

BIOKAASUA JÄRVIKASVEISTA

Rehevöityneiden järvien niittojätteen metaanintuottopotentiaali

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan laitos
Ympäristötekniikan koulutusohjelma
Ympäristöbiotekniikan suuntautumisvaihtoehto
Opinnäytetyö
Kevät 2009
Marja-Leena Vitie

KIIITOKSET

Kiitos Helsingin yliopiston Lammin biologiselle asemalle työn toteutuksen mahdollistamisesta. Henkilökunnalle kiitos ohjauksesta ja avustuksesta työn tekemisessä. Lammin biologiselta asemalta työtä ohjasivat Jaakko Vainionpää, Hannu Nykänen ja Paula Kankaala ja Lahden ammattikorkeakoulusta yliopettaja Silja Kostia.

Lahden ammattikorkeakoulu
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

VITIE, MARJA-LEENA: Biokaasua järvikasveista
Rehevöityneiden järvien niittojätteen metaanintuotto-
potentiaali

Ympäristöbiotekniikan opinnäytetyö, 61 sivua, 2 liitesivua

Kevät 2009

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli laboratoriomittauksin selvittää neljän eri vesikasvilajin biomassan metaanintuottopotentiaalia. Kasvit ovat uistinviita, järvi-ruoko, järvikorte ja vesirutto. Tulosten perusteella voidaan arvioida järvistä poistetun kasvibiomassan käyttömahdollisuuksia hajautettuun biokaasuntuotantoon.

Biomassan hyödynnettävyyttä biokaasuksi tutkittiin hapettomassa hajotusprosessissa kahta eri menetelmää käyttäen, ja tuloksia tarkastellaan mitaten tuotetun metaanin määrää biomassaa kohti. Toinen menetelmä perustuu paineen mittaukseen OxiTop®-menetelmällä ja toinen menetelmä kaasunäytteiden analysoitiin kaasukromatografilla. Molempien menetelmien antamien tulosten perusteella voidaan todeta, että tutkituista neljästä vesikasvista vesirutolla on paras metaanintuottopotentiaali.

Koeolosuhteilla on merkittävä vaikutus tuloksiin. Jatkotutkimushaasteet liittyvät koejärjestelyn parantamiseen. Prosessilämpötila olisi syytä saada korotettua 35 °C:seen ja mädätysaineen pH:n sekä ravinnepitoisuuden pitäisi olla säädeltävissä koejärjestelyn aikana.

Tutkimusaihe yhdistää sivuvirtojen hyödyntämisen bioenergian tuotannossa ja vesien- ja ilmastonsuojelun. Vesikasveja poistetaan rehevöityneistä vesistöistä ravinteiden vähentämiseksi ja umpeenkasvun estämiseksi. Nykytilanteessa niittojätteelle ei useinkaan ole järkevää käyttökohdetta. Tutkimusten mukaan järvikasvillisuuden hajotessa litoraalisella eli rantavyöhykkeellä kasveista vapautuu merkittäviä määriä voimakkaana kasvihuonekaasuna tunnettua metaania (CH₄) ilmakehään. Poistamalla kasvimassoja litoraalista ennen hajotusvaihetta voitaisiin vähentää metaanin siirtymistä ilmakehään ja sen sijaan siirtää se hallitussa prosessissa energiantuotantoon. Työhön on liitetty arvio tällaisen toiminnan soveltuvuudesta käytäntöön. Voimistuneen ilmastomuutoksen myötä ja fossiilisten polttoaineiden käydessä vähiin on maailmanlaajuisesti etsittävä uudenlaisia energiamuotoja ja energianlähteitä vastaamaan energiankulutukseen.

Avainsanat: Bioenergia, mädätys, vesiensuojelu, niittojätteet, jätteiden hyötykäyttö, ilmastonsuojelu.

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Environmental Technology

VITIE, MARJA-LEENA: Biogas from aquatic plants
The methane production potential of aquatic vegetation's mowing waste from eutrophic lakes

Bachelor's Thesis in Environmental Biotechnology, 61 pages, 2 appendixes

Spring 2009

ABSTRACT

The aim of this thesis was to examine the suitability of aquatic vegetation's mowing waste from eutrophic lakes as a feedstock for a biogas process. The object of this study was to assess the potential of methane production for four aquatic plants which are *Potamogeton natans*, *Phragmites australis*, *Equisetum fluviatile* and *Elodea canadensis*. The study was put into practice in anaerobic conditions using two different methods.

Methane gas (CH₄) is produced by anaerobic Archaea in many natural environments. Methane is an effective greenhouse gas and warms up the climate. Small lakes and ponds in the north have been shown to be important sources of CH₄ emissions. High emissions have been measured especially from the littoral zones of the lakes where the vegetation is the most abundant.

Aquatic vegetation has been often mowed for restoration of eutrophic lakes. As the biomass of the plants has been removed from the lake, it decreases the amount of nutrients in an eutrophic lake. When the dead plants are removed from the lake, they do not biodegrade in the bottom of littoral zone and do not consume the oxygen from the lake.

At the present situation a sensible way to use the biomass is seldom found. If the aquatic vegetation's mowing waste could be used as a biogas source it would be a sensible way to utilize the waste and, moreover, it would decrease the CH₄ emissions from the lake to the atmosphere. This study integrates the protection of waters, waste recovery, the control of air pollution and the production of bioenergy.

The results of this study indicate that *Elodea canadensis* has the highest potential of methane production of these four aquatic plants in those experimental conditions that prevailed during this study. In the future it would be possible to improve the experiment. It would be better if the temperature of the process was 35 °C and if it was possible to regulate the pH and the nutrients during the study. Those conditions may have a great impact to the results of the methane production potentials.

Key words: Bioenergy, anaerobic digestion, protection of waters, mowing waste, waste recovery, air pollution control.

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 1 |
| 2 | ANAEROBINEN HAJOAMINEN JA BIOKAASUNTUOTANTO | 3 |
| 2.1 | Anaerobinen hajoaminen | 3 |
| 2.2 | Anaerobinen jätteidenkäsittely | 5 |
| 2.3 | Maatilojen bioreaktorit | 6 |
| 2.4 | Järviruo'on biokaasukäyttö | 7 |
| 2.5 | Eräiden kasvibiomassojen metaanintuottopotentiaaleja | 8 |
| 3 | JÄRVIEN KUNNOSTUS KASVINPOISTOLLA | 10 |
| 3.1 | Kunnostustarve ja luonnonsuojelulliset näkökohdat | 10 |
| 3.2 | Uposkasvit | 12 |
| 3.2.1 | Uposkasvien haittavaikutukset | 13 |
| 3.2.2 | Uposkasvien poistaminen | 13 |
| 4 | TUTKIMUSMATERIAALI | 15 |
| 4.1 | Kasvit | 15 |
| 4.1.1 | Uistinviita (<i>Potamogeton natans</i>) | 16 |
| 4.1.2 | Järviruoko (<i>Phragmites australis</i>) | 17 |
| 4.1.3 | Järvikorte (<i>Equisetum fluviatile</i>) | 18 |
| 4.1.4 | Vesirutto (<i>Elodea canadensis</i>) | 19 |
| 4.2 | Sedimenttiymppe | 20 |
| 4.3 | Tutkimusmateriaalin lähteenä käytetyt järvet | 20 |
| 4.3.1 | Pääjärvi | 21 |
| 4.3.2 | Ormajärvi | 21 |
| 4.3.3 | Suolijärvi | 22 |
| 4.3.4 | Kataloistenjärvi | 22 |
| 5 | ANALYYSIT | 22 |
| 5.1 | Määritykset kasveista | 22 |
| 5.2 | Metaanintuottopotentiaalnin mittaus | 25 |
| 5.2.1 | Menetelmä A: paineen mittaus Oxi Top®-menetelmällä | 25 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.2.2 | Menetelmä B: kaasunäytteiden analysointi kaasukromatografilla | 26 |
| 6 | TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU | 28 |
| 6.1 | Määrietykset kasveista | 28 |
| 6.2 | Biokaasuntuottopotentiali | 29 |
| 6.2.1 | Biokaasuntuotto OxiTop®-menetelmän paineenmittauksella mitattuna | 29 |
| 6.2.2 | Biokaasuntuotto kaasukromatografia-analyysien avulla mitattuna | 34 |
| 7 | YHTEENVETO KOEJÄRJESTELYISTÄ JA JATKOTUTKIMUSHAASTEET | 39 |
| 8 | ARVIO KÄYTÄNTÖÖN SOVELTUVUUDESTA | 41 |
| 8.1 | Reunaehdot ja oletukset | 42 |
| 8.2 | Mallijärvenlahden tiedot | 44 |
| 8.3 | Arvio ilman toimia litoraalista ilmakehään vapautuvan metaanin määrästä | 44 |
| 8.4 | Arvio niiton ja biokaasutuksen energiankulutuksesta | 47 |
| 8.5 | Arvio mädätyksessä niittojätteistä saatavan metaanin määrästä | 48 |
| 8.6 | Vesiruton soveltuvuusarvio | 51 |
| 8.7 | Yhteenveto soveltuvuusarviolle | 52 |
| 9 | POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET | 52 |
| | LÄHTEET | 56 |
| | LIITTEET | 62 |

1 JOHDANTO

Euroopan Yhteisölle on asetettu sitova tavoite, jonka mukaan vuoteen 2020 mennessä uusiutuvien energialähteiden on tyydytettävä 20 % energiankulutuksesta ja vähintään 10 % liikenteen polttoaineista on saatava uusiutuvista lähteistä. Uusiutuvan energian hyödyntämistä puoltavat monet seikat. Uusiutuvaa energiaa käyttämällä saadaan vähennettyä kasvihuonekaasupäästöjen määrää ja ilman saastumista. Tämä auttaa lieventämään ihmistoiminnan vaikutuksesta kiihtynyttä ilmastomuutosta. Energiansaanti voitaisiin turvata uusiutuvia lähteitä käyttämällä nykyistä paremmin, sillä uusiutuvan energian tuotantoon käytetään kotoperäisiä raaka-aineita ja kotimaisia käyttämällä riippuvaisuus nykyisten energianlähteiden ulkomaalaisista toimittajista vähenisi. Uusiutuvan energian hyödyntäminen toisi mukanaan työpaikkoja sekä taloudellista kasvua ja edistäisi kilpailukykyä ja kehitystä Euroopan eri alueilla ja maaseudulla. Uusiutuvaa energiaa hyödyntäen voidaan vahvistaa paikallista ja hajautettua energiantuotantoa ja edistää huipputason teknologian kehittymistä ja käyttöä. (Euroopan Yhteisöjen komission ehdotus 2008, 2-5.)

Metaani (CH₄) on ilmakehässä voimakas kasvihuonekaasu. Sen on arvioitu olevan 100 vuoden aikajaksolla vaikutukseltaan 23 kertaa hiilidioksidia (CO₂) voimakkaampi (Houghton, Ding, Griggs, Noguer, van der Linder, Dai, Maskell & Johnson 2001, 244). Metaania syntyy luonnossa hapettomissa ympäristöissä, esimerkiksi soilla, vesistöjen sedimentissä ja eläinten ruuansulatuskanavassa. (Madigan & Martinko 2006, 342). Tällä hetkellä maailmanlaajuisesti arviolta noin 40 % metaanipäästöistä ilmakehään on peräisin luonnonvaraisilta tai maatalouden kosteikoilta, kun mukaan lasketaan myös suot ja rannat (Hein, Crutzen & Heimann 1997; Lelieveld, Crutzen & Dentener 1998.) Pohjoisilla alueilla turvesoiden lisäksi pienet järvet ja lammet ovat merkittäviä metaaninlähteitä (Huttunen, Alm, Liikanen, Juutinen, Larmola, Hammar, Silvola & Martikainen 2003). Tutkimusten mukaan nimenomaan litoraali- eli rantavyöhyke tuottaa järven merkittävimmät metaaninpäästöt ilmakehään (Hyvönen, Ojala, Kankaala & Martikainen 1998; Juutinen, Alm, Larmola, Huttunen, Morero, Martikainen, Silvola, 2003). Metaa-

nia syntyy pääosin rantojen sedimentissä hajoavasta kasvibiomassasta. Kasvit kuljettavat sedimentissä syntyvää metaania ilmaan tuuletussolukoidensa kautta, kun kasvi tuulettaa juuristoaan (Dacey & Klug 1979; Kankaala, Ojala & Käki 2004).

