

Bioteekniikan mahdollisuuksia ja sovelluksia

Tapaustutkimus levistä



Julkaisun on toimittanut biotekniikan neuvottelukunta (BTNK)

Kirjoittajat:

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

Julkaisua saa kopioida ja levittää esimerkiksi opetus- ja muissa vastaavissa ei-kaupallisisissa tarkoituksissa. Tällöin on kuitenkin mainittava lähde. Suositeltava lähdemerkintä on ”Biotekniikan neuvottelukunta, Biotekniikan mahdollisuuksia ja sovelluksia – taustatutkimus levistä, 2013, Helsinki.”

Julkaisu on saatavissa sähköisesti osoitteessa <http://www.btnk.fi> ja tilattavissa painetuna biotekniikan neuvottelukunnan sihteeriltä (info@btnk.fi).

Biotekniikan neuvottelukunta on valtioneuvoston asettama neuvoa-antava asiantuntijaelin bio- ja geenitekniikkaan liittyvissä kysymyksissä.

Kannen kuva: Viherleväsoluja, joissa öljypisaroita sisällä (lähde: Hans Wolkers)

BTNK:n julkaisuja 5 (2013)

ISSN-L 1798-6486

ISSN 1798-6486 (painettu)

ISSN 1798-6494 (verkkójulkaisu)

ISBN 978-952-00-3608-9 (nid.)

ISBN 978-952-00-3609-6 (PDF)

Taitto ja Painatus:

Unigrafia

Helsinki 2013



441

697

Painotuote

SISÄLLYS

ALKUSANAT	4
1. Biotalous – uusiutuvien luonnonvarojen kestävää käyttöä	5
1.1 Bioteknologia osana biotaloutta.....	5
1.2 Miksi aihe on ajankohtainen?	6
2. Leväbiologiaa	7
2.1 Makrolevät	8
2.2 Mikrolevät ja syanobakteerit	9
2.3 Levän geenitekkinen muokkaus	10
3. Levä biopolttoaineena	11
3.1 Leväbiopolttoainetutkimuksen historiaa	11
3.2 Leväbiomassan mahdollisuudet.....	11
4. Leväbiomassan kasvatusta	14
4.1 Kasvatustekniikat.....	15
4.2 Leväkasvatusta maantieteellinen sijoittaminen....	16
5. Leväbiopolttoainetutkimuksen nykytilanne	17
5.1 Eurooppa	18
5.2 Suomi.....	20
6. Leväkasvatusta haasteet	21
6.1 Kaupallistaminen	22
6.2 Biojalostamot	23
6.3 Bioturvallisuus.....	23
7. Levätutkimuksen tulevaisuudennäkymiä	24
7.1 Eurooppa ja Suomi.....	25
LOPPUSANAT	28
LÄHTEET.....	29

ALKUSANAT

Biotalousdella tarkoitetaan toimintaa, joka käyttää uusiutuvia luonnonvaroja kestävän kehityksen periaatteet huomioiden niin, että luonnonvarat riittävät sekä nyky maailman että tulevaisuuden tarpeisiin. Tavoitteena on hyödyntää uusiutuvia luonnonvaroja materiaali- ja energiatehokkaasti, liiketaloudellisesti kannattavalla tavalla. Biotalous tarjoaa vastakohtan fossiilisiin polttoaineisiin perustuvalla taloudelle ja se voi osaltaan olla ratkaisu luonnonvarojen ehtymisen, tuotannon ympäristöhaittojen sekä ilmastonmuutoksen aiheuttamiin globaaleihin haasteisiin. Bioteknologia puolestaan tarjoaa biotaloudelle monia mahdollisuuksia teollisuusprosesseissa, lääketieteessä, elintarvike- ja energiantuotannossa, maa- ja metsätaloudessa sekä ympäristönsuojelussa.

Yhteistyössä auringon energia sitoutuu eloperäiseen aineeseen, biomassaan, josta voidaan tuottaa sähkö- ja lämmitysenergiaa sekä erilaisia polttoaineita. 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. Levät voivat laskelmien mukaan tuottaa biomassaa nopeammin kuin maalla elävät kasvit ja leväkasvattamoja voidaan

sijoittaa ruoantuotantoon kelpaamattomalle maalle. Ne voivat lisäksi saada tarvitsemiaan ravinteita jätevesistä ja niiden hiilenlähteenä voidaan käyttää tehdastuotannon savukaasuja. Leväkasvatuksen avulla voitaisiin tulevaisuudessa mahdollisesti puhdistaa jätevesiä sekä pienentää hiilidioksidipäästöjä biopolttoainetuotannon yhteydessä. Levät voivat lisäksi tuottaa kaupallistettavia sivutuotteita kasvatuksen yhteydessä.

Levien tutkimus biopolttoainetarkoitukseen on vasta alkuvaiheessa, joten kokemukset levien käytöstä ovat rajalliset. Kustannustehokkaita ratkaisuja kaupallisen mittakaavan tuotantoon ja levien hyödyntämiseen kehitetään kuitenkin jatkuvasti. Levien mahdollisuuksia on nostettu esille monessa kansainvälisissä selvityksissä lupaavana tulevaisuuden biotalouden alueena. Tässä esitteessä kartoitetaan levätutkimuksen kansallista ja kansainvälistä tilannetta ja toimintaympäristöä sekä pyritään laajentamaan ymmärrystä biotalouden mahdollisuuksista ja haasteista.

Helsingissä 2013

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

1. BIOTALOUS – Uusiutuvien luonnonvarojen kestävää käyttöä

Teollisessa tuotannossa on perinteisesti muokattu runsaasti saatavilla olevia luonnonvaroja tuotteiksi kemiallisen ja mekaanisen prosessin avulla. Tämänkaltainen teollinen tuotanto moninkertaisti Euroopassa 1900-luvulla teollisten tuotteiden määrän ja saatavuuden sekä kulutustottumukset. Tuotannolle oli tyypillistä luonnonvarojen ja energian säästelemätön käyttö sekä teollisuuskemikaalien runsas hyödyntäminen.

Tuotannon ongelmat näkyivät selvästi 2000-luvulle tultaessa. Useat luonnonvarat alkoivat uhkaavasti vähentyä ja vastaavasti erilaisten jäte- ja sivuvirtojen määrä oli valtava. Luontoon joutuneet kemianteollisuuden tuotteet aiheuttivat pysyvän jäteongelman sekä ympäristö- ja terveysriskejä. Ongelmien ratkaisemiseksi alettiin hahmotella luonnonvarojen hyödyntämistä tavalla, joka noudattaisi luonnon omia materiaalikierroja. Näin syntyi biotalouden käsite. Sille ovat keskeisiä suljetut materiaalikierrot, joissa jäte- ja sivuvirtamateriaaleja ei synny, vaan ne ohjataan seuraavien prosessien raaka-aineiksi.

