahtuu mikrolevillä viherhiukkasessa ja glyserolipidisynteesi puolestaan solulimakalvostolla, minkä jälkeen varastoitavat triglyseridit pakataan vesikkeleihin ja vapautetaan solulimaan. Varastorasvana triasyyliglyseroli (TAG) on biodieseltuotannon kannalta käyttökelpoisinta. Triasyyliglyseroli on neutraali varastorasva, jossa glyseroliin on esteröityneenä kolme rasvahappoketjua, kukin 16-18 rasvahapon pituisia. Levä käyttää hiilihydraatteja aineenvaihdunnassaan useiden, myös biopolttoaineiksi sopivien, yhdisteiden valmistamiseen. Näitä ovat mm. etanoli, butanoli, vety, rasvat ja metaani. Levälajista riippuen hiilihydraatit voidaan varastoida esim. viherhiukkaseseen tai solulimaan. Biopolttoainetuotannon kannalta on tärkeää selvittää näitä aineenvaihduntaan liittyviä tekijöitä, jotta niitä voidaan muokata joko geeniteknisesti tai kasvatusolosuhteita muuttamalla. (Radakovits ym. 2010)



Kuva 6. *Nodularia spumigena*-syanobakteeri. Kuva: Reija Jokipii, YHA kuvapankki.

## 6. Leväbiomassan kasvatus

Leväbiopolttoainetuotannon tuotantoketju alkaa tutkimus- ja kehitystyöstä, jolla rakennetaan perusta koko prosessille (**Kuva 7**). Jokaisessa vaiheessa on useita erilaisia vaihtoehtoisia menetelmiä, joiden avulla voidaan edetä haluttuun suuntaan. Leväbiomassaa pitää ensin kyetä kasvattamaan tehokkaasti valitsemalla sopivat levälajit ja niille optimaaliset kasvatusolosuhteet. Yksinkertaistettuna levä tarvitsee kasvaakseen auringonvaloa, vettä, hiilidioksidia ja ravinteita. Ollakseen taloudellisesti kannattavaa, pitää kasvatusolosuhteet kuitenkin optimoida tarkkaan esim. pH:n, lämpötilan, valaistuksen, ravinteiden, vedenkierron ja kaasujenvaihdon osalta. Leville optimaalisen kasvatusmenetelmän valinta on myös tärkeää. Kasvatuksessa täytyy ottaa huomioon, ettei leviä voi kasvattaa kovin tiheässä, koska auringonvaloa tulee olla saatavilla tasaisesti. Itse leväbiomassan kasvatuksen jälkeen seuraa tuotantoketjussa levien kerääminen kasvatusnesteestä ja vedenpoisto eli biomassan kuivaaminen (**Kuva 8**). Leväbiomassasta on vedenpoiston jälkeen erotettava jatkokäsittelyyn tarkoitetut komponentit kuten öljyt, hiilihydraatit tai proteiinit. Vasta tämän jälkeen päästään jalostamaan raaka-ainetta lopputuotteeksi.



Kuva 7. Leväöljytuotannon tuotantoketju. Tutkimus kuuluu erottamattomasti kaikkiin vaiheisiin.

### 6.1 Leväkasvatusmenetelmät

Leviä voidaan kasvattaa maalla avoimissa ja suljetuissa altaissa sekä fotobioreaktoreissa (photobioreactor = PBR). Altaissa kasvatus tapahtuu joko matalissa laguuneissa tai kilparadan muotoisissa vesikouruissa, joissa vettä sekoitetaan lapojen avulla ravinteiden, lämpötilan ja auringonvalon tasaisen jakautumisen takaamiseksi. Suljetuissa järjestelmissä leviä voidaan kasvattaa suljetuissa altaissa, mutta yhä enenevässä määrin myös mm. pysty- tai vaakaputkissa, levyillä, kalvoilla tai kuplamaisissa pylväissä, fotobioreaktoreissa (**Kuva 9**).



Kuva 8. *Scenedesmus obliquus* -levää sentrifugoituna (vasemmalla) sekä putkessa pohjalle erottunutta levämassaa maljalla (oikealla). Kuvat: Kristian Spilling, SYKE.

Yleisesti ottaen tuottavuuden katsotaan olevan parempi kontrolloidussa ja suljetussa fotobioreaktoreissa mutta pääoma- ja käyttökustannusten myös vastaavasti suuremmat kuin allaskasvatuksessa (Singh ja Gu 2010). **Taulukossa 5** vertaillaan eri kasvatusmenetelmiä. Leväkasvatuksessa pyritään löytämään menetelmä, joka tarjoaa parhaat kasvuolosuhteet ja jota on helppo toteuttaa sekä käyttää. Myös kontaminaattoriskin ja maa-aluevaatimusten tulisi olla pienet, yhtä aikaa mahdollisimman matalien pääoma- ja käyttökustannusten kanssa (Lam ja Lee 2012).

Avoimet altaat	Fotobioreaktorit
+ Pienemmät kustannukset	+ Parempi tuottavuus
+ Vähemmän ylläpitoa	+ Helpompi säädeltävyys
- Olosuhdevaatimukset	+ Pienempi kontaminaattoriski
- Hiilidioksidin syöttö haastavaa	- suuremmat kustannukset

Taulukko 5. Eri kasvatusmenetelmien vertailua.

Aquatic Species -ohjelman kenttäkokeissa testattiin erilaisten kasvatusmenetelmien toimivuutta ja tehokkuutta tarkoituksena hyödyntää laboratorio-olosuhteissa tehtyjä löydöksiä suuren mittakaavan tuotannossa. Avointen altaiden suurimmaksi eduksi katsottiin edullisuus, mutta tuotanto oli tehotonta. Suljetun fotobioreaktorin etuja olivat olosuhteiden parempi säädeltävyys, kontaminaattoriskin pienuus ja suuri tuotantotehokkuus, mutta samalla pääoma- ja käyttökustannukset nousivat liian suureksi ollakseen kannattavia. Esimerkiksi Yhdysvalloissa suurin osa hiilidioksidia tuottavista hiilivoimaloista sijaitsee pohjoisosissa, missä ilmasto-olosuhteet eivät ole leväkasvatukseen sopivat. Leväkasvatuksen kustannukset kasvavat ja ympäristöhyödyt pienenevät, jos hiilidioksidin lähdettä ei saada liitettyä tehokkaasti kasvatuslaitoksen yhteyteen esim. sijoittamalla leväkasvatuslaitos voimalan läheisyyteen. (Gao ym. 2012, ASP raportti 1998)



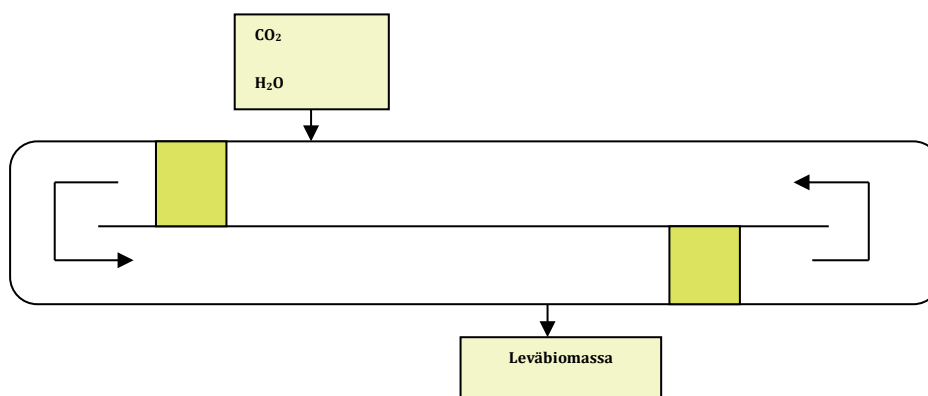
Kuva 9. Leväkasvatusta avoimessa kilparata-altaassa (vasemmalla), suljetuissa levyissä (keskellä) ja putkimallisessa fotobioreaktorissa (oikealla). Kuvat: Hans Wolkers.

Leväbiomassan suuren mittakaavan kasvatuksen on perinteisesti ajateltu tapahtuvan ulkoilmassa, missä auringonvalo on tarjolla runsaasti ja vapaasti yhteyttämisreaktiota varten. Tämä menetelmä ei kuitenkaan sovellu sellaisiin maantieteellisiin olosuhteisiin, joissa auringonvalon saatavuus tai matalat lämpötilat muodostuvat rajoittaviksi tekijöiksi. Heterotrofinen kasvatus fermentaatiobioreaktorissa onkin tällöin yksi mahdollinen vaihtoehto. Tällä hetkellä tunnetaan tosin vain muutama fermentaatiokasvatukseen sopiva levälaji, jonka öljypitoisuus on tarpeeksi korkea tuotantoon. Fermentaatiokasvatukseen liittyy orgaanisen materiaalin käytön myötä kontaminaattoriski, etenkin jos kasvatus tapahtuu jätevedessä. Kasvatusnesteen sterilointi on mahdollinen mutta kallis ja energiaa kuluttava vaihtoehto. Orgaanisten hiilenlähteiden lisääminen puhtaaseen veteen on kontaminaattoriskiltään parempi vaihtoehto mutta tulee kalliimmaksi kuin jäteveden käyttö. Parhaiten orgaaniseksi hiilenlähteeksi sopisi glukoosi, mutta sen kasvattaminen sokerikasvissa on ongelmallista biopolttoainetuotannon kilpaillessa ruoantuotannon kanssa. Tulevaisuudessa saattaa olla mahdollista käyttää lignoselluloosasta saatavaa glukoosia tai biodieseltuotannon sivutuotteena syntyvää glyserolia edullisena hiilenlähteenä. (Lam ja Lee 2012)



### 6.1.1 Levien kasvatus avoimissa järjestelmissä

Suurin osa tällä hetkellä meneillään olevasta leväkasvatuksesta tapahtuu avoimissa altaissa. Ne voivat olla myös osittain katettuja esim. tarpeeksi korkean hiilidioksidipitoisuuden säilyttämiseksi tai lämpöhävikin kontrolloimiseksi. Avoimet altaat ovat tyypillisesti kilparadan muotoisia ja vettä sekoitetaan lapojen avulla (**Kuva 10**). Avoimet altaat ovat pääoma- ja käyttökustannuksiltaan edullisimpia leväkasvatusmenetelmiä. Leviä voidaan kasvattaa makeassa tai suolaisessa vedessä sekä murtovedessä riippuen kasvatettavan levälajin ominaisuuksista. Veden ominaisuuksilla on kuitenkin yllättävän suuri vaikutus kokonaiskustannuksiin. Kovaan veteen saatetaan esim. joutua lisäämään natriumkarbonaattia, lipeää tai molempia, riippuen veden kalsium- ja magnesiumipitoisuuksista. Kasvatettaessa leviä merivesialtaissa, nousee veden suolapitoisuus helposti liian korkeaksi veden haihtumisen takia, mikä lisää kustannuksia makean veden lisästarpeen takia.



Kuva 10. Kilparadan mallinen avoimen altaan kasvatusmenetelmä.

Optimaaliset pH- ja karbonaatio-ominaisuudet riippuvat tietysti kasvatettavasta levälajista. Hiilenlähteen, eli tässä tapauksessa hiilidioksidin lisääminen (kasvatusnesteen karbonaatio), on avoimen altaan menetelmässä kallein kustannus. Avoimen altaan kasvatusnestettä on myös jatkuvasti sekoitettava, jotta ravinteet ja lämpötila jakautuvat tasaisesti ja kaikki levät saavat tarpeeksi auringonvaloa. Altaan syvyyttä ei voida kasvattaa kovin suureksi, koska auringonvalon on jakauduttava leviin tasaisesti. Tyypillisesti altaan syvyys on vain 15-20cm. (Schenk ym. 2008)

Muita kasvatuksen kannalta merkittäviä kustannuksia aiheuttavia tekijöitä ovat lämpötilan ja valon määrän säätely. Avoimissa altaissa kustannuksia aiheuttavat myös mahdolliset kontaminaatiot, joille altaat ovat alttiita. Ajan myötä kasvatusaltaassa alkaa kasvaa ja ravinteista kilpailla myös muita organismeja. Kontaminaatoriskiä voidaan pienentää kasvattamalla leviä suolavedessä, jos tämä on levälajin kannalta mahdollista. Tällöin olosuhteet tarjoavat halutulle lajille kilpailuedun. Muuntogeenisten levien pääsy luontoon avoimista altaista tulee myös ottaa huomioon arvioitaessa ympäristövaikutuksia. (Gao ym. 2012)

### 6.1.2 Levien kasvatus suljetuissa järjestelmissä

Kasvatettaessa leviä suljetussa järjestelmässä etuina ovat lämpötilan tarkempi kontrollointi, kontaminaatioiden estäminen ja suurempi tuotto avoimeen altaaseen verrattuna. Kasvatuksen pääomakustannukset ovat kuitenkin kalliimmat ja järjestelmä vaati enemmän ylläpitoa. Myös haitallisten kaasujen kertyminen sekä pH:n muuttuminen ja lämpötilan nouseminen kasvun kannalta haitalliseksi saattavat muodostua ongelmiksi suljetuissa järjestelmissä. (Singh ja Gu 2010)

Suljetuissa järjestelmissä leviä voidaan kasvattaa mm. pysty- tai vaakaputkissa, levyillä, kalvoilla tai kuplamaisissa pylväissä ns. fotobioreaktoreissa. Liian voimakas suora auringonvalo vaikuttaa haitallisesti useimpien levien kasvuun, joten suljetuissa järjestelmissä on tärkeää suunnitella kasvatus niin, että valo saadaan jakautumaan mahdollisimman tasaisesti. Tyypillisesti suljetuissa järjestelmissä pyritään maksimoimaan pinta-alan suhde tilavuuteen. (Schenk ym. 2008)

Suljetuista fotobioreaktoreista suosituin lienee laboratorioissa paljon käytetty putkimalli. Putkissa pitää olla jatkuva nestekierto biomassan sedimentaation estämiseksi ja auringonvalon tasaisen jakautumisen takaamiseksi. Ongelmaksi suljetuissa putkissa muodostuu liuenneiden kaasujen pitoisuuksien säätely. Liian suuret happipitoisuudet estävät fotosynteesiä ja erittäin suurina pitoisuuksina, yhdistettynä auringonvaloon, happi voi jopa vahingoittaa soluja. Myös pH:n säätely on tärkeää, koska fotosynteesin aikana nesteestä poistuu hiilidioksidia ja sinne syntyy happea, molempien kaasujen vaikuttaessa omalla tavallaan nesteen pH-ominaisuuksiin. Kaasujen vapaa poistuminen suljetuista putkista ei onnistu kuten avoimista altaista ja fotobioreaktoreissa onkin usein erillinen kaasunvaihtoyksikkö, jonne leväliuos ohjataan tasaisin väliajoin. Leväkasvatukselle optimaalinen lämpötila on useimmiten +20-30°C. Putkijärjestelmissä lämpötilat saattavatkin nousta leväkasvatukselle epäsuotuisiksi ja usein niihin joudutaan yhdistämään kustannuksia nostavia viilennysmenetelmiä. (Gao ym. 2012)

Putkimallisen fotobioreaktorin kustannustehokkuus kaupallisen mittakaavan tuotannossa riippuu paljon lopputuotteiden arvosta. Erilaisten fotobioreaktorimallien kustannustehokkuutta tutkitaan parhailaan ympäri maailmaa ja tutkimus- ja kehitystyö onkin tällä hetkellä niin kiihvasta, että odotettavissa olevat kustannukset pienenevät jatkuvasti (Singh ja Gu 2010). Levän yhteyttämistehokkuuden arvioidaan voivan olla noin 4% kasvatettaessa levä suljetuissa järjestelmissä, kun vastaava luku maalla elävillä kasveilla on tyypillisesti alle 1% (Grobbelaar 2009, SEI leväraportti 2009).

