

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikan koulutusohjelma / ympäristötekniikka

Juha-Pekka Vatanen

LEVÄBIOMASSAN KASVATUS, KAASUTUS JA ENERGIAN TUOTANTO

Opinnäytetyö 2010

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikka

VATANEN, JUHA-PEKKA

Leväbiomassan kasvatus, kaasutus ja
energiantuotanto

Insinööriyö

46 sivua + 6 liitesivua

Työn ohjaaja

Yliopettaja Markku Huhtinen

Toimeksiantaja

Cursor Oy

Marraskuu 2010

Avainsanat

levät, biomassa, savukaasut, energiantuotanto

Opinnäytetyössä kerrotaan levänkasvatusmenetelmistä sekä leväntuotannosta yleisesti. Työssä kuvaillaan myös leväbiomassan tuotannon etuja ja ongelmia suhteessa muihin energiakasveihin sekä kuinka voimalaitoksen hiiliidioksidipäästöjä voidaan hyödyntää leväbiomassan kasvatuksessa.

Erityisesti on kuvattu kesällä 2010 Anjalankoskelle rakennettua levän kasvatuskokonaisuutta ja Anjalankosken biokaasuvoimalaitoksen toimintaa. Tarkoituksena oli selvittää leväbiomassasta tuotetun biokaasun poltosta aiheutuvia savukaasupäästöjä.

Levän kasvattaminen onnistui hyvin ja leväbiomassaa saatiin tuotettua hyvin. Päästömittauksia ei kuitenkaan päästy tekemään, koska biokaasun tuotannossa oli ongelmia, jotka vaativat jatkotutkimuksia.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Energy Engineering

VATANEN, JUHA-PEKKA

Algae Biomass Growing, Gasification and Energy
Production

Bachelor`s Thesis

46 pages + 6 pages of appendices

Supervisor

Markku Huhtinen, Manager of Departments Teacher

Commissioned by

Cursor Oy

November 2010

Keywords

algae, biomass, emissions, power production

This work explains different methods of algal biomass growing and the production of algae in general. The study also describes advantages of algae biomass production and its problems compared to other energy crops as well as how to use carbon dioxide emissions to benefit algal biomass production.

In particular, the algae farming facility built in the summer of 2010 in Anjalankoski is described, also the Anjalankoski biogas power plant`s activities. The aim was to investigate the flue gas emissions caused by algal biomass-gas burning.

The growing of algae succeeded well and so did the production of biomass. No emission measurements could be made because there were problems in the biogas production system, which require further investigations.

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|--|----|
| 1 JOHDANTO..... | 6 |
| 2 LEVÄBIOMASSAN TUOTANTO | 7 |
| 2.1 Leväbiomassasta biokaasua ja biodieseliä..... | 8 |
| 2.2 Leväbiomassatuotannon edut | 9 |
| 2.3 Leväbiomassan kasvatuksen saanto..... | 10 |
| 2.4 Leväbiomassatuotannon haasteet | 11 |
| 2.5 Kasvatettavat levälajit | 11 |
| 3 VOIMALAITOKSIEN HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖJEN HYÖDYNTÄMINEN LEVÄBIOMASSAN TUOTANNOSSA..... | 12 |
| 4 LEVÄNTUOTANTOMENETELMIÄ | 15 |
| 4.1 Avoimet altaat | 15 |
| 4.1.1 Rengasallas | 16 |
| 4.2 Kasvatusputket | 17 |
| 4.3 Tulevaisuudessa mahdollisia tuotantomenetelmiä | 19 |
| 4.3.1 Geenimuunneltu levä..... | 19 |
| 4.3.2 Levän kasvattaminen meressä | 19 |
| 5 LEVÄBIOMASSAN KERÄÄMINEN JA VEDENEROTUS..... | 19 |
| 5.1 Suodatus | 20 |
| 5.2 Flokkulaatio..... | 20 |
| 5.3 Sedimentointi..... | 20 |
| 5.4 Sentrifugointi..... | 21 |
| 5.5 Kuivatus..... | 21 |
| 6 LEVÄSTÄ TUOTETUN BIOKAASUN SAVUKAASUPÄÄSTÖT..... | 21 |
| 6.1 Hiilimonoksidi..... | 22 |
| 6.2 Hiilivedyt..... | 23 |
| 6.3 Kiintoainepäästöt..... | 23 |
| 6.4 Rikkidioksidi | 23 |
| 6.5 Typen oksidit..... | 24 |
| 6.6 Hiilidioksidi..... | 24 |
| 7 KAAKOSTA VOIMAA-HANKE ANJALANKOSKELLA..... | 25 |
| 7.1 Biokaasulaitos ja levän kasvattaminen sekä prosessi | 26 |

| | |
|---|----|
| 7.2 Biokaasulaitoksen laitteisto | 28 |
| 7.3 Levänkasvatusallas | 32 |
| 7.4 Biokaasureaktori | 35 |
| 8 ANJALANKOSKELLA MITATUT BIOKAASUN SAVUKAASUPÄÄSTÖT | 38 |
| 8.1 Mittaustulokset | 39 |
| 8.2 Johtopäätökset | 42 |
| 8.3 LOPPUSANAT | 42 |
| LÄHTEET | 44 |
| LIITTEET | 47 |
| Kymen Sanomat: Levä syö hiilidioksidipäästöt | 47 |
| Tekniikka ja Talous: Anjalassa tutkitaan levien kasvatusta biokaasulaitoksen tarpeisiin | 48 |
| Laskelmia savukaasujen ominaisuuksista | 49 |

1 JOHDANTO

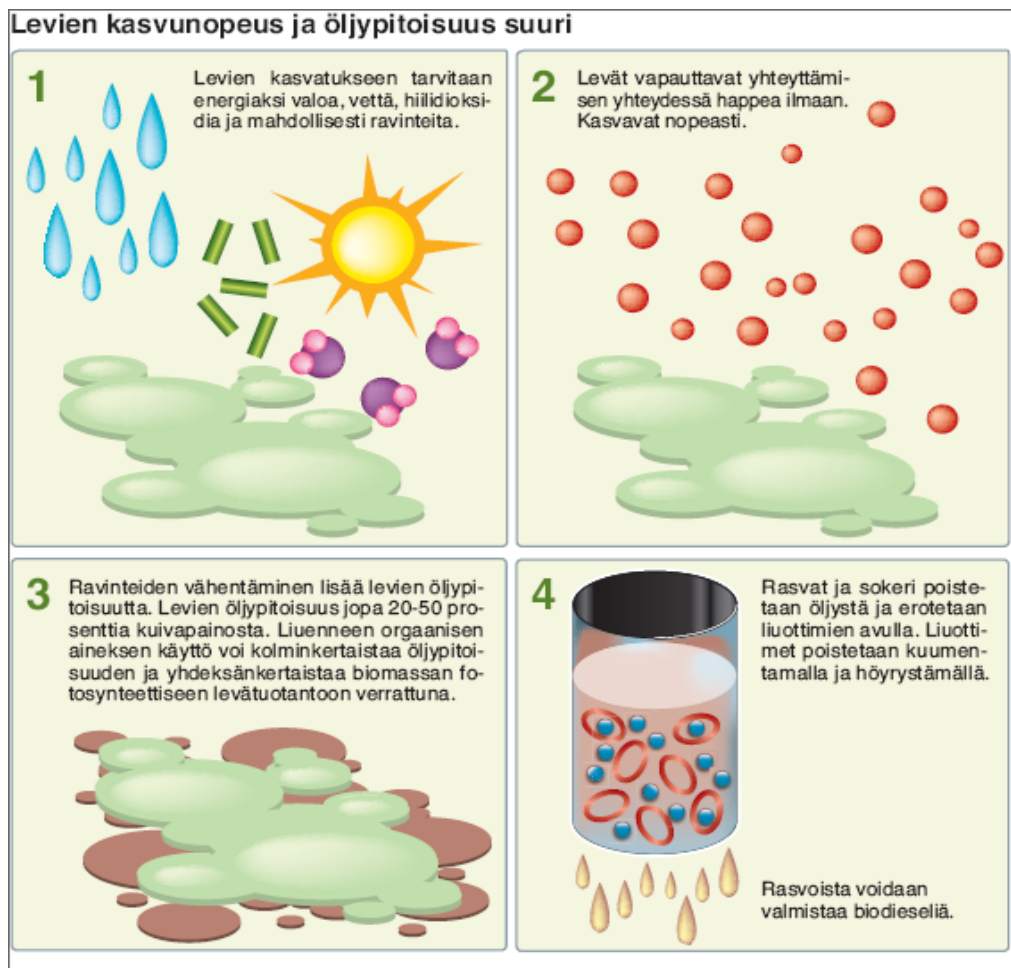
Leväbiomassan kasvatusta ja poltto energiaksi on laajan tutkimuksen ja mielenkiinnon kohteena, mikä johtuu levän suuresta kasvatussaannosta suhteessa viljeltävään pinta-alaan. Lisäksi fossiilisiin polttoaineisiin liittyvät tiukentuvat päästönormit ja jyrkentyvät poliittiset asenteet lisäävät mielenkiintoa uusiutuvia energialähteitä kohtaan. On yleisesti tiedossa, että kaikki maailman energia voitaisiin tuottaa uusiutuvilla energialähteillä, jos vain poliittiset ja taloudelliset intressit eivät olisi kehityksen esteenä. Nykyään käytössä olevien fossiilisten polttoaineiden, kuten öljyn, rajalliset resurssit tulevaisuudessa ovat herättäneet myös öljy-yhtiöiden mielenkiinnon biopolttoaineita ja niiden kehitystyötä kohtaan.

Työ liittyy Kotkan-Haminan seudun kehittämissyhtiön Cursorin vetämään Kaakosta Voimaa -hankkeeseen, jossa tutkitaan levän kasvatusta kokeellisesti Suomen olosuhteissa. Hankkeessa kasvatettiin levää kesällä 2010 Anjalankoskella. Kaakosta Voimaa -projekti on kaakkoisen Suomen kehittämissyhtiöiden yhteishanke, jonka tarkoituksena on kehittää tuulivoima- ja bioenergiaklustereita ja saada sitä kautta uutta liiketoimintaa ja uusia työpaikkoja Kymenlaakson alueelle.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kuvata kesällä 2010 Anjalankoskelle rakennettua levänkasvatuskokonaisuutta, Anjalankosken biokaasuvoimalaitoksen toimintaa sekä selvittää leväbiomassasta tuotetun biokaasun poltosta aiheutuvia savukaasupäästöjä.