Tänä päivänä Euroopassa biotaloudella tarkoitetaan usein pelkästään biopolttoaineisiin perustuvaa taloutta. Yhdysvalloissa biotalouden käsite ymmärretään laajemmin, mutta myös siellä pääpaino on biopolttoaineilla ja nimenomaan nestemäisillä liikenteen polttoaineilla. Biotalous on kuitenkin kaikki uusiutuvien luonnonvarojen kestävä hyödyntäminen. Kestävän kehityksen takaamiseksi on globaalin biotalouden oltava hyvin suunnitelmallista, jotta uusiutuvat luonnonvarat säilyvät myös tulevien sukupolvien käyttöön mahdollistaen hyvin monimuotoisen biotalouden myös tulevaisuudessa.

1.1 Bioteknologia osana biotaloutta

Biotalouteen kuuluu myös bioteknologia biomassojen muokkauksen työkaluna. Työ- ja elinkeinoministeriön vuoden 2009 ”Bioteknologia 2020” -selvityksessä kuvataan kuinka bioteknologiaa voidaan parhaiten hyödyntää tulevaisuudessa sekä kotimaassa että kansainvälisillä markkinoilla. Selvityksen mukaan vuoteen 2020

mennessä tavoitteena olisi hyödyntää geeniteknologiaa uusien biomassojen kehityksessä. Tällaisiksi uusiksi biomassoiksi mainitaan nopeasti kasvavat puut ja kasvit, jätteet ja levät. Vuoden 2020 tavoitteisiin luetaan myös ensimmäiset kaupallisen mitta-kaavan leväntuotantolaitokset. Selvityksen mukaan Suomessa on panostettava levien energiakäytön hyödyntämiseen tarvittavan teknologian kehittämiseen. Geenitekniikan ja bioteknologian käyttö voisi tulevaisuudessa mahdollisesti edistää uusiutuvan biomassan kilpailukyvyn kehittämistä sekä Euroopan unionin (EU) ilmasto- ja energiapolitiikan tavoitteiden saavuttamista (TEM raportti 2009).

1.2 Miksi aihe on ajankohtainen?

Biotalous menestyy ainoastaan, mikäli se on liiketaloudellisesti kannattavaa. Erilaisten ympäristötase- ja elinkaarilaskentatapojen kehittymisen myötä on mahdollista laskea sekä taloudelliset tuotantokustannukset että kestävyys- ja ympäristönäkökohdat. Tuotteen kokonaiskustannukset muodostuvat paitsi valmistuskustannuksista myös ympäristökuormituksesta. Jo nyt tämä hinta on usein otettava mukaan tuotteen valmistuskustannuksiin, ja tulevaisuudessa tämä käytäntö lisääntyy huomattavasti. Tässä tilanteessa biotalouskonseptiin pohjautuvat tuotantomenetelmät nousevat todellisiksi kilpailutekijöiksi. Tällä hetkellä on kysyntää erityisesti uusille teknologioille, jotka vähentävät energian tuotannon ja käytön päästöjä ja mahdollistavat entistä tehokkaamman energian käytön. Prosessitehokkuuden ja raaka-aineiden sekä sivutuotteiden maksimaalinen hyödyntäminen ovat avaintekijöitä tehtäessä biotaloudesta liiketoiminnallisesti kannattavaa.

Biotalous on käsitteenä laaja ja kehittyy nopeasti. Eräs tapa ymmärtää tätä kehitystä on tarkastella jotakin kapeammin rajattua biotalouden osa-aluetta. 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. Leväbiomassasta voidaan myös saada monia erilaisia kaupallistettavia sivutuotteita biopolttoainetuotannon ohessa.

Biopolttoaineiden kehitystyötä ajavina voimina toimivat energiaitsenäisyys, ilmastonmuutoksen torjuminen, kestävän biotalouden kehitys sekä edullisempien ja hinnan vaihteluille vähemmän alttiiden polttoaineiden kehittäminen. Myös väkiluvun kasvaminen sekä fossiilisten polttoaineiden saatavuuden rajallisuus tukevat siirtymistä biopolttoaineisiin. Biopolttoainestrategia on toteuttamiskelpoisempi nyt kuin viime vuosikymmeninä, koska öljyn hinta on korkeampi kuin aiemmin eikä hinnan uskota enää laskevan takaisin alhaisiin lukemiin (Gao ym. 2012). Kansainvälisillä ja kansallisilla energia- ja biopolttoainestrategioiden avulla halutaan vähentää liikenteen hiilidioksidipäästöjä mm. päästökauppojen avulla sekä lisäämällä biopolttoaineiden sekoittamista perinteisiin fossiilisiin polttoaineisiin.

2. LEVÄBIOLOGIAA

Levät ja kasvit muodostavat suurimman osan planeettamme biomassasta ja tuottavat suurimman osan ilmakehän hapesta. Levät muuntavat yhteyttäessään auringon energiaa kemialliseksi energiaksi ja varastoivat tätä energiaa öljyihin, hiilihydraatteihin ja proteiineihin. Näitä energiavarastoja voidaan käyttää hyväksi biopolttoainetuotannossa. Arviot maapallon levälajien lukumäärästä vaihtelevat suuresti. Lähteestä riippuen eri levälajeja arvioidaan olevan noin 50 000 - 300 000. 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.

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 pääryhmään luetaan virus-ten ja bakteerien lisäksi nykyisin myös ennen sinilevinä tunnetut syanobakteerit. Alkueliöiden pääryhmään kuuluvat alkueläimien lisäksi nielulevät, panssarisiimalevät, tarttumalevät, kultalevät, keltalevät, piilevät, limalevät ja silmälevät. Viherlevät puolestaan

luetaan korkeampaa kehitystasoa edustavien pääryhmään kasvien kanssa ja ne edustavatkin varsinaisten kasvien esimuotoja. Viherleviin kuuluu yksisoluisien alkeellisten muotojen eli mikrolevien lisäksi kehittyneitä monisoluisia muotoja eli makroleviä.

2.1 Makrolevät

Makrolevät ovat monisoluisia, makeassa ja suolaisessa vedessä eläviä leviä, joita kutsutaan myös merileviksi. Osa makroleivistä kasvaa kiinnittyneenä kovalle pohjalle tai vaihtoehtoisesti vapaana vedessä muistuttaen joskus vesikasveja (**Kuva 1**). Osa makroleivistä on syötäviä 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.

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 rakenteen takia. Makroleviä on lisäksi edullisempaa ja yksinkertaisempaa kasvattaa kuin mikroleviä. Makrolevien öljypitoisuudet ovat huomattavasti pienemmät kuin mikrolevien, joten makroleivistä voidaan realistisesti ajatella tuotettavan lähinnä biometaania ja bioetanolia (SEI leväraportti 2009).