## 6.2 Leväbiomassan keruu ja vedenpoisto

Leväbiomassan jatkokäsittelyn kannalta on tärkeää hoitaa leväbiomassan keruu ja vedenpoisto mahdollisimman energiatehokkaasti. Esimerkiksi biodieseltuotannon transesterifikaatioreaktio vaatii vedenpoiston ennen reaktion onnistumista (Lam ja Lee 2012). Levä kasvaa tyypillisesti jätevedessä altaassa laimennoksena  $5 \times 10^{-2}$  (w/v) eli litrassa liuosta on vain 0,5g levää. Tästä liuoksesta on poistettava vettä niin, että leväpitoisuus nousee 91%:iin (Sander ja Murthy 2010). Fotobioreaktoreissa leväbiomassan konsentraatiot ovat jopa 30 kertaa suuremmat kuin avoimissa altaissa, joten niissä vedenpoiston kustannuksetkin ovat suhteessa pienemmät (Chisti 2007). Leväkasvatuksen yhteydessä ei voida välttämättä erikseen arvioida kunkin yksittäisen vaiheen optimaalista ratkaisua, koska kalliimmat kustannukset yhdessä vaiheessa saattavat kompensoitua seuraavan vaiheen tehokkuudessa. Leväkasvatuksessa tulisikin aina tarkastella kokonaisuutta, tehdä mahdollisimman kattavat elinkaariarviointit ja pitäytyä tekemästä liian yksinkertaistettuja johtopäätöksiä puhuttaessa suuren mittakaavan viljelyn kustannustehokkuudesta.

Perinteiset vedenpoistoon käytetyt sentrifugit ovat käytännön kannalta usein liian arvokkaita (etenkin suuren mittakaavan kasvatuksessa), joten vedenpoistoon on pyritty kehittämään muita menetelmiä, joiden kustannustehokkuus vaihtelee. Vettä voidaan poistaa esim. värisevien seulojen, suodattimien tai kuivatusalaiden avulla, mutta vedenpoistoon on kehitetty myös hyvin hienostuneita uusia menetelmiä. Joissain menetelmissä biomassaan voidaan joutua lisäämään kemikaaleja, jolloin vedenpoiston kokonaiskustannukset ja ympäristövaikutukset kuitenkin kasvavat. Esimerkiksi flokkulaatiolla levä saadaan muodostamaan löysiä ryhmittymiä. Leväsolut ovat aina negatiivisesti varautuneita, joten lisäämällä liuokseen positiivisesti varautunut koagulantti saadaan kasvatusneste neutraloitua. Tämän jälkeen liuokseen voidaan lisätä flokkulantti, joka muodostaa siltoja leväsolujen välille johtaen niiden ryhmittymiseen ja sedimentoitumiseen. On kuitenkin otettava huomioon, että flokkulantin lisääminen johtaa leväbiomassan kontaminoitumisen ja voi vaikuttaa haitallisesti jatkoprosesseihin ja/tai lopputuotteen laatuun. (Lam ja Lee 2012)

Yhtenä tutkimus- ja kehitystyön suuntauksena on leväbiomassan jatkojalostuksen mahdollistuminen ilman vedenpoistoa, jolloin leväkasvatuksen kustannustehokkuus ja prosessin kestävyys kasvaisivat. Parhaan mahdollisen menetelmän valinta riippuu aina myös muista kasvatukseen käytetyistä menetelmistä sekä jatkojalostukseen halutusta raaka-aineesta. (Gao ym. 2012)

## 6.3 Leväöljyn erotus ja prosessointi

Biodieselin valmistus edellyttää kuivatun leväbiomassan jatkokäsittelynä öljyn erottamisen ja transesterifikaation. Molempiin vaiheisiin on kehitetty useita eri menetelmiä etenkin laboratoriomittasuhteissa toteutettaviksi. Öljyn erotus leväbiomassasta vaatii yleensä solujen hajottamisen. Tämä tapahtuu perin-

teisesti murskaamalla, puristamalla tai ultraäänikäsittelyllä, minkä jälkeen öljy erotetaan nesteestä esim. orgaanisilla liuottimilla, jotka puolestaan on poistettava lopullisesta tuotteesta ennen jatkojalostusta. Yleisesti ottaen öljyn erotus levistä on hankalampaa kuin maalla elävistä kasveista kovan soluseinän takia. (Gao ym. 2012)

Öljynpuristusta käytetään perinteisesti siementen ja pähkinöiden kohdalla öljyn erottamiseen ja saamoja laitteita ja prosesseja voidaan käyttää myös kuivatulle levälle. Saanto on tässä menetelmässä noin 75% eikä menetelmä vaadi erityistaitoja, mutta haittana on prosessin pitkä kesto. Liutinuutossa ei vaadita levän kuivattamista ennen erotusta, mutta menetelmä ei ole käyttökelpoinen ympäristölle haitallisten liuottimien takia. Niin kutsuttu superkriittinen liutinuutto on erittäin nopea menetelmä, jossa käytetään erotukseen sekä lämpötilaa että painetta ja sillä voidaan käsitellä myös kosteaa leväbiomassaa. Ultraäänimenetelmässä puolestaan päästään jopa 90% saantoihin, mutta menetelmä saattaa olla liian kallis suuren mittakaavan erotukseen. Kaiken kaikkiaan voidaan sanoa, että sopivan, suuren mittaluokan kustannustehokkaan menetelmän löytäminen vaatii vielä lisätutkimuksia. (Singh ja Gu 2010)

#### 6.4 Leväkasvatuksen maantieteellinen sijoittaminen

Ilmasto-olosuhteet ovat merkittävä tekijä valittaessa leväkasvatukselle sopivaa maantieteellistä aluetta. Tärkeimpänä tekijänä pidetään auringon säteilytehoa, joka ei saa olla liian voimakas eikä liian heikko ympärivuotisen leväkasvatuksen mahdollistamiseksi. Leväkasvatukselle optimaalinen vuoden keskilämpötila on +20-30°C ja vuoden kylmimmän kuukauden lämpötila ei saisi laskea alle +15°C:een. Keskeisiä leväkasvatuksen maantieteelliseen sijoittumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat myös mm. maatyypit, käytettävä levälaji, teollinen infrastruktuuri, koulutettu henkilöstö sekä ravinteiden, hiilen ja veden saatavuus. (Aquafuels-raportti 2011)

Pohjois-Amerikassa leväkasvatuksen kannalta optimaalisimmat alueet sijaitsevat Teksasissa ja Kaliforniassa taatun auringonpaisteen alueilla. EU:n alueella leväkasvatukseen sopivimpia alueita ovat pääasiassa Espanja ja Italia, joissa aurinkoenergia on yhtä tehokasta kuin Teksasissa ja Kaliforniassa (Kovacevic ja Wesseler 2010). EU:n alueen leväöljytuotantoa koskevan selvityksen mukaan parhaat mahdollisuudet leväkasvatukseen on Välimeren rannikkovaltioilla, joissa vuoden keksimääräinen lämpötila ei putoa alle +15°C. Esimerkiksi Pohjois-Afrikan kehittyvät maat, kuten Marokko, Algeria, Tunisia ja Egypti voisivat käyttää korkeita lämpötilojaan ja käyttämättömiä autiomaitaan leväviljelyyn ja siten hyötyä taloudellisesti. (Piccolo 2009) Toisaalta näillä alueilla hiilidioksidin, ravinteiden ja veden jakelu voisi osoittautua hankalaksi. Leväkasvatus Pohjois-Euroopassa olisi mahdollista tarvittavan hiilidioksidin ja jäteveden helpon saatavuuden kannalta, mutta toisaalta matalat lämpötilat, auringonvalon vähäisyys sekä riittävän suurten allasalueiden saatavuus tiheään asutuilla alueilla voisivat muodostua ongelmiksi. (Aquafuels-raportti 2011)

## 7. Leväbiopolttoainetutkimuksen nykytilanne

Maailmalla on tällä hetkellä yli 150 yritystä, jotka pyrkivät tuottamaan leväbiomassaa ja siitä edelleen biopolttoainetta. Kokeita tehdään sadoilla eri levälajeilla tarkoituksena löytää lajit, joiden kohdalla tuotannossa yhdistyvät kasvatuksen sekä eristämisen yksinkertaisuus ja edullisuus (esim. *Spirulina*), mutta myös korkea öljypitoisuus (esim. *Haematococcus pluvialis*) (Singh ja Gu 2010). Mukana on suuria ja keskisuuria yrityksiä pääasiassa Yhdysvalloista mutta myös muualta maailmasta. Seuraavassa kartoitetaan levätutkimuksen nykytilannetta maailmalla, Euroopassa ja Suomessa. Maantieteellisten olosuhteiden kannalta Eurooppa ei ehkä kuulu optimaalisimpaan joukkoon, mutta perinteisesti korkeatasoinen tutkimus ja hyvät rahoitushetkimahdollisuudet antavat edellytykset leväbiopolttoainetutkimustyölle Euroopassa.

Tämän hetkiset kaupallisen mittakaavan pilottihankkeet ovat tyypillisesti kansainvälisiä yhteistyöprojekteja jonkin yksityisen tai julkisen tutkimuslaitoksen, ja rahoittajana toimivan yksityisen, kaupallisen yrityksen (esim. öljynjalostusyritys) kesken. On usein hankalaa saada täsmällistä tietoa tutkimus- ja kehitystyön vaiheista tai käytetyistä menetelmistä, koska niihin saattaa liittyä keskeneräisiä patenttihakemuksia ja voimakkaan kilpailutilanteen edellyttämiä yrityssalaisuuksia. Yksityisellä sektorilla pääpaino on kuitenkin edelleen tutkimus- ja kehitystyössä, eikä yksikään yritys ole vielä käynnistänyt täysimittaista kaupallista biodieselin tuotantoa leväbiomassasta (Gao ym. 2012). Tässä selvityksessä mainittujen yritysten osalta tietoja on kartoitettu pääasiassa uutisista sekä yritysten kotisivuilta, koska usein ei ole saatavilla tieteellisiä julkaisuja. Mikäli tiedot perustuvat tieteellisiin julkaisuihin, on tekstissä viite kyseiseen julkaisuun.

### 7.1 Levätutkimus Euroopan ulkopuolella

Yhdysvalloissa useimmat leväbiopolttoainetutkimukset sijaitsevat Kalifornian ja Teksasin alueilla, joilla on myös saatavilla runsaasti paikallisia hiilidioksidin lähteitä sekä jätevettä. Usein suuret energia-alan tai kemianteollisuuden yritykset ovat muodostaneet rahoittajina yhteistyöprojektin jonkin bioteknologiayrityksen kanssa. Esimerkkejä tällaisista fuusioista ovat: Exxon Mobil Corporation (öljy-yhtiö) ja Synthetic Genomics, BP Amoco p.l.c. (öljy-yhtiö) ja Martek Biosciences Corporation, Dow Chemical Company (kemianteollisuusyhtiö) ja Algenol Biofuels Inc. sekä Monsanto (maatalouskemikaaliyhtiö) ja Sapphire Energy.

Yhdysvalloissa useat yliopistot tutkivat levien mahdollisuuksia biopolttoainetuotannossa. Näistä yliopistohankkeista on syntynyt monia oheisyhtiöitä, jotka ovat puolestaan aloittaneet yhteistyön eri alojen rahoittajien ja sijoittajien kanssa. Tutkimusta tekevät ja tukevat myös voittoa tavoittelemattomat organisaatiot, kuten **National Algae Association (NAA)**, joka koostuu leväbiopolttoaineen kaupallistamista tukevista tutkijoista, tuottajista ja rahoittajista. **Algal Biomass Organization (ABO)** puolestaan koostuu tutkijoista, yrityksistä ja organisaatioista, jotka tukevat samaa tarkoitusta. ABO:n toiminnassa ovat mukana mm. Boeing (lentoyhtiö), A2BE Carbon Capture Corporation (leväbiopolttoainetuottaja), National Renewable Energy Labs (NREL; Yhdysvaltain energiaministeriön rahoittama uusiutuvien energianlähteiden tutkimuskeskus), Scripps Institution of Oceanography (merentutkimuslaitos), Mont Vista Capital (sijoitusyhtiö) ja Montana State University (perustutkimus). Tällaisten monialaisten yritysten ja tahojen välinen verkostoituminen ja yhteistyö ovat leväbiopolttoaineen kehityksen kannalta ensiarvoisen tärkeitä, koska kyseessä on kokonaisen uuden biotalouden osa-alueen kaupallistaminen.

Yhdysvalloissa on todennäköisesti eräät maailman parhaista uusiutuvien energianlähteiden resursseista. Yhdysvaltojen presidentti Barack Obama onkin tukenut voimakkaasti uusiutuvien energianlähteiden tutkimusta astuttuaan virkaan vuonna 2009. Samana vuonna presidentti Obama puhui kongressissa uusiutuvan energian määrän kaksinkertaistamisesta seuraavien kolmen vuoden aikana. Uusiutuva energia koki pahan poliittisen takaiskun vuonna 2011, kun Yhdysvaltain liittovaltiolta yli 500 miljoonan dollarin lainatakuun saanut, aurinkopaneeleita valmistanut **Solyndra** hakeutui konkurssiin. Vuoden 2012 presidentinvaalien alla uusiutuva energia ja biopolttoaineet olivat voimakkaasti esillä Yhdysvalloissa, ja vain aika näyttää mihin suuntaan Yhdysvalloissa edetään. Levätutkimus ja pilottihankkeet ovat Yhdysvalloissa vaiheessa, jossa rahoituksen menettäminen ja yritysten kaatuminen voisivat mahdolli-

sesti asettaa koko leväbiopolttoainealan tulevaisuuden vaakalaudalle. Tilanne on herkkä maailmanlaajuisesti, koska monet yritykset tekevät kansainvälistä yhteistyötä ja yhden yrityksen ajautuminen konkurssiin voi vaikuttaa globaalisti usean projektin tulevaisuuteen. Elokuun lopussa 2012 julkaistun tiedon mukaan ensimmäinen kaupallisen mittakaavan demonstraatiohanke saatiin toimintaan Yhdysvalloissa, New Mexicossa. Kyseessä on **Sapphire Energyn** avoimissa altaissa tapahtuva leväkasvatushanke, jonka tarkoituksena oli tuottaa vuoden 2014 loppuun mennessä 100 barrelia ja vuodesta 2018 alkaen kaupallisesti jopa 10 000 barrelia leväraakaöljyä päivässä (Fortune CNN uutinen 2012), mutta maaöljyn hinnan voimakkaan laskun jälkeen yhtiö ilmoitti, että se keskittyy laajentamaan toimintaansa biomassan tuottamiseen mm. ruoka-, kosmetiikka- ja teollisuuskemikaalien tuotantoa varten. Leväöljyn tuotanto pysyy kuitenkin tärkeänä osana yrityksen toimintaa.