Käynnissä olevan ilmastonmuutoksen uskotaan vaikuttavan järvien metaanintuotantoa lisäävästi. Ilmaston lämpeneminen vähentää veden pinnankorkeuden nousua kevättulvien aikaan, mikä parantaa vesikasvien, ainakin järviruo'on, kasvua. Jos kevättulvia ei esiinny, edellisen kasvukauden detritus eli kuollut orgaaninen aines kerääntyy litoraaliin eli rantavyöhykkeeseen. Tämä tuo lisää raaka-ainetta, substraattia, pohjassa tapahtuvaan anaerobiseen hajotukseen ja parantaa metanogeenien eli metaania tuottavien mikro-organismien kasvuedellytyksiä ja tätä kautta lisää boreaalisten järvien metaanintuottoa. Rehevillä kasvupaikoilla lämpötilan kuitenkin on todettu olevan substraattia tärkeämpi tekijä boreaalisten järvien metaanintuoton lisääntymisessä. (Kankaala, Käki, Mäkelä, Ojala, Pajunen & Arvola 2005.)

Kasvibiomassan poisto rantavyöhykkeiltä on paljon käytetty rehevöityneiden järvien kunnostusmenetelmä. Ravinteita poistetaan vesistöistä sitomalla niitä poistettavaan kasvibiomassaan. Poistoilla estetään järvien umpeenkasvua ja kasvibiomassan hajotusta järvenpohjassa. Tällöin kasvibiomassa ei jää hajoamaan järven pohjaan ja kuluttamaan hajotessaan happea. (Ulvi & Lakso 2005, 254.) Kun happi loppuu, hapettomissa olosuhteissa toimivat hajottajamikrobit alkavat tuottaa metaania, joka karkaa ilmakehään. Järvistä kunnostuksen yhteydessä yleensä poistettavia kasveja ovat isosorsimo (*Glyseria maxima*), järvikorte (*Equisetum fluviatile*), järviruoko (*Phragmites australis*), karvalehti (*Ceratophyllum demersum*), uistinviita (*Potamogeton natans*) ja vesirutto (*Elodea canadensis*). (Vesikasvien poisto SYKE 2008.)

Poistetulle kasvibiomassalle eli niittojätteelle ei nykytilanteessa ole useinkaan löydetty soveliaista jatkokäyttöä. Kasvibiomassan hallittu mädättäminen estäisi metaanin karkaamista ilmakehään ja samalla mahdollistaisi syntyvän metaanin hyötykäytön energiantuotannossa. Rehevöityneistä järvistä voitaisiin siis poistaa

ylimääräisiä ravinteita sitomalla niitä kasvibiomassaan, jota hyödynnettäisiin biokaasuntuotannossa ja samalla vähennettäisiin metaanipäästöjä ilmakehään. Rehevoityneet järvet sijaitsevat usein lähellä maatalousalueita. Järvien kunnostuksessa syntyvät niittojätteet siis läjitetään usein lähellä maataloutta ja maatiloja. Mikäli maatiloilla olisi omia bioreaktorilaitoksia, olisi luonnollista toimittaa niittojätteitä niiden käsittelyyn. Niittojätteitä voitaisiin mahdollisesti käyttää seosaineena muun jätteen kanssa.

Teknisesti tuotettu biokaasu on kaasujen seos. Yleensä se sisältää 40-70 % metaania, 30-60 % hiilidioksidia ja hyvin pieninä pitoisuuksina mm. rikkiyhdisteitä. Vuonna 2006 Suomessa oli 44 biokaasureaktoria ja reaktorilaitoksilla tuotettiin yhteensä 28,3 milj. m³ biokaasua. Tuotetusta biokaasusta 86 % hyödynnettiin muun muassa lämmön ja sähköntuotannossa. Biokaasusta tuotettiin energiaa 131,9 GWh. (Suomen biokaasuyhdistyksen esite 2008.)

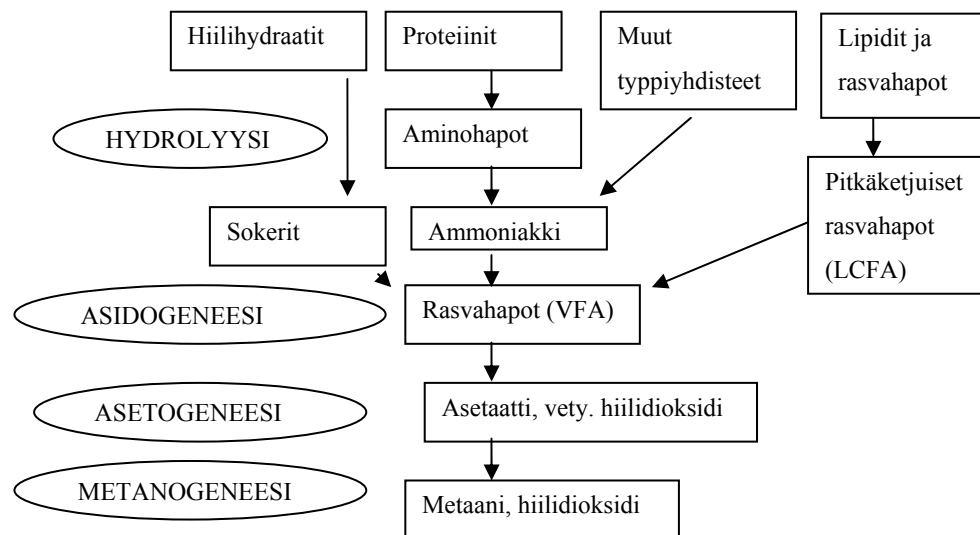
Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli laboratoriomittauksin selvittää neljän eri vesikasvilajin biomassan metaanintuottopotentiaalia. Tuloksia tarkastellaan mitatun tuotetun metaanin määrää biomassaa kohti. Tulosten perusteella voidaan arvioida järvistä poistetun kasvibiomassan käyttömahdollisuuksia hajautettuun biokaasuntuotantoon. Biomassan hyödynnettävyyttä biokaasuksi tutkittiin hapettomassa hajotusprosessissa kahta eri menetelmää käyttäen. Toinen menetelmä perustuu paineen mittaukseen OxiTop®-menetelmällä ja toinen menetelmä kaasunäytteiden analysointiin kaasukromatografilla. Tutkimusaihe yhdistää sivuvirtojen hyödyntämisen bioenergian tuotannossa sekä vesien- ja ilmastonsuojelun.

2 ANAEROBINEN HAJOAMINEN JA BIOKAASUNTUOTANTO

2.1 Anaerobinen hajoaminen

Metaania muodostuu anaerobisten arkkien eli metanogeenien ja muiden anaerobisten mikro-organismien yhteistoiminnan tuloksena. Metanogeenit hajottavat orgaanista ainesta hapettomissa olosuhteissa monimutkaisten reaktioiden kautta.

Metanogeenit sinällään eivät pysty hajottamaan kaikkia yhdisteitä vaan ne yleensä käyttävät muiden mikrobien pilkkomia yksinkertaisia yhdisteitä. Metaanin muodostusprosessia kutsutaan metanogeneesiksi. Käytännössä oikealla mikrobikannalla voidaan tuottaa metaania ja hiilidioksidia mistä tahansa orgaanisesta yhdisteestä. (Madigan & Martinko 2006, 426, 430, 564-565.)



KUVIO 1. Kuva anaerobisesta hajotusketjusta (Dolfing 1998, Madigan ym. 1997, Schomaker ym. 2000, Rintalan ym. 2002 mukaan itse mukailleen).

Anaerobisen hajotusketjun tärkeimmät vaiheet ovat hydrolyysi, asidogeneesi eli happokäyminen, asetogeneesi eli etikkahappokäyminen ja metanogeneesi eli metaanikäyminen. Hajotusketju on kuvattu kuviossa 1. Ensimmäisessä vaiheessa eli hydrolyysissä fermentatiiviset mikrobit hydrolysoivat monimutkaiset orgaaniset yhdisteet liukoisiksi yhdisteiksi. Näin syntyvät yhdisteet fermentoidaan asidogeneesissä edelleen orgaanisiksi hapoiksi ja alkoholeiksi. Hydrolyysiä ja asidogeneesiä seuraa asetogeneesi. Asetogeneesin lopputuotteina syntyy vetyä, hiilidioksidia, formiaattia sekä asetaattia. Tapahtumasarjan viimeinen vaihe on metanogeneesi, jossa metanogeenit tuottavat edellisen vaiheen lopputuotteista metaania ja hiilidioksidia. (Madigan & Martinko 2006.)

Mädätysprosessin ja kaasuntuotannon varmistamiseksi lämpötilan, pH:n, hajotettavan materiaalin ravinteiden sekä haihtuvien happojen pitoisuuksien on oltava oikealla tasolla. Metanogeenit vaativat tehokkaasti toimiakseen tasaisen lämpötilan. Tavallisesti biokaasuprosesseissa käytettäviä lämpötiloja ovat 35 °C tai 55 °C. Termofiilinen mädätys (55 °C) on mesofiilistä (35 °C) tehokkaampi mutta vaatii enemmän energiaa syötemassan lämmitykseen, ja prosessia on vaikeampi hallita. (Laukkanen, Hartikainen, Kostia & Rautio 2003, 94.)

Anaerobiselle hajoamiselle kaikkein suotuisin pH:n vaihteluväli on 6,5-7,5. Mikrobit pystyvät kuitenkin hajottamaan hiilihydraatteja alhaisemmassakin pH:ssa 5-6. Hajotusprosessissa kaikkein herkin vaihe pH:n suhteen on hajotusketjun viimeinen vaihe, eli metaanin muodostuminen. Toimiva biokaasuprosessi on itsepuskuroituvaa ja prosessi pitää pH:n yleensä suotuisalla alueella. Tarvittaessa kuitenkin pH:ta voidaan säädellä prosessissa ulkopuolelta. (Lehtomäki, Paavola, Luostarinen & Rintala 2007, 25.)

Anaerobiset mikrobit tarvitsevat toimiakseen ravinteita. Optimaalisen toiminnan kannalta ravinteita, esimerkiksi typpeä ja fosforia, on oltava hajotettavassa materiaalissa oikeassa suhteessa. Jos mikrobeilla on puutetta ravinteista, se rajoittaa niiden kasvua ja hidastaa ja estää anaerobisen hajoamisreaktion kulkua. Prosessin yhteydessä voi ilmetä myös muita biokemiallisia hajoamista hidastavia tekijöitä eli inhibiitioita. (Hobson & Wheatley 1993; Mata-Alvarez, Mace & Llabres 2000 Lehtomäen ym. 2007a, 25 mukaan.)

2.2 Anaerobinen jätteidenkäsittely

Jätteidenkäsittelyä koskevat säännökset ovat tiukentuneet viime vuosina. Vaatimuksena on, että jätteet on hyödynnettävä ekologisella, luonnonvaroja säästävällä ja kestäväällä kehitystulehdulla tavalla. Koska biojäte on käsiteltävä pääsääntöisesti biologisesti, jää käsittelymahdollisuudeksi jäljelle kaksi päävaihtoehtoa: kompostointi ja mädätys. Mädätys on todettu taloudellisesti ja energiataloudellisesti kannattavaksi tavaksi käsitellä jätevesiä ja biojätteitä. Mädätyksen avulla jätteestä saadaan energiaa hyötykäyttöön ilman, että prosessiin tarvittaisiin ulkoista energi-

anlähde. Kylmässä ilmastossa lämmitysenergiaa tosin tarvitaan syötteen lämmittämiseen ja prosessin ylläpitoon, mutta siihen voidaan käyttää mädätyksessä itse tuotettua energiaa. Mädätyksen päästöt ilmaan, vesistöihin ja maaperään ovat hallittavissa. (Edelmann, Schleiss & Joss 1999 Rintalan ym. 2002, 16 mukaan; Luostarinen 2007, 37.)

Erialaisten jätteiden yhteiskäytön on todettu sopivan anaerobiselle prosessille. Eri- laisia jätteitä yhdistelemällä jätemassaan saadaan enemmän ja monipuolisemmin ravinteita kuin yhtä jätelajia käyttämällä. Lisäksi erilaisia jätemateriaaleja harkitusti yhdistellen saadaan paremmin säädettyä prosessille sopiva pH ja kosteuspi- toisuus yhden jätelajin käyttöön verrattuna, eikä prosessin ulkoista säätelyä tällöin tarvita välttämättä lainkaan. Laitos on rakennettava niin, että se mahdollistaa mah- dollisimman monipuolisen mädätysraaka-aineen käytön. Jätteiden kuljetuksissa ja massojen sekoittelussa on huomioitava ja estettävä patogeeneiden ja erilaisten hait- ta-aineiden leviäminen jätteiden mukana. (Dolfing & Widdel 1998 Rintalan ym. 2002, 17 mukaan.)