Kuva 1: Rakkolevä; lähde: Anja Holmsten, YHA kuvapankki

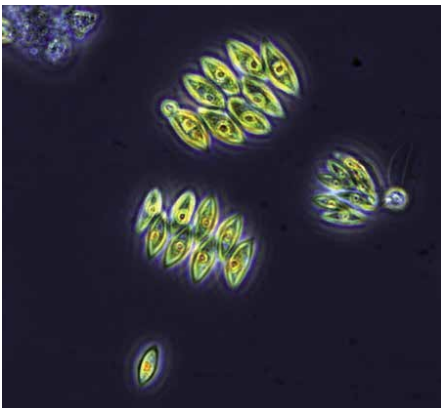
2.2 Mikrolevät ja syanobakteerit

Sekä mikrolevät (**Kuva 2**) että syanobakteerit (entiseltä nimitykseltään sinilevät) (**Kuva 3**) ovat yhteyttämiskykyisiä eliöitä, joi- ta 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.

Biopolttoainetutkimuksissa on perinteisesti keskitytty mikrolevien osalta lähinnä viherleviin mutta myös piileviä ja syanobakteereja tutkitaan paljon (Hildebrand ym. 2012). Mikrolevät sisältävät runsaasti biodieseltuotannolle käyttökelpoisia öljyjä, mutta myös niiden varastoimia hiilihydraatteja ja proteiineja voidaan käyttää biopolttoainetuotannossa. Biopolttoainetuotannon kannalta onkin tärkeää selvittää näitä aineenvaihduntaan liittyviä tekijöitä, jotta niitä voidaan muokata joko geeniteknisesti tai kasvatusolosuhteita muuttamalla (Radakovits ym. 2010).

2.3 Levän geenitekkinen muokkaus

Levälajien runsaus ja maantieteellinen hajonta antavat viitteitä siitä, että kuhunkin käyttötarkoitukseen sopivimmat leväkannat



Kuva 2: Scenedesmus obliquus-mikrolevä; lähde: Kristian Spilling, SYKE



Kuva 3: Nodularia spumigena-syanobakteeri; lähde: Reija Jokipii, YHA kuvapankki

voitaisiin löytää kartoittamalla luonnonkantoja ja suorittamalla valintaa kasvatuksen aikana. Levää voitaisiin muokata haluttuun suuntaan myös kasvuolosuhteita muuttamalla tai uusien geenitekniikan menetelmien avulla. Leviä voidaan muokata mm. kestämään paremmin tiettyjä olosuhteita, käyttämään tiettyjä aineenvaihduntareittejä tai yhteyttämään tehokkaammin. Bioteknologian avulla voidaan muokata myös valmista leväbiomassaa, tai käyttää bioteknologiaa apuna biomassan jatkojalostuksessa (TEM raportti 2009).

Öljypitoisuuksia sääteleviä aineenvaihduntareittejä voitaisiin muokata geeniteknisesti joko kokonaislipidimääriä lisäämällä (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. Myös levän stressinsietokyky (valo, lämpötila, pH, suola) voitaisiin muokata ja näin laajentaa levälle sopivia kasvatusolosuhteita maksimoimalla samalla biomassan tuotanto. Leviä voitaisiin mahdollisesti muokata myös niin, että ne saataisiin erittämään tuottamaansa biopolttoaineen raaka-ainetta suoraan solujensa ulkopuolelle (Radakovits ym. 2010). Viherhiukkasten yhteyttämistehokkuutta voidaan tulevaisuudessa kenties muokata tai kehittää jopa kokonaan keinotekoinen viherhiukkanen, ja siten mahdollistaa keinotekoinen yhteyttäminen. Keinotekoista fotosynteesiä tutkitaan mm. Yhdysvalloissa ja myös Suomessa, esimerkiksi Turun yliopistossa. Levien geenitekkinen muokkaus on tällä hetkellä vielä perustutkimusvaiheessa, eikä yhtään sovellusta ole laajemmassa käytössä.

3. LEVÄ BIOPOLTTOAINEENA

3.1 Leväbiopolttoainetutkimuksen historiaa

Levätutkimus energiantuotantoa varten käynnistyi varsinaisesti Yhdysvalloissa vuonna 1978 aloitetulla energiaministeriön Aquatic Species -ohjelmalla, joka kartoitti biopolttoainetuotantoon sopivimpia levälajeja tuhansien joukosta. Tutkimuksia tehtiin sekä laboratorio- että kenttäoloissa. 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 (Gao ym. 2012). Energiaministeriö lakkautti biopolttoaineohjelman alaisen levätutkimusohjelman vuonna 1995 ja Aquatic Species -ohjelman loppuraportti ilmestyi vuonna 1998. Loppuraportin arvioiden mukaan öljyn hinnan tulisi olla paljon korkeampi kuin tuolloinen 15-20 dollaria barrelilta, jotta leväkasvatus biopolttoaineeksi olisi kaupallisesti kannattavaa (ASP raportti 1998). Ohjelman lakkautuksen ja vuosituhannen vaihteen jälkeen levätutkimuksessa koettiin svantovaihe. Vuoteen 2007 mennessä öljyn hinta kipusi ennätyslukemiin, yli 100 dollariin barrelilta, ja leväpolttoaineen tutkimus- ja kehitystyöhön alettiin taas panostaa maailmanlaajuisesti.

Ongelmat kaupallisen mittakaavan tuotannon saavuttamisessa ovat liittyneet teknologisiin ja taloudellisiin rajoituksiin. Tutkimus- ja kehitystyössä kamppaillaan edelleen 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 3000 levälajia, joista noin 50 luokiteltiin arvokkaiksi biopolttoainekehitykselle (Gao ym. 2012).

3.2 Leväbiomassan mahdollisuudet

Levistä voidaan saada monenlaisia biopolttoaineiden raaka-aineita, kuten tärkkelystä ja öljyä. Näistä voidaan valmistaa

biopolttoaineita, kuten biodieseliä tai bioetanolia. Eräät levät ja syanobakteerit kykenevät lisäksi tuottamaan biovetyä ja leväbiomassasta voidaan tuottaa hapettomissa olosuhteissa myös biomeetaania (Schenk ym. 2008). Levät pystyvät teoreettisesti tuottamaan paitsi enemmän biomassaa myös enemmän öljyä hehtaaria kohti kuin maalla kasvavat perinteiset öljykasvit (Lam ja Lee 2012). Levien biomassan- ja öljyntuotannon vertailu maalla eläviin kasveihin on kuitenkin monimutkaista. Kirjallisuudessa esitetyt arviot vaihtelevat suuresti mm. eri laskentatapojen ja huomioon otettujen tekijöiden seurauksena. Lisäksi on huomioitava, että arviot levien biomassan- ja öljyntuotannosta perustuvat osin teoreettisiin lukuihin, koska leviä ei vielä kasvateta kaupallises-
sa mittakaavassa.