Leväbiopolttoainetutkimusta tehdään aktiivisesti myös Aasiassa (esim. Kiina, Japani, Korea, Indonesia, Intia), Etelä-Amerikassa (esim. Meksiko, Argentiina), Australiassa ja Uudessa-Seelannissa. Etenkin Aasiassa mikro- ja makroleväbiomassan kaupallistamisessa korostetaan voimakkaasti elintarvike-, rehu- ja lannoitesovelluksia biopolttoainetuotannon rinnalla. Teollistuvat maat, kuten Kiina ja Intia, ovat suunnanneet resursseja leväkasvatuksen tutkimus- ja kehitystyöhön maiden mahdollisen energiakriisin ratkaisemiseksi. Kiina on maailman suurimpana kasvihuonekaasujen tuottajana erityisen kiinnostunut mahdollisuudesta sitoa hiilidioksidipäästöjä leväkasvatuksen avulla. Kiinan tavoitteena on myös mm. korvata 15% fossiilista energianlähteistä uusiutuvilla energianlähteillä vuoteen 2020 mennessä (Yhdysvaltain kongressin tutkimusraportti 2011).

### 7.1.1 Mikrolevätutkimushankkeita

Muutamit levätutkimushankkeet ovat herättäneet mediahuomiota. Esim. **Solazyme** (US) tekee yhteistyötä useiden suurten yhtiöiden (esim. Chevron, Dow Chemical, Unilever, Quantas, Honeywell UOP) kanssa ja tuottaa ns. drop-in biodieseliä (voidaan sekoittaa ja käyttää olemassa olevissa moottoreissa) levistä sekä kaupalliseen että armeijan käyttöön Yhdysvalloissa. Vuonna 2010 Solazyme toimitti yli 80 000 litraa levistä tuotettua biodieseliä ja lentopolttoainetta Yhdysvaltojen laivastolle. Solazymen teknologiassa on vahvasti mukana geenitekniikka leväkantojen muokkaamiseksi enemmän öljyä tuottaviksi. Solazyme kasvattaa levää suljetuissa käymistankeissa, ilman auringonvaloa, syöttämällä leville sokereita hiilenlähteeksi. Menetelmän etuna on, että hiilenlähteenä voidaan käyttää useita erilaisia kasvipohjaisia, uusiutuvia sokereita (sukroosia sokeriruo'osta, dekstroosia maissista, selluloosaa puubiomassasta). Solazyme tuottaa leväbiomassasta myös kaupallisia sivutuotteita, kuten Golden Chlorella -lisäravinteita. Eräs sivutuote on Solazymen tutkijoiden löytämä, levän erittämä yhdiste, jonka on todettu edistävän solujen uudistumista, vähentävän tulehdusreaktioita sekä tarjoavan suojan UV-säteitä vastaan. Solazyme nimesi tämän yhdisteen algonihapoksi ja aloitti vuonna 2011 algonihappoa sisältävän Algenistihonhoitosarjan markkinoinnin yhdessä kosmetiikkajätti Sephoran ja ostoskanava QVC:n kanssa.

Kalifornian yliopistossa, Berkeleyssä, on uutisoinnin mukaan onnistuttu muokkaamaan viherlevä *Chlamydomonas reinhardtiin* kasvatusolosuhteita niin, että levä tuottaa fotosynteesin tuotteena vetyä hapen asemesta. Poistamalla rikin kasvatusnesteestä tutkijat saivat levän vaihtamaan aineenvaihduntareittiään hapestä vedyksi. Tuotettaessa levillä biovetyä käy usein niin, että samalla tuotettu happi estää jossain vaiheessa vedyn tuotantoon tarvittavan entsyymin toiminnan. Tällaisella menetelmällä levistä voitaisiin tulevaisuudessa mahdollisesti tehdä vetyreaktoreita. (Science.org.au, New Scientist)

Leväkasvatuksen kustannuksia voidaan pienentää kehittämällä parempia levien keruu- ja öljyn erotusmenetelmiä. **OriginOil** (US) on omien sanojensa mukaan kehittänyt menetelmän, jolla leväkasvustosta voidaan kerätä jatkuvasti vetykaasua häiritsemättä levän kasvua. Leviä voidaan myös "lypsää", jolloin ne saadaan erittämään öljyä soluistaan sähköisen ärsykkeen avulla ilman, että solu kuolee (Live Extraction). Menetelmässä ei vaadita herkkien, öljyä luonnostaan erittävien levälajien, kuten *Botryococcus braunii* käyttöä. Yhtiö on kehittänyt myös menetelmän, jolla levien keruu, solujen hajotus, vedenpoisto ja öljyn eristys onnistuvat yhdessä prosessissa (Single-Step Extraction). Yhtiöllä on koeviljelmä North Queenslandissa, Australiassa. OriginOil on tehnyt yhteistyösopimuksen Ranskassa toimivan yrityksen kanssa ja ensimmäinen tuotantoyksikkö lähetettiin Ranskaan kesällä 2012. Tarkoituksena on testata OriginOilin menetelmää urbaaneissa olosuhteissa, osana rakennuksen vesihuoltoa ja energiatasapainoa. **Algae to Energy** (US) on puolestaan kehittänyt useita patentoituja teknologisia ratkaisuja levien kasvatukseen, keruuseen ja öljyn eristämiseen tarkoituksenaan tuottaa nimenomaan kaupallisen mitta-

kaavan levänkasvatusratkaisuja. **Algae Venture Systemsin** (US) kehittämän levänkeruumenetelmän avulla pyritään saamaan leväbiomassan vedenpoiston energiakustannuksia laskettua jopa 90%. Menetelmästä on olemassa/kehitteillä sekä laboratorioon että kaupalliseen tuotantoon sopivat sovellukset. Tutkimuksia ei toistaiseksi ole julkaistu tieteellisissä sarjoissa.

Kalifornialainen yritys **LiveFuels** (US) puolestaan jatkaa Aquatic Species -ohjelman perinteitä kasvattamalla leviä avoimissa altaissa. Leväbiomassan keruun suorittavat altaissa kasvatettavat kalat, joista ”kalaleväöljy” eristetään kalojen pulskistuttua tarpeeksi. Tätä kalaleväöljyä olisi tarkoitus käyttää lisäravinteiden ja eläinrehun, mutta myös biodieselin valmistukseen. Kokonaisten eläinten käyttäminen biodieselin tuotannossa ei välttämättä ole käytännöllisin ratkaisu ja saattaa myös nostaa esiin eettisiä kysymyksiä. Menetelmä on yrityksen mukaan hiilineutraali ja sen avulla säästyy paljon kustannuksia mutta levää myös kuluu enemmän kuin jos öljy eristettäisiin suoraan leväbiomassasta.

**Solix Biosystems** (US) kasvattaa leviä suljetuissa fotobioreaktoreissa, joihin tarvittava vesi ja hiili-dioksidi ohjataan läheisistä öljy- ja kaasuvoimaloista. Solix Biosystems nousi esiin levätutkimuksen uuden tulemisen aikaan, vuosina 2008-2009. Syyskuussa 2010 yhtiö sopi yhteistyöstä BASF:n kanssa kemikaalien tuottamiseksi levien avulla. Samoihin aikoihin yhtiö päätti muuttaa nimensä Solix biofuelista Solix Biosystemsiin, laajentaen näin toimenkuvaansa levärintamalla useiden muiden yritysten tavoin. Muita esimerkkejä vuosina 2010-2011 nimeään vaihtaneista leväbiomassaa tuottavista yrityksistä olivat: BlueFire Ethanol → BlueFire Renewables, Joule Biotechnologies → Joule Unlimited, Cobalt Biofuels → Cobalt Technologies, Aurora Biofuels → Aurora Algae ja Amyris Biotechnologies → Amyris.

Nimenmuutosten lisäksi useat yritykset ovat panostaneet toimenkuvansa täsmentämiseen ja investointien tarkempaan suuntaamiseen jo mainittujen yhteistyösopimusten avulla. Yhdysvaltalainen **Inventure Chemical** (US) sopi vuonna 2008 yhteistyösopimuksen israelilaisen Seambiotic Ltd. yhtiön kanssa. Tarkoituksena on yhdistää molempien vahvuudet yhteiseksi eduksi. Inventure Chemicalin runsaasti öljyä sisältäviä leviä on tarkoitus kasvattaa avoimen altaan menetelmällä ja liittää se Seambioticin öljynjalostusmenetelmään, jolla voidaan tuottaa tehokkaasti bioetanolia, biodieseliä ja muita arvokkaita kemikaaleja. **Martek Biosciences** (US) on panostanut leväkasvatuksessaan sivutuotteisiin ja etenkin elintarvikesovelluksiin. Yhtiö tuottaa levistä käymisreaktion avulla dokosaheksaenihappoa (DHA; omega-3) sekä arakidonihappoa (ARA; omega-6), ja myy niitä lisäravinteina.

Elokuussa 2012 **Algae.Tec** (US) ilmoitti tehneensä sopimuksen ensimmäisen kaupallisen mittakaavan leväkasvatuslaitoksen rakentamisesta Australiaan. Algae.Tec kuvaa yrityksenä hyvin levätutkimuksen kansainvälisyyttä. Sen tutkimus ja tuotanto tapahtuu Yhdysvalloissa mutta yritys on rakentamassa leväkasvattamoita Australian lisäksi myös Sri Lankan sveitsiläisen yrityksen kanssa sekä Kiinaan kiinalaisen öljynporauslaitteita valmistavan yrityksen kanssa.

### 7.1.2 Syanobakteeritutkimushankkeita

**Joule Unlimited** (US) on viime vuosien seuratuimpia biopolttoaineryityksiä maailmassa. Se käyttää syanobakteereja biopolttoainetuotannossa. Joule Unlimited on kertonut onnistuneensa muokkaamaan syanobakteeria saaden sen erittämään polttoaineeksi kelpaavia etanolia ja hiilivetyjä solun ulkopuolelle, josta ne voidaan kerätä. **Synthetic Genomics** (US) kertoo myös käyttävänsä syanobakteereja biopolttoainetuotannossa. Yrityksen kotisivuilla mainitaan levien kykenevän erittämään öljyä solun ulkopuolelle. Tästä projektista on kuitenkin vain vähän tietoja saatavilla. Rahoittajana toimii öljyjätti Exxon Mobil Corporation.

**Easel Biotechnologies** (US) on pienempi yksityinen yritys, joka panostaa muuntogeenisiin syanobakteereihin. Yritys kertoo kehittäneensä menetelmän muuntaa syanobakteeria niin, että se tuottaa butanolin esiastetta, jota se erittää ulos soluistaan. Princetonissa sijaitseva yksityinen yritys, **Proterro** (US), puolestaan on päätenyt käyttämään muuntogeenisiä syanobakteereita bioetanolin valmistukseen. Muuntogeeniset syanobakteerit valmistavat yrityksen mukaan korkeassa suolapitoisuudessa kasvatettaessa puolustusreaktionaan ylimäärin sukroosia, jota voidaan käyttää bioetanolin valmistukseen. Näitä syanobakteereita ei kasvateta vesialtaissa vaan veteen kastellulla kankaalla. **Algenolin** (US) "Direct to Ethanol" -teknologian avulla voidaan syanobakteeriviljelmässä puolestaan tuottaa ja siitä erottaa etanolia jatkuvasti, ilman leväbiomassan keruuta ja solujen hajotusta. Algenolin mukaan fotobioreaktorissa

tuotettu etanoli on sellaisenaan toimiva liikennepolttoaine, mutta tarkoituksena on myös jatkojalostaa siitä mm. lentopolttoainetta.

**Arizonan osavaltion yliopisto** (ASU) Yhdysvalloissa on kehittänyt kerosiinin tapaisen lentopolttoaineen, jota tietty syanobakteerikanta erittää ulos soluistaan. Samaan aikaan projektissa on tutkittu mahdollisuuksia tuottaa ruokaa, rehua, lääkaineita, lannoitteita sekä raaka-aineita kosmetiikka- ja kemianteollisuuteen. Projektin kehitys kuvaa hyvin koko teollisuudenalaa. ASU aloitti vuonna 2008 tutkimus- ja kehitysyhteistyön Heliaen kanssa. Heliae on puolestaan Mars-yhtymän investointi. Vuonna 2012 indonesialainen ruokajätti Salim Group investoi Heliaen toimintaan tarkoituksenaan saavuttaa kaupallinen tuotanto vuoteen 2014 mennessä. Vaikuttaa siltä, että tässä tapauksessa priorisoidaan sivutuotteiden kaupallistamista ennen biopolttoainetuotantoa (Biofuelsdigest.com, Algae).

### 7.1.3 Makrolevätutkimushankkeita

Makroleviin kohdistuva kiinnostus biopolttoainetuotannossa on kasvanut viime aikoina. Makrolevien runsaan hiilihydraattipitoisuuden takia niistä voidaan valmistaa mm. bioetanolina tai biobutanolia. Hiilihydraateista osa on kuitenkin alginaatin muodossa ja vasta hiljattain on ymmärretty, miten mikrobit saadaan hajottamaan tätä hiilihydraattia. Tulevaisuudessa bakteereita pyritään todennäköisesti muokkaamaan geeniteknisesti niin, että niiden avulla voitaisiin tuottaa makrolevistä myös muita biopolttoaineita, kuten butanolina. Yhdysvalloissa on onnistuttu muokkaamaan *Escherichia coli* (*E.coli*) bakteeria niin, että se hajottaa ruskoleviin kuuluvaa makrolevää sokereiksi. Kalifornialaisen Bio Architecture Labin (**BAL**) tutkijoiden mukaan 60% makrolevän kuivapainosta on sokereita (mannitolina, glukoosia ja alginaattia), ja näistä yli puolet alginaattia. *E.coli* kykenee luonnostaan hajottamaan mannitolina ja glukoosia, mutta tutkijoiden muuntogeeninen bakteeri kykenee hajottamaan myös alginaattia, lisäten siten bioetanolin saantoa huomattavasti. (Wargacki ym. 2012) BAL:illa on useita yhteistyötahoja ja projektia rahoittaa myös Yhdysvaltain energiaministeriön virasto ARPA-E (Advanced Research Projects Agency - Energy).

Makrolevää biopolttoainetuotantoon kasvattavia tutkimusprojekteja on tällä hetkellä Yhdysvaltojen lisäksi mm. Etelä-Koreassa, Chilessä, Filippiineillä sekä Euroopassa. Aika näyttää, valmistetaanko bioetanolina tulevaisuudessa maalla kasvavista energiakasveista vai vedessä kasvavista makrolevistä. Makrolevien etuna on kilpailemattomuus ruoantuotannon kanssa sekä suuri kasvunopeus ja hiilihydraattipitoisuus. Makrolevätutkimus on jo herättänyt suurten yritysten, kuten kemian- ja lääketieteellisyhtiö DuPontin ja norjalaisen öljy-yhtiö Statoilin, kiinnostuksen ja molemmat edellä mainituista yrityksistä ovatkin solmineet yhteistyösopimuksen BAL:n kanssa. **Tokyo Gas** (JP) Japanissa on puolestaan pystyttänyt makroleviä käyttävän biokaasulaitoksen, joka prosessoi lähinnä rannikoilla runsaasti esiintyviä ja helposti mätäneviä *Ulva*- ja *Laminaria*-lajeja. Perinteisesti näitä merileviä on kerätty pilaamasta rannikoita ilman selkeää hyötykäyttöä.