2.3 Maatilojen bioreaktorit

Maatilojen energiaomavaraisuusaste laski hyvin alas 1900-luvun loppupuolella. Ilmasto- ja energiapolitiikka kuitenkin kehittyi 2000-luvulle tultaessa ilmaston- muutoksen ja energian hinnannousun kautta uusiutuvaa ja hajautetusti tuotettua energiaa suosivammaksi, joten omavaraisuusastetta halutaan jälleen nostaa. Kiin- nostus maatilojen omia energiantuottotapoja, kuten bioreaktoreita, kohtaan on noussut vuosituhannen vaihteesta alkaen. Kansainvälinen ilmastopolitiikka on niin vahvasti esillä energiantuotannossa, että kasvihuonekaasujen synnyn ehkäi- seminen on pakko ottaa huomioon kaikessa teollistuneen maailman energiantuo- tannossa. Paikallisesti uusiutuvilla energianlähteillä tuotettu energia tulee siten olemaan tulevaisuuden energiantuotannossa parempi vaihtoehto kuin vallitsevassa tilanteessa suositut fossiiliset polttoaineet tai ydinvoimalla tuotettu energia. Elin- keinorakenteen muuttuessa maatilojen koko on kasvanut, joten isolle tilalle voi taloudellisesti olla erittäin kannattavaa tuottaa itse energiansa. Biokaasua voidaan käyttää monipuolisesti polttoaineena, siitä saadaan tuotettua sekä lämpöä että säh-

köä. Maatiloilta syntyy toimintansa seurauksena runsaasti jätteitä, joita voitaisiin käyttää anaerobiseen hajotukseen ja biokaasuntuotantoon. (Rintala, Lampinen, Luostarinen & Lehtomäki 2002, 4.)

2.4 Järviruo'on biokaasukäyttö

Järviruo'on energiakäyttöä on tutkittu Viron ja Suomen ruovikkostrategia yhteistyöprojektissa. Energiakäyttötutkimuksissa on tähän asti pääosin keskitytty tutki- maan järviruo'on soveltuvuutta polttoon. Polttoon menevä järviruo'ko kerättäisiin sen ollessa kuivimmillaan talvella, kun taas biokaasukäyttöön tulevan ruo'on pi- täisi olla tuoretta. Talvella järviruo'ko kerättäisiin jään päältä, mikä ei siten sovellu biokaasukäyttöön tulevan ruo'on korjuuseen. (Komulainen, Simi, Hagelberg, Iko- nen & Lyytinen 2008, 43.)

Tallinnan teknillisessä yliopistossa on tehty hyvin pienimuotoisia ja alustavia tut- kimuksia järviruo'on biokaasutuksesta. Tutkimuksessa vihreästä ruokomassasta on saatu tuotettua biokaasua 400-500 m³/tonni. Tuotetun kaasun metaaniprosentti oli 55-60 %. Tutkittaessa järviruo'on kelvollisuutta polttoon on arvioitu, että jär- viruo'on hehtaarisato vastaa energiasisällöltään 1,5-2 sähkölämmitteisen omakoti- talon sähköntarvetta. Järviruo'ko tuottaa satoa keskimäärin 5-12 tonnia hehtaarilta, mutta vesistön ravinteisuus ja muut olosuhteet vaikuttavat hehtaarisatoon. (Komu- lainen ym. 2008, 19, 43, 45-46.)

Järviruo'ko muistuttaa energiakasvina käytettyä ruokohelpeä. Järviruo'on biokaa- supotentiaalin arvellaan olevan samaa luokkaa ruokohelven kanssa, mutta tämän todistaminen vaatii vielä lisätutkimuksia. Ruokohelven metaanintuotto vaihtelee välillä 2900-5400 m³ metaania hehtaarisadolta. Tämä vastaa 28-53 MWh/ha ener- giamäärää. Erilaisten peltobiomassojen biokaasuntuottoa, esikäsittelyä ja varas- tointia tutkittaessa on todettu, että kasvin pilkkominen palasiksi vauhdittaa hajo- tusta ja säilöntäaineiden käyttö varastoinnissa kannattaa. Lajista riippumatta kas- vin pilkkominen palasiksi kannattaa, sillä siten saadaan lisää reagoivaa pintaa ja lisävauhtia vaikeiden polymeeriyhdisteiden, esimerkiksi lignoselluloosan, hajo- tukseen. Kasvimateriaalin varastointitapa vaikuttaa säilyvyyteen. Säilöminen il-

man säilöntäaineita alentaa biokaasuntuottoa. (Komulainen ym. 2008, 43; Lehtomäki 2007b, 545.)

Globaalin luonnossa vallitsevan hiilidioksiditasapainon kannalta bioenergian käyttö on fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna suositeltavaa, sillä bioenergiälähteiden käytössä vapautuva CO₂ sitoutuu materiaalin kasvuvaiheessa uuteen biomassaan. Mikäli järviruo'olla tai millä tahansa muulla kasvimassalla korvataan fossiilisia polttoaineita, vähennetään ilmastoa lämmittäviä CO₂-päästöjä. Järviruo'on energiapolttoa tutkittaessa on arvioitu, että mikäli yhden ruovikkohehtaarin tuotolla korvataan noin 2000 litraa lämmitysöljyä, aikaansaadaan kuuden tonnin vähennys CO₂-päästöissä. Arvion mukaan Etelä-Suomen ruovikkovarot olisivat noin 150 000 tonnia vuodessa. Mikäli koko Etelä-Suomen ruovikkovaran otettaisiin energiakäyttöön, saavutettaisiin 180 000 tonnin CO₂-päästövähennelmä. Tämä on kuitenkin vain teoreettinen arvio, sillä ruokovarojen todelliseen käyttömahdollisuuteen vaikuttavat kerättävän materiaalin määrä ja laatu, sijainti, omistussuhteet, vesialueen omistajien suhtautuminen ja luonnon-suojelunäkökohdat. (Komulainen ym. 2008, 19, 47.)

Vesikasvibiomassat olisivat energialähteenä paikallisia. On perusteltua ajatella, että järviruo'on ja muiden vesikasvibiomassojen käytöllä olisi positiivisia vaikutuksia paikalliseen työllisyyteen siellä, missä vesikasvillisuutta on runsaasti, eli meren ja järvien rannoilla. Työllistävä vaikutus olisi siis pääosin suurten taajamien ulkopuolella maaseudulla. Biomassan käyttö uusiutuvana energiana vähentää kasviuonekaasuja edellyttäen, että biomassaa muodostuu uudelleen energiakäytössä poistuva määrä, ja että käytössä vapautuva hiilidioksidi sitoutuu uuteen biomassaan. Rantojen umpeenkasvun estämisen lisäksi vesikasvien korjuu parantaisi vedenlaatua. Lisäksi olisi mahdollista kierrättää veteen joutuneet ravinteet lannoitteeksi pelloille. (Komulainen ym. 2008, 46, 48.)

2.5 Eräiden kasvibiomassojen metaanintuottopotentiaaleja

Erilaisten kasvimateriaalien metaanintuottopotentiaaleja on tutkittu eri puolilla maailmaa erilaisissa olosuhteissa. Tämän tutkimuksen tulosten vertailukohdaksi

valittiin Lehtomäen ym. (2007) Suomessa tekemä tutkimus, jossa oli mukana Suomen olosuhteissa kasvukykyisiä maalla kasvavia kasvilajeja. Kyseisessä tutkimuksessa mädätyskokeet tehtiin + 35 °C:n lämpötilassa kahden litran lasipulloissa ja puskurina käytettiin natriumvetykarbonaattia (NaHCO₃). Substraatin ja ympin kuiva-aineensuhde oli 1. Ympäri haettiin mesofiilisestä mädätysprosessista, jossa käytettiin substraattina lehmän lantaa ja makeisteollisuuden sivutuotteita. Taulukkoon 1 on listattu tästä tutkimuksesta saatuja arvoja eri kasvien metaanintuottopotentialille.

TAULUKKO 1. Eräiden kasvien metaanintuottopotentiali (Lehtomäki ym. 2007a, 21).

| Materiaali | Metaanintuottopotentiali | | |
|---------------------------------|---|--|---|
| | m ³ CH ₄ /tonni orgaanista ainetta (VS) | m ³ CH ₄ /tonni kuiva-ainetta (TS) | m ³ CH ₄ /tonni märkäpaino (ww) |
| Ruokohelpi | 340-430 | 330-420 | 100-170 |
| Timotei-apilannurmi | 370-380 | 340-360 | 70-90 |
| Maa-artisokka | 360-370 | 340 | 90-110 |
| Virna-kaura | 400-410 | 370 | 60-100 |
| Nokkonen | 210-420 | 170-360 | 20-60 |
| Lupiini | 310-360 | 290-330 | 40 |
| Rehukaali | 310-320 | 280-290 | 30-40 |
| Apila | 280-300 | 260-270 | 40-70 |
| Sokerijuurikas, juurikas+naatit | 450 | 400 | 80 |
| Sokerijuurikas, naatit | 340 | 290 | 30-40 |
| Olki | 240-320 | 220-290 | 200-260 |

Laskennallisesti 1 m³ metaania vastaa 1 dm³ öljyä, joka vastaa 10 kWh energiaa.

3 JÄRVIEN KUNNOSTUS KASVINPOISTOLLA

3.1 Kunnostustarve ja luonnonsuojelulliset näkökohdat

Suomessa järvet ovat luonnostaan hyvin matalia. Järvet ovat pinta-alaltaan pieniä, ja järven suurin syvyys on usein vain noin 3-5 m. Lisäksi Suomessa on menneiden vuosisatojen aikana tehty lukuisia järvienlaskuja, eli vedenpintaa on tietoisesti haluttu laskea, jotta saataisiin lisää viljelysmaata. Järvet kasvavat vähitellen umpeen luonnollisten tapahtumaketjujen seurauksena. Umpeenkasvu on erityisesti vaarana pienissä ja matalissa järvissä, joita Suomen järvet pääosin ovat, sekä suurten järvien matalissa ja suojaisissa lahdissa. Umpeenkasvu alkaa rannan madaltamisella. Kun vanhat kasvit kuolevat ja alkavat maata, ne muodostavat turvetta ja liejua. Kuollut kasvimassa ei tiheässä kasvustossa pääse huuhtoutumaan ja kulkeutumaan pois, vaan se jää maatumaan uuden kasvillisuuden alle. Rannan madaltuessa vesikasvit siirtyvät aina vaan keskemälle kohti avovettä ja vähitellen matala järvi kasvaa umpeen. Vähittäinen umpeenkasvu on siis luonnollista, mutta ihmisen teollinen toiminta on kiihdyttänyt sitä 1900-luvulta lähtien. Teollisuuden, maa- ja metsätalouden sekä asutuksen ravinnekuormituksen kasvu on aiheuttanut luonnotonta rehevöitymistä, joka on nopeuttanut ja kiihdyttänyt luonnollista kasvibiomassan kasvua. (Ulvi & Lakso 2005, 253-255.)

Uposkasvit ja niiden pinnalla kasvavat epifyyttilevät käyttävät, keräävät ja pidättävät vedessä olevia ravinteita monin tavoin, mikä rajoittaa kasviplanktonien ravinteiden saantia ja siten säätelee koko ravintoketjua. Vesikasvikasvustot ovat tärkeitä kalojen lisääntymisalueita ja vesilintujen ruokailu-, pesimis- ja levähdysalueita. Lisäksi useat leviä syövät vesikirput tarvitsevat vesikasvillisuuden tarjoamaa suojaa ja kalojen ja lintujen ravintona tärkeät selkärangattomat käyttävät vesikasvillisuutta kasvualustanaan. Vesi- ja rantakasvit ovat oleellinen osa luontoa ja vaikuttavat monen lajin elinolosuhteisiin. Kasvien merkittävyyden vuoksi kasvinpoistot on tehtävä tarkasti harkiten. Vesikasvien hallittu poisto kuitenkin parhaimmillaan hyödyntää luonnon monimuotoisuuden turvaamista, sillä niitto voi edesauttaa monien eliölaajien elinmahdollisuuksia. Lintujen pesintää ajatellen

korjuu on kuitenkin ajoitettava aina loppukesään. (Vesikasvien vähentäminen SYKE 2008; Komulainen ym. 2008, 25; Laita ym. 2007, 10.)

Rantojen voimakas umpeenkasvu rajoittaa vesistöjen virkistyskäyttöä. Vesistöjen käyttömahdollisuuksien turvaamisen lisäksi vesikasvien poistamiselle on usein ekologinen ja vesiensuojelullinen tarve. Maatuvat kasvijätteet voivat esimerkiksi aiheuttaa järvessä talvisin happikatoa. Salmista ja jokisuista kasvustoa vähentämällä voidaan lisätä veden virtausta ja parantaa osaltaan veden laatua. Jos vesistö on pahasti umpeenkasvanut, saadaan kasvien poistolla parannettua myös kalojen ja vesilintujen elinoloja. Paras vesikasvien niittoaika on heinäkuun puolivälistä elokuun puoliväliin, kun kasvien biomassaa on suurimmillaan. Nykyisellään niittojäte suositellaan läjittämään riittävälle etäisyydelle rannasta ja käyttämään se kompostoituna tai maanparannusaineena. (Ulvi & Lakso 2005, 253-255; Vesikasvien vähentäminen SYKE 2008.)