2 LEVÄBIOMASSAN TUOTANTO

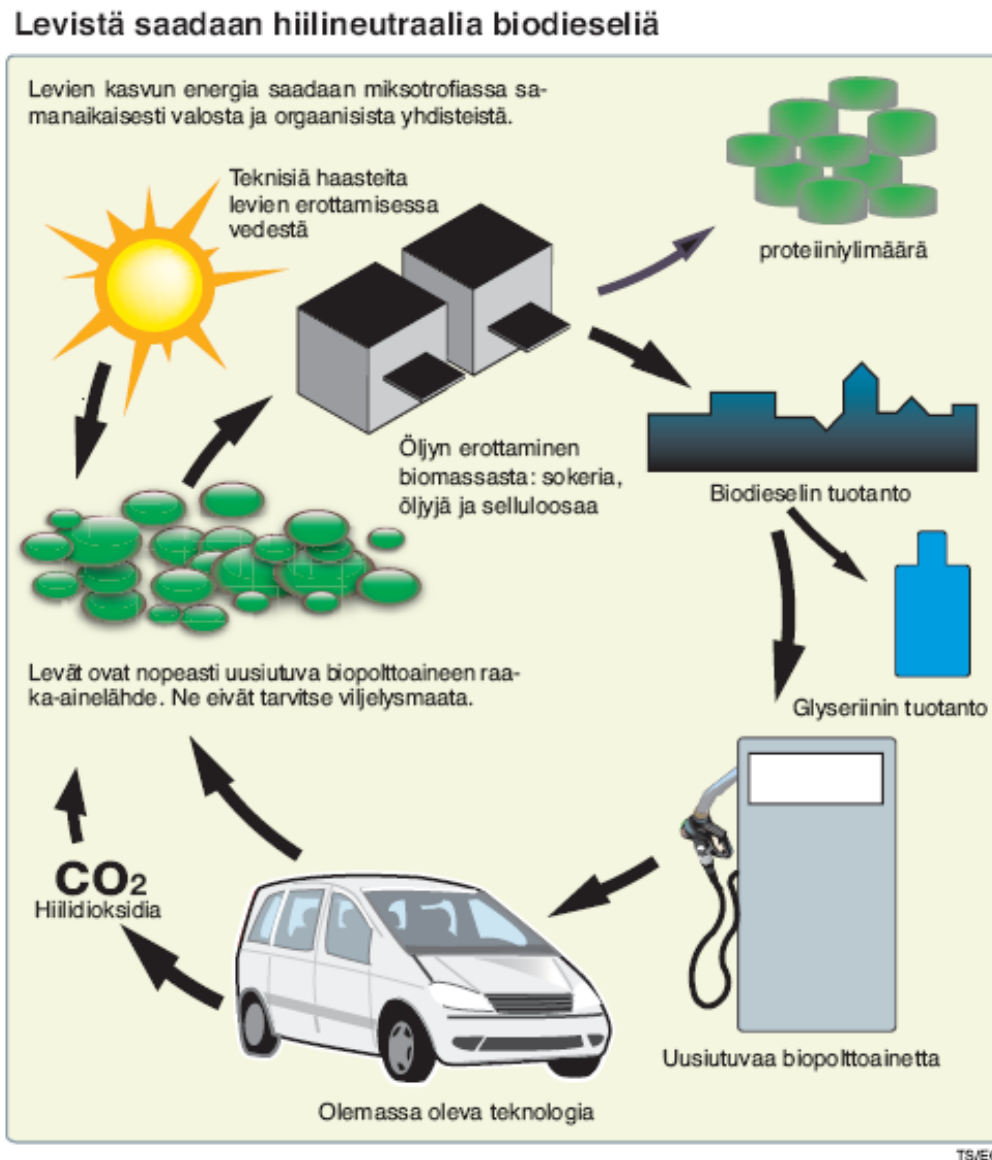
Leväbiomassan tuotanto perustuu fotosynteesiin, joten valon saanti on yksi merkittävimmistä leväbiomassan tuotantoon vaikuttavista tekijöistä. Fotosynteesissä levät muodostavat hiilidioksidista, vedestä ja ravinteista auringonvalon avulla orgaanista ainetta (öljyä) ja samalla muodostuu sivutuotteena happea. Levät tarvitsevat kasvaakseen auringonvaloa, vettä ja ravinteita. Mikroleväbiomassan kasvatuksessa levälle tärkeitä ravinteita ovat hiilidioksidi, typpi (nitraatit), fosfori, rauta ja pii. (Rimppi. 2009. 8)



Kuva 1. Kohdissa 1 ja 2 on kuvailtu fotosynteesin periaatteet; kohdat 3 ja 4: levästä saatavan öljyn riippuvuus kasvatusravinteiden määrästä. (Taloussanomien verkkosivut)

2.1 Leväbiomassasta biokaasua ja biodieseliä

Leväbiomassaa voidaan hyödyntää monella eri tavalla. Esimerkiksi sen öljystä voidaan valmistaa biodieseliä tai se voidaan jalostaa vedyksi. Leväbiomassaa voidaan myös kuivattaa ja yhteispolttaa se fossiilisten polttoaineiden kanssa. Siitä voidaan muokata synteetikaasua, joka voidaan jalostaa alkoholiksi.



Kuva 2. Leväbiomassan hyödyntäminen biodieselin raaka-aineena. (Taloussanomien verkkosivut)

Leväbiomassa voidaan myös jalostaa bioetanoliksi, jolloin saadaan ajoneuvoille biopolttoainetta, tai se voidaan mädättää bioreaktorissa, jolloin saadaan biokaasua, jonka sisältämä metaani voidaan käyttää energian tuotannossa tai ajoneuvojen polttoaineena.

2.2 Leväbiomassatuotannon edut

Levät ovat yksi lupaavimmista bioenergian lähteistä. Koska kilpailu maa-alasta kiristyy tulevaisuudessa eri käyttötarkoitusten kesken, on tärkeitä, että biopolttoaineiden tuotanto vaatisi mahdollisimman vähän viljely pinta-alaa.

Levän tuotannon etuna muiden energiakasvien viljelyyn verrattuna on muun muassa se, että levät voivat kasvaa makeassa vedessä, suolavedessä, saasteisessa vedessä ja jopa kaatopaikkojen jätevesissä (Mannila Johanna. 2008). Koska osa levistä pystyy kasvamaan runsassuolaisessa vedessä, ne eivät kilpaile makeista kasteluvesivaroista muiden energiakasvien kanssa. Lisäksi levien viljelyyn tarvittava vesimäärä on vähäisempi kuin maalla kasvavien energiakasvien viljelyyn tarvittava vesimäärä.

Levää ei myöskään välttämättä tarvitse kasvattaa kuivalla maalla, vaan sitä voidaan kasvattaa meressä tai altaissa keskellä autiomaata. Öljyntuotantoon parhaiten soveltuvat levät eivät myöskään ole syötäviä, joten ne eivät kilpaile peltopinta-alasta ruoan tuotannon kanssa.

Leväntuotannon etuna on myös se, että levän ravinteeksi kelpaa melkein mikä tahansa, ja monet levälajit pystyvät hyvissä olosuhteissa kaksinkertaistamaan massansa jopa muutamassa tunnissa. Verrattuna muihin biopolttoaineiden raaka-aineisiin levät ovatkin äärettömän nopeakasvuisia. Esimerkiksi kasviöljyn saaminen maissista, soijasta tai rypsiä vie kuukausia, joten levän vaatima kasvatuspinta-ala on huomattavasti pienempi perinteisiin öljykasveihin verrattuna. (Sheehan, Dunahay, Benemann & Roessler. 1998, 10)

2.3 Leväbiomassan kasvatuksen saanto

Levissä on 30 % kasviöljyä, ja tutkijat uskovat, että olisi mahdollista nostaa öljypitoisuus jopa 70 %:iin. Parhaimmillaan ja hyvissä olosuhteissa monet levälajit pystyvät kaksinkertaistamaan massansa reilussa parissa tunnissa. Toisin kuin öljykasvien tuotanto, jossa satoa voidaan korjata vain joitakin kertoja vuodessa, levätuotanto on jatkuvaa. Arvioiden mukaan levät voisivat tuottaa öljyä vähintään viisitoista kertaa enemmän hehtaaria kohden kuin esimerkiksi palmu-, rypsi- tai soijakasvit. (Koljonen, Kiviluoma, Kirkinen, Lehtilä, Ruska, Flyktman & Forsström. 2009, 75)

Taulukko 1. Vertailua biodieselraaka-aineiden välillä (Chisti 2007).

| Viljelykasvi | Öljyn tuotto (l/ha) | Tarvittu viljely-ala (milj. ha) ^a | Prosentuaalinen osuus Yhdysvaltojen viljelypinta-alasta ^a |
|-------------------------|---------------------|--|--|
| Maissi | 172 | 1540 | 846 |
| Soijapapu | 446 | 594 | 326 |
| Rypsi | 1190 | 223 | 122 |
| Jatropha Curcas -pensas | 1892 | 140 | 77 |
| Kookospähkinä | 2689 | 99 | 54 |
| Öljypalmu | 5950 | 45 | 24 |
| Mikrolevä ^b | 136 900 | 2 | 1,1 |
| Mikrolevä ^c | 58 700 | 4.5 | 2,5 |

^a Jotta saataisiin tuotettua puolet Yhdysvaltojen liikenteen vuosittain tarvitsemasta polttoaineesta.

^b Biomassan painosta 70 % öljyä.

^c Biomassan painosta 30 % öljyä.

Taulukossa 1 on kuvattu eri biodieselraaka-aineiden öljyn tuotanto hehtaaria kohden ja vertailtu niiden tarvitsemää viljelypinta-alaa. Taulukosta nähdään, että jos mikroleväbiomassan öljypitoisuus saadaan nostettua 70 %:iin, sen öljyn tuotannon saanto on ylivoimainen suhteessa muihin kasvatettaviin biodieselin raaka-aineisiin.

2.4 Leväbiomassatuotannon haasteet

Levät vaativat kasvaakseen tasaiset, muuttumattomat olosuhteet, ja etenkin Suomessa voimakkaasti vaihteleva ilmasto asettaa levän kasvattamiselle lisähaasteita. Suomessa leviä voitaisiin viljellä sellu- ja paperitehtaiden yhteydessä, koska jätevesien lämpötila tehtaiden suurissa jätevesialtaissa pysyy helposti yli 20 asteessa. Myös voimalaitosten lauhdevesien jätelämpöä kannattaisi hyödyntää levänkasvatusaltaan lämmittämiseen. Muita kasvatuspaikkoja voisivat olla esimerkiksi kaatopaikkojen suotovesialtaat, biokaasulaitosten mädätealtaat sekä kunnallisten jätevedenpuhdistamojen altaat. (Rimppi 2009,38)

Mikrolevän laajamittaisen kasvattamisen ongelma on myös veden erottaminen levästä taloudellisesti. Suurimpia haasteita ovat kerätyn levän prosessointi eli leväöljyn irrottaminen ja konsentroidi sen jälkeen, kun levä on erotettu vesiliuoksesta (Sahavirta, H 2009). Lisäksi levän kuivaustekniikkaa on hankala toteuttaa edullisella aurinkokuivauksella, koska Suomessa auringon säteilyteho vaihtelee voimakkaasti kesän ja talven välillä.

2.5 Kasvatettavat levälajit

Levälajit voidaan jakaa makro- eli suurleviin ja mikro- eli planktonleviin.

Tärkeät mikrolevät, joita käytetään energiantuotannossa, voidaan jakaa seuraaviin pääryhmiin:

- alkueliöihin, joihin kuuluvat nielulevät, panssarisiimalevät, tarttumalevät, kultalevät, keltalevät, piilevät, limalevät, silmälevät ja alkueläimet
- alkeistumallisiin, joihin kuuluvat virukset, bakteerit ja syanobakteerit eli sinilevät
- korkeampaa kehitystasoa edustaviin kasveihin, esimerkiksi viherleviin.

(Suomen ympäristökeskus 2007b)

Makro- eli suurlevät ovat monisoluisia ja ne jaetaan viherleviin (Chlorophyta), ruskoleviin (Phaeophyta) ja punaleviin (Rhodophyta) (Suomen ympäristökeskus 2007a).

Yleisimmin viljellyt mikrolevälajit ovat Spirulina, Dunaliella ja Chlorella (Rimppi 2009, 7).