## 7.2 Levätutkimus Euroopassa

Euroopassa leväbiopolttoainetutkimusta tehdään Yhdysvaltojen tapaan hyvin monialaisesti ja kansainvälisesti. Yliopistoissa tehdään paljon alan tutkimusta ja monilla yliopistoilla on suuret leväkokoelmat. Esimerkiksi Portugalissa Coimbran yliopistolla on yksi maailman suurimmista leväkokoelmista, joka koostuu 4 000 kannasta ja 1 000 lajista. Göttingenin yliopistossa Saksassa puolestaan on jo 1920-luvulla aloitettu kokoelma, jossa on yli 2 000 leväkantaa ja yli 1 000 lajia. Tässä kokoelmassa noin 77% kannoista on viherleviä ja noin 8% syanobakteereita (Mata ym. 2010). Yliopistojen lisäksi levätutkimusta tehdään Euroopassa sekä yksityisellä että julkisella sektorilla ja EU on voimakkaasti mukana erilaisissa hankkeissa ja projekteissa. Eniten leväkasvatusta (tutkimus/yritykset) tehdään tällä hetkellä Euroopan ja Välimeren alueella Espanjassa, mutta myös esim. Saksassa, Ranskassa, Alankomaissa, Yhdistyneessä kuningaskunnassa, Italiassa, Tšekin tasavallassa, Portugalissa, Itävallassa, Israelissa, Turkissa, Marokossa ja Egyptissä.

Vesikasvien maailmanlaajuinen tuotanto oli vuonna 2010 19,8 miljoonaa tonnia. Suurin osa (95%) tästä tuotannosta saatiin kaupallisesta viljelystä (aquaculture), joka oli arvoltaan noin 4,3 miljardia euroa. Loput 5% tuotannosta saatiin keräämällä luonnonvaraisia vesikasveja (harvesting). Euroopassa makroleväteollisuus on vielä suhteellisen pienimuotoista. Vuonna 2010 tuotanto oli Euroopassa 82 000

tonnia, josta vain 700 tonnia saatiin viljelystä. Itämeren alueella makrolevien kaupallinen tuotanto on vielä aivan alkutekijöissään. (Submariner-hankkeen Compendium-julkaisu 2012)

### 7.2.1 Eurooppalaisia levätutkimushankkeita

Levän mahdollisuuksia biopolttoaineena Euroopassa tutkitaan laajasti. Euroopassa tutkimusyhteisön ja teollisuuden yhteistyö- ja verkostoitumistahona toimii **European Algae Biomass Association (EABA)**. Sen yhtenä yhteistyötahona toimii myös vuonna 2006 perustettu **European Biofuels Technology Platform (EBTP)**, joka tuo yhteen rahoittajia, teollisuutta ja biomassan tuottajia, tarkoituksenaan kustannustehokkaan biopolttoaineteollisuuden kehittyminen Eurooppaan. EBTP:llä on oma valmistelukomitea ja sihteeristö, mutta Euroopan komissio on aktiivisena tarkkailijana. EBTP:ssä on erilaisia työryhmiä (working group/task force), joista yksi on vuonna 2009 perustettu **Algae Task Force (ATF)**. Sen tehtävänä on arvioida leväbiopolttaineraportteja ja kartoittaa alan tutkimus- ja kehitystyötä sekä mahdollisia demonstraatiohankkeita. Leväbiopolttoaineet muodostavat yhden vuonna 2010 perustetun **EIBI:n (European Industrial Bioenergy Initiative)** määritellyistä arvoketuista.

EU:n pääasiallinen tutkimuksen ja pilottihankkeiden rahoituksen väline vuosille 2007-2013 oli ns. seitsemäs puiteohjelma (**7th Framework Program = FP7**). Viimeisimpänä hakuun julistettiin vuoden 2012 heinäkuussa leväbiojalostamohanke, jonka tarkoituksena oli etsiä innovatiivisia ratkaisuja leväkasvatuksen haasteisiin. Vuonna 2010 FP7 julisti hakuun teollisen mittakaavan leväkasvatushankedemonstraation. EU rahoittaa hanketta yli 20 miljoonalla eurolla muiden rahoittajien ohella ja 14 hankesityksestä siihen valittiin kolme projektia, jotka yhdessä muodostavat ns. FP7 leväklusterin. Tähän klusteriin kuuluvat projektit BIOFAT, ALL Gas sekä InteSusAl. **BIOFAT**-demonstraation tarkoituksena on tuottaa mikrolevien avulla sekä biodieseliä että bioetanolia. Ensin projektissa kartoitetaan sopivimmat leväkannat, ja optimoidaan kasvatusolosuhteet, minkä jälkeen tuotannon taloudellisuutta testataan suuren mittakaavan demonstraatioissa. **BIOFAT**-projektissa mikroleviä kasvatetaan sekä fotobioreaktorissa että kilparata-altaissa, joiden avulla pyritään maksimoimaan tärkkelyksen ja öljyn tuotanto. **ALL Gas**-projektissa puolestaan pyritään kasvattamaan mikroleviä maksimaalisella tehokkuudella jätevesissä. Näin pyritään kierrättämään ravinteita, ottamaan talteen energiaa ja tuottamaan erilaisia biopolttoaineita ja sivutuotteita. Leviä on tarkoitus kasvattaa kilparata-altaissa käyttäen uudenlaista, patentoitua laitetta (Light Enhancement Factor = LEF) lisäämään biomassan tuotantoa. **InteSusAl**-projektin tarkoituksena on tuottaa mikrolevistä sekä autotrofian että heterotrofian avulla biodieseliä, lisäämällä glyseriinin avulla levän kasvunopeutta.

**FUEL4ME** on EU:n rahoittama tutkimuskonsortio, johon Suomesta osallistuu Neste Oil. Projektin tavoitteena on kehittää kestävä biopolttoaineen tuotantoprosessi ja arvottaa sivutuotteet 2017 mennessä. **EnAlgae**-projekti (2013-) puolestaan yhdistää Luoteis-Euroopan eri leväprojektit. Ohjelman tavoitteena on yhdistää leväenergian tuotannon pilotti- ja demonstraatiovaiheiden tekijät ja tunnistaa kasvatuksen onnistumisen keskeiset vaiheet. Tarkoituksena on myös tunnistaa levän energiakäytön taloudelliset, sosiaaliset ja tekniset pullonkaulat Luoteis-Euroopassa. **MED-ALGAE**-projekti (2014-2017) puolestaan tutkii leväenergian tuotannon mahdollisuuksia Välimeren maiden alueella.

Vaikka Euroopassa on suunnattu paljon resursseja leväbiopolttoainekasvatukseen, nykyinen maailman talouden tilanne saattaa vaikeuttaa monen yrityksen toimintaa. Piccolo mukaan vuonna 2009 EU:n alueella yksi suurimmista leväkasvatukseen liittyvistä investoinneista oli **UK Carbon Trustin** julkisesti rahoitettu ja voittoa tavoittelematon projekti. Sen tarkoituksena oli rakentaa suuri leväkasvatamo Pohjois-Afrikkaan 26 miljoonan punnan budjetilla (Piccolo 2009). Tätä tarkoitusta varten pystytettiin vuonna 2009 8 miljoonan punnan rahoituksella tutkimusohjelma **Algae Biofuels Challenge (ABC)**, jonka päämääränä oli kaupallisesti toimiva leväöljyntuotantolaitos vuoteen 2020 mennessä. Yhdistynyt kuningaskunta kuitenkin lakkautti tutkimusohjelman rahoituksen vuonna 2011 ja tutkimusohjelman rahoitus julistettiin julkiseen hakuun.

Cartagenaan ollaan rakentamassa espanjalaisen **Abengoa Bioenergy**-yhtiön koelaitosta **ECOALGA**-projektin alaisuudessa. Tarkoituksena on testata mikroleviä ja syanobakteereita biopolttoaineiden ja sivutuotteiden tuotannossa. Yhtiö on kartoittanut sopivia leväkantoja sekä optimaalista tuotantotapaa laboratoriomittakaavassa, ja nyt olisi tarkoitus testata toimintaa pilottihankkeessa. Toinen suuri eurooppalainen projekti on Yhdistyneen kuningaskunnan ja Irlannin yhteistyöhanke **BioMara (UK/IE)** Skotlannissa. Se on 6 miljoonan euron EU-hanke, joka tutkii sekä mikro- että makroleviä ja pyrkii optimoi-



maan makroleväkasvatuksen biopolttoaineiden raaka-aineeksi. Euroopan suurimmat luonnonkantojen makroleväkerääjät ovat Norja ja Ranska. Esimerkiksi Irlannissa ja Skotlannissa suuri osa kerätyistä makrolevästä jää kaupallisesti hyödyntämättä, joten potentiaalia olisi myös biopolttoainetuotantoon. Euroopassa makrolevää kasvattavat yritykset ovat pieniä ja paikallisia tuotantolaitoksia, toisin kuin esim. Aasiassa (SEI leväraportti 2009).

Italialainen **Eni**-energiayhtiö (IT) on pystyttänyt ensimmäisen suuremman mittakaavan pilottitehtaan Sisiliaan, Italiaan vuonna 2009. Saksalainen fotobioreaktoreita valmistava **Subitec** (DE) puolestaan julkaisi heinäkuussa 2012 tiedon 4,5 miljoonan euron investoinnista levien kasvattamiseksi patentoituissa paneelimallisissa fotobioreaktoreissa. Irlannissa toimiva **AER** (IE) panostaa leväbiomassan sisältämien raaka-aineiden erottamisen tehokkuuden maksimointiin esim. kehittämällä spesifisiä entsyymcocktaileja. **Ecoduna** (AT) valmistaa innovatiivisia fotobioreaktoreita ja on hakenut patenttia kahdelle kasvatusmenetelmälleen, "hanging gardens" ja "deep pond". Jälkimmäinen on tarkoitettu levien kasvattamiseen ääriolosuhteissa esim. aavikolla. Alankomaissa toimiva **AlgaeLink** (NL) on solminut yhteistyösopimuksen KLM lentoyhtiön kanssa vaihtoehtoisten lentopolttoaineiden kehittämiseksi. AlgaeLink tarjoaa automatisoituja fotobioreaktoreita sekä aurinkopaneeleilla toimivan ratkaisun vedenpoistoon. Alankomaissa toimii myös Wageningenin yliopiston hanke AlgaeParc (NL). Tarkoituksena on mm. tutkia pilottitason hankkeissa neljän eri tuotantomenetelmän välisiä eroja rinnakkain samoissa olosuhteissa. Espanjalainen **AlgaEnergy** (ES) painottaa leväbioteknologiayrityksenä leväkasvatuksen sivutuotteiden kaupallistamista (ravinto ja kosmetiikka), mutta kartoittaa samalla optimaalisia levälajeja sekä kasvuolosuhteita biopolttoainetuotantoa silmälläpitäen (energia). Myös esim. Ukrainassa tehdään levätutkimusta ja maa on ilmaissut olevansa aikeissa aloittaa leväbiopolttoainetuotannon. Euroopassa on siis olemassa teknologista osaamista levätuotantolaitosten rakentamiselle, biologian ja bioteknologian osaamista itse leväviljelyn optimoimiseksi sekä prosessitekniikan osaamista leväbiomassan jatkojalostukseen.

Euroopassa lähestytään leväbiopolttoaineteknologiaa erillisten prosessien ja innovaatioiden kautta eikä pyrkimyksenä ole niinkään löytää yhtä suurta kokonaisvaltaista läpimurtoa, joka mullistaa koko teknologian. Erikoistumalla tiettyjen osa-alueiden osaamiseen ja asiantuntijuuteen voidaan osaamista hyödyntää paitsi Euroopassa myös kansainvälisesti. Itävaltalainen **See Algae Technology** (AU) on tehnyt alustavan sopimuksen brasilialaisen yrityksen kanssa makroleväbiopolttoainelaitoksen rakentamisesta Brasiliaan. Yhdysvaltalainen **GreenFuel Biotechnologies** puolestaan sopi vuonna 2007 espanjalaisen **Eurantian** (ES) kanssa 92 miljoonan dollarin projektista, jonka tarkoituksena oli perustaa leväviljelylaitos Espanjaan, mutta projekti kaatui GreenFuel Biotechnologiesin jouduttua lopettamaan toimintansa vuonna 2009.

Myös Pohjoismaissa levätutkimusta tehdään aktiivisesti. Ruotsissa **BioReal**-yhtiö (SE) tuottaa *Hematococcus pluvialis*-levien avulla astaksantiinia, jota käytetään ihmisten ja eläinrehujen lisäravinteenä. **Simris Alg AB** (SE) puolestaan valmistaa levistä lisäravinteiksi mm. omega-3-rasvahappoja sekä väripigmenttejä lääketieteelliseen tutkimukseen. Yhtiöllä on rakenteilla uusi biojalostamo, jonka avulla voidaan tutkia mahdollisuuksia energiantuotantoon tulevaisuudessa. Simris Alg AB:n perustaja kuitenkin huomauttaa, että tällä hetkellä leväkasvatus on kannattavaa ainoastaan pigmentin ja rasvahappojen tuotantoon. Simris Alg AB tekee yhteistyötä Alankomaissa sijaitsevan **BioSolar Cells** -tutkimusprojektin kanssa. Viisivuotisen projektin tarkoituksena on tiivistää tutkimusyhteisön ja yksityisen tahon välistä yhteistyötä.

Norjassa toimii Pohjoismaiden suurin itsenäinen tutkimuslaitos **SINTEF**, jossa tutkitaan mm. leivitä saatavia arvokkaita yhdisteitä. Tutkimuslaitoksessa selvitetään myös mahdollisuutta kasvattaa makrolevää Norjassa ja tarkoitusta varten on perustettu merileväteknologiakeskus vuonna 2011. Tanskassa (DK) ja Ruotsissa (SE) on rakennettu tai rakenteilla pienimuotoisia, levää käyttäviä biokaasulaitoksia. Tanskassa biokaasulaitos tulee käyttämään raaka-aineenaan **CP Kelco ApS** -yrityksen (DK) makrolevistä tuotettujen karrageenin ja pektiinin tuotantojätettä sekä rannoille ajautunutta makrolevää. Virolainen **Est-Agar AS** (EE) on tällä hetkellä ainoa yritys, joka käyttää Itämeren alueen makroleviä kaupallisessa tuotannossa. Punalevästä (*Furcellaria lumbriicalis*) eristettyä karrageenia muistuttavaa fykokolloidit käytetään elintarvikkeissa esim. makeisissa. (Submariner-hankkeen Compendium-julkaisu 2012)

### 7.3 Levätutkimus Suomessa

Turun yliopistossa tehdään paljon tutkimusta ja kehitystyötä syanobakteerien biopoltoainetuotannon mahdollistamiseksi. Siellä on mm. kartoitettu sinilevien vedyntuotantoa varten Itämeren ja suomalaisia järviä. Laukilahden Enäjärvestä onkin löydetty tehokkaasti vetyä tuottava syanobakteeri *Calothrix* 336/3 (Leino ym. 2012). Seuraavaksi vedyn tuotanto pyritään maksimoimaan kasvatusolosuhteita muuttamalla. Fotosynteesin mekanismeja puolestaan tutkittiin **FCoE**-projektissa (2008-2013; osa EU:n FP7-verkoston). Tutkimuksessa keskityttiin kasvien, levien ja syanobakteerien yhteyttämiseen. Perustutkimuksessa saatua tietoa hyödynnetään soveltavassa tutkimuksessa biopoltoaineiden tuottamiseen tähtäävissä projekteissa (Sci.utu.fi, Turun yliopisto). Myös Turun yliopiston ja Helsingin yliopiston yhteisessä **MBPP**-projektissa (2014-2019) tutkitaan yhteyttämisen mekanismeja molekyylibiologian keinoin. Tutkimusprojektin päämääränä on selvittää, miten yhteyttävä organismi yhdistää auringon valoenergian sitomisen ja sitä seuraavat hiiliaineenvaihdunnan reaktiot, sekä tutkia mahdollisuuksia primaarituotannon tehostamiseksi (www.primaryproducers.fi). **DirectFuel**-projektissa (2010-2014) pyrittiin tuottamaan hiilivety pohjaisia biopoltoaineita muuntogeenisten syanobakteerien avulla. Projekti oli osa EU:n FP7-yhteistyöverkoston ja sen aikana oli tarkoitus kartoittaa metaboliareittien entsyymejä, muokata niitä geenitekniikan avulla sekä optimoida tuotantomenetelmää. **Solar Propane** -projektissa (2010-2013) kehiteltiin syanobakteerien avulla tuotettavaa biopoltoainetta. Tarkoituksena oli saada syanobakteerit tuottamaan biopoltoainetta mahdollisimman varhaisessa vaiheessa ilman biomassavälivaihetta. Projektissa tehtiin yhteistyötä Tšekissä ja Hollannissa fotobioreaktoreita kehittävien tahojen kanssa.