Kasvinpoistoja suunniteltaessa on otettava huomioon, että ranta- ja vesikasveilla on tärkeä ravinteita pidättävä ja rantoja eroosiolta suojaava vaikutus. Runsaat kasvustot ojien ja jokien suulla pidättävät ravinteita ja estävät niitä kulkeutumasta muualle järvelle. Kasvit vähentävät aallokon aiheuttamaa ravinteiden ja hiukkasten irtoamista pohjasedimentistä veteen. Tiheä kasvipeite siis sitoo ravinteita ja kiintoainesta. Kasvit voivat myös vähentää sisäisen kuormituksen riskiä, sillä ne hapettavat juuristoillaan sedimenttiä ja happitilanteen parantamisella ne ehkäisevät näin pohjaan sitoutuneen fosforin vapautumista. Kasvit sitovat kasvustoihinsa ravinteita, jotka niiton yhteydessä saadaan siis poistettua kunnostettavasta vesistöstä. Kesän vihermassa sisältää luonnollisesti eniten ravinteita ja tehokkaimman ravinteiden poiston saavuttamiseksi korjuu on tehtävä loppukesällä, ennen kuin ravinteet siirtyvät juurakkoon turvaamaan seuraavan vuoden kasvua. Esimerkiksi järviruo'on kesäkorjuussa on mahdollista poistaa noin 50 kg typpeä (N) ja 4,5 kg fosforia (P) hehtaarilta. Esimerkiksi Saaristomeren maataloudesta aiheutuviin ravinnekuormituksiin suhteutettuna nämä luvut ovat vesiensuojelullisesti merkittäviä. (Komulainen ym. 2008, 24, 47-48.)

Mikäli vesikasvien niitto tehdään maalta eli rannalla, siihen tarvitaan maanomistajan lupa. Vesialueella tehtävään korjuuseen vaikuttaa vesilaki. Vähäistä suuremmasta niitosta pitää aina ilmoittaa vähintään kuukautta ennen vesialueen omistajalle, yhteisiä vesialueita hallinnoivalle osakaskunnalle ja alueelliselle ympäristökeskukselle. Suojelumääräykset pitää myös selvittää, sillä esimerkiksi Etelä-Suomen ruovikoista merkittävä osa kuuluu Natura 2000 - verkostoon. (Komulainen ym. 2008, 25.)

Vesikasvien poistoa varten on perinteisiin maatalouskoneisiin kehitelty kaikenlaisia sovelluksia, mutta nykyään on jo tarjolla täysin siihen tarkoitukseen kehiteltyjä erilaisia maalla ja merellä kulkevia monitoimikoneita. Esimerkiksi ruotsalaisvalmisteiset Truxorit on laadittu varta vasten järvien kunnostukseen (Truxor-esitys 2007). Kasvien poistoon on olemassa muitakin keinoja kuin pelkkä niitto. Suomessa on käytetty ainakin raivausnuottausta, ruoppausta, kelluvien kasvustojen hinaamista rantaan ja poistamista vesistöistä, harausta, kasvualustan peittämistä, vedenpinnan nostoa, kalkitusta ja jäätyneen hyödyntämistä (Ulvi & Lakso 2005, 258-260).

3.2 Uposkasvit

Perinteisesti järvikasvien niiton ajatellaan olevan ilmaversoisten kasvien niittoa. Uposlehtisten kasvien osuus on jäänyt vähemmälle huomiolle järvikasvien poistotarpeita selvitettäessä. Uposlehtisten kasvillisuuden määrä lisääntyi rajusti Suomessa 2000-luvun alussa. Syyksi on ehdotettu ajoittain poikkeuksellisen kuivia sääoloja, jotka ovat johtaneet alhaisiin vedenkorkeuksiin. Samalla veden valonläpäisevyys ja rantavesien lämpöisyys on lisääntynyt uposkasveille edulliseen suuntaan. Uposkasvit hyötyvät kirkkaasta vedestä. Tehtyjen tutkimusten perusteella voidaan ennustaa, että ilmastonmuutoksella on uposlehtisten kasvien kasvua kiihdyttäviä seurauksia. Leuto talvi suosii kasvukykyisinä talvehtivia kasvilajeja, kuten vesiruttoa ja karvalehteä. Uposkasvit, kuten muukin vesikasvusto, ovat tärkeä osa vesiekosysteemejä, mutta niiden kantojen äkillisellä kasvulla on epäedullisia vaikutuksia niin ihmisen kuin vesiekosysteemin muun toiminnan kannalta. Poiston tarpeellisuutta ja mahdollisia hyötyjä ja haittoja on joka tapauksessa aina pun-

taroitava tarkkaan. (Laita, Tarvainen, Mäkelä, Sammalkorpi, Kemppainen & Laitinen 2007, 5.)

3.2.1 Uposkasvien häittävaikutukset

Suomen ympäristökeskuksen tekemän kyselyn perusteella liian tiheistä uposkasvikasvustoista on häittäa aiheutunut eniten kalastukselle, uinnille ja veneilylle. Kyselytulosten mukaan liian runsaat kasvustot aiheuttavat myös maisemahäittäoja maiseman muuttuessa vähemmän miellyttäväksi sekä hajuhäittäoja kasvimassojen häittäotessa. Ihmistoiminnalle aiheutuvien häittäojen lisäksi tutkimustulokset kertovat runsaiden kasvustojen aiheuttavan häittäa myös kalastolle, linnustolle ja muulle kasvustolle. Suomesta löytyy esimerkkijärviä, joissa vesiruton on todettu aiheuttaneen hapettomuutta ja kalakuolemia, ja joissain paikoissa tiheet kasvustot ovat pienentäneet virtaamia. (Laita ym. 2007, 21.)

3.2.2 Uposkasvien poistaminen

Kaikkien vesikasvien poistossa on otettava huomioon, että poistettu kasvimassa korvaantuu usein jollain toisella kasvilajilla, josta voi tulla paljon epätoivotummat vaikutukset, kuin mitä tilanne alun perin oli. Ilmaversoiset kasvit korvautuvat usein kelluslehtisillä, ja irtokeijujen puuromaiset massaesiintymät täyttävät nopeasti muiden kasvien jättämän tilan. (Nybom 1985 Laita ym. 2007, 29 mukaan.)

Suomessa on kokemuksia suurten uposkasvimassojen poistoista. Esimerkiksi paljon tutkitusta Littoistenjärvestä poistettiin syksyllä 1996 300 tonnia, syksyllä 1997 360 tonnia ja kesällä 1998 700 tonnia vesiruttoa. Kuivapainona 700 tonnin märkäpainon poisto vastasi noin 210 tonnia. Kasvinpoisto tehtiin Watermaster 2000 Harvester -laitteella. Kesällä 1998 järven sen hetkisestä vesiruttokasvustosta poistettiin kolmannes, mutta syksyyn mennessä kasvusto oli toipunut koko 1980-luvun alkupuolelta alkaneen seurannan huippulukemiin ja joulukuussa vesiruttoa oli järvessä enemmän kuin koskaan ennen. Seuraavan talven happikadot romahduttivat kannan. Tämän perusteella voitiin todeta, että vesiruton mekaanisella

poistolla kiihdytettiin jäljelle jääneiden versojen kasvua entisestään. Mekaaninen poistaminen ei tule kysymykseen kuin hyvin paikallisissa kohteissa, kuten uimarannoilla. (Laita ym. 2007, 5; Sarvala 2000, 55; Sarvala 2005, 31 ja 49.)

Mikäli mekaanista poistoa sen haittavaikutuksista huolimatta tehdään, tehokas poisto edellyttää, että kalusto, kuten traktorit, on saatava lähelle rantaa. Kaikkialla ei ole teitä rantaan asti, ja pehmeä ranta ei välttämättä kestä isoja ja raskaita koneita. Käsiteltävän alueen laajuus määrää tietenkin sen, miten monesta paikasta rantaan on päästävää ja millaista kalustoa käytettävää. Kasvimassan varsinainen poistaminen kasvupaikaltaan ja siirtäminen rantaan on usein poiston työläin vaihe, mutta kasvimassan siirto rannalta eteenpäin on oltava myös mahdollista kohtuullisilla toimenpiteillä. (Laita ym. 2007, 38.)

Koska mekaaninen poisto, eli lähinnä nuottoaus ja leikkaavan harvesterin käyttö, on koettu huonoksi vaihtoehdoksi, on tutkittu muita vaihtoehtoja. Ensimmäinen asia, johon kasvillisuuden vähentämiseksi on tartuttava, on ulkoisen kuormituksen vähentäminen. Mikäli ulkoista kuormitusta ei vähennetä, ei muilla toimenpiteillä voida aikaansaada pitkäkestoisia vaikutuksia. Jos vesialuetta halutaan vesikasvien poiston ohella samalla syventää pysyvästi, voidaan kasveja poistaa ruoppaamalla. Uposkasvien poistossa pumppukauharuoppaajaan liitetään hara. Poistojen vaikutuksen kesto riippuu olosuhteista, mutta usein alueelle palautuu kasveista ensimmäisenä uposlehtiset ja irtokeijujat. Vastaavasti vedenpintaa voidaan pyrkiä nostamaan, mutta se on usein käytännössä mahdotonta vaurioittamatta rannan rakennuksia ja aiheuttamatta muita vakavia haittoja. Yksi uposlehtisten poistokeino on jäädyttäminen. Siinä järvi on saatava jäätymään pohjaa myöten esimerkiksi vedenlaskulla tai keräämällä lumikerros jään päältä pois. Kasvusto ei kestä jäädytystä, ja se kuolee tehokkaasti. Tällöin on pidettävä huoli kuolleen kasvimassan tehokkaasta poiskeräämisestä jäiden sulettua. Toinen kasvullisina versoina talvehtivia kasveja tehokkaasti talvella tappava ilmiö jäätyamisen ohella on happikato. Biologisia menetelmiäkin voidaan kokeilla, eli voidaan yrittää löytää vesiruttoa tehokkaasti ravintonaan käyttävä kalalaji tai jokin muu eliö, mutta Suomen olosuhteissa sellaisilla ei liene elinmahdollisuuksia. Kemiallisesta torjunnasta Suomen ympäristökeskus on tehnyt periaatepäätöksen, jonka mukaan siitä pidättäydy-

tään kokonaan. Varjostusta on myös kokeiltu, mutta sen ei ole todettu olevan kovinkaan tehokasta. (Laita ym. 2007, 28-30, 34-37.) Usein jonkin lajin vähentämistä tai tuhoamistarkoituksessa luontoon istutetuista lajeista aiheutuu ennen pitkää ongelmia koko ekosysteemille, joten sellaisten lajien tarkoituksellinen luontoon tuominen ei ole toivottavaa.

4 TUTKIMUSMATERIAALI

4.1 Kasvit

Tutkimukseen valitut kasvilajit ovat uistinvita, järviruoko, järvikorte ja vesirutto. Kasvit ovat kuvattuna liitteessä 1. Kasvit valittiin niiden kasvien joukosta, jotka ovat yleistä niittojätettä ja joita esiintyy yleisesti suomalaisissa järvissä. Varsinaiseen mädätyskokeeseen otetuista näytekasveista järviruoko, järvikorte ja uistinvita haettiin Lammin Pääjärven Pappilanlahdesta ja vesirutto Ormajärvestä Untulan rannasta. Vesiruttoa ei ollut saatavilla Pääjärvestä. Järviruo'on, järvikortteen ja uistinvidan näytteet otettiin leikkaamalla kasviversoja saksilla ja vesirutto nostettiin haraamalla. Kasvit silputtiin tuoreina pieniksi paloiksi saksilla ja veitsellä laboratoriossa. Kuvioihin 2,3,4 ja 5 on kuvattuna millaista kasvimassaa kokeessa käytettiin. Kasvimassa laitettiin kokeisiin muutoin käsittelemättömänä, tuoreena ja märkänä.

Valitut kasvit ovat rakenteeltaan ja ominaisuuksiltaan keskenään erilaisia kasveja. Luonnollisesti uposlehtisten kasvien kosteusprosentti on suurin ja ilmaversoisten pienin. Eri kasvityyppien kosteus- ja tuhkaprosentteja on listattuna taulukkoon 2. Eri kasvit sisältävät eri yhdisteitä erilaisissa suhteissa, ja niiden ravinnepitoisuudet poikkeavat toisistaan. Tallinnan teknillisessä yliopistossa tehtyjen tutkimuksien mukaan järviruo'on tuhkaprosentti on 2,1-4,4 % ja hiiliprosentti 47,5 %.