3 VOIMALAITOKSIEN HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖJEN HYÖDYNTÄMINEN LEVÄBIOMASSAN TUOTANNOSSA

Levät tarvitsevat kasvamiseen ja fotosynteesiin eli yhteyttämiseen auringonvaloa, vettä, hiilidioksidia ja ravinteita. Ne voivat kasvaa makeassa vedessä, suolavedessä, likaisissa vesissä ja jopa kaatopaikkojen jätevesissä.

Koska leväbiomassan kuivapainosta peräti 50 % on hiiltä, saa levä parhaiten tarvitsemansa hiilipitoisuutensa hiilidioksidista. Levät hyödyntävätkin kasvuraaka-aineenaan ilmakehän omaa hiilidioksidia, mutta käytettäessä hiilidioksidilannoitusta levät kasvavat entistäkin paremmin. Jotkin sinilevät pystyvät sitomaan ilmakehästä hiilen lisäksi myös typpeä. (Bioste Oy)

Koska valoisaan aikaan hiilidioksidia on syötettävä leväbiomassan viljelmään jatkuvasti, järkevin keino olisikin hyödyntää fossiilista polttoainetta polttavien voimalaitosten hiilidioksidipäästöjä leväbiomassan kasvatuksen raaka-aineena (Chisti 2007, 297.).

Ympäristöystävällisimpiä ja kustannustehokkaimpia lannoitteita ovatkin voimalaitosten tuottama savukaasujen hiilidioksidi, erilaiset lietelannat ja jätevedet. Samalla kun vesi tai liete puhdistuvat, saadaan niiden ravinteet tehokkaasti talteen ja hyödynnettyä levän kasvatuksessa. Lisäksi puhdistus voidaan viimeistellä laitoksen omassa biologisessa jätevedenpuhdistamossa, jolloin leväenergian tuotanto voidaan yhdistää jäteveden käsittelyyn sekä teollisten hiilidioksidipäästöjen kierrätykseen. Näin saavutetaan yhdistettyjä etuja. (Bioste Oy; Helin 2010.)



Kuva 3 Voimalaitoksen hiilidioksidipäästöt voitaisiin hyödyntää levänkasvatuksessa. (Pienkos 2007.)

Jos voimalaitoksen savukaasuja, joiden hiilidioksidipitoisuus on noin 14 %, johdetaan suoraan levänkasvatusaltaaseen, savukaasun koostumus ja vaikutusta kasvatettavaan levälajiin on tutkittava tarkasti. Vaihtoehtona on erottaa hiilidioksidi savukaasuista ja syöttää puhdas hiilidioksidi leväalaltaaseen (Rimppi 2009, 22). On arvioitu, että kuivapainoltaan 100 tonnin leväbiomassamäärän tuottamiseen tarvitaan 183 tonnia hiilidioksidia (Chisti 2007, 299). Lisäksi tiedetään, että jokaista tuotettua sähkökilowattituntia kohti vapautuu hiililauhdevoimalassa noin 800 - 900 grammaa hiilidioksidia (Energianet).

Seuraavan laskelman tavoin voidaan kuvata, kuinka levän kasvatuksen saannon ollessa noin 120 tonnia/hehtaari (Järvinen 2009, 8) 1000 hehtaarin leväbiomassan kasvatussysteemi pystyisi hyödyntämään noin 55 % 50 MW:n tehoisen hiilivoimalaitoksen tuottamista kokonaishiilidioksidipäästöistä, jotka ovat noin 400 000 tonnia vuodessa.

Laskelmassa on mitoitettu hiilidioksidipäästöjen hyödyntäminen avoimessa levänkasvatusaltauksessa, kun tiedetään että levän massa pystytään sitomaan avoimessa kasvatus prosessissa hiilidioksidipitoisuudesta 50 – 60 prosenttia.

| |
|---|
| Kuivan leväbiomassan kasvatuksen saanto / hehtaari |
| 100 000 kg - 120 000 kg |
| Kasvatettavan leväbiomassan tarvitsema hiilidioksidimäärä |
| 1.83 x saatava kuiva leväbiomassan määrä |
| Hiililauhdevoimalaitoksessa vapautuva hiilidioksidimäärä kun jokaista tuotettua sähkökilowattituntia kohti vapautuu noin 0,8 - 0,9 kg hiilidioksidia |
| 50 MW voimalaitoksen hiilidioksidipäästöt vuotta kohden voidaan karkeasti laskea |
| $(365\text{vrk.} * 24\text{h} * 3600\text{s} * (0,9\text{kg}/3600\text{s})) * 50000\text{ kW} = 394\ 200\ \text{tonnia} / \text{vuosi}$, eli noin 400 000 tonnia / vuosi |
| Leväbiomassaan sitoutuvan hiilidioksidin määrä suhteessa voimalaitoksen tuottamaan hiilidioksidin |
| Voidaan laskea |
| $(\text{kasvatuksen saanto} * \text{viljeltävä pinta-ala} * 1,83) / \text{voimalaitoksen tuottamalla hiilidioksidimäärällä} = \text{hyötysuhde}$ |
| $(120\ 000\ \text{kg} * 1000 * 1,83) / 400\ 000\ 000\ \text{kg} = 0,55$ |
| noin 55% voimalaitoksen hiilidioksidipäästöistä saataisiin hyödynnettyä leväbiomassan tuotannossa |

4 LEVÄNTUOTANTOMENETELMIÄ

Leviä kasvatetaan tyypillisesti avoimissa altaissa tai tankeissa. Mikrolevän kasvatuksessa käytetään kolmea eri tekniikkaa: olosuhteiltaan säädeltyjä avoimia altaita, säätelemättömiä avoimia altaita ja fotobioreaktoreja/tankkeja. (Rimppi 2009, 9).

Tärkeimmät ja käyttökelpoisemmat leväbiomassan massatuotantosysteemit ovat avoimet rengasaltaat ja putkifotobioreaktorit. (Chisti 2007, 297; Sierra et al. 2008, 137).

4.1 Avoimet altaat

Mikrolevien viljelyssä käytetään yleisimmin ulkona sijaitsevia avoimia viljelyaltaita. Näin voidaan samalla hyvin hyödyntää levän kasvatuksessa auringosta saatavaa valoa. Suuret allassysteemit ovat syvyydeltään noin puolimetrisiä ja pinta-alaltaan yhdestä jopa sataan hehtaaria. Altaiden olosuhteita ei kontrolloida eli niistä puuttuu muun muassa mekaaninen sekoitus ja hiilidioksidin syöttö. (Koljonen. ym. 2009, 75.)

Toinen vaihtoehto on kasvattaa leviä valvotuissa ja kontrolloiduissa allasolosuhteissa, joissa on mekaaninen sekoitus. Lisäksi levänkasvatusaltaaseen syötetään ja säädellään oikea määrä hiilidioksidia ja kasvatusliuosta laimennetaan optimaalisten kasvuolosuhteiden ylläpitämiseksi. Tällaiset olosuhteiltaan kontrolloidut allassysteemit ovat matalampia kuin kontrolloimattomat kasvatusallassysteemit, tyypillisimmillään altaiden syvyys on alle 0,3 metriä. Syynä tähän on se, että matalamman altaan kasvuympäristöä pystytään kontrolloimaan paremmin, jolloin sen tuottavuus on suuriin allassysteemeihin verrattuna moninkertainen. (Rimppi 2009, 11)

Avoimien kasvatusaltaiden ongelmina ovat muun muassa veden haihtuminen, lämpötilan säätö ja auringonvalon määrä (ainoastaan pintakerrokset saavat riittävästi säteilyä). Avoimissa altaissa levät ovat myös alttiita muiden levien tai bakteerien aiheuttamalle kontaminoitumiselle eli saastumiselle. Koska öljyä tuottavat levät kasvavat hitaammin kuin monet muut levälajit, voi olla vaikeaa estää nopeakasvuisia lajikkeita tunkeutumasta leväaltaisiin, jolloin toivotun levälajin kasvu häiriintyy. Lisäksi pienet simpukan tapaiset organismit, jotka syövät levää, voivat lentää tuulen tai sateen mukana altaaseen, ja ne ottavat altaassa nopeasti vallan. Altaan kattaminen kasvihuoneella voi ratkaista em. ongelmat. (Koljonen ym. 2009, 75.)

4.1.1 Rengasallas

Yleisin käytössä oleva kasvatusallastyyppe on rengasallas. Sen eri muotoja, erityisesti siipiratasmallia, on käytetty levän tuotannossa yli 30 vuoden ajan. Allasta käytetään pääasiallisesti neljän levälajin kasvatukseen: Spirulina, Chlorella, Dunaliella ja Haematococcus. (Moheimani 2005, 47-48.)



Kuva 4. HR Biopetroleumien rengasaltaita Havaijilla (HR BioPetroleum. 2008)

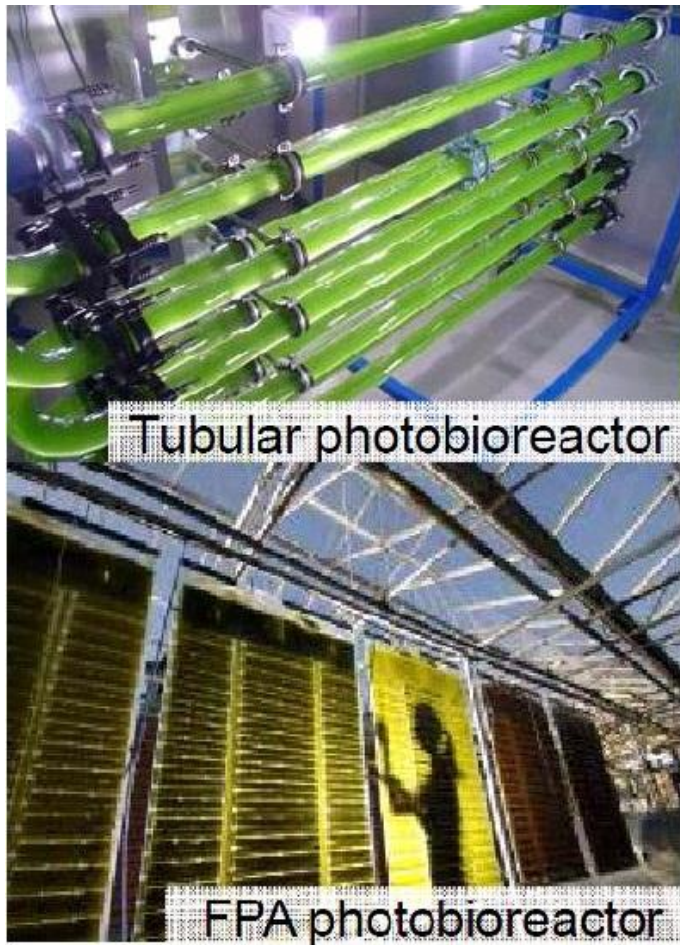
Virtauskanava valetaan betonista ja voidaan vuorata valkoisella muovilla. Valoisaan aikaan viljelmään syötetään jatkuvasti ravinteita ja hiilidioksidia siipirataan etupuolelta virtaussuuntaan ja rataan takaa korjataan leväbiomassasatoa. (Chisti 2007, 297.)