Suomen ympäristökeskus SYKE ja Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy tekivät yhteistyötä mm. **ALGIESEL**- (2008-2011) ja **LIPIDO**-projekteissa (2008-2010). Molemmat projektit olivat Suomen Akatemian (SA) rahoittamia ja kuuluivat Kestävän energian **SusEn**-tutkimusohjelmaan. **ALGIESEL**-projektissa selvitettiin mikrolevien potentiaalia biopoltoaineiden raaka-aineena. Projekti alkoi vuonna 2008 leväkantojen kartoittamisella ja menetelmäkehittelyllä. Kokeet kasvatuksen optimoimiseksi alkoivat vuonna 2009. **ALGIESEL**-projektia rahoittivat SA:n lisäksi Neste Oil sekä UPM-Kymmene Oy. **LIPIDO**-projektissa tutkittiin biodieseltuotannon mahdollisuuksia yhteistyössä saksalaisten, islantilaisen ja norjalaisten asiantuntijoiden kanssa. Tekniikan edistämiskeskus Tekesin **Microfuel**-projektissa (2007-2009) puolestaan selvittiin leväbiomassan jatkokäsittelyä ja arvioitiin taloudellista kannattavuutta.

VTT:n, SYKEN, Helsingin yliopiston sekä Lahden ja Hämeen ammattikorkeakoulujen yhteistyö **ALDIGA**-projektissa (2010-2012) pyrki selvittämään leväkasvatuksen mahdollisuuksia Suomen oloissa. Projektissa pyrittiin hyödyntämään teollisuuden jätevirtoja leväbiomassan kasvatuksessa, tavoitteena biodieselin ja biokaasun tuotanto. Projektissa oli mukana myös jätekeskuksia, jotka pyrkivät kehittämään suljettuja kiertoja laitoksiinsa niin, että leväkasvattamo voisi olla osa kiertoa komposti- ja biokaasulaitoksen kanssa. Leviä kasvatettiin jätevirroissa sekä autotrofisesti että mikсотrofisesti. Vuoden 2012 alussa käynnistyneessä **ALGIND**-projektissa (2012-2014) tutkittiin suomalaisten yritysten leväenergiaan perustuvia liiketoimintamahdollisuuksia Intiassa. Projektin taustalla olivat mm. Tekes, VTT ja Helsingin yliopisto. Intiassa on pitkä levätutkimusperinne ja siellä toteutetaan jo mm. kalankasvattamokonseptiä, jossa kalankasvatusaltaissa haitallisissa määrin kasvava levä kerätään biopoltoainetuotantoon, jolloin saadaan sekä parannettua kalankasvatusprosessia että tuotettua energiaa. Lisäksi VTT on ollut mukana **EU Marex**-projektissa (2010-2014), jossa meren eliöistä etsittiin bioaktiivisia yhdisteitä.

Tekesin **BioRefine** - Uudet biomassatuotteet -ohjelman (2007-2012) tarkoituksena oli kehittää biojalostamoihin ja biomassan jalostukseen liittyviä innovaatioita kansainvälisille markkinoille. Ohjelmassa oli mukana mm. **Bionova Oy**:n leväbiodieselin kehityshanke vuosina 2007-2009. Projektissa tutkittiin leväbiomassan käyttöä biopoltoaineena sekä rehuna ja ravinteina. Tekesin **Groove** - Uusiutuva energia, kasvua kansainvälistymisestä -ohjelmassa (2010-2014) tuettiin suomalaisten, uusiutuvan energian pienten ja keskisuuren yritysten liiketoimintavalmiuksia ja kansainvälistä kilpailukykyä osaamista ja verkostoja kehittämällä. Esimerkki tällaisesta liiketoiminnasta on Kotka-Haminan -seudun kehittämisyhtiö **Cursor Oy**, joka tilasi vuonna 2009 ns. **BioA**-esiselvityksen biojalostamokonseptin kannattavuuden selvittämiseksi. Selvityksessä etsittiin mahdollisuutta jalostaa kannattavasti yhdyskunta- ja teollisuusjätteitä ja sivuvirtoja. Tarkastelussa syvennyttiin biokaasun ja etanolin tuottamiseen jätteistä sekä levästä. Prosessissa jäljelle jäänyt biomassa on tarkoitus käyttää kokonaan lannoitetuotantoon. Selvitystä varten Kouvolaan rakennettiin levästä biokaasua valmistava, 150 000 euroa maksanut koelaitos. Seu-

raavaksi tähdätään BioA-konseptin teollisen mittakaavan tuotantolaitoksen toteuttamiseen, tarkoituksena rakentaa lannoitetuotantoon integroitu biokaasulaitos.

**Neste Oilin** kehittämä NExBTL-teknologia mahdollistaa lähes minkä tahansa kasviöljyn tai jäte-rasvan käytön uusiutuvien polttoaineiden valmistuksessa. Tällä hetkellä raaka-aineena käytetään raaka-palmuöljyä, erilaisia jäte- ja sivuvirtoja (eläinrasvajäte, steariini ja palmuöljyn rasvahappotisle) sekä rypsi- ja soijaöljyjä. Neste Oilin tutkimukset Suomessa ja ympäri maailmaa ovat osoittaneet myös levä-öljyjen soveltuvan NExBTL-dieselin raaka-aineeksi (**Tietoruutu 4**). Levien viljely teollisessa mittakaavassa polttoainetarkoituksiin ei vielä ole mahdollista, mutta Neste Oil tekee jatkuvasti aiheeseen liittyvää tutkimus- ja kehitystyötä. Suomessa Neste Oil käynnisti levätutkimukseen liittyvän yhteistyön **SYKE**n merikeskuksen kanssa. SYKE:n kanssa tehtävässä tutkimuksessa testattiin eri levälajien rasvan-tuottokykyä ja selvitettiin, miten levien solunsisäisen öljyn laatua ja määrää pystytään optimoimaan kasvatusolosuhteilla. Kaksivuotinen tutkimusprojekti käynnistyi elokuussa 2011.

**SYKE** oli mukana myös EU:n rahoittamassa **Submariner**-hankkeessa, jonka tarkoituksena oli ke-hittää Itämeren luonnonvarojen kestäväää käyttöä. Hanke ajoittui vuosille 2010-2013 ja sen puitteissa tutkittiin myös mikro- ja makroleviä. Suomenojan koeasemalla Espoossa tutkittiin mahdollisuutta kas-vattaa mikroleviä yhdyskuntajätevesissä fotobioreaktoreissa käyttämällä pohjoisen ilmaston ja valon määrän kannalta optimaalisia levälajeja. Rymättylässä ja Tvärminnessä puolestaan tutkittiin mahdolli-suutta vähentää Itämeren ravinnekuormitusta makrolevien avulla. Kasvatettavia rihmaleviä voitaisiin mahdollisesti hyödyntää myös bioenergian tuotannossa.

#### **Tietoruutu 4:**

##### **Neste Oil tekee levätutkimusyhteistyötä maailmanlaajuisesti**

Neste Oil on tehnyt levätutkimusta ja kasvattanut leviä itsekin. Leviä ja mikrobeja Neste Oililla on tutkittu vuo-desta 2007, jolloin alkanut Trident-projekti perustettiin tutkimaan uusiutuvan dieselpolttaineen raaka-ainemahdollisuuksia. Projektissa keskityttiin ei-syötävien kasviöljyjen, levien ja mikrobien tuottamien, sekä jätevirroista saatavien öljyjen tutkimukseen. Tutkimuksissa on löytynyt levälajeja, jotka ovat Neste Oilin mukaan parempia kuin alan kirjallisuudessa. Myös kenttäkokeita on tehty useissa maissa. Neste Oilin mukaan omat tut-kimustulokset ovat tärkeitä, koska niiden perusteella voidaan tehdä omia alustavia laskelmia kasvihuonekaasu-kuormituksesta ja arvioida, mitkä prosessin vaiheet kuluttavat eniten energiaa. Levätutkimusta tehdään Neste Oilin ulkopuolella yhteistyössä muun muassa leväyritysten, yliopistojen ja tutkimuslaitosten kanssa. Neste Oilin mukaan leväyrityksiä on kartoitettu erittäin laajalti. Yritys tukee tuotannon käynnistymistä esimerkiksi ehdolli-silla ostosopimuksilla. Tällaiset sopimukset on solmittu mm. yhdysvaltalaisen Cellanan ja RAE:n kanssa ja yhtiö ilmoittaa olevansa valmis ostamaan yhteistyökumppaneiltaan leväöljyä vaikka heti.

(<https://www.neste.com/fi/fi/lev%C3%A4%C3%B6ljy-lupaava-uusiutuvan-dieselin-raaka-aine-neste-oil-varmistaa-saantiaan-ehdollisilla>)

## 8. Leväkasvatuksen tulevaisuus

Leväkasvatus on vielä pilotti- ja demonstraatiovaiheessa, joten suuren mittakaavan kaupallisten levänviljelylaitosten kustannustehokkuudesta voidaan esittää vasta arvioita (Lam ja Lee 2012). Useita yrityksiä on myös kaatunut (esim. MIT:n spin-off Greenfuel Technologies vuonna 2009), koska siirtyminen suuren mittakaavan tuotantoon ei olekaan ollut mutkatonta. Leväbiomassan ja/tai -öljyn erottaminen voi osoittautua hankalaksi suuressa mittakaavassa. Mittakaavamuutoksesta voi syntyä myös uusia ennakoimattomia ongelmia. Maailmantalouden taantuma ja maaöljyn hinnan lasku ovat osaltaan vaikuttaneet investointeihin ja rahoituspäätöksiin. Levätutkimuksessa eletään parhaillaan vaihetta, jossa ollaan siirtymässä paljon pääomaa vaativiin suuren mittakaavan demonstraatiohankkeisiin. Arviot kaupallistumisen ajankohdasta vaihtelevat edelleen suuresti. Vuonna 2010 arvioitiin kaupallistumisen tapahtuvan USA:ssa noin viiden vuoden päästä, mutta vuoden 2010 Kalifornian yliopiston EBI-raportin (Energy Biosciences Institute) mukaan vaaditaan vielä 10 vuotta kehitystyötä ennen kaupallistamista (EBI raportti 2010).

### 8.1 Levätutkimuksen kaupallistaminen

Onnistuneeseen leväbiodieselin kaupallistamiseen tarvitaan mikroleviä, joiden öljypitoisuus on mahdollisimman suuri ja jotka kasvavat nopeasti. Usein vähemmän öljyä sisältävät mikrolevät (esim. *Dunniella*, *Nannochloropsis*) kasvavat nopeasti ja niitä voidaan kerätä päivittäin. Paljon öljyä sisältävät mikrolevät (esim. *Botryococcus braunii*) puolestaan kasvavat hitaammin ja niitä voidaan kerätä ehkä vain kerran, pari viikossa. Saanto ja keruutiheys vaikuttavat suuresti pääoma- ja käyttökustannuksiin.

Algae 2020 -tutkimuksen mukaan leväöljyn ja leväbiodieselin tuotantokustannukset olivat vuonna 2009 9-25 dollaria galloniaa kohti altaissa kasvatettuna ja 15-40 dollaria galloniaa kohti fotobioreaktorissa kasvatettuna (Huom! 1 barreli = 42 galloniaa) (Algae 2020 raportti 2009). Leväbiopolttoaineen kustannustehokkuus parantui öljyn hinnan kivuttua yli 100 dollariin barrelilta. Toisaalta öljyn viimeaikainen hinnanlasku on jälleen laskenut leväbiopolttoaineen kustannustehokkuutta. Krassen Dimitrov julkaisi vuonna 2007 arvion leväbiopolttoaineen tuotannon kannattavuudesta fotobioreaktorissa. Hänen mukaansa termodynaamisten esteiden takia leväöljyn tuotanto olisi kannattavaa vasta, kun öljyn hinta nousisi 800 dollariin barrelilta (Dimitrov 2007). Tulee kuitenkin muistaa, että laskelmat tuotantokustannuksista perustuvat hypoteettisiin tuotantolaitoksiin, joiden perustamisen, ylläpidon ja kasvatusmenetelmien aiheuttamien kustannusten kokonaisarviointi on erittäin haastavaa. Arvioissa on lisäksi tehty tiettyjä oletuksia esim. levien öljypitoisuuksista ja kasvunopeudesta (Schenk ym. 2008).

Algae 2020 -tutkimuksessa tunnistettiin viisi strategiaa ("nopeammin, öljypitoisemmin, halvemmalla, helpommin ja sivutuotteistamalla") leväbiopolttoainetuotannon kaupallistamisen mahdollistamiseksi. Olisi löydettävä runsaasti öljyä sisältävät levälajit, jotka tuottavat biomassaa mahdollisimman nopeasti. Jos pystyttäisiin käyttämään levälajeja, joiden öljypitoisuus olisi noin 60%, pääoma- ja käyttökustannukset pienenisivät arvioiden mukaan jopa puoleen. Lisäksi olisi kehitettävä edullisempia menetelmiä leväbiomassan keruuseen, vedenpoistoon ja öljyn erotukseen. Leväkasvatusmenetelmiä pitäisi myös voida yksinkertaistaa poistamalla sekä yhdistämällä eri vaiheita, tai pyrkimällä saamaan leväsolut erittämään biopolttoaineen raaka-aineita suoraan kasvatusnesteeseen. Lisäksi tulisi kiinnittää huomiota öljyn erotuksen jälkeen jäljelle jäävästä biomassasta valmistettävien sivutuotteiden kaupallistamiseen, ja mahdollisuuden tuottaa useampia kuin yhtä biopolttoainetta kerralla (Algae 2020 raportti 2009).

Avoimen altaan menetelmää pidetään tällä hetkellä kaupallistamisen kannalta parhaana mahdollisena vaihtoehtona biodieselin valmistuksessa. Toisaalta monet fotobioreaktoreiden puolestapuhujat sanovat avoimien altaiden olevan vanhanaikaisia ja toimivan ainoastaan täysin optimaalisissa maantieteellisissä olosuhteissa. Leväbiodieselin positiiviset kannattavuuslaskelmat edellyttävät joka tapauksessa poliittisia tukitoimia verohelpotuksineen, tutkimustyön mukanaan tuomia merkittäviä teknologisia kehitysaskeleita sekä fossiilisten polttoaineiden hinnan kohoamista edelleen (Gao ym. 2012).