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. Realistinen arvio öljypitoisuudesta kaupallisen mittakaavan tuotannossa on todennäköisesti n. 30% ilman kasvuolosuhteiden optimointia (Lam ja Lee 2012). Kaikissa arvioissa levien biomassan- ja öljyntuotantokapasiteetista tulee ottaa huomioon ne maantieteelliset olosuhteet (esim. auringonvalo ja lämpötilat), joissa leviä aiotaan kasvattaa. Levät kasvavat nopeammin kuin maalla elävät kasvit ja leväbiomassa kaksinkertaistuu keskimäärin 24h aikana (Chisti 2007). Jos teoreettiset 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). **Taulukossa 1** on vertailtu muutamien öljykasvien öljypitoisuuksia sekä öljyntuotantokapasiteetteja.

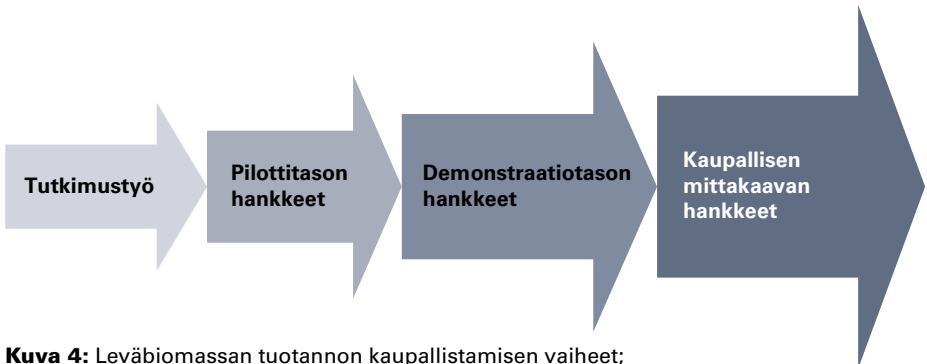
Taulukko 1. Eri biomassalähteiden öljypitoisuuksia ja öljyntuotantokapasiteetteja; lähde: Mata ym. 2010, Lam ja Lee 2012

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

Leviä voidaan kasvattaa altaissa maa-alalla, joka ei kelpaa ruoantuotantoon tai kasvien viljelyyn. Levät voivat kasvaa makean veden lisäksi myös jäte- tai suolavedessä, joten niiden makean veden tarve on pienempi kuin maalla kasvavilla kasveilla. Levätuotannon raaka-aineet ovat pääasiallisesti edullisia. Suurin osa levistä on kasvien tapaan yhteyttämiskykyisiä organismeja, 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 lisättynä kasvatusnesteeseen. Jätevedessä kasvatettaessa tiettyjen levälajien on myös mahdollista elää ilman auringonvaloa käyttäen hiilenlähteenään jäteveden orgaanisia yhdisteitä ja puhdistuen samalla jätevesiä. Leväkasvatuksessa ei tarvita suuria määriä rikkakasvien ja tuholaisten torjunta-aineita (Rodolfi ym. 2008). Leväkasvatuksessa voidaan hyödyntää tehdastuotannon savukaasujen hiilidioksidia hiilen lähteenä sijoittamalla leväkasvatustilaan tehtaan yhteyteen (Chisti 2007).

Leväkasvatuksen kaupallistaminen tapahtuu vaiheittain (**Kuva 4**) ja tällä hetkellä ollaan siirtymässä pienen mittakaavan laboratoriotutkimuksista pilottihankkeisiin sekä suuremman mittakaavan demonstraatioihin. Kaikissa vaiheissa leväbiomassaa tuottavan yrityksen on kyettävä todistamaan rahoittajille toiminnan kannattavuus näyttämällä toteen teknologian toimivuus ja tuottamalla tietyn verran leväbiopoltoainetta. Ilman näitä todisteita rahoittajien investoinnit tuskin jatkuvat varsinkaan tämän hetkisen taloudellisen taantuman aikana.

Levät voivat tuottaa kaupallistettavia sivutuotteita kasvatuksen yhteydessä. Tällaisia sivutuotteita ovat mm. proteiinit ja



Kuva 4: Leväbiomassan tuotannon kaupallistamisen vaiheet; lähde: Algae 2020 -raportti 2009

öljynerotuksessa ylijäävä biomassa, joita voidaan käyttää rehuna (**Kuva 5**) ja lannoitteena tai fermentoida bioetanoliksi/biometaaniksi. Levistä saa muokkaamalla raaka-ainetta hyvin erilaisiin käyttötarkoituksiin, esim. muoveihin tai kosmetiikkateollisuuden käyttämiin öljyihin ja väripigmentteihin. Levistä on eristetty arvokkaita lääkeaineita ja fluoresoivia aineita, joita lääketieteellinen tutkimus voi hyödyntää. Levistä voidaan myös eristää lisäravinteina käytettäviä aineita, kuten erilaisia omega-3/6-rasvahappoja ja antioksidantteja (Singh ja Gu 2010).



Kuva 5: Leväbiomassasta valmistettua rehua; lähde: Hans Wolkers

4. LEVÄBIOMASSAN KASVATUS

Leväbiopolttoainetuotannon tuotantoketju alkaa tutkimus- ja kehitystyöstä, jolla rakennetaan perusta koko prosessille (**Kuva 6**). Jokaisessa vaiheessa on useita erilaisia vaihtoehtoisia menetelmiä, joiden avulla voidaan edetä haluttuun suuntaan. Ollakseen taloudellisesti kannattavaa täytyy kasvatukseen valita sopivat levälajit sekä optimoida fysikaaliset ja kemialliset kasvatusolosuhteet esim. pH:n, lämpötilan, valaistuksen, ravinteiden, vedenkierron ja kaasujenvaihdon osalta.

Leville optimaalisen kasvatusalustan valinta on myös tärkeää. Itse leväbiomassan kasvatuksen jälkeen seuraa tuotantoketjussa levien kerääminen kasvatusnesteestä ja vedenpoisto eli biomassan kuivaaminen (**Kuva 7**). Leväbiomassasta on vedenpoiston jälkeen erotettava jatkokäsittelyyn tarkoitetut komponentit kuten öljyt, hiilihydraatit tai proteiinit. Vasta tämän jälkeen päästään jalostamaan raaka-ainetta lopputuotteeksi.