Kuva 5. Rengasallas (Koljonen ym. 2009, s.76)

4.2 Kasvatusputket

Toinen vaihtoehto on kasvattaa leviä suljetussa tilassa eli tankeissa. Fotobioreaktorissa tankkien välillä käytetään putkia, jotka toisaalta mahdollistavat auringonvalon pääsyn tankkeihin ja toisaalta kierrättävät hiilidioksidia ja ravinteita reaktorissa. Levien kasvatus fotobioreaktorissa on tyypillisesti pienen mittakaavan laitoksen toimintaa, mutta se mahdollistaa kasvatusolosuhteiden tarkemman kontrollin ja siten myös suuremman öljynsaannon.



Kuva 6. Levien kasvatukseen tarkoitetut fotobioreaktoriputkistot. (algae reactor1ja2)

Suljetut prosessit ovat kalliimpia rakentaa ja käyttää, sillä kaupallisen mittakaavan laitos tarvitsee putkia useita kilometrejä ja putkien puhdistus lisää käyttökustannuksia. Levätuotannon kustannuksia voidaan kuitenkin alentaa sijoittamalla levätuotanto lähelle laitoksia, jotka tuottavat suuria määriä hiilidioksidia. Myös sivutuotteiden, kuten lannoitteiden, tuotanto voisi pienentää kustannuksia. (Koljonen ym. 2009, s. 75)

4.3 Tulevaisuudessa mahdollisia tuotantomenetelmiä

4.3.1 Geenimuunneltu levä

Geenitekniikan avulla on mahdollista kehittää muun muassa entistä tuottavampia ja taudinkestäviä lajikkeita ja ympäristöystävällisempiä viljelymenetelmiä (Bioteknologian sovelluksia).

Geenimuunneltua levää kasvatetaan pimeässä, ruostumattomasta teräksestä valmistetuissa säiliöissä. Levät saavat energiansa sokerista auringonvalon sijaan, joten fotosynteesi jää tarpeettomaksi. Menetelmän suurimpana haasteena pidetään suurten leväviljelmien hallintaa, ja tuotannon kaupallistamiseen meneekin todennäköisesti vielä aikaa. (Williams 2008.)

4.3.2 Levän kasvattaminen meressä

Levää voidaan jatkossa kasvattaa myös suoraan valtamerissä, jolloin ne saavat energiansa suoraan auringonvalosta. Meressä leviä kasvatettaessa erillistä lannoitusta ei tarvita ja vetenä käy rajaton suolavesi. Levän meressä kasvattamisen ongelmana on, että se todennäköisesti lisäisi jo ennestään runsaita meren ravinnepitoisuuksia. Lisäksi levän kerääminen merestä taloudellisesti järkevällä tavalla voi osoittautua haasteelliseksi. (Bioste Oy.)

5 LEVÄBIOMASSAN KERÄÄMINEN JA VEDENEROTUS

Leväbiomassan korjuussa on erilaisia vaiheita, joiden tarkoituksena on erotella kiinteä leväbiomassa vedestä ja muusta aineksesta. Leväbiomassan keräämisessä käytetään avuksi seuraavia tekniikoita:

- sedimentaatiota eli kiinteiden partikkeleiden laskeutusta vedestä
- flokkulaatiota eli levän partikkelikoon kasvattamista kemiallisesti
- suodatusta
- mekaanista vedeneroitusta sentrifugoimalla eli linkoamalla

(Rimppi 2009, s.24.)

5.1 Suodatus

Suodatuksen avulla erotellaan kerättävästä levästä pois ensiksi jätemateriaali, minkä jälkeen suodatetaan mikrolevä talteen. Levä saadaan talteen kaapimalla se pois suodatinkankaan pinnasta. Leväbiomassasta eroteltu ravinnerikas kasvatusvesi palautetaan takaisin levänkasvatusaltaaseen. Suodatus voidaan toteuttaa myös paineen avulla, mutta se sopii suhteellisen suurille mikrolevälajeille kuten *Spirulina platensis*. Pienten bakteerien kokoisten levien, kuten *Dunaliella*, *Chlorella* korjuu tällä tavoin ei onnistu. (Rimppi 2009, s.26.)

5.2 Flokkulaatio

Flokkulaatiolla tarkoitetaan solujen keräämistä yhteen. Mikroleväsoluilla on negatiivinen pintavaraus, ja sen vuoksi solut eivät voi kerääntyä yhteen. Lisäämällä kasvatusliuokseen kemikaaleja leväsolujen pintavaraus neutraloituu ja ne voivat kiinnittyä toisiinsa isommiksi partikkeleiksi eli flokeiksi. Ennen sedimentointia, suodatusta tai sentrifugia voidaan käyttää flokkulaatiota suurentamaan levälautojen partikkelikokoa ja näin voidaan helpottaa keräysprosessin jatkokäsittelyä. (Rimppi 2009, s.26.)

5.3 Sedimentointi

Sedimentoinnilla tarkoitetaan kiinteiden hiukkasten laskeutumista vedessä. Sedimentointi on erotusmenetelmä, joka perustuu painovoimaan ja jossa ensin flokkulaation avulla on kasvatettu levälautojen partikkelikokoa. Tämän jälkeen levälautojen annetaan painua levänkasvatusaltaan tai erillisen laskeutussäiliön pohjaan. (Rimppi 2009, s.26)

5.4 Sentrifugointi

Sentrifugointi eli linkous on keskipakoisvoimaan perustuva mekaaninen vedenerotusmenetelmä. Sentrifugoinnissa moottorin avulla aikaansaadaan sopiva pyörimisnopeus, ja näin hiukkaset alkavat erottua toisistaan kokonsa ja tiheydensä perusteella omiin olomuotoalueisiinsa. Sentrifugeilla voidaan käsitellä suuria määriä biomassaa kohtalaisen nopeasti, mutta niiden käyttö vaatii paljon energiaa. Sentrifugit ovat yleisin tapa erottaa leväbiomassa kasvatusliemestä. (Ojanen 2001, 21.)

5.5 Kuivatus

Mikrolevälle käytettyjä kuivausmenetelmiä ovat ruisku-, rumpu-, jäädytys- ja aurinkokuivatus. Kun levä on suodatettu tiiviiksi massaksi, se kuivataan (riippuen käyttötarkoituksesta). Ennen kuivausta leväsolujen vesipitoisuus on vielä 80 %. Kuivausprosessissa leväbiomassaa ruiskutetaan kuivauskammioon veden haihduttamiseksi nopeasti, jolloin syntyy kuivaa leväjauhetta. (Rimppi 2009, s.26)

6 LEVÄSTÄ TUOTETUN BIOKAASUN SAVUKAASUPÄÄSTÖT

Voimalaitoksen savukaasujen koostumus riippuu käytettävästä polttoaineesta sekä polttotekniikasta. Savukaasujen koostumukseen voidaan vaikuttaa polttoprosessia säätämällä. Polttoaineen palamisreaktiossa syntyvät savukaasut sisältävät palamistuotteina vedyn palaessa muodostunutta vettä, hiilen palaessa muodostunutta hiilidioksidia ja rikin palaessa muodostunutta rikkidioksidia. Savukaasuissa on lisäksi polttoaineesta tai palamisilmasta muodostunutta typpeä, palamisilmasta tullutta argonia, ilmaylimäärään käytön vuoksi happea, sekä polttoaineen palamattomista aineosista muodostunutta lentotuhkaa. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 91)

Vesi on varsinaisista palamistuotteista ainoa, jota yleisesti pidetään vaarattomana ympäristölle, mutta ilmasta peräisin olevat kaasut eli typpi, happi ja argon eivät myöskään ole haitallisia komponentteja. Ympäristölle vahingollisia palamistuotteita ovat hiilidioksidi, rikkidioksidi ja lentotuhka. Näiden lisäksi savukaasuihin muodostuu hiilimonoksidia (CO), hiilivetyjä (CxHy) ja typen oksideja (NOx), jotka ovat ympäristöä pilaavia kaasuja. (Huhtinen ym. 2000, 91)

Biokaasu sisältää yleensä 45–65 % metaania, 30–40 % hiilidioksidia ja 1-15 % typpeä. Lisäksi kaasussa on mm. rikkivetyä, ammoniakkaa, vetyä, hiilimonoksidia, tyydyttyneitä tai halogenoituja hiilivetyjä sekä happea. (Rasi & Rintala 2007, 3)

Biokaasun poltosta aiheutuvat savukaasut sisältävät pääosin typpeä, hiilidioksidia, vesihöyryä ja happea. Lisäksi savukaasuissa on rikin ja typen oksideja, sekä pieniä määriä hiukkaspäästöjä ja raskasmetalleja. (Huhtinen ym. 2000, 91)

6.1 Hiilimonoksidi

Kun hiili reagoi hapen kanssa, epätäydellisessä palamisessa syntyy hiilimonoksidia ja lämpöä vapautuu vain noin neljäsosa siitä kuin vapautuisi, jos hiili reagoisi hapen kanssa muodostaen hiilidioksidia. Savukaasuissa esiintyy myös usein jonkin verran häkää, koska ilmaylimäärää käytettäessä polttoaineen ja palamisilman sekoittuminen on epätäydellistä. Hyvin toimivien polttolaitteiden savukaasujen häkäpitoisuudet ovat 30 – 100 ppm. Vaikka häkä on ihmiselle vaarallista, ei kattilalaitosten nykytasoisten häkäpäästöjen katsota haittaavan ympäristöä. (Huhtinen ym. 2000. 91)

6.2 Hiilivedyt

Savukaasujen hiilivedyt ovat palamatta jäänyttä polttoainetta. Tämän vuoksi hiilivetypäästöjä esiintyy yleensä häkä- ja palamattomien kiintoainepäästöjen yhteydessä. Samoin kuin häkäpäästöjen, hiilivetypäästöjen syynä on polttoaineen ja palamisilman huono sekoittuminen. Tulipesän alhainen lämpötila edistää hiilivetypäästöjen syntymistä. Haitallisimpia hiilivetypäästöistä ovat polyaromaattiset hiilivedyt. Näistä ns. PAH- yhdisteistä osa on karsinogeenisia, jotka altistavat syöväälle (yleensä karsinogeenisyys perustuu mutageenisyyteen eli DNA:n vahingoittamiseen). Kattilalaitosten PAH-yhdistepäästömittaukset osoittavat päästöjen noudattavan samansuuntaista riippuvuutta kattilan tehosta. (Huhtinen ym. 2000, 92)

6.3 Kiintoainepäästöt

Kiintoainepäästöt muodostuvat polttoaineessa olleesta palamattomasta tuhkasta ja tulipesässä palamatta jääneistä hiukkasista. Analysoimalla tuhkasta palamattomien osuus saadaan selville palamattomien kiintoaineiden kattilahyötysuhdetta huonontava vaikutus. Mikäli palamattoman polttoaineen osuus tuhkassa on suuri, on se merkki polttimien tai jauhatuslaitteiden säädön tai huollon tarpeesta. (Huhtinen ym. 2000, 92)

6.4 Rikkidioksidi

Polttoaineen rikki hapettuu tulipesässä rikkidioksidiksi. Siitä pieni osa hapettuu edelleen rikkitrioksidiksi, joka puolestaan veden kanssa muodostaa rikkihappoa. Sen vaikutuksesta kattilan lämpöpintojen syöpyminen pyritään estämään rikkiä sisältäviä polttoaineita poltettaessa pitämällä savukaasujen lämpötila kattilan peräpäässä kastepistettä korkeampana. Vaikka kattilan lämpöpinnat saadaan näin suojelluksi, rikkidioksidipäästöt vahingoittavat luontoa.