### 8.1.1 Kustannukset

Leväbiomassan kasvatuksen investointikustannuksiin kuuluvat itse biomassan kasvattaminen ja sen keruu viljelmästä (harvesting), vedenpoisto biomassasta sekä öljyn tai muun raaka-aineen erotus. Muita kustannuksia aiheuttavat tavanomaisemmat urakoinnin, konetekniikan, lupien, infrastruktuurin, kirjanpidon, asennustöiden ja käyttöönoton aiheuttamat projektitkulut sekä käyttö- ja huoltokustannukset, joita aiheuttavat ravinteet (typpi, fosfori, kalium ja mahdollisesti rauta sekä pii), hiilidioksidijakelu, haihtuneen veden korvaaminen, käyttökulut, komponenttien korvaaminen ja työvoima. Myös itse levän viljelyyn käytettävän maa-alueen kustannukset muodostavat merkittävän kulun. Tutkimus- ja kehitystyö tulee olemaan merkittävä kuluerä vielä kauan leväbiopolttoainetuotannossa. Etenkin tutkimuspanos muuntogeenisten levien käytön mahdollistamiseksi tulee vaatimaan lisäkustannuksia.

Arvioiden mukaan leväkasvattamoiden kustannustehokkuutta saataisiin kasvatettua sijoittamalla niitä lähelle voimalaitoksia, joiden palamiskaasujen hiilidioksidia voitaisiin käyttää levien hiilen lähteenä. Levien hiilensitomiskykyä voitaisiin käyttää hyödyksi myös päästökaupassa. Lopullisesti kaupallisen kannattavuuden ratkaisevat teknologian taloudelliset näkökohdat, eivät niinkään teknologiset tai biologiset innovaatiot. Tärkeimpänä vaikuttimena ovat julkisella puolella hallitusten ja päätöksentekijöiden halu sitoutua toimintaan (valtionavut, verotus) sekä yksityisellä puolella yritysten pitkän tähtäimen innostus rahoittaa suuren pääoman vaativia projekteja (Singh ja Gu 2010).

### 8.1.2 Elinkaariarviointi (LCA)

Vaikka kolmannen sukupolven biopolttoainekasvatus on ollut voimakkaassa myötätuulessa, kokonaisvaltaista ja pätevää levistä saatavan biopolttoainetuotannon elinkaariarvioinnin (LCA = life cycle assessment) tarkoituksena on selvittää systemaattisesti tuotteen koko elinkaarinaikaiset ympäristövaikutukset. Tehdyistä elinkaariarvioinnista puuttuu usein jokin ratkaiseva vaihe tai laboratoriomittakaavan tuotannosta on tehty johtopäätöksiä suuren mittakaavan toimintaan (Singh ja Gu 2010).

Useat saatavilla olevat elinkaariarvioinnit antavat levistä saatavasta biopolttoaineesta melko negatiivisen kuvan. Levien potentiaali energian lähteenä tunnustetaan, mutta samalla kritisoidaan kasvatuksen yhteydessä tarvittavan ulkopuolisen energian ja veden tarvetta, kaasujen muodostusta ja lannoitteiden käyttöä. Positiivisena asiana nähdään maankäyttö verrattuna energiakasveihin. Erilaisten kasvatusmenetelmien elinkaariarvioissa on suuria eroja, eikä ole selvää mikä tuotantomenetelmä olisi sekä suuressa mittakaavassa taloudellisesti kannattavaa että ympäristövaikutuksiltaan nettopositiivinen. Fermenttiokasvatuksessa ei esimerkiksi voida hyödyntää aurinkoenergiaa, eikä hiilineutraalin energiantuotannon tavoite toteudu, ellei vapautuvaa hiilidioksidia kierrätetä leväkasvatuksessa (Lam ja Lee 2012). Kiinnittämällä huomiota edellä mainittuihin asioihin voidaan esim. energiankulutusta pienentämällä, ja ravinteita kierrättämällä mahdollisesti saada aikaan taloudellisesti kannattavaa toimintaa. Varmuus tähän saadaan tosin vasta, kun laskelmat voidaan varmistaa suuren mittakaavan tuotantolaitoksille tehtävillä elinkaariarvioilla (Singh ja Gu 2010).

### 8.1.3 Biojalostamot

Leväkasvatuksen kustannuksia voidaan pienentää kiinnittämällä huomiota sivutuotteiden kaupallistamiseen. Vaikka levälajin öljypitoisuus olisi 50%, jää biomassasta silti puolet hyödyntämättä. Leväbiojalostamot tuottavat raaka-aineesta eli tässä tapauksessa biomassasta useita eri tuotteita ja energiaa kestäväällä tavalla. Levien kohdalla leväbiojalostamoajatus voisi olla toiminnan kannattavuuden kannalta tärkeää ja järkevää. Levä sisältää raaka-aineena pääasiassa proteiineja (kaikki aminohapot), hiilihydraatteja (vain vähän selluloosaa), öljyjä ja muita arvokkaita komponentteja, kuten pigmenttejä, rasvahappoja ja vitamiineja. Kunkin komponentin suhteelliset pitoisuudet vaihtelevat levälajin ja -kannan mukaan. Levistä saatavaa öljyä (~30%) voitaisiin biojalostamossa käyttää biodieselin valmistukseen, hiilihydraatteja (~40%) bioetanolin valmistukseen ja proteiineja (~30%) mm. eläinrehujen proteiinilisäksi (Singh ja Gu 2010). Lisäksi muita komponentteja voidaan kaupallistaa monin eri tavoin (ks. kohta 4.5 Leväkasvatuksen sivutuotteet).

Leviä on kasvatettu kaupallisessa mittakaavassa jo 1960-luvulta asti, muttei koskaan biopolttoainetarkoituksessa. Levien kasvatus on perustunut nimenomaan sivutuotteisiin eli lähinnä lisäravinte-

siin ja rehuun. 1960-luvulla Japanissa alettiin kasvattaa *Chlorella*-viherlevää ihmisravinnoksi, lähinnä lisäravinteeksi, avoimissa altaissa. *Spirulina* (syanobakteeri) puolestaan on kasvatettu 1970-luvulta lähtien ja sen etuja *Chlorella*an verrattuna ovat pienempi kontaminaatoriski (voidaan kasvattaa korkeassa bikarbonaattipitoisuudessa), helpompi keruu (muodostaa filamentteja) ja parempi hajoavuus ruoansulatuksessa. Muita kaupallisessa mittakaavassa tuotettuja mikroleviä ovat mm. *Dunaliella salina* ja *Haematococcus pluvialis*, joista saadaan ravintolisinä käytettäviä karotenoideja, betakaroteenia sekä astaksantiinia. Myös näitä leviä kasvatetaan tyypillisesti avoimissa altaissa. Kaikissa näissä mikroleväkasvattamoissa mittakaava on ollut kuitenkin melko pieni ja biomassan kustannukset suhteellisen suuret. Ravintolisätuotannossa biomassaa tarvitaan suhteessa vähän ja lopputuote on hinnaltaan korkea, joten leväbiomassan arvo on tällöin huomattavan suuri polttoainetuotantoon verrattuna.

Olisiko leväbiojalostamon ideaalinen kokoonpano siis tuote- vai energiakeskeinen, vai kenties näiden yhdistelmä? Raaka-aineena levä sopisi hyvin yhdistelmäjalostamoon, koska sen tuotanto voidaan optimoida tuottamaan lisää öljyjä, hiilihydraatteja ja proteiineja. Tätä varten pitää tunnistaa parhaat lajit ja pienentää tuotantokustannuksia (Singh ja Gu 2010). Kalifornian yliopiston EBI-raportin (Energy Biosciences Institute) mukaan ainoa kustannustehokas ja realistinen leväkasvatuksen sivutuote on jätevesien puhdistus kontaminaatoriskistä huolimatta (EBI raportti 2010). Ongelmana sivutuotteiden kaupallistamisessa on markkinoiden saturaatio ja markkinahintojen romahtaminen. Suurin osa mahdollisista sivutuotteista on tällä hetkellä hyvin kalliita (esim. lisäravinteet), joten niiden vaikutus tuotannon kustannustehokkuuteen on merkittävä, mutta vain niin kauan kuin markkinahinnat pysyvät korkeina lähinnä pienehköön tuotantokapasiteetin takia (Ghasemi ym. 2012). Osa tutkijoista on sitä mieltä, että biopolttoaineyritysten pitäisi tällä hetkellä panostaa nimenomaan sivutuotteiden kaupallistamiseen. Biopolttoainekehitys tulisi prioriteetiksi vasta myöhemmin kustannustehokkuuden parantuessa.

## 8.2 Levätutkimuksen tulevaisuudennäkymiä

Leväkasvatuksen menetelmiä analysoitaessa eniten huomiota herättää erilaisten menetelmien runsaus. On epäselvää kertooko tämä levän biopolttoainekäytön potentiaalinen todellisesta laajuudesta vai yksinkertaisesti siitä, että tutkimus- ja kehitystyössä ollaan edelleen vaiheessa, jossa parhaita mahdollisia menetelmiä vasta kartoitetaan. Luultavimmin totuus piilee jossain edellisten välimaastossa. Levä on eittämättä potentiaalinen vaihtoehto kestäväälle biopolttoainetuotannolle etenkin sen tarjoaminen laajojen käyttömahdollisuuksien vuoksi. Biojalostamoteknologia ja sen eri sovellukset ovat luultavasti realistisen vaihtoehto, jolla biopolttoainetuotannosta saadaan kaupallisesti kannattavaa. (EBTP raportti 2010) Maailmalla visioidaan jopa leväkasvatuksen tuomista kaupunkiympäristöön osaksi rakentamista, jätehuoltoa, energiaratkaisuja ja arkkitehtuuria (Algaecompetition 2011).

Tieteellisissä julkaisuissa leväbiopolttoainetutkimus vaikuttaa keskittyneen lähinnä levien käsittelyyn ja kasvuolosuhteiden optimointiin. Näiden tarkoituksena on lisätä levän tuottavuutta lisäämällä kasvunopeutta sekä öljypitoisuutta. Merkittävimpiä avoimia kysymyksiä ovat sopivimman kasvatusmenetelmän valinta sekä sen muuntaminen pienen mittakaavan kasvatusolosuhteista kaupallisen mittakaavan kustannustehokkaaseen kasvatukseen. Tieteellisistä julkaisuista puuttuu levätutkimuksen osalta suuri osa teknisen kehitystyön tutkimuksesta yrityssalaisuuksien vuoksi. Käyttökustannusten kannalta nimenomaan levien keruuseen, vedenpoistoon ja öljyn erotukseen liittyvät tekniset oivallukset olisivat suureksi hyödyksi, kuten myös veden- ja hiilenlähteen kustannustehokkaat ratkaisut. (Gao ym. 2012)

Makrolevien biopolttoainekäytön osalta on tulevaisuudessa tärkeää tutkia ja kehittää edelleen fermentaatiomenetelmiä sekä avomerikasvatuksen mahdollistamista. Esimerkiksi Saksassa on tutkittu mahdollisuutta kasvattaa makroleviä merelle rakennettujen tuulivoimaloiden yhteydessä erityyppisissä pusseissa tai verkoissa. Yhdysvaltain ilmaväli- ja avaruushallinto NASA on käynnistänyt projektin, jossa tutkitaan leväkasvatuksen mahdollisuuksia meressä kelluissa fotobioreaktoreissa. Tämä OMEGA (Offshore Membrane Enclosures for Growing Algae) -projekti voisi onnistuessaan mahdollistaa leväkasvatuksen ilman kilpailua maatalouden kanssa maa-alasta, lannoitteista tai vedestä. Lopputuotteena voisi olla biopolttoaineen lisäksi esim. ravinnoksi tai lannoitteeksi käytettävä leväbiomassa. (NASA OMEGA-projekti)

Ollakseen toteuttamiskelpoinen tulee leväbiopolttoainetuotannon olla kestävää koko tuotantoketjun osalta. Tutkimustyötä luotettavista elinkaariarvioista ja energiatasapainolaskelmista tarvitaan vielä paljon. Myös ekologian ja biologian alan perustutkimus, joka kartoittaa optimaalisia levälajeja ja -

kantoja, on edelleen ensiarvoisen tärkeää leväbiopolttoainetuotannolle, eikä sen merkitystä tai rahoitusta tulisi aliarvioida. Kasvatusolosuhteiden optimointia suoritettaessa tulisi lisäksi ottaa huomioon paitsi tuottavuuden maksimointi myös kontaminaatioiden minimointi joko kasvattamalla levien sietokykyä tai estämällä kontaminaatiot tehokkaasti. (EBTP raportti 2010)

### 8.2.1 Bioturvallisuus

Levien geenitekninen muokkaus biopolttoainetuotannon maksimoimiseksi tulisi arvioida tarkkaan mahdollisesti saavutettavien etujen ja toisaalta aiheutuvien riskien näkökulmasta. Levä muuttuu helposti aerosolimaiseksi ja tarttuessaan vaatteisiin, hiuksiin tai keuhkoihin kulkeutuu herkästi pois laboratorioympäristöstä. Joutuessaan rajatuista kasvatusolosuhteista luontoon muuntogeeninen levä ja sen kasvu ja kestävyys parantava siirtogeenikonstruktio voisi antaa kilpailuedun, jonka seurauksena muuntogeeninen levä voisi syrjäyttää luonnonpopulaatioita. Se voisi näin muuttaa herkkiä ekosysteemejä ja sitä kautta vaikuttaa haitallisesti ympäristöön mutta mahdollisesti myös ihmisten ja eläinten terveyteen.

Yhdysvalloissa **Sapphire Energy** teki vuonna 2011 monivuotisen yhteistyösopimuksen **Monsanto** kanssa. Muina rahoittajina projektissa toimivat Yhdysvaltain energiaministeriö sekä maatalousministeriö. Yhtiö kertoo muokanneensa tuhansia leväkantoja siten, etteivät ne tule toimeen kontrolloidun elinympäristön eli laboratorion ulkopuolella. Sapphire Energy aloitti leväöljytuotannon elokuussa 2012 New Mexicossa sijaitsevassa, maailman ensimmäisessä kaupallisen mittakaavan demonstraatiolaitoksessa. Kyseessä on ns. integroitu leväbiojalostamo, jonka tarkoituksena on kasvattaa levää suurissa avoimissa altaissa. Muuntogeenistä levää ei ole toistaiseksi vielä kasvatettu avoimissa altaissa.

**Exxonin Mobil Corporationin** rahoittama **Synthetic Genomics** on myös maininnut levään liitettävän itsetuhogeenin, muttei aio kehittää kyseistä ominaisuutta. Israelilainen **TransAlgae** on puolestaan kertonut kehittävänsä levään liitettävää itsetuhogeeniä. Tutkimus muuntogeenisten levien mahdollisista ympäristövaikutuksista on toistaiseksi hyvin vähäistä.

Euroopassa ei ole vielä haettu lupia muuntogeenisten levien kenttäkokeisiin. Muuntogeenisiä leviä voidaan kasvattaa suljetuissa olosuhteissa kuten mitä tahansa mikro-organismia. Tällöin mikrolevien kasvatusta säätelee EU:n direktiivi 2009/41/EC. Avoimessa käytössä (ulkokasvatuksessa, esim. allaskasvatuksessa) toimintaa taas säätelee avoimen käytön direktiivi 2001/18/EC. Kumpikin direktiivi edellyttää toiminnanharjoittajalta perusteellista riskinarviointia. Muuntogeenisten levien riskinarviointia on kuvattu tarkemmin esim. vuonna 2015 ilmestyneessä OECD:n konferenssijulkaisussa (ks. Wijffels 2015).

Yhdysvalloissa on jo myönnetty ainakin yksi lupa muuntogeenisen syanobakteerin kasvattamiselle ulkona sijaitsevassa bioreaktorissa etanolin tuotantoa varten (USDOE 2010). Sen sijaan yhtään avoimen käytön lupahakemusta ei tiettävästi vielä ole hyväksytty.