TAULUKKO 2 Lähdekirjallisuudesta poimittuja arvoja vesikasvien kosteus- ja tuhkaprosenteiksi (Straskraba 1968 Wetzell 2001, 560 mukaan).

| Kasvityyppi | Kosteus -% | Tuhka -% |
|--------------------|-------------------|-----------------|
| Ilmaversoinen | 79 (70-85) | 12 (5-25) |
| Kelluslehtinen | 82 (80-85) | 16 (10-25) |
| Uposlehtinen | 88 (85-92) | 21 (9-25) |

4.1.1 Uistinviita (*Potamogeton natans*)

Uistinviita on kelluslehtinen (nymfeidi) vesikasvi. Se on monivuotinen vitakasvi, joka voi kasvaa 2 metrin pituiseksi versoksi. Uistinviitaa kasvaa järvissä ravinteisuudesta riippumatta. Mäkelän ym. (2004) mukaan uistinvidan osuus kasvipinta-alasta eteläsuomalaisissa järvissä on keskimäärin 8,7 %. Uistinviitaa voidaan niittää, mutta se kasvaa yleensä takaisin vahvan ja ravinnepitoisen juurakkonsa avulla. Niittoa parempi poistotapa onkin juurakoiden poisto. Juurakoiden poisto on niittoa kalliimpaa, mutta esimerkiksi ruoppaukseen verrattuna edullista. (Hämeen Ympäristökeskuksen vesikasvikurssi 2005; Mäkelä ym. 2004; Vesikasvien poisto SYKE 2008.)



KUVIO 2. Silputtua tuoretta uistinvidan kasvimassaa.

4.1.2 Järviruoko (*Phragmites australis*)

Järviruoko on ilmaversoinen (helofyytti) vesikasvi. Se on monivuotinen heinäkasvi, joka kasvaa 1-3 metriä korkeaksi ja muodostaa tiheitä ruovikoita. Järviruoko kasvaa kaikenlaisissa vesistöissä ravinteisuudesta huolimatta. Ilmaversoiset kasvit ottavat ravinteita sekä maaperästä että vedestä. Mäkelä ym. (2004) määrittivät tutkimuksessaan, että järviruoko on osuus kasvipinta-alasta eteläsuomalaisissa järvissä on keskimäärin 14,4 %. Järviruoko voidaan poistaa järvestä niittämällä. Kasvi tulee leikata niin läheltä pohjaa kuin mahdollista. (Hämeen Ympäristökeskuksen vesikasvikurssi 2005; Mäkelä ym. 2004; Vesikasvien poisto SYKE 2008.)



KUVIO 3. Silputtua tuoretta järviruoko on kasvimassaa.

Järviruokoa tavataan ympäri maapalloa, ja se sopeutuu hyvin monenlaisiin vesistöihin. Suomessa ruovikoitumisen vauhtia on viime vuosikymmeninä kiihdyttänyt maankäytön muuttuminen. Perinteinen laidunnus ja niitto ovat loppuneet. Ennen ruokoa kerättiin rehuksi ja karja laidunsi rannoilla. Silloin rantakasvillisuuteen sitoutuneet ravinteet saatiin takaisin maatalouden käyttöön. Nykymaatalouden seurauksena ranta-alueet ovat rehevöityneet voimakkaasti, kun ravinteita kulkee voimistuneesti rannoille valuma-alueelta, vesistöistä ja ilmasta. Metsä- ja maatalousalueiden tehokas ojittaminen ja jokien perkaaminen tehostaa ravinteiden huuhtoutumista etenkin tulva-aikana. Ilmaston lämpeneminen ja siitä johtuvat aiempia lauhemmat talvet sekä heikompi jäättilanne helpottavat järviruoko on kasvua. Lisäksi maailmanlaajuisista ruovikoitumista vahvistaa uusien entistä kilpailu-

kykyisempien ruokolajikkeiden syntyminen ja leviäminen. (Ikonen & Hagelberg 2008, 7-8, 12.)

Ruovikot sitovat hyvin ravinteita, joten niitä on tietoisesti kasvatettu ottamaan talteen valuma-alueiden ravinteita ja puhdistamaan jätevesiä. Mikäli itse järvi-ruo'olle eli sen kasvibiomassalle vielä löydettäisiin taloudellisesti kannattavia hyödyntämismuotoja, voidaan olettaa laaja-alaisten ruovikkopuhdistamojen tulevaisuudessa yleistyvän. (Ikonen & Hagelberg 2008, 14.)

4.1.3 Järvikorte (*Equisetum fluviatile*)

Järvikorte on ilmaversoinen (helofyytti) vesikasvi. Se on monivuotinen sanikkainen, joka kasvaa 0,5-1,5 metriä korkeaksi. Sen varsi on jaokkeinen ja ontto. Järvikortetta esiintyy järvissä niiden ravinteisuudesta riippumatta. Mäkelän ym. (2004) mukaan järvikortteen osuus eteläsuomalaisten järvien kasvipinta-alasta on keskimäärin 13,1 %. Samoin kuin järviruoko, järvikorte voidaan poistaa järvestä niittämällä. Kasvi tulee leikata niin läheltä pohjaa kuin mahdollista. (Hämeen Ympäristökeskuksen vesikasvikurssi 2005; Mäkelä ym. 2004; Vesikasvien poisto SYKE 2008.)



KUVIO 4. Silputtua tuoretta järvikortteen kasvimassaa.

4.1.4 Vesirutto (*Elodea canadensis*)

Vesirutto on uposlehtinen (elodeidi) vesikasvi. Se on monivuotinen kilpukkakasvi, jonka versot kasvavat 0,3-1,5 metrin pituisiksi, edullisissa olosuhteissa vielä pidemmiksikin. Kasvi lisääntyy nopeasti versonkappaleista. Se muodostaa mattomaisia kasvustoja etenkin pienissä, matalissa ja runsasravinteisissa järvissä ja lammissa sekä muissa hitaasti virtaavissa vesissä. Vesirutto voi lisääntyä räjähdysmäisesti muodostaen massaesiintymiä, jotka kuitenkin saattavat jäädä lyhytaikaisiksi. Kannanvaihtelujen jakso on yleensä 5-6 vuotta. Suuri kasvusto näännyttää itse itsensä, sillä kasvimassan hajotessa kuluu happea ja ympäristö happamoituu. Vesirutto vaatii lievästi emäksisen ympäristön ja laboratoriotutkimusten mukaan se ei yhteytä happamissa olosuhteissa. Se suosii siis emäksistä kasvuympäristöä ja menestyy parhaiten välillä pH 9-9,5. Runsaat kasvustot ohjaavat ja säätelevät kasvuympäristön eli veden pH:ta lähelle yhdeksää, jolloin kasvi lisää omaa kasvua entisestään. (Hämeen Ympäristökeskuksen vesikasvikurssi 2005; Vesikasvien poisto SYKE 2008; Lehtonen 2000 Laita ym. 2007, 12 mukaan; Sarvala 2000, 53.)



KUVIO 5. Silputtua tuoretta vesiruton kasvimassaa.

Vesirutto saa moniin muihin vesikasveihin nähden kilpailuedun keväisin, sillä se talvehtii kasvukykyisenä versona ja on valmis kasvuun heti jäiden lähdettyä. Se suosii runsasravinteisuutta ja hyötyy siis vesistöjen rehevöitymisestä. Vesirutto on tuotu istuttamalla Eurooppaan Pohjois-Amerikasta ja on siis Suomen luontoon

kuulumaton vieraslaji. Se on levinnyt tehokkaasti, ja vesirutto onkin nykyään yleinen laajalti Etelä- ja Keski-Suomessa. Se on paikoin muodostanut niin runsaita kasvustoja, että ne häiritsevät vene- ja laivaliikennettä ja tukkivat putkistoja. Vesiruttoa ei rakenteensa vuoksi voida niittää. Koska kasvi lisääntyy pienistäkin versonpalasista, saattaa niitto tarkoituksettomasti kiihdyttää vesiruton kasvua. (Hämeen Ympäristökeskuksen vesikasvikurssi 2005; Vesikasvien poisto SYKE 2008; Lehtonen 2000 Laita ym. 2007, 12 mukaan; Sarvala 2000, 55.)

Koska lajin luontaiset kannanvaihtelut voivat olla todella suuria, massaesiintymien suurimittainen poistaminen ei välttämättä ole aina kannattavaa, vaikka siihen jokin niittoa parempi keino löydettäisiinkin. Tässä työssä jo aiemmin esimerkkinä käytetty Littoistenjärven vesiruttokasvusto kuoli kannanvaihtelun seurauksena keväällä 1992 ja rannoille ajautunutta kasvimassaa jouduttiin ajamaan 510 tonnia kaatopaikalle (Sarvala 2005, 31). Kuvatussa tapauksessa kasvustosta päästiin siis eroon luonnollisella tavalla, joka ei epätoivotusti kiihdyttänyt kasvuston kasvua.

4.2 Sedimenttiymppe

Hajotuskokeeseen tarvittavat metaania tuottavat mikrobit saatiin ottamalla Pääjärven litoraalin hapettomasta kerroksesta sedimenttiä pleksiputkella. Sedimentin mukana tulee kaikenlaista mikrobistoa, jonka joukossa on muitakin hajottavia anaerobimikrobeja kuin metanogeenit. Sedimenttiä käytettiin hajotusprosessin ymppeinä. Prosessin loppuvaiheessa mikrobit kuluttavat koejakson aikana muodostunutta hiilidioksidia ja käyttävät sitä metaaniksi.

4.3 Tutkimusmateriaalin lähteenä käytetyt järvet

Tutkimukseen haettiin kasveja yhteensä neljästä eri järvestä, vaikka varsinaisessa mädätyskokeessa kasveja olikin vain kahdesta järvestä. Mädätyskokeen lisäksi täytyi tulosten laskentaa varten tehdä analyysejä ja määrittäisiä käytetyistä kasvilajeista yleisemmin. Koska järvet ovat keskenään erilaisia, haluttiin tutkia erilaisten järvien kasveja ja verrata tuloksia, koska yhden järven tulosten perusteella ei

voida yleistää, että tulokset olisivat samanlaiset kaikissa järvissä. Varsinaisen metaanintuottomittauksen käynnistysvaiheessa taustatiedot mitattiin samoista kasvimassoista kuin mitä varsinaisessa mittauksessa käytettiin. Tuolloin järviruoko, järvikorte ja uistinviita haettiin Lammilta Pääjärven Pappilanlahdesta ja vesirutto Ormajärvestä Untulan rannasta. Toisen kerran taustatietojen määrittämiseksi varten kaikkia tutkimuksessa mukanaolevia kasveja haettiin Suolijärven Pohjoistenlahdesta Tuuloksesta ja vesiruttoa Kataloistenjärvestä Lammilta. Järvistä tehdyt kemialliset analyysit kertovat järvien tilasta (liite 2).

4.3.1 Pääjärvi

Pääjärven pinta-ala on 1342 ha. Järven suurin syvyys on 87 m. Se on karuhko humusvetinen järvi, jossa näkösyvyys vaihtelee 2,3-2,8 metrin välillä. Veden viipymä on 3,3 vuotta. Veden pH on noin 7,2. Fosforipitoisuuden perusteella järvi kuuluu karuun, typpipitoisuuden perusteella rehevään, ja klorofylliarvojen perusteella keskiravinteiseen luokkaan. Järvestä havaittiin kasvikartoituksessa 40 kasvilajia ja se luokitellaan ruokojärveksi. (Huitu & Mäkelä 1999, 95-96.)

4.3.2 Ormajärvi

Ormajärven pinta-ala on 553 ha ja suurin syvyys 28 m. Järven vesi vaihtuu keskimäärin kolmessa vuodessa. Ormajärvi on kirkasvetinen, mutta rehevä järvi. Fosforipitoisuuden perusteella se kuuluu keskirehevään luokkaan, mutta typpipitoisuuden ja klorofyllin perusteella se luokitellaan reheväksi. Näkösyvyys vaihtelee 2-4,1 metrin välillä ja pH välillä 7-8,6. Ravinnekuormitus on vähentynyt selkeästi siitä, kun 1920-luvulta 1970-luvulle järveen laskettiin Lammin kirkonkylän asutuksen ja meijerin sikalan jätevedet. Nykyisin järven suurimmat kuormittajat ovat maatalous ja asutus. Kasvilajisto järvessä on runsas, kasvikartoituksessa havaittiin 24 kasvilajia ja se luokitellaan ruokojärveksi. (Huitu & Mäkelä 1999, 102-105.)

4.3.3 Suolijärvi

Ormajärvi laskee Suolijärveen Ormijokea pitkin. Joen suulla oleva Pohjoistenlahti on erityisen rehevöitynyt ja kasvamassa umpeen. Suolijärven pinta-ala on 205 ha ja suurin syvyys 10 m. Järven vesi on melko sameaa ja pH on noin 7. Valuma-alueella on paljon peltoja ja soita, ranta-asutusta on melko paljon. Rannalla toimi aiemmin Tuuloksen kunnan jätevedenpuhdistamo. Järveen kohdistuu melko suuri ravinnekuormitus. Näkösyvyys vaihtelee 1,3-2 metrin välillä. Veden vaihtuvuus on nopeaa ja laskennallinen viipymä on noin 5 kk. Suolijärvi on ravinteiden ja klorofyllin perusteella luokiteltu keskiravinteiseksi. Kasvikartoituksessa järvestä löydettiin 35 kasvilajia ja se kuuluu kaislajärvityyppiin. (Huitu & Mäkelä 1999, 119-122.)