Rikkilaskeumat happamoittavat maaperää ja vesistöjä. Ympäristöä kuormittavista rikkidioksidipäästöistä pääosa on peräisin teollisuuden ja voimalaitosten kattilalaitoksista. (Huhtinen ym. 2000, 92)

6.5 Typen oksidit

Typen oksideja, typpimonoksidia NO ja typpioksidia NO₂, syntyy typen ja hapen reagoidessa keskenään. Tulipesässä muodostuu pääasiassa typpimonoksidia, joka lämpötilan laskiessa pyrkii hapettumaan typpioksidiksi. Kattilan typpioksidipäästöjä mitattaessa ei erotella monoksideja ja dioksideja vaan puhutaan niiden yhteenlasketuista NO_x-päästöistä. Ympäristöä NO_x-päästöt happamoittavat samalla tavalla kuin rikkidioksidit, minkä vuoksi niitä pyritään rajoittamaan.

Typpioksidipäästöjä voidaan vähentää joko poistamalla palamisessa syntyneitä NO_x-kaasuja savukaasuista erilaisin puhdistusmenetelmin tai pienentämällä typpioksidien muodostumista tulipesässä esimerkiksi vaiheistetulla poltolla tai laskemalla tulipesän lämpötilaa. (Huhtinen ym. 2000, 93)

6.6 Hiilidioksidi

Hiilidioksidi on tärkein kasvihuonekaasu. Muita ovat muun muassa typpioksiduuli, metaani ja vesihöyry. Kasvihuonekaasut päästävät auringon säteilyn mukanaan tuoman lämpöenergian maanpinnalle, mutta heijastavat maasta lähtevän lämpösäteilyn takaisin maahan. Maapallon pinnan lämpötila riippuu siis paljolti näiden kasvihuonekaasujen pitoisuudesta ilmakehässä. Fossiilisten polttoaineiden käytön myötä on ilmakehän hiilidioksidipitoisuus lisääntynyt ja huoli ilmaston lämpenemisestä kasvanut. (Huhtinen ym. 2000, 94)

7 KAAKOSTA VOIMAA-HANKE ANJALANKOSKELLA

Kaakosta Voimaa -projekti on Cursor Oy:n hallinnoima kaakkoisen Suomen kehittämissyhtiöiden yhteishanke, jonka tarkoituksena on kehittää tuulivoiman ja bioenergian osaamista alueella ja saada sitä kautta uutta liiketoimintaa ja uusia työpaikkoja Kymenlaaksoon.

Yhtenä hankkeen osana käynnistettiin levän koekasvatus kesällä 2010 Anjalankoskella biokaasulaitoksen yhteydessä. Levän kasvattamisella tutkitaan, onko Suomen olosuhteissa mahdollista laajempimuotoiseen kasvatukseen biokaasulaitoksen yhteydessä.

Anjalankoskella sijaitsevan koetoimintaan valmistetun biokaasulaitoksen yhteyteen on rakennettu levänkasvatusprosessi, joka integroitiin kiinteästi biokaasulaitokseen. Koekasvatuksen aikana levänkasvatuslaitoksella pyritään selvittämään paras mikrolevän kasvatustapa ja parhaat levälajit Suomen olosuhteisiin sopiviksi. Olosuhteilla tarkoitetaan lämmön ja valon suhdetta.

Levän koekasvatuksella pyritään selvittämään, miten levää pystytään tuottamaan biokaasulaitoksen rejektivedestä, Suomen olosuhteissa ja paikallisilla ravinteilla. Tutkimushankkeessa selvitetään myös biokaasun tuottamista leväbiomassasta, jolloin pystytään laskemaan leväkasvatuksen kannattavuus biokaasulaitoksen raaka-aineena.

(Cursor, Levästä liiketoimintaa)

Hankkeessa ovat mukana Cursorin ja Kouvola Innovation Oy:n lisäksi Kouvolan Seudun ammattiopisto, Kymen Bioenergia Oy, Haminan Energia Oy, Kouvolan Vesi, Harjun Oppimiskeskus Oy ja CTS Engtec Oy.

7.1 Biokaasulaitos ja levän kasvattaminen sekä prosessi

Kouvolan Anjalankoskella sijaitsevassa monipolttoainekattilassa (kuva9) poltetaan muun muassa biopolttoaineista valmistettua bioöljyä sekä levästä ja maatalousjätteistä mädätettyä biokaasua.



Kuva 8. Kouvolan Anjalankoskella sijaitseva tutkimuskeskus

Kouvolaan Anjalankoskelle on rakennettu kesällä 2010 levänkasvatusta varten kaksi 400 neliön rengasallasta, jotka ovat syvyydeltään noin 0,5 metriä ja yhteistilavuudeltaan noin 400 kuutiometriä. Levänkasvatusaltaissa alettiin kesällä 2010 kasvattaa koemielessä levää vieressä toimivan monipolttoainekattilalaitoksen savukaasujen lämpöä, hiilidioksidipäästöjä sekä lietevesien typpeä ja fosforia hyödyntäen.

Monipolttoainekattilalaitoksen savukaasuista eroiteltu hiilidioksidi johdetaan erillisiin levän erottelusäiliöihin, joihin myös pumpataan imupumppuja käyttäen levät ”ruokailemaan”. Lisäksi hiilidioksidia syötetään suoraan levänkasvatusaltaisiin.

Biokaasulaitoksen lietevedet johdetaan myös leville ravinnoksi, jolloin saadaan tehokkaasti lieteveden ravinteet, typpi sekä fosfori hyödynnettyä ja samalla puhdistettua lietevesi.

Savukaasujen puhdistamiseen monipolttoainekattilassa käytetään normaalia savukaasujenpuhdistuslaitteistoa. Savukaasut pestään vedellä ja polttolämpötilaa säädellään polttimella.

Kasvanut levä kerätään talteen ja eroitellaan vedestä kemiallisella prosessilla eli flokkulaatiolla. Flokkulantit eli yhteen kerääntyneet levälautat pumpataan imupumpun avulla ruokailuastiaan ja suodatukseen eli veden erotukseen. Eroteltua levää ei erikseen kuivata eikä lingota vaan se syötetään sellaisenaan biokaasulaitoksen biokaasureaktoriin, jossa se mädätetään kaksivaiheisesti, kahdessa erillisessä reaktorissa peräkkäin. Mädätys kestää reaktoreissa 26 vuorokautta, minkä jälkeen mädätyksen avulla levästä saatu metaani johdetaan monipolttoainekattilaan, ja näin saadaan tuotettua lämpöä ja sähköä.

Levän kasvatus on onnistunut kesän 2010 aikana hyvin ja leväbiomassaa on saatu tuotettua hyvin. Loppukesästä levä kasvoi niin nopeasti, että jonkin asteista kontaminoitumista oli havaittavissa, mikä johti siihen, että eläinplankton alkoi syödä levää ja kasvu häiriintyi. Tämän vuoksi ei myöskään suunniteltuja päästömittauksia ole päästy tekemään, koska biokaasun tasaisessa tuotannossa on ollut ongelmia.

Koska levästä ei onnistuttu tuottamaan tarpeeksi tasalaatuista biokaasua, Anjalankoskella on käynnistynyt uusi hanke, jossa tutkitaan levästä ja maatalousjätteestä yhdessä mädättämällä tuotettua biokaasutusta. (Solio, haastattelu)

7.2 Biokaasulaitoksen laitteisto

Biosammon monipolttoainehöyrykattila jossa metaani poltetaan on suoraruiskutus-kattila. Kattilan poltinteho on 300 kWh ja sähköteho 55 kVA. Kattilaan syötettävä biokaasun massavirta on säädetty 24 m³/h jolloin polttoteho kattilassa on noin 150 kW.



Kuva 9. Monipolttoainehöyrykattila, johon johdetaan joko biodieseliä tai biokaasua ja häkäkaasua (keskellä kattila ja poltin vasemmalla).



Kuva 10. Vasemmalla on lämminvesivaraaja; keskellä generaattori ja oikealla vipumäntämoottori, jota voidaan pyörittää kattilalla tuotetulla höyryllä tai vedellä.

Kattilassa lämmitetty vesi johdetaan 5000 litran kokoiseen lämminvesivaraajaan. Vipumäntämoottori, jota voidaan pyörittää kattilalla tuotetulla höyryllä, pyörittää generaattoria, joka taas tuottaa sähköä valtakunnanverkkoon.



Kuva 11. Laitoksen ohjauspaneeli. Häkäkaasua voidaan tuottaa ulkona ja ohjata se kattilaan poltettavaksi.



Kuva 12. Metanolin erotuslaitteisto biodieselin valmistusta varten. Vasemmalla pesutankit, keskellä glyserolin keräys, vasemmalla reaktiotankki ja metanolin keräys.

Jos levästä erotellaan erikseen öljy, kyseisellä laitteistolla on mahdollista tehdä leväbiomassasta bioöljyä.

Tässä hankkeessa ei kuitenkaan keskitytä bioöljyn tekemiseen vaan leväbiomassan mädättämiseen ja siten biokaasun tuottamiseen biokaasureaktorissa.

7.3 Levänkasvatusallas

Kesällä 2010 levänkasvatusta varten rakennetut kaksi 400 neliön rengasallasta, altaat ovat syvyydeltään noin 0,5 metriä ja yhteistilavuudeltaan noin 400 kuutiometriä. Levänkasvatusaltaiden vieressä toimivan monipolttoainekattilalaitoksen savukaasujen lämpöä, hiilidioksidipäästöjä sekä lietevesien typpeä ja fosforia hyödynnetään levän kasvuraaka-aineena.



Kuva 13. Anjalankoskella oleva, kesällä 2010 käyttöön otettu levänkoekasvatusallas.



Kuva 14. Pumppu, jolla pumpataan levät erotukseen ja ruokailuun. Hiilidioksidia syötetään harmaata putkea pitkin siipirattaan etupuolelle.



Kuva 15. Levänkeräys erotukseen ja hiilidioksidi-lannoitukseen . (CO₂)



Kuva 16. Hiilidioksidin syöttö (CO₂) sekä levien ruokailuastia. Levät pumpataan tähän ruokailuun ja erotukseen.



Kuva 17. Siipiratas, jonka avulla saadaan aikaan sekoitus ja kasvatusliemen kierto altaassa. Lisäksi siipirattaan pyöriminen ehkäisee levän kerrostumisen.

Kasvatusliemen lämpötila pidetään noin + 15 asteessa.

7.4 Biokaasureaktori

Biokaasureaktorissa toteutetaan mädätys ja seoskaasun tuotanto.

Metaanin osuus vaihtelee tuotetussa biokaasussa eri raaka-aineista riippuen 45 - 71%. Mädättämö on kooltaan 30 tonnia. Reaktorin tuottotehona pyritään pitämään 30-40 m³ kaasua/vrk ja metaanipitoisuutena yli 60 %.



Kuva 18. Vasemmalla mädätyskaivot, oikealla biokaasusäiliö, johon valmis biokaasu johdetaan.

Biokaasu tuotetaan erillisessä biokaasureaktorissa. Kaasutusprosessiin kuuluu 2-vaiheinen mädätys kahdessa erillisessä mädätyskaivossa. Biokaasureaktorissa voidaan mädättää myös maatalousjätettä, levää jne. Mädätysaika on 26 vuorokautta. Mädätyksen jälkeen valmis biokaasu johdetaan erilliseen biokaasusäiliöön. Säiliön sisällä olevan biokaasun metaanipitoisuus vaihtelee 45:stä 71:een prosenttiin riippuen mädätyskaivoissa olevasta raaka-aineesta.