Kuva 6: Leväkasvatuksen tuotantoketju

4.1 Kasvatusmenetelmät

Leviä voidaan kasvatata avoimissa tai suljetuissa järjestelmissä. Avoimissa 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 ns. fotobioreaktoreissa (**Kuva 8**). Yleisesti ottaen tuottavuuden katsotaan olevan parempi kontrolloidussa ja suljetussa fotobioreaktoreissa mutta pääoma- ja käyttökustannusten myös vastaavasti suuremmat kuin allaskasvatuksessa (Singh ja Gu 2010). Leväkasvatuksessa pyritään löytämään menetelmä joka tarjoaa parhaat kasvuolosuhteet ja on helppo toteuttaa sekä käyttää (Lam ja Lee 2012).

Leväkasvatuksen yhteydessä ei voida välttämättä erikseen arvioida kunkin yksittäisen vaiheen optimaalista ratkaisua, koska kalliimmat kustannukset yhdessä vaiheessa saattavat kompensoida seuraavan vaiheen tehokkuudessa. Leväkasvatuksessa tulisikin aina tarkastella kokonaisuutta, tehdä mahdollisimman kattavat elinkaariarvioinnit ja pitäytyä tekemästä liian yksinkertaistettuja johtopäätöksiä kaupallisen mittakaavan kasvatuksen kustannustehokkuudesta puhuttaessa.

4.2 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.



Kuva 7: Scenedesmus obliquus-levää sentrifugoituna (vasemmalla) sekä putkessa pohjalle erottunutta levämassaa maljalla (oikealla); lähde: Kristian Spilling, SYKE



Leväkasvatukselle optimaalinen vuoden keskilämpötila on $+20-30^{\circ}\text{C}$ ja vuoden kylmimmän kuukauden lämpötila ei saisi laskea alle $+15^{\circ}\text{C}$: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 Texasissa ja Kaliforniassa taatun auringonpaisteen alueilla, joilla on myös saatavilla runsaasti paikallisia hiilidioksidin lähteitä sekä jätevedtä. Leväkasvatukseen sopivimpia alueita ovat EU:n alueella pääasiassa Espanja ja Italia (Kovacevic ja Wesseler 2010). EU:n alueen leväöljytuotantoa koskevan selvityksen mukaan parhaat mahdollisuudet leväkasvatukseen on Välimeren rannikkovaltioilla, joissa vuoden keksimääräinen lämpötila ei putoa alle $+15^{\circ}\text{C}$. 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).

Kuva 8: Leväkasvatusta avoimessa kilparata-altaassa (vasemmalla), suljetuissa levyissä (keskellä) ja putkimallisessa fotobioreaktorissa (oikealla); lähde: Hans Wolkers

5. LEVÄBIOPOLTTOAINE- TUTKIMUKSEN 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, mutta myös korkea öljypitoisuus (Singh ja Gu 2010). Mukana on suuria ja keskisuuria yrityksiä pääasiassa Yhdysvalloista mutta myös muualta maailmasta. Seuraavassa kartoitetaan levätutkimuksen nykytilannetta maailmalla, Euroopassa ja Suomessa.

Tämän hetkiset kaupallisen mittakaavan pilottihankkeet ovat tyypillisesti kansainvälisiä yhteistyöprojekteja jonkin yksityisen tai julkisen tutkimuslaitoksen, ja rahoittajana toimivan yksityisen, kaupallisen yrityksen (esim. öljynjalostusyritys) kesken. Tällaisissa tapauksissa on hankalaa saada täsmällistä tietoa tutkimus- ja kehitystyön vaiheesta tai käytetyistä menetelmistä, koska niihin liittyy keskeneräisiä patenttihakemuksia ja voimakkaan kilpailutilanteen edellyttämiä yrityssalaisuuksia (Gao ym. 2012). Yritysten kotisivuillaan mainostamiin innovaatioihin ja niiden toimivuuteen tulee suhtautua varauksella, koska tieteellisen julkaisun ulkopuolella annettu informaatio voi olla hyvinkin kaunisteltua rahoittajien houkuttelemiseksi. Yksityisellä sektorilla pääpaino on kuitenkin edelleen tutkimus- ja kehitystyössä, eikä yksikään yritys ole vielä käynnistänyt täysimittaista kaupallista biodieselin tuotantoa leväbiomassasta. Elokuun lopussa 2012 julkaistun tiedon mukaan ensimmäinen kaupallisen mittakaavan demonstraatiohanke on saatu toimintaan Yhdysvalloissa, New Mexicossa.

Yhdysvalloissa monet suuret energia-alan tai kemianteollisuuden yritykset ovat muodostaneet rahoittajina yhteistyöprojektin bioteknologiayrityksen kanssa. Myös yliopistoissa tutkitaan paljon levien mahdollisuuksia biopolttoainetuotannossa. Näistä yliopistohankkeista on syntynyt monia oheisyrityksiä, jotka ovat puolestaan aloittaneet yhteistyön eri alojen rahoittajien ja sijoittajien kanssa. Tutkimusta tekevät ja tukevat myös monet voittoa tavoittelemattomat organisaatiot, jotka koostuvat

leväbiopolttoaineen kaupallistamista tukevista tutkijoista, tuottajista ja rahoittajista. Tällaisten monialaisten yritysten ja tahojen välinen verkostoituminen ja yhteistyö on leväbiopolttoaineen kehityksen kannalta ensiarvoisen tärkeää, 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. Levätutkimus ja pilottihankkeet ovat Yhdysvalloissa vaiheessa, jossa rahoituksen menettäminen ja yritysten kaatuminen voisivat mahdollisesti asettaa koko leväbiopolttoainealan tulevaisuuden vaakalaudalle, etenkin maailmantalouden nykyisessä tilassa. Tilanne on herkkä maailmanlaajuisesti, koska monet yritykset tekevät kansainvälistä yhteistyötä ja yhden yrityksen ajautuminen konkurssiin voi vaikuttaa globaalisti usean projektin tulevaisuuteen.

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 korvata 15% liikenteen polttoaineista uusiutuvilla biopolttoaineilla vuoteen 2020 mennessä.

5.1 Eurooppa

Maantieteellisten olosuhteiden kannalta Eurooppa ei ehkä lukeudu optimaalisimpaan joukkoon, mutta perinteisesti korkeatasoinen tutkimus ja hyvät rahoitusmahdollisuudet antavat edellytykset leväbiopolttoainetutkimustyölle. Leväbiopolttoainetutkimusta tehdään Yhdysvaltojen tapaan hyvin monialaisesti ja kansainvälisesti. Yliopistoissa tehdään paljon alan tutkimusta ja monilla yliopistoilla on suuret leväkokoelmat. Yliopistojen lisäksi

levätutkimusta tehdään sekä yksityisellä että julkisella sektorilla ja EU on voimakkaasti mukana erilaisissa hankkeissa ja projekteissa. Euroopassa lähestytään leväbiopolttoaineteknologiaa erillisten prosessien ja innovaatioiden kautta eikä pyrkimyksenä ole niinkään löytää yhtä suurta kokonaisvaltaista läpimurtoa, joka mullistaisi koko teknologian. Erikoistumalla tiettyjen osa-alueiden osaamiseen ja asiantuntijuuteen voidaan osaamista hyödyntää paitsi Euroopassa myös kansainvälisesti.