4.3.4 Kataloistenjärvi

Kataloistenjärvi on erittäin matala kauttaaltaan. Vaikka järven pinta-ala on 112 hehtaaria, sen suurin syvyys on 2 m. Järven kasvillisuus on erittäin runsasta ja ravinnepitoisuus korkea. Vesi on melko sameaa ja näkösyvyys on noin 1-1,3 m. pH vaihtelee välillä 6,5-7,7. Järvi kuuluu ravinnepitoisuuksien ja klorofyllin perusteella rehevään luokkaan. Kasvillisuuskartoituksessa järvestä löydettiin 29 kasvilajia ja se kuuluu osmankäämisarpiotyypin. (Huitu & Mäkelä 1999, 78.)

5 ANALYYSIT

5.1 Määritykset kasveista

Taustatiedoiksi ja laskutoimituksia varten kasveista määritettiin kuivapaino, hiilen määrä ja epäorgaanisen aineen määrä. Tätä kautta voidaan laskea arvot kasvien kuiva-aineelle (TS) sekä orgaaniselle kuiva-aineelle (VS), joita käytetään metaanintuoton laskennassa. Kaasukromatografilla analysoidun kokeen aloitus- ja lopetustilanteessa tutkimusmateriaalista määritettiin pH.

Kunkin kasvin kuivapaino määritettiin ottamalla kolme rinnakkaista kasvinäytettä muovipurkkeihin. Näytteet otettiin tuoreesta silputusta kasvimateriaalista. Purkit kasveineen laitettiin kuivumaan lämpökaappiin ilman kansia kahdeksi vuorokau-
deksi tai tarpeen mukaan useammaksi + 60 °C lämpötilaan. Kasvit punnittiin ennen ja jälkeen kuivatusta, jotta saatiin selville, kuinka paljon massasta oli haihtunut vetenä. Kuivapainon määrittämisessä käytetyistä kasveista määritettiin myös kunkin kasvin hiilipitoisuus. Kasvit hienonnettiin jauheeksi kasvimyllyssä, IKA LABORTECHNIK A 10. Kuviossa 6 näkyy kasvit kuivatuksen sekä jauhatuksen jälkeen. Vasemmalta lukien järjestys on uistinvita, vesirutto, järvikorte ja järvi-
ruoko. Hiilen määrittäminen tehtiin hiilianalyysatorilla ja tulos laskettiin viidestä rinnakkaisesta näytteestä. Hiilianalyysin polttolämpötila on 750-800 °C ja kantokaasuna ja hapettimena toimii happi. Infrapunakaasuanalyysatorilla (IR) mitataan CO₂-määriä. Käytössä oli uras 3G detektori, valmistaja Hartmann & Braun, 210 mm kyvetti ja mittausalue 4. Polttoputkena oli happoteräsputki, jossa hapetinmassana tungstic oxide. Tulokset laskettiin planktivore-ohjelmalla.



KUVIO 6. Kasvit kuivatuksen jälkeen sekä jauhattuna.

Epäorgaanisen aineen määrittäminen tehtiin upokkaissa. Upokkaat olivat tyhjillään yön yli hehkutusuunissa, minkä jälkeen ne laitettiin tunniksi jäähtymään. Upokkaat

punnittiin ja painot kirjattiin ylös. Sen jälkeen upokkaisiin punnittiin kunkin kasvin kuivaa kasvimassaa kolme rinnakkaista näytettä. Upokkaat laitettiin hehkutusuuniin niin, että lämpötila oli ylimmillään 550 °C kahden ja puolen tunnin ajan. Seuraavana aamuna upokkaat laitettiin jäähtymään eksikaattoriin, minkä jälkeen ne punnittiin uudelleen. Kuviossa 7 näkyy tuhkatut kasvit upokkaissaan.



KUVIO 7. Tuhkatut kasvit.

Mädätyskokeiden materiaalin alkutilanteen pH määritettiin veden, sedimentin ja kasvin seoksista. Kutakin kasvia punnittiin omaan muovipurkkiin tuoreena ja silputtuna 10 g purkkiinsa ja siihen sekoitettiin 100 ml GF/C-suodatettua järvivettä ja lisättiin ympiksi 4 ml sedimenttiä. Koska pH:n mittaus suoritettiin hyvin nopeasti sekoittamisen jälkeen, oli pH eri kasvien purkeissa luonnollisesti liki sama, määräytyen veden ja sedimentin seoksen pH:sta. Lopetustilanteessa jäljelle jäänyt hajoamaton kasvimassa eli mädätysjäännös siivilöitiin kuivapainon määrittystä varten erilleen vedestä ja sedimentistä. Tämän jälkeen veden ja sedimentin seoksesta määritettiin lopetustilanteen pH kullekin kasville viidestä rinnakkaisesta näytteestä.

5.2 Metaanintuottopotentiaalin mittaus

Kasvien metaanintuottopotentiaalia mitattiin laboratoriossa kahdella eri menetelmällä, jotka erotetaan tekstissä toisistaan nimityksillä A ja B. Näytteet analysoitiin Helsingin yliopiston Lammin biologisen aseman laboratoriotiloissa elokuun 2008 ja tammikuun 2009 välisenä aikana. Menetelmän A mittaukset tehtiin Oxi Top®-menetelmällä. Menetelmä A perustuu hajotuksen aikana muodostuneen kaasun aiheuttaman paineen mittaukseen. Menetelmän B mittaukset tehtiin analysoimalla kaasunäytteistä metaani (CH₄) ja hiilidioksidi (CO₂) kaasukromatografilla. Ennen varsinaista metaanintuottokoea heinäkuussa 2008 tehtiin Oxi Top®-menetelmällä esikoe, jonka tuloksien perusteella tarkemmin määriteltiin määrät kokeessa käytetyille kasville, vedelle ja sedimentille. Kokeista jätettiin pois puskurilisäykset.

5.2.1 Menetelmä A: paineen mittaus Oxi Top®-menetelmällä

Menetelmän A paineenmittaukset tehtiin Oxi Top®-menetelmällä. Koe tehtiin litran pulloissa, joihin laitettiin n. 20 grammaa tuoretta silputtua kasvibiomassaa ja ympiksi 4 ml metanogeneenejä sisältävää järvisedimenttiä. Lisäksi pulloihin lisättiin 250 ml GF/C-suodatettua järvivettä. Kutakin kasvia oli kahdessa rinnakkaisessa pullossa. Lisäksi oli kaksi kontrollipulloa, jotka sisälsivät ainoastaan vettä ja sedimenttiä. Menetelmän A kokeessa oli siis yhteensä mittauksessa 10 pulloa, jotka on kuvattu kuviossa 8. Pulloihin muodostettiin hapettomat olosuhteet typpi-kaasun läpivirtauksen avulla. Pullot olivat ravistelussa typen läpivirtauksen ajan 30 minuuttia, minkä jälkeen mittapään mittausta käynnistettiin ja pullot vietiin laitteistoon kuuluvalla ravistelijalevyllään. Pullot olivat kokeen ajan hämärässä tilassa ja lämpötila oli vakio + 20 °C. Valon pääsy pulloihin estettiin käärimällä ne alumiinifolioon. Mikäli pullot olisivat olleet valossa, niissä olisi voinut kasvaa leviä, ja pulloissa olisi voinut tapahtua fotosynteesiä. OxiTop®-laitteiston paineenmittaus perustuu siihen, että mittapäässä on anturi, joka on herkkä paineen muutoksille (Süßmuth, Doser & Lueders 1999). Anturi rekisteröi paineen muutoksia tietyin aikavälein ja ilmoittaa painearvon 200 minuutin välein. Mittausjakso kesti 48 vuorokautta.

Kasvibiomassan hajotessa anaerobisesti syntyy biokaasua, josta noin 30 % on hiilidioksidia. Koetta lopetettaessa pulloihin tehtiin suolahappo (HCl) ja kaliumhydroksidi (KOH)-lisäykset. Lisäyksen tarkoituksena on, että suolahappo vapauttaa kaiken pullossa olevan hiilidioksidin, minkä jälkeen se absorboituu pullossa olevaan kaliumhydroksidiin. Tarkoituksena on, että lisäysten jälkeen mittapään rekisteröimä kaasun paineenmuutos on täysin metaanista johtuvaa ja että sen perusteella voidaan laskea syntyneen metaanin määrä.



KUVIO 8. OxiTop®-koejärjestely

5.2.2 Menetelmä B: kaasunäytteiden analysointi kaasukromatografilla

Menetelmässä B mitattiin 500 ml pulloihin kertyvää metaania ja hiilidioksidia. Kaasuanalyysit tehtiin kaasukromatografilla Aqilent Technologies 6890N Network GC system, jossa on FID- ja TCD-detektorit. Käytössä oli GILSON (222 XL liquid handler) näytteensyöttäjä. 500 ml:n lasipulloihin punnittiin n. 10 grammaa tuoretta silputtua kasvibiomassaa, lisättiin 4 ml:n sedimenttiympä ja 100 ml GF/C-suodatettua järvivettä. Kutakin kasvia oli viidessä rinnakkaisessa pullossa ja tämän lisäksi oli viisi kontrollipulloa, joissa oli ainoastaan vettä ja sedimenttiä. Pullot on kuvattu kuvioon 9. Menetelmän B kokeessa oli siis mukana yhteensä 25 pulloa. Pulloja tyytettiin 20-30 minuuttia samalla menetelmällä kuin

OxiTop®-kokeen pullojakin. Pulloihin lisättiin typetyksen jälkeen 100 ml typpi-kaasua injektoruiskulla, minkä jälkeen otettiin 20 ml:n näyte lähtötilanteen kaasuanalyysia varten.



KUVIO 9. Menetelmän B koepulloja.

Kaasunäytteet otettiin Excetainer-putkiin, jotka vakumoitiin Busch Oy:n pumpulla (type SV 1003A). Pulloihin tehtiin typpilisäys näytteenoton jälkeen valmiiksi seuraavaa näytteenottoa varten, jotta pulloissa säilyisi aina ylipaine. Kokeen alussa näytteenottoväli oli yksi viikko ja kokeen edetessä sitä harvennettiin niin, että näytteet otettiin joka toinen viikko tai kerran kuussa. Typpilisäykset tehtiin joka toisen näytteenoton jälkeen, korvaamaan kahden näytteenottokerran kuluttama kaasutilavuus 40 ml. Koe kesti yhteensä 167 vuorokautta eli viisi ja puoli kuukautta.

6 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

6.1 Määritykset kasveista

Tutkimuksessa kasveista tehtyjen määritysten tulokset on esitelty taulukossa 3, ja niitä on verrattu taulukon 2 kirjallisuusarvoihin.

TAULUKKO 3. Kasveista tehdyt määritykset viiden rinnakkaisen näytteen keskiarvona, suluissa keskihajonta. Hiili- ja tuhkaprosentti kuivapainosta määritettyinä.

| 1.8.2008 | Kasvi | Kuiva-aine -% | Hiili -% | Tuhka-% |
|-----------|-----------------|---------------|-------------|-------------|
| P | Uistinvita | 14,3 (0,86) | 45,9 (2,45) | 8,9 (0,42) |
| P | Järviruo- ko | 29,9 (1,08) | 44,2 (2,10) | 5,3 (0,21) |
| P | Järvikorte | 14,9 (0,85) | 36,8 (1,76) | 16,1 (0,83) |
| O | Vesirutto | 10,8 (0,71) | 36,8 (1,89) | 26 (3,93) |
| | | | | |
| 21.8.2008 | Kasvi | Kuiva-aine -% | Hiili -% | Tuhka-% |
| S | Uistinvita | 15,0 (0,31) | 41,3 (2,95) | 8,2 (0,37) |
| S | Järviruo- ko | 34,4 (0,72) | 41,4 (3,17) | 8,9 (0,34) |
| S | Järvikorte | 18,3 (0,18) | 37,9 (2,75) | 15,9 (0,07) |
| S | Vesirutto | 10,8 (0,43) | 39,3 (1,13) | 14,4 (0,53) |
| K | vesirutto | 9,9 (0,13) | 34,2 (1,63) | 24,7 (0,87) |

P = Pääjärvi, O = Ormajärvi, S = Suolijärvi, K = Kataloistenjärvi

Uistinvidan kuiva-ainepitoisuus ja tuhkaprosentti olivat hieman pienempiä kuin kirjallisuusarvot kelluslehtisille kasveille. Järviruo'on kuiva-aineprosentti oli ilmaversoisten kasvien kirjallisuusarvoa suurempi ja tuhkaprosentti hieman pienempi. Järvikortteen kuiva-aine- ja tuhkaprosentti vastasivat ilmaversoisten kasvien kirjallisuusarvoja. Vesiruton kuiva-aineprosentti oli uposlehtisten kasvien kirjallisuusarvon luokkaa ja tuhkaprosentti muuten samalla tasolla paitsi Suolijärven vesirutolla, jonka tuhkaprosentti oli paljon muita alhaisempi. Tulosten laskennassa on pääosin käytetty näiden kahden eri mittauskerran tulokset huomioivia

keskimääräisiä arvoja ja joissain tapauksissa ensimmäisen määrittämiskerran tuloksia, jossa kasvit ovat samasta erästä kuin kokeissa käytetyt kasvit.