Kuva 19. Syöttöpumppu, jolla syötetään bioreaktorista saatavaa biokaasua monipolttoainekattilaan. paineenkorotus-lietso



Kuva 20. Nurkassa oleva torni on levänerottelutorni. Oikealla savukanava kattilasta, josta hiilidioksidi (CO₂) johdetaan leville ravinnoksi.



Kuva 21. Savukaasuista johdettava hiilidioksidi johdetaan mustasta hiilidioksidin keräilyastiasta leväaltaaseen harmaata putkea pitkin. Lisäksi kuvasta näkyvät vedensyöttöletkut levänkasvatusaltaaseen.

8 ANJALANKOSKELLA MITATUT BIOKAASUN SAVUKAASUPÄÄSTÖT

Seuraavissa mittauksissa on mitattu biokaasun poltosta aiheutuvat päästöt eri polttotavoilla. Mittaukset on tehty 16.4.2010 Kouvolan Ankkapurhassa ja ovat osa laajempaa päästömittausraporttia, mittaajina on toiminut Nykänen, M ja Piispa, M.



Kuva 22. Kattilan savukaasukanava. Savukaasujen mittauspiste sijaitsee heti pesurin jälkeen.

Päästömittausten kohteena on Biosammon monipolttoainekattila Kouvolan Ankkapurhassa. Mittaustulokset biokaasulla.

Biokaasu ilman pesuria

Biokaasu + pesuri

Biokaasu 50% + Häkä 50% + pesuri

Mitattavat suureet savukaasupäästöjen osalta

Seuraavien päästökaasujen pitoisuudet mitattiin:

Hiilimonoksidipitoisuus (CO)

- Typpioksidipitoisuus (NO_x)
- Rikkidioksidi (SO₂)
- Hiilidioksidipitoisuus (CO₂)
- Happipitoisuus (O₂)

8.1 Mittaustulokset

Seuraavissa taulukoissa 3 - 7 on esitetty Biosammon koekattilan mittaustulokset 16.4.2010

Taulukko 3. O₂ ja CO₂, keskimääräiset mittaustulokset

| | O ₂ | | CO ₂ % | |
|-----------------------------------|----------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| | | epävarmuuk- sineen | | epävarmuuk- sineen |
| Biokaasu ilman pesuria | 5,7 | 5,6-5,8 | 14,7 | 14,5-14,9 |
| Biokaasu + pesuri | 5,5 | 5,4-5,6 | 14,5 | 14,3-14,7 |
| Biokaasu 50 %+ häkä 50 % + pesuri | 11,5 | 11,4-11,6 | 8,7 | 8,5-8,9 |

Savukaasujen happipitoisuudesta voidaan helposti laskea poltossa käytetty ilmamäärä. Savukaasujen happipitoisuuden tulisi olla 4 - 7% (riippuen polttoaineesta), jotta palamisen hyötysuhde pysyisi hyvänä. Biokaasu+pesurissa 5,5 %:n happipitoisuudella polttokerroin on 1,35, mikä tarkoittaa, että kattilaan on johdettu 1,35 x teoreettinen tarvittava ilmamäärä. Biokaasu 50%+häkä 50%+pesurissa happipitoisuus nousee 11,5% ja ilmakerroin nousee 2,21. Näin suurella ilmamäärällä polton hyötysuhde laskee selvästi.

Taulukko 4. CO, keskimääräinen mittaustulos

| | CO mg/m ³ (n) | epävarmuus | ppm (kuiva) |
|-----------------------------------|-----------------------------|------------|-------------|
| Biokaasu ilman pesuria | 23 | ± 15 % | 18 |
| Biokaasu + pesuri | 1 | ± 15 % | 1 |
| Biokaasu 50 %+ häkä 50 % + pesuri | 116 | ± 15 % | 93 |

Epätäydellisessä palamisessa syntyy hiilimonoksidia (CO) ja lämpöä vapautuu vain noin neljäsosa siitä, mitä vapautuisi, jos hiili reagoisi hapen kanssa muodostaen hiilidioksidia. Savukaasuissa esiintyy useimmiten jonkin verran häkää myös ilmaylimäärää käytettäessä polttoaineen ja palamisilman epätäydellisen sekoittumisen takia. Hyvin toimivien polttolaitteiden savukaasujen häkäpitoisuudet ovat 30-100 ppm. (Huhtinen ym. 2000, 91)

Taulukko 5. Nox, keskimääräinen mittaustulos

| | NO _x mg/m ³ (n) | epävarmuus | ppm (kuiva) |
|-----------------------------------|--|------------|-------------|
| Biokaasu ilman pesuria | 99 | ± 15 % | 48 |
| Biokaasu + pesuri | 74 | ± 15 % | 36 |
| Biokaasu 50 %+ häkä 50 % + pesuri | 12 | ± 15 % | 6 |

Nox-pitoisuus pienenee, poltettaessa vaihtoehdolla biokaasu 50 % +häkä 50%+pesuri. Typpioksidipäästöjä voidaan laskea vaiheistetulla poltolla sekä laskemalla tulipesän lämpötilaa.

Taulukko 6. SO₂, keskimääräinen mittaustulos

| | SO ₂ mg/m ³ (n) | epävarmuus | ppm (kuiva) |
|-----------------------------------|--|------------|-------------|
| Biokaasu ilman pesuria | <1 | ± 20 % | <1 |
| Biokaasu + pesuri | <1 | ± 20 % | <1 |
| Biokaasu 50 %+ häkä 50 % + pesuri | 3 | ± 20 % | 1 |

Biokaasun poltosta aiheutuvat rikkidioksidipäästöt ovat vähäisiä.

Taulukko 7. Savukaasujen lämpötilat

| | lämpötila C° |
|-----------------------------------|-----------------|
| Biokaasu ilman pesuria | 608 |
| Biokaasu + pesuri | 79 |
| Biokaasu 50 %+ häkä 50 % + pesuri | 71 |

Lisäksi savukaasuista on mitattu pitot-putkella dynaamisen paineen arvot 50 Pa, 67 Pa, 85 Pa, 55 Pa, joiden avulla voidaan laskea savukaasun nopeus kanavassa, kun kanavan halkaisija tai pinta-ala tiedetään.

Savukaasujen virtaus oli mittausten aikana keskimäärin 0,18 m³/s (n) ja 0,22 m³/s savukanavassa.

PALAMISOLOSUHTEET

Lämpötila 25,5 C°

Kosteus 7,0 %

Paine 100,9 kPa

Edellä olevat arvot on lainattu osana laajempaa päästömittausraporttia.

(Nykänen ja Piispa. Päästömittausraportti 16.4.2010 1610A. Päästömittaukset Biosampo Ankkapurha.)

8.2 Johtopäätökset

Laitos polttaa biokaasua hyvällä hyötysuhteella ja pienillä päästöillä. Häkäkaasua poltettaessa ilmakerrointa olisi syytä pienentää samalle tasolle kuin biokaasua poltettaessa. Todennäköisesti leväbiomassasta tuotettua biokaasua poltettaessa polton hyötysuhde ja päästöt eivät muutu.

8.3 LOPPUSANAT

Tiedemiehet ja insinöörit ovat viime vuosina antaneet kasvien ja luonnon opettaa heitä hyvin kirjaimellisesti. He tutkivat ja jäljittelevät niiden rakenteita ja ominaisuuksia voidakseen kehittää uusia tuotteita ja parantaa entisiä. Alaa kutsutaan biomimetiikaksi. Myös levänkasvatus teollisessa mittakaavassa edustaa kyseistä tieteenalaa, koska siinä jäljitellään vahvasti ja pyritään hyödyntämään luonnon omaa kiertokulkua hiilen, hapen ja typen osalta. Teollisessa leväntuotannossa erona on vain hiilidioksidin ja bakteerien lähde sekä kasvatusolosuhteiden stabilointi kasvunopeuden maksimoimiseksi.

Työn alkuperäisenä tarkoituksena oli tutkia levänkasvatusta yleisesti ja perehtyä leväbiomassasta saatavan biokaasun palamiseen koelaitosolosuhteissa Anjalankoskella. Työn luonne kuitenkin muuttui, koska levästä tuotetun biokaasun määrä ja sen metaanipitoisuus jäivät liian alhaisiksi. Tämän vuoksi ei myöskään alunperin tarkoitettuja savukaasumittauksia päästy kokeellisesti tekemään. Syynä pieneen biokaasun tuotantoon oli se, että biokaasureaktoriin ei saatu tuotettua riittävän tasaisesti leväbiomassaa. Tästä syystä biokaasun metaanipitoisuus vaihteli rajusti ja tasalaatuista biokaasua ei kyetty riittävästi tuottamaan.

Teoreettisesti voidaan kuitenkin olettaa, että leväbiomassasta tuotettavan biokaasun savukaasupitoisuudet eivät merkittävästi eroa muulla bioraaka-aineella tuotetuista biokaasun savukaasupäästöistä, jos metaanipitoisuus biokaasussa pystytään nostamaan ja pitämään samalla tasolla. Jos taas metaanipitoisuus laskee, niin biokaasun lämpöarvo heikkenee ja poltosta aiheutuvien savukaasupäästöjen hiilidioksidimäärä nousee.

On huomionarvoista, että savukaasupäästöihin vaikuttaa poltettavan polttoaineen lisäksi merkittävästi myös palamislämpötila, polttimen oikea säätökyseiselle polttoaineelle sopivaksi sekä oikea primääri- ja sekundääripalamisilmamäärä. Toisin sanoen oikealla polttotavalla voidaan vaikuttaa merkittävästi savukaasupäästöihin.

Jatkotutkimuksissa on hyvä tutkia leväbiomassan käyttämistä muiden teollisuuden, maatalouden ja yhdyskuntien jätteiden seassa, jolloin biokaasun metaanipitoisuutta ja tasalaatuisuutta saataneen parannettua.

LÄHTEET

Algae reactor [kuvahaku verkkojulkaisu]. Saatavissa: http://www.igb.fraunhofer.de/www/gf/umwelt/algen/bilder/AlgenreaktorJB06_168-72.jpg ja http://www.mvm.kit.edu/img/bio/rohrreaktor_neu.jpg [Viitattu 22.11.2010].

Bioste Oy Bioenergia/Biodiesel [verkkojulkaisu]. Saatavissa: http://www.bioste.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=8&Itemid=11 [Viitattu 27.7.2010].

Bioteknologian sovelluksia [verkkojulkaisu]. Saatavissa: http://www.bioteknologia.info/etusivu/terveys/Luonnonvarat/fi_FI/Bioteknologian_sovelluksia/ [Viitattu 27.7.2010].

Chisti, Y. 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 2007 Vol. 25: Nro 3. s. 294-306. [Viitattu 31.8.2010]. Saatavissa: Kyamk:n kirjasto/maksullinen verkkojulkaisu

Cursor, Levästä liiketoimintaa Kymenlaaksossa, [verkkojulkaisu]. Saatavissa: http://www.hamINANenergia.fi/files/download/Tiedote_Levastaliiketoimintaa.pdf [Viitattu 7.11.2010].

Energianet. Sähköhuolto/fossiiliset energialähteet [verkkojulkaisu]. Saatavissa: <http://www.energianet.fi/index.php?page=sahkokuolto&osa=4> [Viitattu 5.8.2010].