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, tarkoituksena kustannustehokkaan biopolttoaineteollisuuden kehittyminen Eurooppaan. EBTP:ssä on erilaisia työryhmiä, joista yksi on vuonna 2009 perustettu Algae Task Force (ATF). Sen tehtävänä on arvioida leväbiopolttoaineraportteja ja kartoittaa alan tutkimus- ja kehitystyötä sekä mahdollisia demonstraatiohankkeita. EU:n pääasiallinen tutkimuksen ja pilottihankkeiden rahoituksen väline vuosille 2007-2013 on ns. seitsemäs puiteohjelma (7th Framework Program = FP7). Viimeisimpänä hakuun julistettiin vuoden 2012 heinäkuussa leväbiojalostamohanke, jonka tarkoituksena on etsiä innovatiivisia ratkaisuja leväkasvatukseen haasteisiin.

Vaikka Euroopassa suunnataan paljon resursseja leväbiopolttoainekehitykseen, nykyinen maailman talouden tilanne saattaa koitua kohtaloksi monelle yritykselle. 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 kahdeksan 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.

Monet eurooppalaiset yritykset ovat keskittyneet esim. fotobioreaktoreiden tai leväbiomassan raaka-aineiden erottamiseen

tarvittavien entsyymien valmistamiseen. Myös useat lentoyhtiöt ovat tehneet yhteistyösopimuksia levää kasvattavien yritysten kanssa vaihtoehtoisten lentopolttoaineiden kehittämiseksi. Myös makrolevien mahdollisuuksia tutkitaan esim. Yhdistyneissä kuningaskunnissa ja Irlannissa. Euroopan suurimmat luonnonkantojen makroleväkerääjät ovat Norja ja Ranska. Esimerkiksi Irlannissa ja Skotlannissa suuri osa kerätyistä makrolevästä jää kaupallisesti hyödyntämättä, joten potentiaalia myös biopolttoainetuotantoon löytyy. Euroopassa makrolevää kasvattavat yritykset ovat pieniä ja paikallisia tuotantolaitoksia, toisin kuin esim. Aasiassa (SEI leväraportti 2009). Espanjaan ja Italiaan on rakennettu tai ollaan rakentamassa mikrolevien koekasvatustiloksia useiden yritysten toimesta. Euroopassa on siis olemassa teknologista osaamista levätuotantolaitosten rakentamiselle, biologian ja bioteknologian osaamista itse leväviljelyn optimoimiseksi sekä prosessiteknikan osaamista leväbiomassan jatkojalostukseen.

Myös pohjoismaissa levätutkimusta tehdään aktiivisesti. Ruotsissa tuotetaan levien avulla antioksidantteja sekä rasvahappoja, joita käytetään ihmisten sekä eläinrehujen lisäravinteena. Levis-tä eristetään Ruotsissa myös väripigmenttejä lääketieteelliseen tutkimukseen. Norjassa toimii Pohjoismaiden suurin itsenäinen tutkimuslaitos SINTEF, jossa tutkitaan mm. levistä saatavia arvokkaita yhdisteitä. Tutkimuslaitoksessa selvitetään myös mahdollisuutta kasvattaa makrolevää Norjassa ja tarkoitusta varten on perustettu merileväteknologiakeskus vuonna 2011.

5.2 Suomi

Yleisesti ottaen Suomessa ollaan kiinnostuneita leväbiopolttoainetutkimuksesta ja tutkimusta tehdään yhteistyössä yliopistojen, tutkimuslaitosten sekä yksityisten yritysten kesken. Suomessa on tehty muutamia levien koekasvatuksia mutta suurimmaksi osaksi pääpaino on edelleen perustutkimuksessa. Turun yliopistossa tehdään paljon tutkimusta ja kehitystyötä syanobakteerien biopolttoainetuotannon mahdollistamiseksi sekä fotosynteesin mekanismien selvittämiseksi sekä muokkaamiseksi. Perustutkimuksella saatua tietoa käytetään sovelletussa tutkimuksessa biopolttoaineiden tuottamiseen tähtäävissä projekteissa (Sci.utu.fi, Turun yliopisto).

Suomen ympäristökeskus (SYKE), Teknologian tutkimuskeskus (VTT) sekä Teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskus (Tekes) tekevät yhteistyötä useissa projekteissa. Projekteja rahoittavat mm. Suomen akatemia sekä yksityiset yritykset. Hankkeissa on usein mukana myös eurooppalaisia tai kansainvälisiä yhteistyötahoja. Myös ammatilliset oppilaitokset sekä yliopistot ovat usein mukana projekteissa. Monet energia-alan yritykset sekä jätekeskukset ovat kiinnostuneita yhteistyöstä tutkimusprojekteissa teollisuuden jätevirtojen hyödyntämiseksi leväkasvatuksessa ja biokaasun sekä biodieselin tuotannossa. Yritykset ovat kiinnostuneita kehittämään suljettuja kiertoja laitoksiinsa niin, että leväkasvattamo voisi olla osa kiertoa komposti- ja biokaasulaitoksen kanssa. Leväbiomassan käyttöä tutkitaan paitsi biopolttoaineena myös rehuna ja ravinteina.

Suomessa tehdään myös tutkimusta yhteistyössä muiden Itämeren valtioiden kanssa. Kyseisen EU-projektin tarkoituksena on kehittää Itämeren luonnonvarojen kestävää käyttöä ja sen puitteissa tutkitaan myös mikro- ja makroleviä. Espoossa tutkitaan mahdollisuutta kasvattaa mikroleviä yhdyskuntajätevesissä fotobioreaktoreissa käyttämällä pohjoisen ilmaston ja valon määrän kannalta optimaalisia levälajeja. Rymättylässä ja Tvärminnessä puolestaan tutkitaan mahdollisuutta vähentää Itämeren ravinkuormitusta makrolevien avulla. Kasvatettavia leviä voitaisiin mahdollisesti hyötykäyttää myös bioenergian tuotannossa.

6. LEVÄKASVATUKSEN HAASTEET

Suuren mittakaavan kaupallisten leväkasvatuslaitosten kustannustehokkuutta voidaan vasta arvioida (Lam ja Lee 2012). Useita yrityksiä on kaatunut, koska siirtyminen suuren mittakaavan tuotantoon ei olekaan ollut mutkatonta. Mittakaavamuutoksesta voi syntyä myös ennakoimattomia ongelmia. Myös maailmantalouden taantuma on vaikuttanut investointeihin ja rahoituspäätöksiin. Arviot kaupallistumisen ajankohdasta vaihtelevat edelleen suuresti. Vuonna 2010 arvioitiin kaupallistumisen tapahtuvan USA:ssa noin viiden vuoden päästä, mutta vuoden 2010 Kalifornian yliopiston julkaiseman EBI-raportin (Energy Biosciences

Institute) mukaan vaaditaan vielä 10 vuotta kehitystyötä ennen kaupallistamista (EBI raportti 2010).