6.2 Biokaasuntuottopotentiaali

6.2.1 Biokaasuntuotto OxiTop®-menetelmän paineenmittauksella mitattuna

Menetelmässä A mitattiin kasvien hajotuksessa syntyvän kaasun aiheuttamaa paineen arvoa ja paineen huippuarvon avulla laskettiin kaasuntuotanto kuutiota (m³) kaasua kuiva-ainetonnia (TS) kohti kaavalla 2. Tulokset orgaanista kuiva-ainetonnia (VS) kohden saadaan jakamalla tulos orgaanisen kuiva-aineen osuuden kertoimella, joka on siis kuiva-aine, josta on vähennetty palamattoman tuhkan osuus.

TAULUKKO 4. Kaasuntuotanto kuutiota (m³) kaasua kuiva-ainetonnia (TS) ja orgaanista kuiva-ainetonnia (VS) kohden OxiTop®-menetelmällä mitattuna.

| Näyte | Tuotanto (m ³ /tonni VS) | Tuotanto (m ³ /tonni TS) |
|---------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Uistinviita A | 8,75 | 8,01 |
| Uistinviita B | 41,56 | 38,03 |
| Järviruoko A | 25,53 | 23,74 |
| Järviruoko B | 25,73 | 23,93 |
| Järvikorte A | 23,78 | 19,98 |
| Järvikorte B | negatiivinen | negatiivinen |
| Vesirutto A | 205,38 | 164,30 |
| Vesirutto B | 121,24 | 96,99 |
| Kontrolli A | negatiivinen | negatiivinen |
| Kontrolli B | negatiivinen | negatiivinen |

a = kaasun tuotto ($\text{dm}^3/\text{kg} = \text{m}^3/\text{tonni}$)

p = paine (bar)

V = tilavuus (dm^3)

n = ainemäärä (mol)

R = moolinen kaasuvakio = $0,0831451 \text{ (bar}\cdot\text{dm}^3)/(\text{mol}\cdot\text{K})$

T = lämpötila (K)

V_k = kaasun moolitilavuus $20 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa = $24,055 \text{ dm}^3/\text{mol}$

ka = kuiva-aineen massa (kg)

Tuhkaprocentti uistinvidalle 8,5 %, järviruo'olle 7 %, järvikortteelle 16 % ja vesirutille 20 %.

$$V_k = 1 / (1,01325 \text{ bar} / (0,0831451 \text{ bar dm}^3/\text{mol K} * (273,15+20) \text{ K})) = 24,055 \text{ dm}^3/\text{mol}$$

Kaava 1. $pV = nRT \leftrightarrow n = pV/RT$

$$[n] = (\text{bar} \cdot \text{dm}^3) / (((\text{bar} \cdot \text{dm}^3) / (\text{mol} \cdot \text{K})) \cdot \text{K}) = \text{mol}$$

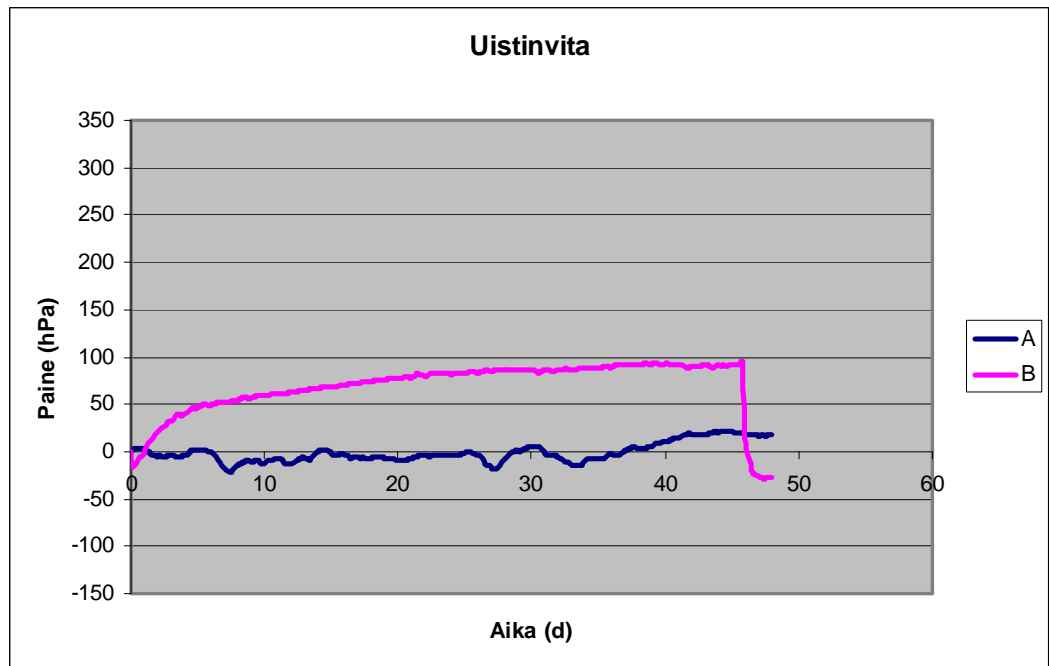
Kaava 2. $a = (V_k \cdot n)/ka$

$$[a] = \text{dm}^3/\text{mol} \cdot \text{mol}/\text{kg} = \text{dm}^3/\text{kg} = \text{m}^3/\text{tonni}$$

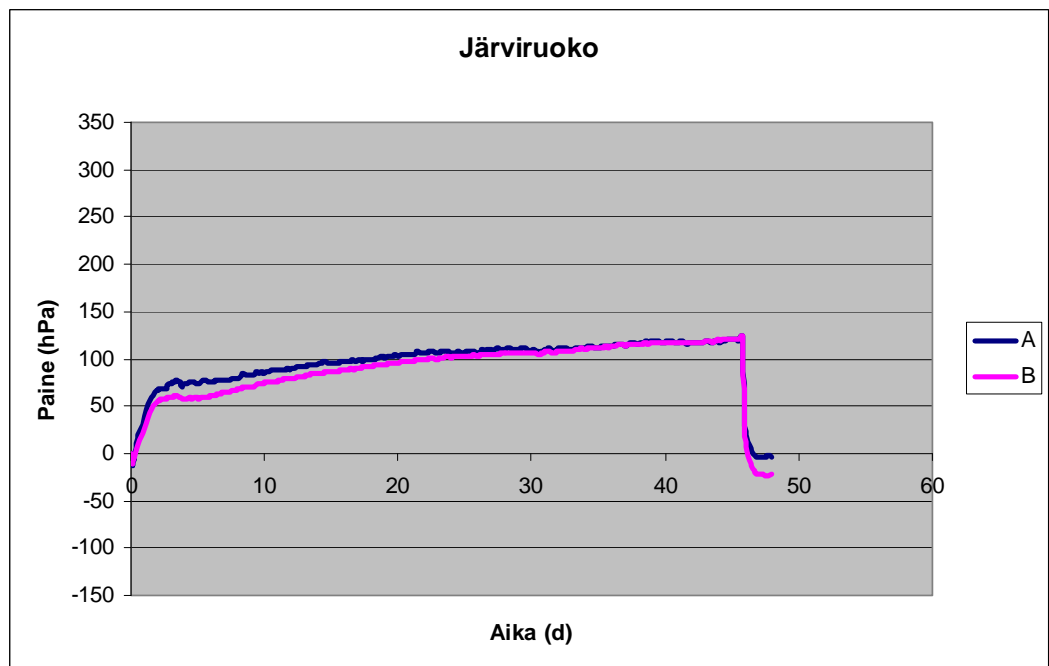
OxiTop®-kokeen tarkoituksena oli kemikaalilisäysten jälkeisessä lopputilanteessa mitata pelkästä metaanista aiheutuvaa painetta. Kaasukromatografilla tehty analyysi OxiTop®-pullojen lopputilanteen kaasukoostumuksesta kertoo kuitenkin, että osassa pulloista oli lisäysten jälkeen jäljellä huomattavia määriä hiilidioksidia, eikä kaikki pulloissa ollut paine näin ollen ollut metaanista johtuvaa, kuten kuviosta 15 näkyy. Tästä syystä menetelmästä A on mahdoton esittää tuloksia, jotka kertoisivat totuudenmukaisesti metaanintuotosta biomassaa kohti. Sen tähden tulokset on annettu biokaasuntuotantona biomassaa kohden.

OxiTop®-menetelmällä mitattu 48 vuorokauden aikainen paineenmuodostus on esitetty kuvissa 10-14 hehtopascaleina vuorokausia kohti. Jokaisesta kasvista oli kaksi rinnakkaista mittausta A ja B, joista kummastakin on piirretty kuvaan painekäyrä. Koska kutakin kasvia on punnittu kokeeseen tuorepainon mukaan, on pulloissa ollut eri määrä kutakin kasvia kuivapainossa, joten painekäyriä eri kasvien välillä vertailemalla ei voida tehdä johtopäätöksiä todellisen kaasuntuoton

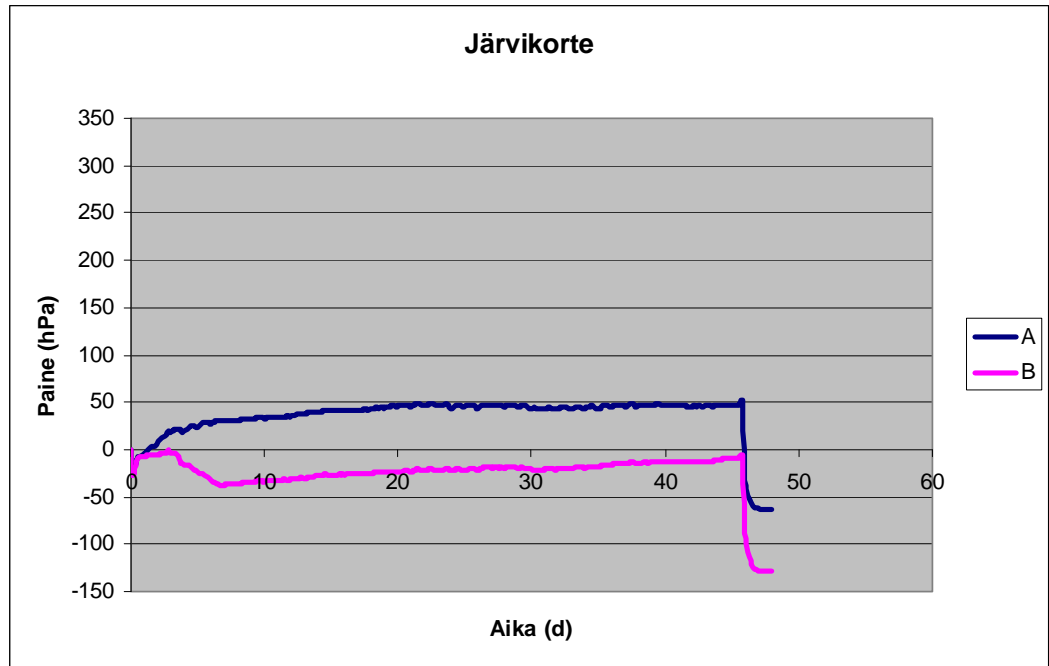
suuruudesta varsinaista kasviainemassaa kohden, johon muotoon tulokset on laskennan kautta saatu taulukkoon 4.