Helin, T. 2010. Leväenergia – realismia vai ei? [verkkojulkaisu]. Saatavissa: www.co2-raportti.fi/index.php?page=blogi&news_id=2088 [Viitattu 8.9.2010]

HR BioPetroleum. 2008. Core technology. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: <http://www.hrbp.com/Technology/CoreTech.html> [Viitattu 5.8.2010].

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P., & Pakkanen H. 2000. Höyrykattilatekniikka 5. painos. Helsinki : Edita Prima Oy

Ilmansuojelu, päästöt. Kiintoaineiden määrittäminen manuaalisella menetelmällä
Suomen standardoimisliitto 2.painos. SFS 3866

Järvinen, J. Ympäristö ja energia: Esiselvitys 2009. [verkkojulkaisu].
Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=110066&lan=fi>
[Viitattu 5.8.2010].

Koljonen, T., Kiviluoma, J., Kirkinen, J., Lehtilä, A., Ruska, M., Flyktman, M. &
Forsström, J. 2009. Energiaresurssit ja –markkinat. VTT TIEDOTTEITA 2489. Edita
Prima Oy, Helsinki. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2489.pdf>
[Viitattu 5.8.2010]

Mannila Johanna. 2008. Merilevien kasvatusta biopolttoaineeksi laajennetaan. Helsingin
Sanomat 4.11.2008. [verkkojulkaisu]. Saatavissa:
<http://www.hs.fi/autot/artikkeli/Merilevien+kasvatusta+biopolttoaineeksi+laajennetaan/HS20081104SI3UL03nu9> [Viitattu 27.7.2010].

Moheimani, N. 2005. The culture of coccolithophorid algae for carbon dioxide
bioremediation. PhD Doctorate. Murdoch University, Science & Engineering,
Biological Sciences & Biotechnology. Australia. Saatavissa:
<http://www.lib.murdoch.edu.au/adt/pubfiles/adt-MU20050901.140745/02Whole.pdf>
[Viitattu 5.8.2010]

Nykänen, M., Piispa, M. Päästömittausraportti 16.4.2010 1610A. Päästömittaukset Biosampo
Ankkapurha.

Ojanen, P. 2001. Sellu- ja paperitehtaiden lietteiden käsittely ja hyötykäyttö sekä
niitä rajoittavat tekijät [verkkojulkaisu]. Kaakkois-Suomen ympäristökeskus.
Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=74361> [Viitattu 09.09.2010].

Pienkos, P. 2007. The Potential for Biofuels from Algae (Algae Biomass Summit San
Francisco 2007). National Renewable Energy Laboratory. Saatavissa:
<http://www.nrel.gov/docs/fy08osti/42414.pdf> [Viitattu 09.09.2010].

Rimppi, H. 2009. Leväbiomassan tuotanto energiataroituksiin: Teknologian nykytila, haasteet ja mahdollisuudet Suomen olosuhteissa. [verkkajulkaisu]. Saatavissa: <https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/43800/nbnfi-fe200902101171.pdf>

[Viitattu 27.7.2010].

Sahavirta, H. 2009. Merilevää halutaan kasvattaa tankkiin. Kaleva. [verkkajulkaisu]. Saatavissa: <http://www.kaleva.fi/uutiset/merilevaa-halutaan-kasvattaa-tankkiin/778671>

[Viitattu 16.9.2010]

Saija, R & Rintala, J. 2007. Biokaasun tuotantoketjusta erotetun hiilidioksidin käyttökohteet ja puhdistusmenetelmät. Bio- ja ympäristötieteiden laitos. Jyväskylän yliopisto.

[verkkajulkaisu]. Saatavissa: http://www.biokaasuforum.fi/_ACC/_Components/ACC-DigiStore/Download.asp?basketID=589&fileID=125034 [Viitattu 3.11.2010].

Sheehan, J., Dunahay, T., Benemann, J. & Roessler, P. 1998. A Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program—Biodiesel from Algae. National Renewable Energy Laboratory. S. 198-206. [verkkajulkaisu]. Saatavissa: <http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24190.pdf> [Viitattu 9.9.2010].

Sierra E., Acien, F., Fernandez, J., Garcia, J., Gondzales, C. & Molina, E. 2008. Characterization of a flat plate photobioreactor for the production of microalgae. Chemical Engineering Journal, 2008 Vol. 138, Nro 1-3. s. 136-147. Saatavissa: Kyamk:n kirjasto/maksullinen verkkajulkaisu. [Viitattu 31.8.2010].

Solio, J. Kouvola seudun ammattioiston projektipäällikkö. [Sähköpostikyselyt kevät-syys 2010].

Suomen ympäristökeskus. 2007a. Makrolevät [verkkajulkaisu]. Päivitetty 31.5.2010 Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=101790&lan=fi#a2> [Viitattu 8.9.2010].

Suomen ympäristökeskus. 2007b. Planktonlevien luokittelu [verkkajulkaisu].

Päivitetty 31.5.2010. Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=19406&lan=fi> [Viitattu 8.9.2010].

Taloussanomat. Kuvat 1 ja 2. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: <http://www.ts.fi/teemat/ymparisto/135379.pdf> [Viitattu 3.11.2010].

Williams, S. 2008. Leväbensa vakuutti sijoittajat. Tekniikka & Talous 2.9.2008. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/energia/article121446.ece> [Viitattu 27.7.2010].

LIITTEET

Kymen Sanomat: Levä syö hiilidioksidipäästöt

Levä syö hiilidioksidipäästöt

Janne Lehtonen

Anjalassa vihitään tänään käyttöön ainutlaatuinen levänkasvatustila, joka sekä puhdistaa tehtaiden jätteitä että tuottaa energiaa.

Pinja Valkonen
KOUVOLA. Levä saattaa ratkaista tulevaisuudessa monia ongelmia. Levästä saadaan energiaa, levä puhdistaa jätevedet ja se sopii sekä eläinten että ihmisten ravinnoksi. Kaikkea tätä ja paljon muuta tutkitaan parhaillaan kuumesti maailmalla, mutta Anjalassa on meneillään jotakin ainutlaatuista. Siellä levä valjastetaan sekä jätteiden puhdistamiseen että energian tuotantoon yhdessä ja samassa laitoksessa.

—Tätä voisi sanoa ympäristöinnovaatioksi, hankkeessa mukana olevan Kotkan-Haminan seudun kehitysyritys Cursorin projektipäällikkö Jari Järvinen hehkuttaa.

KOUVOLAN SEUDUN ammattioipien biokaasulaitoksen yhteydessä toimiva leväviljelmä kirjaimellisesti syö teollisuuden ja maatalouden jätteitä. Levä käyttää ravinnokseen lietevesissä olevaa tyyppiä ja fosforia, ja jätevedet palautuvat vesistöihin puhtaampina kuin puhdistamon kautta kulkiessaan.

—Levä puhdistaa myös biokaasulaitoksessa tuotettavaa metaania. Levä syö metaanin normaalisti jäävän hiilidioksidin, Järvinen kertoo.

Miten leväviljelmä toimii?

- Levällä voidaan käsitellä mm. teollisuuden sivujakeita, maatalouden jätteitä sekä yhdyskuntajätettä.
- Ennen leväkäsittelyä jäteet ajetaan käymisprosessiin, jossa tuotetaan etanolia.
- Seuraavassa vaiheessa jäteet mädätetään biokaasreaktorissa, jolloin syntyy metaania.
- Jätteiden loppuliemi lino-gotaan, ja jäljelle jäänyt ravinnerikas suotovesi johdetaan leväaltaaseen levien puhdistettavaksi.
- Leväpitoinen vesi ajetaan takaisin biokaasulaitokseen, jossa siitä tuotetaan metaania.

Puhdistusoperaation suorittaneesta levästä saadaan vielä lisää energiaa, sillä levä päätyy itsekin biokaasulaitokseen metaanin raaka-aineeksi.

Levät pystyvät myös leikkaamaan tehtaiden hiilidioksidipäästöjä. Kun tehdään päästöt ajetaan levien läpi, levät syövät jopa 40 prosenttia päästöjen hiilidioksidista.

PILOTTILAITOKSEN kokonaisuinvestointi nousee Järvisen mukaan 20 miljoonaan euroon, mutta takaisinmaksuaika on lyhyt.

—Viimeisten laskelmien mukaan laitos maksaa itsensä takaisin kolmessa vuodessa. Tuotto-odotus on kuudesta kahdeksaan miljoonaa euroa vuodessa.

Uusia työpaikkojakin on luvassa. Leväprojekti kuuluu Kaakosta voimaa -hankkeeseen, jonka tavoite on Järvisen mukaan luoda 250 uutta työpaikkaa bio- ja tuulienergia-alalle kahden vuoden aikana. Ensi vuoden puolella pilottilaitoksesta on tarkoitus kasvattaa oikeaa liiketoimintaa.

Cursorin lisäksi projektissa ovat mukana CTS Engtec, Kymen Bioenergia, Haminan Energia, Kouvolan Vesi, Kouvola Innovation ja Harjun oppimiskeskus.

Anjalassa kasvatetaan pian levää

ANJALASSA selvitetään, onko Suomen olosuhteissa mahdollista kasvatata levää niin laajalti, että sitä riittäisi bioenergiatalouden tarpeisiin.

Anjalassa käynnistyy levänkasvatustalon taustalla ovat Kinno ja Cursorin Kaakosta Voimaa -hanke. Lisäksi mukana ovat Kymen Bioenergia Oy, Kouvolan Vesi, CTS Engtec Oy, Haminan Energia Oy ja Harjun Oppimiskeskus Oy.

Levänkäsvatustalon avataan biokaasulaitoksen yhteyteen. Laitokseen rakennetaan siihen kiinteästi integroitava levänkäsvatustalon prosessi.

Levää kasvattamalla halutaan selvittää, kuinka paljon levää biokaasulaitoksen rejektivedestä vallitsevasta ilmastosta ja teollisuuden sivutuot-

teina saatavilla ravinteilla voidaan tuottaa.

Biokaasulaitoksen mädänte erotellaan kiinteään ainekseen ja suodosvetteen. Levänkäsvatustaloksesta selvitetään metaanin tuottoa levästä, jolloin levän kasvatuksen kannattavuus biokaasulaitoksen raaka-aineena on laskettavissa.

Anjalan leväallas on kansainvälisestikin suurehko. Toinen allas on vielä rakenteilla, ja allaiden yhteispinta-ala tulee olemaan 800 neliometriä. Allaiden koko on suhteutettu vieressä toimivan biokaasulaitoksen kokoon, sillä laitokset ruokkivat toisiaan.



Tekniikka ja Talous: Anjalassa tutkitaan levien kasvatusta biokaasulaitoksen tarpeisiin

Anjalassa tutkitaan levien kasvatusta biokaasulaitoksen tarpeisiin

ARJA UKKONEN
T&T KOUVOLA

& Levä tuo tehokkuutta bioenergian tuotantoon. Kouvolan Anjalassa kesän alussa aloitetun levän koekasvatuksen tuloksista on kiinnostunut varsinkin sellu- ja paperiteollisuus sekä teollisuudelle laitteita suunnittelevat ja valmistavat yritykset.

Levän koekasvatuksella tutkitaan, onko Suomen olosuhteissa mahdollista laajempimuotoiseen levän kasvatukseen biokaasulaitoksen tarpeita varten.

Kesän tulokset näyttävät lupaavilta. Liiketoimintaan tähdätään ensi vuonna.

"Tavoite voisi olla vaikkapa paperitehtaan lauhdesien yhteyteen rakennettava mittava laitos", kaavailee hankkeen projektipäällikkö Jari Järvinen Kotkan-Haminan seudun kehittämissyhtiö Cursor Oy:stä.