6.1 Kaupallistaminen

Onnistuneeseen leväbiodieselin kaupallistamiseen tarvitaan mikroleviä, joiden öljypitoisuus on mahdollisimman suuri ja jotka kasvavat nopeasti. Saanto ja keruutiheys vaikuttavat suuresti pääoma- ja käyttökustannuksiin. Vuonna 2009 julkaistun tutkimuksen mukaan leväöljyn ja leväbiodieselin tuotantokustannukset olivat 9-25 dollaria gallonia kohti altaissa kasvatettuna ja 15-40 dollaria gallonia kohti fotobioreaktorissa kasvatettuna (Huom! 1 barreli = 42 gallonia = 159 litraa) (Algae 2020 raportti 2009). Öljyn hinnan kivuttua yli 100 dollariin barrelilta, leväbiopolttoaineen kustannustehokkuus on parantunut huomattavasti. Joidenkin laskelmien mukaan leväöljyn tuotantokustannukset saattavat olla pian samansuuruiset öljyn hinnan kanssa. Osa leväbiopolttoaineen tuotantokustannuksista on kuitenkin sidottu energian hintaan ja kulkee käsi kädessä öljyn hinnan kanssa niin kauan kuin se on merkittävä energianlähde.

Algae 2020 -tutkimuksessa tunnistettiin päästrategiat leväbiopolttoainetuotannon kaupallistamisen mahdollistamiseksi. Olisi löydettävä runsaasti öljyä sisältäviä levälajeja, jotka tuottaisivat biomassaa mahdollisimman nopeasti. Jos pystyttäisiin käyttämään levälajeja, joiden öljypitoisuus olisi 60%:n luokkaa, 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 ja/tai yhdistämällä eri vaiheita tai pyrkimällä saamaan leväsolut erittämään biopolttoaineen raaka-aineita suoraan kasvatusnesteeseen. Lisäksi tulisi kiinnittää huomiota öljyn erotuksen jälkeen jäljelle jäävästä biomassasta valmistettavien sivutuotteiden kaupallistamiseen ja mahdollisuuteen 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 puolesta puhujat sanovat avoimien altaiden olevan vanhanaikaisia

ja toimivan ainoastaan täysin optimaalisissa maantieteellisissä olosuhteissa. Leväbiopolttoaineen positiiviset kannattavuuslaskelmat edellyttävät joka tapauksessa päätöksentekijöiden halua sitoutua toimintaan, poliittisia tukitoimia verohelpotuksineen, tutkimustyön mukanaan tuomia merkittäviä teknologisia kehitysaskeleita sekä fossiilisten polttoaineiden hinnan kohoamista edelleen (Gao ym. 2012).

6.2 Biojalostamot

Leväkasvatuksen kustannuksia voidaan pienentää kiinnittämällä huomiota sivutuotteiden kaupallistamiseen. 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. Leviä on kasvatettu kaupallisessa mittakaavassa jo 1960-luvulta asti, muttei koskaan biopolttoainetarkoituksessa. Levien kasvatusta on perustunut nimenomaan sivutuotteisiin eli lähinnä lisäravinteisiin ja rehuun. Kaikissa näissä mikroleväkasvattamoissa mittakaava on ollut 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. Ongelmana sivutuotteiden kaupallistamisessa onkin juuri 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 (Ghaseemi ym. 2012). Osa tutkijoista sitä mieltä, että biopolttoaineryitysten pitäisi tällä hetkellä panostaa nimenomaan sivutuotteiden kaupallistamiseen. Biopolttoainekehitys tulisi prioriteetiksi vasta myöhemmin kustannustehokkuuden parantuessa jatkuvan tutkimus- ja kehitystyön seurauksena.

6.3 Bioturvallisuus

Levien geenitekninen muokkaus biopolttoainetuotannon maksimimiseksi tulisi arvioida tarkkaan mahdollisesti saavutettavien

etujen ja toisaalta aiheutuvien riskien kesken. Levä leviää herkästi ympäristöön laboratorio-olosuhteissakin, koska se muuttuu helposti aerosolimaiseksi ja tarttuessaan vaatteisiin, hiuksiin tai keuhkoihin kulkeutuen pois laboratorioympäristöstä. Joutuessaan rajatuista kasvatusolosuhteista luontoon, muuntogeenisen levän kasvua ja kestävyyttä parantava siirtogeenikonstrukti voisi teoreettisesti antaa sille kilpailuedun, jonka seurauksena se voisi mahdollisesti syrjäyttää luonnonpopulaatioita. Muuntogeeninen levä voisi näin muuttaa herkkiä ekosysteemeitä ja sitä kautta vaikuttaa haitallisesti ympäristöön ja mahdollisesti myös ihmisten ja eläinten terveyteen.

Tutkimus muuntogeenisten levien mahdollisista ympäristövaikutuksista on vähäistä ja esimerkiksi Yhdysvalloissa ei vaadita kovin kattavia ympäristövaikutusten arviointeja muuntogeenisten levien kasvatukselle. Euroopassa sitä vastoin on tiukka GMO-lainsäädäntö eikä muuntogeenisiä mikro-organismeja saa kasvattaa ennen kuin ympäristöriskit on arvioitu huolella. Muuntogeenisten mikro-organismien leviäminen ympäristöön yleensä estetään tai sitä rajoitetaan tehokkaasti riskinhallintatoimin.

7. LEVÄTUTKIMUKSEN TULEVAISUUDENNÄKYMÄ

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 selvitetään. Luultavimmin totuus piilee jossain edellisten välimaastossa. Levä on potentiaalinen vaihtoehto kestäväälle biopolttoainetuotannolle etenkin sen tarjoaminen laajojen käyttömahdollisuuksien vuoksi. Biojalostamoteknologia ja sen eri sovellukset ovat luultavasti realistisin vaihtoehto, jolla biopolttoainetuotannosta saadaan kaupallisesti kannattavaa (EBTP raportti 2010).

Vastausta odottavia kysymyksiä ovat ensisijaisesti optimaalisen kasvatuserämenetelmän valinta, sekä sen muunto 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 kustannustehokkaita ratkaisuita (Gao ym. 2012). Makrolevien biopolttoainekäytön osalta on tulevaisuudessa tärkeää tutkia ja kehittää edelleen fermentaatiomenetelmiä sekä avomerikasvatusta.