Miyake ym. (2014) ovat kehitelleet valosignaalin (vihreä valo) avulla hajoavaa syanobakteeria. Ominaisuus voi tulevaisuudessa helpottaa syanobakteerin tuottaman polttoaineen talteenottoa. Tutkijoiden mukaan sovellus voi lisäksi olla hyödyllinen kun kehitellään muuntogeenisiä organismeja, jotka hajoavat suorassa auringonvalossa ja joiden leviämistä voidaan siten paremmin kontrolloida.

### 8.2.2 Leväbiopolttoainetuotannon tulevaisuus Euroopassa ja Suomessa

Levien kasvattaminen pohjoisissa oloissa voi olla ongelmallista auringon valon rajallisen saatavuuden sekä matalien lämpötilojen takia. Jos leviä halutaan kasvattaa näissä olosuhteissa, tulee tutkimustyössä keskittyä nimenomaan kylmänkestävien ja vähällä auringonvalolla tehokkaasti yhteyttävien tai mikstrofiaan kykenevien leväkantojen kartoitukseen. Useat Itämeren levälajit ovat luonnostaan sopeutuneet selviämään jopa jäätympistettä lähentelevissä lämpötiloissa. Kylmänkestävien levälajien kartoittaminen ja mahdollinen geenitekninen muokkaus yhteyttämisen tehostamiseksi saattavat helpottaa leväkasvatusta pohjoisissa olosuhteissa. Suomessa voitaisiin myös kasvattaa leviä tehtaiden lauhdevesien lämpöä hyväksikäyttäen. Uudet teknologiset ratkaisut voivat osaltaan mahdollistaa suuren mittakaavan leväkasvatuksen myös pohjoisemmilla leveysasteilla. Tällaisia ratkaisuja voisivat olla mm. viljelmän peittäminen kasvihuonemaisesti lämpötilan nostamiseksi tai kasvatusta fotobioreaktoreissa, joissa olosuhteita on helpompi kontrolloida.

Auringonvalon määrä rajoittavana tekijänä voitaisiin kiertää kehittämällä fermentaatioteknologiaan uusia innovatiivisia ratkaisuja. VTT:n tutkijoiden mukaan levien pimeäkasvatus voi olla hyvä vaihtoehto auringon valon ollessa autotrofiaa rajoittava tekijä. Eräiden levien kyky kasvaa olosuhteiden vaihdelta joko yhteyttämällä tai pimeässä (miksotrofia) on saanut tutkijat suunnittelemaan menetelmää, jossa valoisana aikana levät kasvaisivat yhteyttämällä hiilidioksidia auringonvalon avulla. Pimeämpänä aikana niille annettaisiin esimerkiksi teollisuuden tai maatalouden sivuvirtoina syntynyttä hiiliperäistä ravinnetta.

Itämeren pahimpana ongelmana pidetään typpi- ja fosforikuormituksen aiheuttamaa rehevöitymistä (**kuva 11**). Rehevöityminen aiheuttaa happikatoa syvänteissä, mutta se on myös lisännyt leväkukintojen määrää runsaasti. Kuormitusta voitaisiin helpottaa keräämällä luonnostaan kasvavaa makrolevää rannikoilta ja hyödyntämällä sitä biokaasun tuotannossa. Ruotsissa levää käytetään koetoiminnassa pienimuotoisissa biokaasulaitoksissa esim. Trelleborgissa (WAB-projekti 2010-2012) ja Växjössä (Linnauksen yliopisto 2011).



Kuva 11. Leväkukinta; lähde: Riku Lumiaro, YHA kuvapankki.

Useilla Itämeren rannikkoalueilla ollaan kiinnostuneita myös mahdollisuudesta kasvattaa makrolevää Itämeren rannikoilla, mutta vielä ei tiedetä olisiko toiminta taloudellisesti kannattavaa. Ongelmaksi suuren mittakaavan kasvatuksessa muodostuvat todennäköisesti teknologia sekä työvoimakulut. Aasiassa, missä makroleviä kasvatetaan kaupallisesti, on matalat työvoimakulut sekä olemassa oleva teknologia ja levistä osataan tuottaa monenlaisia lopputuotteita. Tuotantokustannuksia pitäisikin pystyä pienentämään Euroopassa kartoittamalla makroleväkasvatukseen parhaat lajit, parhaat menetelmät ja parhaat olosuhteet. (SEI leväraportti 2009) Tällaista tutkimusta tehdään mm. Suomessa, Ruotsissa, Saksassa ja Norjassa.

Pohjoisiin oloihin saatetaan leväkasvatuksen rinnalle kehittää myös hiivojen ja homeiden kasvatusten menetelmiä. Hiivät ja homeet eivät yhteytä, joten niille valon määrä ei ole ratkaiseva tekijä. Ne ovat mikrobeja, jotka käyttävät ravinnokseen tehokkaasti ruoantähteistä ja jätteistä peräisin olevia sokereita



ja muuntavat ne öljyksi. Neste Oil avasi Porvooseen jalostamon yhteyteen mikrobiöljyä tuottavan koelaitoksen ja arveli, että kyseinen öljy voisi olla kaupallisessa tuotannossa aikaisintaan vuonna 2015 (CO<sub>2</sub>-raportti 2012). Mikrobiöljyn kehittäminen kuitenkin keskeytettiin vuonna 2014, sillä Neste Oil ei saanut tehtyä kannattavaa vaihtoehtoa uusiutuvan biodieselin raaka-aineeksi (Helsingin sanomat 2014).

Leväbiopolttoainetutkimukseen tarvitaan tulevaisuudessa rahoitusta, aikaa ja uusia innovaatioita. Kokemus ja asiantuntemus ovat leväkasvatuksessa avainasemassa, eikä näitä tavoitteita voida saavuttaa ilman pitkän tähtäimen rahoitusta, jolla turvataan myös teollisuuden kyky muokata innovaatioista käytökelpoista teknologiaa. Leväkasvatuksen haasteisiin tuskin kyetään vastaamaan yhdellä ”heureka”-keksinnöllä, vaan tarvitaan paljon työtä sekä useita innovaatioita ja läpimurtoja kustannustehokkaan leväbiopolttoaineteknologian saavuttamiseksi. Leväbiopolttoaine tulee parhaimmillaankin olemaan tulevaisuudessa vain yksi uusiutuva energianlähde monien rinnalla. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, ettei levien rooli voisi olla tulevaisuudessa merkittävä, vaan sitä, että tarvitsemme useita erilaisia ja tosiaan tukevia ratkaisuja korvaamaan fossiilisia polttoaineita. Leväkasvatuksen mahdollisuuksia arvioitaessa tulisi tehdä realistisia ja todellisiin laskelmiin perustuvia päätelmiä suuren mittakaavan tuotannosta.

## LÄHTEET

- Borowitzka MA, Moheimani N.R. Sustainable biofuels from algae. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 18, 13-25 (2013).
- Chisti Y. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*. 25, 294-306 (2007).
- Christi Y. Constraints to commercialization of algal fuels. *Journal of Biotechnology*. 167, 201-214 (2013).
- Flynn KJ, Greenwell HC, Lovitt RW, Shields RJ. Selection for fitness at the individual or population levels: Modelling effects of genetic modifications in microalgae on productivity and environmental safety. *Journal of Theoretical Biology*. 263, 269-280 (2010).
- Gao Y, Gregor C, Liang Y, Tang D, Tweed C. Algae biodiesel - a feasibility report. *Chemistry Central Journal*. 6(suppl 1), S1 (2012).
- Ghasemi Y, Rasoul-Amini S, Naseri AT, Montazeri-Najafabady N, Mobasher MA, Dabbagh F. Microalgae Biofuel Potentials (Review). *Applied Biochemistry and Microbiology*. 48, 2, 126-144 (2012).
- Grobbelaar JU. Factors governing algal growth in photobioreactors: the "open" versus "closed" debate. *Journal of Applied Phycology*. 21, 489-492 (2009).
- Harun R, Danquah MK, Forde GM. Microalgal biomass as fermentation feedstock for bioethanol production. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 85, 2, 199-203 (2010).
- Hildebrand M, Davis AK, Smith SR, Traller JC, Abbriano R. The place of diatoms in the biofuels industry. *Biofuels*. 3(2), 221-240 (2012).
- Inderwildi OR, King DA. Quo Vadis Biofuels. *The Royal Society of Chemistry, Energy & Environmental Science*. 2, 343-346 (2009).
- John RP, Anisha GS, Nampoothiri KM, Pandey A. Micro and macroalgal biomass: A renewable source for bioethanol. *Bioresource Technology*. 102, 186-193 (2011).
- Kovacevic V, Wesseler J. Cost-effectiveness analysis of algae energy production in the EU. *Energy Policy*. 38, 5749-5757 (2010).
- Lam MK, Lee KT. Microalgae biofuels: A critical review of issues, problems and the way forward. *Biotechnology Advances*. 30, 673-690 (2012).
- Leino H, Kosourov SN, Saari L, Sivonen K, Tsygankov AA, Aro EM, Allahverdiyeva Y. Extended H<sub>2</sub> photoproduction by N<sub>2</sub>-fixing cyanobacteria immobilized in thin alginate films. *International journal of hydrogen energy*. 37, 151-161 (2012).
- Mata TM, Martins AA, Caetano NS. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14, 217-232 (2010).
- Miyake K, Abe K, Ferri S, Nakajima M, Nakamura M, Yoshida W, Kojima K, Ikebukuro K, Sode K. A green-light inducible lytic system for cyanobacterial cells. *Biotechnol Biofuels*. 7:56 (2014).
- Piccolo A. Algae oil production and its potential in the Mediterranean region. 1st EMUNI Research Souk 2009. *Unity and Diversity of Euro-Mediterranean Identities*.
- Pimentel D, Pimentel M. Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 78(suppl), 660S-3S (2003).
- Quintana N, Van der Kooy F, Van de Rhee MD, Voshol GP, Verpoorte R. Renewable energy from Cyanobacteria: energy production optimization by metabolic pathway engineering. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 91, 471-490 (2011).
- Radakovits R, Jinkerson RE, Darzins A, Posewitz MC. Genetic Engineering of Algae for Enhanced Biofuel Production. *Eukaryotic Cell*. 9, 4, 486-501 (2010).
- Rodolfi L, Zittelli GC, Bassi N, Padovani G, Biondi N, Bonini G, Tredici MR. Microalgae for Oil: Strain Selection, Induction of Lipid Synthesis and Outdoor Mass Cultivation in a Low-Cost Photobioreactor. *Biotechnology and Bioengineering*. 102, 1 (2008).
- Sander K, Murthy GS. Life cycle analysis of algae biodiesel. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 15, 704-714 (2010).
- Schenk PM, Thomas-Hall SR, Stephens E, Marx UC, Mussgnug JH, Posten C, Kruse O, Hankamer B. Second Generation Biofuels: High-Efficiency Microalgae for Biodiesel Production. *Bioenergy Research*. 1, 20-43 (2008).
- Singh J, Gu S. Commercialization potential of microalgae for biofuels production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14, 2596-2610 (2010).
- Schwartz, M, Blakeley, K, O'Rourke, R. Department of Defense Energy Initiatives: Background Issues for Congress. Washington DC. Congressional Research Service. Summary (2012).
- Tredici MR. Photobiology of microalgae mass cultures: understanding the tools for the next green revolution. *Biofuels*. 1, 1, 143-162 (2010).
- Tsukahara K, Sawayama S. Liquid fuel production using microalgae. *Journal of the Japan Petrol Institute*. 48 (5), 251-259 (2005).
- Wargacki AJ, Leonard E, Win MN, Regitsky DD, Santos CNS, Kim PB, Cooper SR, Raisner RM, Herman A, Sivitz AB, Lakshmanaswamy A, Kashiyama Y, Baker D, Yoshikuni Y. An Engineered Microbial Platform for Direct Biofuel Production from Brown Macroalgae. *Science*. 335, 308-313 (2012).
- Warner J, Singer, P. Fueling the "Balance": A Defense Energy Strategy Primer. Washington DC: The Brookings Institution (2008).
- Wijffels RH, Kruse O, Hellingwerf KJ. Potential of industrial biotechnology with cyanobacteria and eukaryotic microalgae. *Current opinion in Biotechnology*. 24, 405-413 (2013).
- Wijffels RH. The need and risks of using transgenic microalgae for the production of food, feed, chemicals and fuels. In: OECD (2015) *Bio-safety and the environmental uses of microorganisms*. OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264213562-en>.
- Williams P, LeB, Laurens LML. Microalgae as biodiesel & biomass feedstocks: Review & analysis of the biochemistry, energetics & economics. *Energy & Environmental Science*. 3, 554-590 (2010).
- Yu J, Takahashi P. Biophotolysis-based Hydrogen Production by Cyanobacteria and Green Microalgae. *Communicating Current Research and Educational Topics and Trends in Applied Microbiology*. 79-89 (2007).
- Zhang S, Bryant DA. The Tricarboxylic Acid Cycle in Cyanobacteria. *Science*. 334, 1551-1553 (2011).

### Raportteja:

- AquaFuels-raportti 2011: Algae and aquatic biomass for a sustainable production of 2nd generation biofuels (AquaFUELS): Coordination action, FP7-ENERGY-2009-1, Deliverables, D 1.6 Mapping (<http://www.aquafuels.eu/>)
- Algae 2020 raportti 2009: Algae 2020 - Advanced Biofuels and Commercialisation Outlook; Biofuels consulting firm Emerging Markets Online (<http://www.emerging-markets.com/>)
- ASP raportti 1998: A Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program: Biodiesel from Algae (<http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24190.pdf>)
- EBI raportti 2010: A Realistic Technology and Engineering Assessment of Algae Biofuel Production. Energy Biosciences Institute, University of California, Berkeley (<http://www.ascension-publishing.com/BIZ/Algae-EBI.pdf>)
- EBTP raportti 2010: European Biofuels Technology Platform Strategic Research Agenda 2010 Update. Innovation Driving Sustainable Biofuels. ([http://www.eurosaire.prd.fr/7pc/doc/1282655883\\_sra\\_2010\\_biofuels.pdf](http://www.eurosaire.prd.fr/7pc/doc/1282655883_sra_2010_biofuels.pdf))

EIA raportti 2011: Annual Energy Outlook 2010 with Projections to 2035 ([http://www.eia.gov/oiaf/aeo/pdf/0383\(2010\).pdf](http://www.eia.gov/oiaf/aeo/pdf/0383(2010).pdf))

Euroopan komission raportti 2010: Energia 2020 - Strategia kilpailukykyisen, kestävä ja varman energiansaannin turvaamiseksi (<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0639:FIN:FI:PDF>)

Euroopan komission raportti 2011: Etenemissuunnitelma – siirtyminen kilpailukykyiseen vähähiiliseen talouteen vuonna 2050 (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0112:FIN:FI:PDF>)

Euroopan komission tiedonnato 2014: Ilmasto- ja energiapolitiikan puitteista vuosille 2020-2030 (<http://www.consilium.europa.eu/fi/policies/climate-change/2030-climate-and-energy-framework/>)

IEA raportti 2009: Transport, Energy and CO2 – Moving Toward Sustainability (<http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2009/transport2009.pdf>)

IEA raportti 2011: Key World Energy Statistics ([http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2011/key\\_world\\_energy\\_stats.pdf](http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2011/key_world_energy_stats.pdf))

IPCC raportti 2007: Climate Change 2007 – Synthesis Report ([http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf))

OECD raportti 2012: Towards Green Growth – A Summary for Policy Makers (<http://www.oecd.org/greengrowth/48012345.pdf>)

Pew raportti 2011: Who's Winning the Clean Energy Race? (<http://www.bnef.com/WhitePapers/download/68>)