Levää koekasvatetaan Kouvolan seudun ammattiopiston Biosampo-koulutuskeskuksen aurinkoisella pellolla. Levän kasvatuslaitos toimii yhteistyössä keskuksen biokaasulaitoksen kanssa.

"Levä kasvaa hyvin, osin liiankin hyvin. Heinäkuun alussa eläinplankton alkoi syödä levää, koska sitä oli niin paljon. Opimme, että levää on korjattava koko ajan pois, ettei eläinplankton tuhoa sitä", Järvinen kertoo.

Levää kasvaa kahdessa 400 neliön altaassa. Valon, lämmön ja ravinteiden määrää seurataan mahdollisimman edullisten kasvolosuhteiden määrittämiseksi. Koekasvatuksessa valitaan parhaat levälajit Suomen olosuhteisiin.

Biokaasua ja etanolia tuotetaan yhdistämällä levää teollisuuden, maatalouden ja yhdyskuntien jätteisiin.

Levä käyttää ravinnokseen biokaasulaitoksen lietevesien tyyppä ja fosforia. Levä puhdistaa samalla jätevedet puhtaammiksi kuin kemiallinen puhdistamo. Levä puhdistaa niin ikään biokaasulaitoksessa tuotettavaa metaania syömällä hiilidioksidin.

"Levä kasvaa hyvin, osin liiankin hyvin."

Puhdistustyön jälkeen levä päätyy metaanin raaka-aineeksi. Jäljelle jäävä aines voidaan hyödyntää lannoitteena.

Levän ravinnoksi soveltuu myös paperiteollisuuden piipusta nouseva hiilidioksidi ja savukaasu. Kattilatuhka voidaan lisätä bioreaktorista tulevaan lannoitteeseen, jolloin peltojen kalkitustarve vähentyy.

Etanolin vuosituotoksi 70 000 asukkaan yhteisössä on laskettu 660 000 euroa. Etelä-Kymenlaakson jätteistä syntyisi alustavan arvion mukaan energiaa kuuden miljoonan euron arvosta.

Tähän ei ole vielä laskettu teollisuuden nykyisin fosforin ja typen poistamiseksi käyttämien kemikaalien kustannuksia. Mukaan ei ole myöskään laskettu, miten paljon rahaa säästyy, kun polttoaine on kuivaa eikä kuluta kattilaa kuten märkä liete.

Biokaasuprosessin suunnittelussa ja laitevalmistuksessa voidaan hyödyntää nykyistä pape-



Pyöri, pyöri. Anjalan koekasvatustalokella propellit pyörittävät vettä sopivalla nopeudella levän kasvun edistämiseksi, kertoo levänkasvatushankkeen projektipäällikkö Jari Järvinen.

riteollisuuden prosessitekniikkaa.

"Hanke kiinnostaa sellu- ja paperiteollisuutta todella paljon. Marraskuuhun mennessä valmistuvat laskelmat siitä, kuinka suureksi energian arvo nousee. Ehkäpä peräti kymmeneen miljoonaan euroon", Järvinen kertoo.

BioA Luonnollisesti -menetelmälle ja -laitteistolle Cursor on hakenut historiansa ensimmäisen patentin.

"Jos Euroopan markkinoilla saataisiin menetelmälle 30 prosentin osuus, se tarkoittaisi miljardin euron liikevaihtoa vuodessa. Jos koneiden ja laitteiden

Levä kiinnostaa maailmalla

& Levän hyödyntämistä ovat tutkineet kuumeisesti erityisesti Yhdysvallat ja Hollanti. Tavoitteena on löytää edullinen öljyn lähde, koska levästä on öljyä kymmenkertaisesti öljypalmuun verrattuna.

Öljyn erottaminen levästä on kuitenkin osoittautunut

hankalaksi.

Anjalan hankkeessa keskitytään levän erottamiseen vedestä ja sen yhdistämiseen muuhun jätteeseen.

Pilottilaitoksen kustannukset ovat 20 miljoonaa euroa. Laskelmien mukaan laitos maksaa itsensä takaisin neljässä vuodessa.

suunnittelu ja valmistus saadaan pidettyä Kymenlaaksossa, maankuntaan olisi mahdollista saada

moninkertaisesti se raha, mikä perinteisesti on saatu", Järvinen odottaa. ■

Laskelmia savukaasujen ominaisuuksista

Laskukaavojen merkkien selitykset

r = kaasukomponentin tilavuusosuus kuivissa kaasuissa

M = moolimassa [kg/kmol]

V_n = kaasukomponentin moolitilavuus normaalitilassa [m³/kmol]

ρ_{dn} = kuivan kaasun tiheys [kg/m³] normaalitilassa

ρ_{vn} = vesihöyryn tiheys normaalitilassa (0,8038 kg/m³)

ρ_{wn} = kostean kaasun tiheys normaalitilassa [kg/m³]

ρ_{ws} = kostean kaasun tiheys kanavassa [kg/m³]

x_s = veden ja kuivan kaasun massasuhte kanavassa [kg/kg]

T_n = kaasun lämpötila normaalitilassa (273,15 K)

T_s = kaasun lämpötila kanavassa [K]

p_n = kaasun paine normaalitilassa [101,3 kPa]

p_s = kaasun paine kanavassa [kPa]

k = mittauslukumäärä

P_{dyn} = kaasun dynaaminen paine kanavassa [Pa]

v_{ws} = kostean kaasun nopeus kanavassa [m/s]

D = savukanavan halkaisija

q_{wn} = kostean kaasun keskimääräinen tilavuusvirta normaalitilassa [m³/s]

q_{ws} = kostean kaasun keskimääräinen tilavuusvirta kanavassa [m³/s]

q_{dn} = kuivan kaasun keskimääräinen tilavuusvirta normaalitilassa [m³/s]

O_2 = savukaasujen happipitoisuus [%]

λ = polton ilmakerroin

Mittausarvoista on laskettu seuraavassa kuivan kaasun tiheys normaalitilassa, kostean kaasun tiheys normaalitilassa, kostean savukaasun tiheys kanavassa, kostean kaasun keskimääräinen nopeus kanavassa, kostean kaasun tilavuusvirta kanavassa, kostean kaasun tilavuusvirta normaaliolosuhteissa, kuivan kaasun tilavuusvirta normaalitilassa ja poltossa käytetty ilmakerroin.

Kuivan kaasun tiheys normaalitilassa lasketaan kg/m³

$$r_{\text{CO}_2} := 0.14; \quad M_{\text{CO}_2} := 12.01 + 16 + 16 = 44.01 \quad V_{\text{CO}_{2n}} := 22.26$$

$$r_{\text{O}_2} := 0.05; \quad M_{\text{O}_2} := 16 + 16 = 32 \quad V_{\text{O}_{2n}} := 22.39$$

$$r_{\text{CO}} := 0.00000$$

$$r_{\text{N}_2} := 1 - r_{\text{CO}_2} - r_{\text{O}_2} - r_{\text{CO}} = 0.8 \quad M_{\text{N}_2} := 28.016 \quad V_{\text{N}_{2n}} := 22.40$$

$$\rho_{\text{dn}} := r_{\text{CO}_2} \frac{M_{\text{CO}_2}}{V_{\text{CO}_{2n}}} + r_{\text{O}_2} \frac{M_{\text{O}_2}}{V_{\text{O}_{2n}}} + r_{\text{N}_2} \frac{M_{\text{N}_2}}{V_{\text{N}_{2n}}} = 1.366 \frac{\text{m}^3 \cdot \text{kg}}{\text{kg} \cdot \text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{dn}} := 0.145 \frac{44.01}{22.26} + 0.055 \frac{32}{22.39} + 0.8 \frac{28.016}{22.40} = 1.366 \text{ kg/m}^3$$

Kostean kaasun tiheys normaalitilassa kg/m³

$$\rho_{\text{wn}} := \rho_{\text{dn}} \cdot \frac{1 + x_s}{1 + \frac{x_s \cdot \rho_{\text{dn}}}{\rho_{\text{vn}}}} \quad \rho_{\text{wn}} := 1.366 \frac{1 + 0.07}{1 + \frac{0.07 \cdot 1.366}{0.8038}} = 1.306 \frac{\text{m}^3 \cdot \text{kg}}{\text{kg} \cdot \text{m}^3}$$

Kostean savukaasun tiheys kanavassa kg/m³

$$\rho_{\text{wn}} = 1.306$$

$$T_{\text{n}} := 273$$

$$T_{\text{s}} := 273 + 79 = 352$$

$$p_{\text{s}} := 100.9 \frac{\text{kPa}}{\text{kg}}$$

$$p_{\text{n}} := 101.3 \frac{\text{kPa}}{\text{kg}}$$

$$\rho_{\text{ws}} := \rho_{\text{wn}} \cdot \frac{T_{\text{n}}}{T_{\text{s}}} \cdot \frac{p_{\text{s}}}{p_{\text{n}}} = 1.009 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{ws}} := 1.306 \cdot \frac{273}{352} \cdot \frac{100.9}{101.3} = 1.009 \text{ kg/m}^3$$

Kostean kaasun keskimääräinen nopeus kanavassa m/s

$$k := 4$$

$$P_{\text{dy1}} := 50 \frac{\text{kPa}}{\text{kg}}$$

$$P_{\text{dy2}} := 67 \frac{\text{kPa}}{\text{kg}}$$

$$P_{\text{dy3}} := 85 \frac{\text{kPa}}{\text{kg}}$$

$$P_{\text{dy4}} := 55 \frac{\text{kPa}}{\text{kg}}$$

k=mittauskertojen lukumäärä dynaaminen paine, paineen arvot mitattu savukanavasta

$$v_{\text{ws}} := \sqrt{\frac{2}{\rho_{\text{ws}}}} \cdot \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=k}^k \sqrt{P_{\text{dyni}}}$$

$$v_{\text{ws}} := \sqrt{\frac{2}{1.009}} \cdot \frac{1}{4} \cdot (\sqrt{50} + \sqrt{67} + \sqrt{85} + \sqrt{55}) = 11.225$$

Kostean kaasun tilavuusvirta kanavassa m³/s

$$D := 0.1 \text{ m}$$

$$q_{\text{ws}} := v_{\text{ws}} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0.226 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$0.226 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Kostean kaasun tilavuusvirta normaalioloissa m³/s

$$q_{\text{wn}} := q_{\text{ws}} \cdot \frac{T_{\text{n}}}{T_{\text{s}}} \cdot \frac{p_{\text{s}}}{p_{\text{n}}}$$

$$q_{\text{wn}} := 0.226 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \frac{273}{273 + 79} \cdot \frac{101.6}{101.3} = 0.176 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Kuivan kaasun tilavuusvirta normaalitilassa m³/s

$$q_{\text{dn}} := q_{\text{wn}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{x_s \cdot \rho_{\text{dn}}}{\rho_{\text{wn}}}} = 0.162 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_{\text{dn}} := 0.176 \cdot \frac{1}{1 + \frac{0.071 \cdot 1.366}{1.306}} = 0.164 \text{ m}^3/\text{s}$$

Polton ilmakertoimen laskenta

$$O_2 := 5.5\%$$

$$\lambda := \frac{21}{21 - O_2}$$

$$\lambda := \frac{21}{21 - 5.5} = 1.355$$

(Ilmansuojelu, päästöt. Kiintoaineiden määrittäminen manuaalisella menetelmällä Suomen standardoimisliitto SFS 3866 s.12-13)