Ollakseen toteuttamiskelpoinen tulee leväbiopolttoainetuotannon olla kestävää koko tuotantoketjun osalta. Tutkimustyötä luotettavien elinkaariarvioiden ja energiatasapainolaskelmien osalta 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 (EBTP raportti 2010).

7.1 Eurooppa ja Suomi

Jos leviä halutaan kasvattaa pohjoisissa olosuhteissa, tulee tutkimustyössä keskittyä nimenomaan kylmänkestävien ja vähällä auringonvalolla tehokkaasti yhteyttävien leväkantojen kartoitukseen. Useat Itämeren levälajit ovat luonnostaan sopeutuneet selviämään jopa jäätymispistettä lähentelevissä lämpötiloissa. Kylmänkestävien levälajien tunnistaminen ja mahdollinen geenitekninen muokkaus yhteyttämisen tehostamiseksi saattaisivat helpottaa leväkasvatusta pohjoisissa olosuhteissa. Suomessa voitaisiin myös kasvattaa leviä käyttäen hyväksi tehtaiden lauhdevesien lämpöä. Uudet teknologiset ratkaisut voivat osaltaan mahdollistaa kaupallisen 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 kierrättää kehittämällä fermentaatioreaktioon perustuvalla teknologialla uusia innovatiivisia ratkaisuja. Eräiden levien kyky kasvaa olosuhteiden vaihdellessa joko yhteyttämällä tai pimeässä on

saanut tutkijat suunnittelemaan menetelmää, jossa valoisaan aikaan levät kasvaisivat yhteyttämällä hiilidioksidia auringonvalon avulla. Pimeänä aikana niille annettaisiin esimerkiksi teollisuuden tai maatalouden sivuvirtoina syntynyttä hiiliperäistä ravinnetta. Levät voitaisiin mahdollisesti tulevaisuudessa tuoda jopa kaupunkiympäristöön.



Kuva 9:
Leväkukinta;
lähde: Riku
Lumiaro,
YHA kuva-
pankki

Itämeren pahimpana ongelmana pidetään typpi- ja fosforikuormituksen aiheuttamaa rehevöitymistä (**Kuva 9**). Rehevöityminen aiheuttaa happikatoa syvänteissä, mutta se on myös lisännyt leväkukintojen määrää runsaasti. Kuormitusta voitaisiin helpottaa keräämällä luonnostaan kasvavaa makrolevää rannikoilta ja hyötykäyttää se biokaasun tuotannossa. Useilla Itämeren rannikkoalueilla ollaan kiinnostuneita myös mahdollisuudesta kasvattaa makrolevää Itämeren rannikoilla, mutta vielä ei tiedetä olisiko toiminta taloudellisesti kannattavaa. Ongelmaksi kaupallisen mittakaavan kasvatuksessa muodostuvat todennäköisesti teknologia ja työvoimakulut. Aasiassa, missä makroleviä kasvatetaan kaupallisesti, on matalat työvoimakulut, olemassa oleva teknologia sekä kokemus sivutuotteiden kaupallistamisesta. Teknologian siirtäminen Eurooppaan olisi toki mahdollista, mutta työvoima olisi edelleen kalliimpaa kuin Aasiassa, joten sinne jäisi myös kilpailuetu biopolttoaineen loppuhinnassa. Tuotantokustannuksia pitäisikin pystyä pienentämään Euroopassa selvittämällä makroleväkasvatukseen parhaat lajit, parhaat menetelmät ja parhaat olosuhteet (SEI leväraportti 2009). Tällaista

tutkimusta tehdään parhaillaan mm. Suomessa, Ruotsissa, Saksassa ja Norjassa.

Pohjoisiin oloihin voitaisiin leväkasvatuksen rinnalle kehittää myös hiivojen ja homeiden kasvatuseräilymenetelmiä. Hiivat ja homeet eivät yhteytä, joten niille valon määrä ei ole ratkaiseva tekijä. Ne ovat mikrobeja, jotka käyttävät ravinnokseen tehokkaasti tähteistä ja jätteistä peräisin olevia sokereita ja muuntavat ne öljyksi. Kasvattamisessa voidaan hyödyntää myös perinteisiä bioreaktoreita, joita käytetään yleisesti esimerkiksi panimo- ja bioteknologiäteollisuudessa.

LOPPUSANAT

Leväbiopolttoainetutkimukseen tarvitaan tulevaisuudessa rahoitusta, aikaa ja uusia innovaatioita. Kokemus ja asiantuntemus ovat avainasemassa leväkasvatuksessa, eikä näitä tavoitteita voida saavuttaa ilman pitkän tähtäimen rahoitusta, jolla turvataan myös teollisuuden kyky muokata innovaatioista käyttökelpoista teknologiaa. Leväkasvatuksen haasteisiin tuskin kyetään vastaamaan yhdellä suurella läpimurrolla, vaan tarvitaan paljon työtä sekä useita innovaatioita kustannustehokkaan leväbiopolttoaineteknologian saavuttamiseksi.

Leväbiopolttoaine tulee parhaimmillaankin olemaan tulevaisuudessa vain yksi uusiutuva energianlähde monien rinnalla. Tämä ei kuitenkaan

tarkoita, ettei levien rooli voisi olla tulevaisuudessa tärkeä, vaan sitä, että tarvitsemme useita erilaisia ja toisiaan tukevia ratkaisuja korvaamaan fossiilisia polttoaineita. Leväkasvatuksen mahdollisuuksia arvioitaessa tulisi tehdä realistisia ja todellisiin laskelmiin perustuvia päätelmiä kaupallisen mittakaavan tuotannosta, koska ylioptimistisuus on melko tyypillistä arvioitaessa uusia teknologioita. Vuosikymmeniä alalla työskennellyt John Benemann kiteytti ajatuksen hyvin sanoessaan, että todellisuus on useimmin huomiotta jätetty tosiaasia arvioitaessa leväkasvatuksen mahdollisuuksia.

- Chisti Y. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*. 25, 294–306 (2007).
- 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).
- Hildebrand M, Davis AK, Smith SR, Traller JC, Abbriano R. The place of diatoms in the biofuels industry. *Biofuels*. 3(2), 221–240 (2012).
- Lam MK, Lee KT. Microalgae biofuels: A critical review of issues, problems and the way forward. *Biotechnology Advances*. 30, 673–690 (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).
- Piccolo A. Algae oil production and its potential in the Mediterranean region. 1st EMUNI Research Souk 2009. Unity and Diversity of Euro-Mediterranean Identities.
- 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).
- 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).
- Tsukahara K, Sawayama S. Liquid fuel production using microalgae. *Journal of the Japan Petrol Institute*. 48 (5), 251–259 (2005).

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.eurosfair.pr.d.fr/7pc/doc/1282655883_sra_2010_biofuels.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>)

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