REN21 raportti 2011: Renewables 2011 – Global Status Report ([http://www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/REN21\\_GSR2011.pdf](http://www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/REN21_GSR2011.pdf))

SEI leväraportti 2009: A Review of the Potential of Marine Algae as a Source of Biofuel in Ireland by Sustainable Energy Ireland (SEI) (<http://193.166.21.102:9091/servlet/com.trend.iwss.user.servlet.sendFile?downloadfile=IRES-721528752-10ED91B0-1806-1775-45>)

Suomen biotalousstrategia, 2014. (<http://www.biotalous.fi>)

TEM raportti 2009: Bioteknologia 2020 – Hyvinvointia Suomalaisille; Linjaukset Bioinnovaatioiden Hyödyntämiseksi ([http://www.tem.fi/files/24697/bioteknologia\\_final\\_0909.pdf](http://www.tem.fi/files/24697/bioteknologia_final_0909.pdf))

TEM raportti 2011: Kohti Biotaloutta – Biotalous Konseptina ja Suomen Mahdollisuutena ([http://www.tem.fi/files/29342/TEM\\_6\\_2011\\_netti.pdf](http://www.tem.fi/files/29342/TEM_6_2011_netti.pdf))

USDOE, EA-1786: Algenol Integrated Biorefinery for Producing Ethanol from Hybrid Algae. USDOE. Final Environmental Assessment no. DOE/EA-1786. (30 April 2012; [http://energy.gov/sites/prod/files/nepapub/nepa\\_documents/RedDont/EA-1786-FEA-2010.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/nepapub/nepa_documents/RedDont/EA-1786-FEA-2010.pdf))

Yhdysvaltain kongressin tutkimusraportti 2011: Congressional Research Service –raportti, Leggett JA, China's Greenhouse Gas Emissions and Mitigation Policies (<http://www.fas.org/sgp/crs/row/R41919.pdf>)

#### **Internetsivuja, uutisia ja lehtiartikkeleita (esiintymisjärjestyksessä):**

EU:n ilmasto- ja energiapaketti: [http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm)

Sitra.fi, Biotalous: <http://www.sitra.fi/biotalous>

Bioteknologia.info, Biomassa: <http://www.bioteknologia.info/etusivu/ymparisto/Biomassa>

Energia.fi, sähköntuotanto: <http://www.energia.fi/energia-ja-ymparisto/sahkontuotanto>

Motiva.fi, liikenne: <http://www.motiva.fi/liikenne>

Chicago Tribune uutinen 2011: [http://articles.chicagotribune.com/2011-11-08/business/ct-biz-1108-united-airlines-biofuel-plane-20111108\\_1\\_biofuel-jet-fuel-algae-derived](http://articles.chicagotribune.com/2011-11-08/business/ct-biz-1108-united-airlines-biofuel-plane-20111108_1_biofuel-jet-fuel-algae-derived)

Neste verkkisivusto, <https://www.neste.com/fi/fi/konserni/vastuullisuus/ilmasto-ja-resurssitehokkuus/viisaat-resurssit-ja-kiertotalous>

Reuters uutinen 2012: <http://www.reuters.com/article/2012/08/06/usa-ethanol-idUSL2E8J68KK20120806>

MIT.edu, Algae: <http://web.mit.edu/erc/spotlights/alg-all.html>

Sci.utu.fi, Turun yliopisto: <http://www.sci.utu.fi/biokemia/tutkimus/kfmb/projektit/aro/index.html>

Tekniikka & Talous uutinen: <http://www.tekniikkatalous.fi/energia/sinileva+voi+kasvaa+vetytehtaaksi/a38143>

Fortune CNN uutinen 2012: <http://money.cnn.com/2012/12/11/news/companies/green-oil-sapphire.fortune/index.html>

Science.org.au, New Scientist: [http://www.science.org.au/nova/newscientist/111ns\\_002.htm](http://www.science.org.au/nova/newscientist/111ns_002.htm)

Biofuelsdigest.com, Algae: <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2012/05/04/advanced-algae-heads-for-asia-indonesia-food-giant-invests-in-heliae/>

Submariner-hankkeen Compendium-julkaisu 2012: [http://www.submariner-project.eu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=87&Itemid=224](http://www.submariner-project.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=87&Itemid=224)

Tietoruutu 4: <http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35;52;88;17746;17926;17993>

Dimitrov 2007: [http://www.ecolo.org/documents/documents\\_in\\_english/biofuels-Algae-CaseStudy-09.pdf](http://www.ecolo.org/documents/documents_in_english/biofuels-Algae-CaseStudy-09.pdf) (Dimitrov K. GreenFuel Technologies: A Case Study for Industrial Photosynthetic Energy Capture. 2007)

Algaecompetition 2011: <http://www.algaecompetition.com/algae-slideshows/algae-architecture/>

NASA OMEGA-projekti: <http://www.nasa.gov/centers/ames/research/OMEGA/index.html>

WAB-projekti 2010-2012: <http://wabproject.pl/en.biogas.html>

Linnauksen yliopisto 2011: <http://lnu.se/1.40834/algae-and-reeds-become-biogas?l=en+CO2-raportti> 2012: [http://www.co2-raportti.fi/?page=ilmastouutisia&news\\_id=3497](http://www.co2-raportti.fi/?page=ilmastouutisia&news_id=3497)

Helsingin sanomat uutinen: <http://www.hs.fi/talous/a1412562632272>

## KUVAILELEHTI

Julkaisija	Suomen ympäristökeskus	Julkaisuaika Tammikuu 2016
Tekijä(t)	Maria Lunkka-Hytönen, Katileena Lohtander-Buckbee ja Marja Ruohonen-Lehto	
Julkaisun nimi	Levät ja biotalous biotekniikan näkökulmasta	
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristökeskuksen raportteja 4/2016	
Julkaisun teema		
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Julkaisu on saatavana vain internetistä: <a href="http://www.syke.fi/julkaisut">www.syke.fi/julkaisut</a>   <a href="http://helda.helsinki.fi/syke">helda.helsinki.fi/syke</a>	
Tiivistelmä	<p>Biotalous tarjoaa vaihtoehdon fossiilisiin polttoaineisiin perustuvalla taloudelle ja sen avulla luonnonvaroja hyödynnetään kestäväällä, liiketaloudellisesti kannattavalla tavalla. Biotalous voi osaltaan olla ratkaisu luonnonvarojen ehtymisen ja ilmastonmuutoksen aiheuttamiin globaaleihin haasteisiin. Bioteknologia puolestaan tarjoaa biotaloudelle monia mahdollisuuksia teollisuusprosesseissa, lääketieteessä, elintarvike- ja energiantuotannossa, maa- ja metsätaloudessa sekä ympäristönsuojelussa.</p> <p>Biotalous on käsitteenä laaja ja kehittyä nopeasti. Levät ovat esimerkki nopeasti kasvavasta biomassasta, joka on herättänyt paljon kiinnostusta sen monista sovellusmahdollisuuksista johtuen. Levät voivat tulevaisuudessa olla merkittävä biomassan lähde ja niitä hyödyntämällä voidaan tuottaa sähköä ja lämmitysenergiaa sekä erilaisia biopolttoaineita liikenteen ja teollisuuden käyttöön. Leväbiomassasta voidaan myös saada monia erilaisia kaupallistettavia sivutuotteita biopolttoainetuotannon ohessa.</p> <p>Biomassan tuotanto polttoaineiksi painottuu tällä hetkellä ns. energiakasvien viljelyyn. Ollakseen kestävää energiabiomassan tuotanto ei saisi kuitenkaan perustua ravinnoksi kelpaaviin kasveihin tai viedä tilaa niiden viljelyltä. Levät tarvitsevat kasvaakseen vettä, auringon valoa, hiilidioksidia ja ravinteita. Levä voidaan kasvattaa ruoantuotantoon kelpaamattomalla maalla ja ne kasvavat nopeammin kuin maalla elävät kasvit. Ne voivat lisäksi saada tarvitsemiaan ravinteita jätevesistä ja niiden hiililähteenä voidaan käyttää tehdastuotannon savukaasuja. Leväkasvatuksen avulla voitaisiinkin tulevaisuudessa mahdollisesti puhdistaa jätevesiä sekä pienentää hiilidioksidipäästöjä biopolttoainetuotannon yhteydessä.</p> <p>Tässä selvityksessä kartoitettiin levätutkimuksen kansallista ja kansainvälistä tilannetta ja toimintaympäristöä sekä pyrittiin laajentamaan ymmärrystä biotalouden mahdollisuuksista ja haasteista.</p>	
Asiasanat	Biotalous, bioteknologia, levä, biomassa, bioenergia, GMO, muuntogeeninen	
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Ympäristöministeriö YM / Biotekniikan neuvottelukunta BTNK	
	ISSN (pdf) 1796-1726	ISBN (verkkokj.) 978-952-11-4551-3
	Sivuja 52	Kieli Suomi
	Luottamuksellisuus julkinen	
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus (SYKE), syke.fi PL 140, 00251, Helsinki Puh. 0295 251 000	
Painopaikka ja -aika		

## PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Finlands miljöcentral	Datum Januari 2016
Författare	Maria Lunkka-Hytönen, Katileena Lohtander-Buckbee och Marja Ruohonen-Lehto	
Publikationens titel	Alger och bioekonomi ur biotekniskt perspektiv	
Publikationsserie och nummer	Finlands miljöcentrals rapporter 4/2016	
Publikationens tema		
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt	Publikationen finns tillgänglig på internet: <a href="http://www.syke.fi/publikationer">www.syke.fi/publikationer</a>   <a href="http://helda.helsinki.fi/syke">helda.helsinki.fi/syke</a>	
Sammandrag	<p>Bioekonomin erbjuder ett alternativ till en på fossila bränslen baserad ekonomi och bidrar till hållbart, företagsekonomiskt lönsamt utnyttjande av naturresurser. Bioekonomi kan utgöra en lösning på de globala utmaningar som orsakas av utarmning av naturresurser och klimatförändringen. Däremot erbjuder bioteknologi bioekonomin många möjligheter inom industriprocesser, medicin, livsmedels- och energiproduktion, jord- och skogsbruk samt miljöskydd.</p> <p>Begreppet bioekonomi är omfattande och utvecklas snabbt. Alger är ett exempel på snabbt växande biomassa och har väckt stort intresse tack vare det stora antalet tillämpningsmöjligheter. I framtiden kan alger vara en betydande källa av biomassa och genom att utnyttja dem kan man producera el- och uppvärmningsenergi samt olika biobränslen för användning inom trafiken och industrin. Från algbiomassa kan man också vid sidan av biobränsleproduktionen ta fram många olika biprodukter med kommersiell användning.</p> <p>Produktionen av bränsle av biomassa fokuserar för närvarande på odling av så kallade energiväxter. För att det ska vara hållbart får produktionen av energibiomassa dock inte baseras på växter som kan användas som näring eller inskränka på sådana växters odlingsareal. Algerna behöver vatten, solljus, koldioxid och näringsämnen för att växa. Alger kan odlas i för livsmedelsproduktionen oduglig jord och de växer snabbare än växter som lever på land. Dessutom kan de få de nödvändiga näringsämnena från avloppsvatten och som kolkälla kan man använda rökgaserna från fabriksproduktionen. Med hjälp av algodling kunde man i framtiden eventuellt rengöra avloppsvatten samt minska koldioxidutsläppen i samband med biobränsleproduktionen.</p> <p>I denna redogörelse har man kartlagt den nationella och internationella situationen inom algforskningen och dess verksamhetsmiljö samt försökt bredda förståelsen för bioekonomins möjligheter och utmaningar.</p>	
Nyckelord	Bioekonomi, bioteknologi, alg, biomassa, bioenergi, GMO, genetiskt modifierad organism	
Finansiär/ uppdragsgivare	Miljöministeriet, Delegationen för bioteknik	
	ISSN (pdf) 1796-1726	ISBN (online) 978-952-11-4551-3
	Sidantal 52	Språk Finska
	Offentlighet Offentlig	
Förläggare	Finlands miljöcentral (SYKE), PB 140, 00251 Helsingfors Tel. 0295 251 000	
Tryckeri/tryckningsort -år		

## DOCUMENTATION PAGE

Publisher	Finnish Environment Institute	Date	January 2016
Author(s)	Maria Lunkka-Hytönen, Katileena Lohtander-Buckbee and Marja Ruohonen-Lehto		
Title of publication	Algae and bio-based economy – biotechnology perspective		
Publication series and number	Reports of the Finnish Environment Institute 4/2016		
Theme of publication			
Parts of publication/ other project publications	The publication is available in the internet: <a href="http://www.syke.fi/publications">www.syke.fi/publications</a>   <a href="http://helda.helsinki.fi/syke">helda.helsinki.fi/syke</a>		
Abstract	<p>Bio-based economy (bioeconomy) provides an alternative for economy based on fossil fuels. It provides us with an opportunity for sustainable and economically sound use of natural resources. Bioeconomy can be a partial solution for the diminishing natural resources and also for global challenges caused by climate change. It may prove to be a useful tool in industrial processes, medicine, food and feed industry, energy production, agriculture and forestry, as well as for nature conservation.</p> <p>Bioeconomy is a comprehensive and rapidly evolving concept. Algae are capable to produce vast amounts of biomass in short time period and are therefore an interesting case example when considering different bioeconomical applications. Algae may prove to be a comprehensive source of biomass that can be used in production of electricity and heating, as well as fuel for transport and industry use. Algal biomass used for energy production can also be used as a source for commercialized by-products.</p> <p>Currently the bio-based fuel production is mainly based on the cultivation of so called energy crops. Sustainable production of biomass used for energy cannot be based on edible crops. Furthermore, biomass should only be produced in areas that are not suitable for cultivation of food and feed. Algae only need water, light, carbon dioxide and nutrients for growth. They can be cultivated in non-arable areas and their growth rate is faster than that of vascular plants. Moreover, sewage waters and industrial combustion gases can provide the nutrients and carbon source needed for algal cultures. In future it may be possible to purify waste water and diminish carbon emissions as by-product in algal fuel production.</p> <p>This report explores the current national and international progress in algal research and discusses the possibilities and challenges of bioeconomy.</p>		
Keywords	Bioeconomy, biotechnology, algae, biomass, bioenergy, GMO, genetically modified organism		
Financier/ commissioner	Ministry of the Environment, Advisory Board on Biotechnology		
	ISSN (pdf)	ISBN (online)	
	1796-1726	978-952-11-4551-3	
	No. of pages	Language	
	52	Finnish	
	Restrictions		
	public		
Financier of publication	Finnish Environment Institute (SYKE), P.O. Box 140, FI-00251 Helsinki, Finland Phone +358 295 251 000		
Printing place and year			



Biotalous on käsitteenä laaja ja kehitty nopeasti. Levät ovat esimerkki nopeasti kasvavasta biomassasta, joka on herättänyt paljon kiinnostusta sen monista sovellusmahdollisuuksista johtuen. Levät voivat tulevaisuudessa olla merkittävä biomassan lähde ja niitä hyödyntämällä voidaan tuottaa sähkö- ja lämmitysenergiaa sekä erilaisia biopolttoaineita liikenteen ja teollisuuden käyttöön. Leväbiomassasta voidaan myös saada monia erilaisia kaupallistettavia sivutuotteita biopolttoainetuotannon ohessa.

Tässä selvityksessä kartoitettiin levätutkimuksen kansallista ja kansainvälistä tilannetta ja toimintaympäristöä sekä pyrittiin laajentamaan ymmärrystä biotalouden mahdollisuuksista ja haasteista.