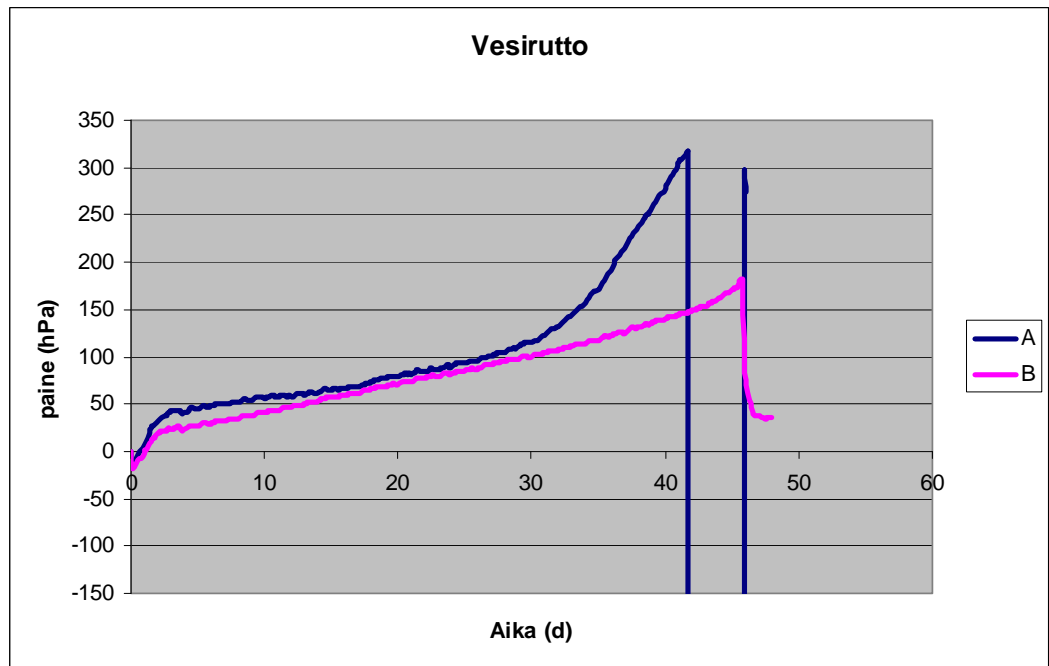
KUVIO 10 Uistinvidan painekuvaaja



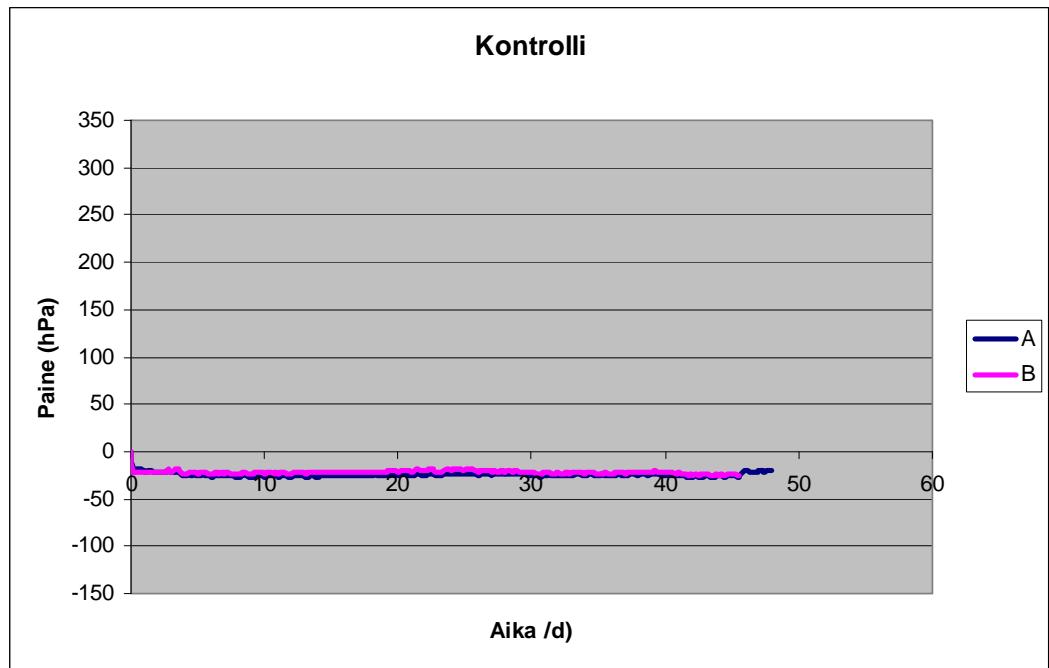
KUVIO 11 Järviruoko'n painekuvaaja



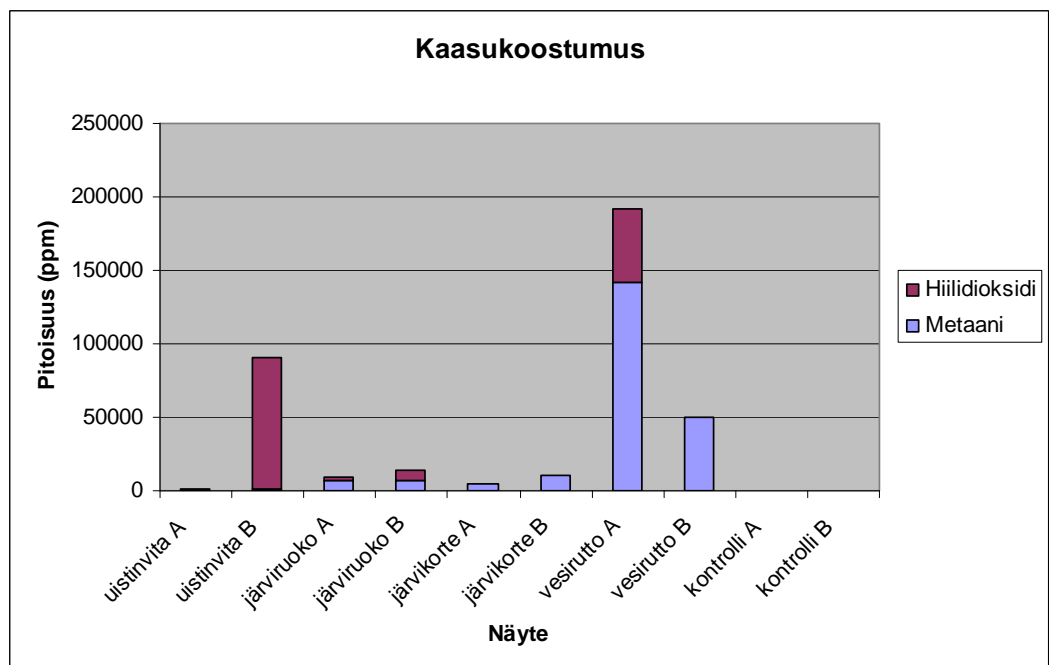
KUVIO 12 Järvikortteen painekuvaaja



KUVIO 13 Vesiruton painekuvaaja



KUVIO 14 Kontrollin painekuvaaja



KUVIO 15. OxiTop®-kokeen koejakson lopputilanteessa pulloissa olleet kaasukoostumukset ppm-pitoisuuksina.

Järviruoko antoi yhtenevän tuloksen molemmista OxiTop®-menetelmällä mittauksessa olleista rinnakkaisista pulloista (A ja B), ja niistä saatiin yhtenevät painekäyrät (kuvio 11). Vesirutto A tuotti pulloon niin kovan paineen, että se ylitti anturin turvarajan, eikä anturi mitannut suurimpia arvoja lainkaan. Kahden rinnakkaisen näytteen vertailussa pullon A kaasuntuotto oli selvästi pullon B kaasuntuottoa suurempi (kuvio 13). Lopputilanteessa pullossa A oli metaanin lisäksi huomattava määrä hiilidioksidia jäljellä (kuvio 15).

Järvikorte B:n mittapää ei lähtenyt kokeen aikana toimimaan lainkaan (kuvio 12). Mittapään mukaan painetta ei ole syntynyt, vaikka kaasukromatografianalyysi kertoo pullossa olleen merkittävän määrän metaania (kuvio 15). Koska kaasua on ollut, on pullossa täytynyt olla painetta. Taulukosta 4 näkyy, että järvikorte B antoi negatiivisen tuloksen kaasutilavuutena kuiva-aineen massaa kohti, vaikka kaasukromatografilla analysoiduissa näytteissä ppm pitoisuudet, etenkin metaani, ovat suuremmat kuin järvikorte A:lla (kuvio 15). Uistinviita A ei joko tuottanut kaasua koko kokeen aikana, tai sitten pullo vuoti, koska painetta ei mittapään mukaan syntynyt koko kokeen aikana juuri ollenkaan (kuvio 10). Tätä tukee kokeen lopetusvaiheessa otetusta kaasunäytteestä tehty kaasukromatografia-analyysi, joka osoittaa, että pullossa ei ollut lopetushetkellä metaania eikä hiilidioksidia (kuvio 15). Uistinviita B on antanut miltei yhtäläisen painearvon kuin järviruoko'n mittaukset, koska pullossa on ollut merkittävä määrä hiilidioksidia (kuvio 15). Metaania kasvimassasta ei ollut tuottunut käytännössä lainkaan. Paineenmittausten mukaan kasvittomat kontrollipullot eivät tuottaneet kaasua, eikä painetta syntynyt, kuten kuviosta 14 näkyy. Tästä syystä tulokset ovat negatiivisia taulukossa 4.

6.2.2 Biokaasuntuotto kaasukromatografia-analyysien avulla mitattuna

Taulukkoon 5 on kuvattu näytekasvien metaanin- ja hiilidioksidintuotto kasvin kuiva-ainetta sekä orgaanista kuiva-ainetta kohden, ja lisäksi on laskettu metaanin ja hiilidioksidin väliset suhteet prosenttiosuuksina kaasusta.

TAULUKKO 5a. Kaikkien kasvien metaanin- ja hiilidioksidintuotto kuutiona (m^3) kaasua orgaanista kuiva-ainetonnia (VS) kohden 167 vuorokauden mittauksessa menetelmällä B.

| Kasvi | $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{tonni VS}$ | $\text{m}^3 \text{CO}_2/\text{tonni VS}$ | yht. |
|------------|--|--|-------|
| Uistinvita | 0,4 | 11,1 | 11,5 |
| Järviruoko | 9,0 | 20,8 | 29,7 |
| Järvikorte | 5,3 | 8,2 | 13,5 |
| Vesirutto | 200,9 | 76,0 | 276,9 |

TAULUKKO 5b. Kaikkien kasvien metaanin- ja hiilidioksidintuotto kuutiona (m^3) kaasua kuiva-ainetonnia (TS) kohden 167 vuorokauden mittauksessa menetelmällä B.

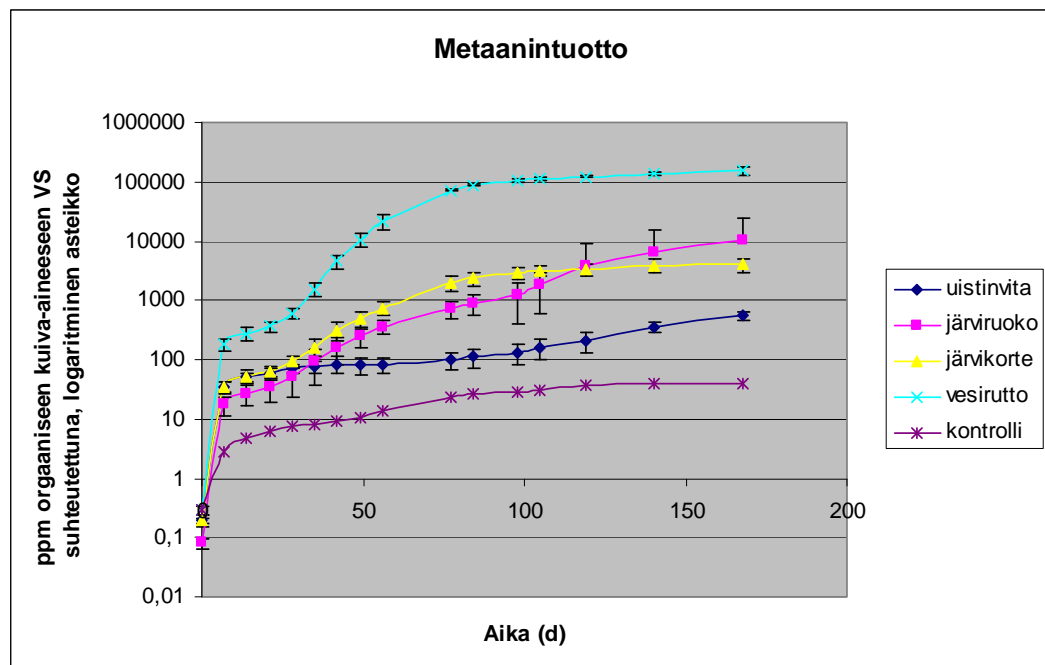
| Kasvi | $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{tonni TS}$ | m^3/CO_2 tonni TS | yht. | $\text{CH}_4 \%$ | $\text{CO}_2 \%$ |
|------------|--|-----------------------------------|-------|------------------|------------------|
| Uistinvita | 0,4 | 10,0 | 10,4 | 3,7 | 96,3 |
| Järviruoko | 8,3 | 19,1 | 27,4 | 30,3 | 69,7 |
| Järvikorte | 4,4 | 6,8 | 11,2 | 39,4 | 60,6 |
| Vesirutto | 158,7 | 60,0 | 218,7 | 72,6 | 27,4 |
| Kontrolli | 0,02 | 0,7 | 0,7 | 2,2 | 97,8 |

Kasvien metaanin- ja hiilidioksidintuotto kuutiona (m^3) kaasua kuiva-ainetonnia (TS) ja orgaanista kuiva-ainetonnia (VS) kohden on saatu käyttäen samoja laskukaavoja kuin OxiTop®-menetelmän tulosten laskennassa. Kaasukromatografilta kaasupitoisuustulokset tulevat yksikössä ppm = $\mu\text{l/l}$ eli metaanitilavuutena koeasttiassa olevassa tilavuudessa, kun paine on vakio.

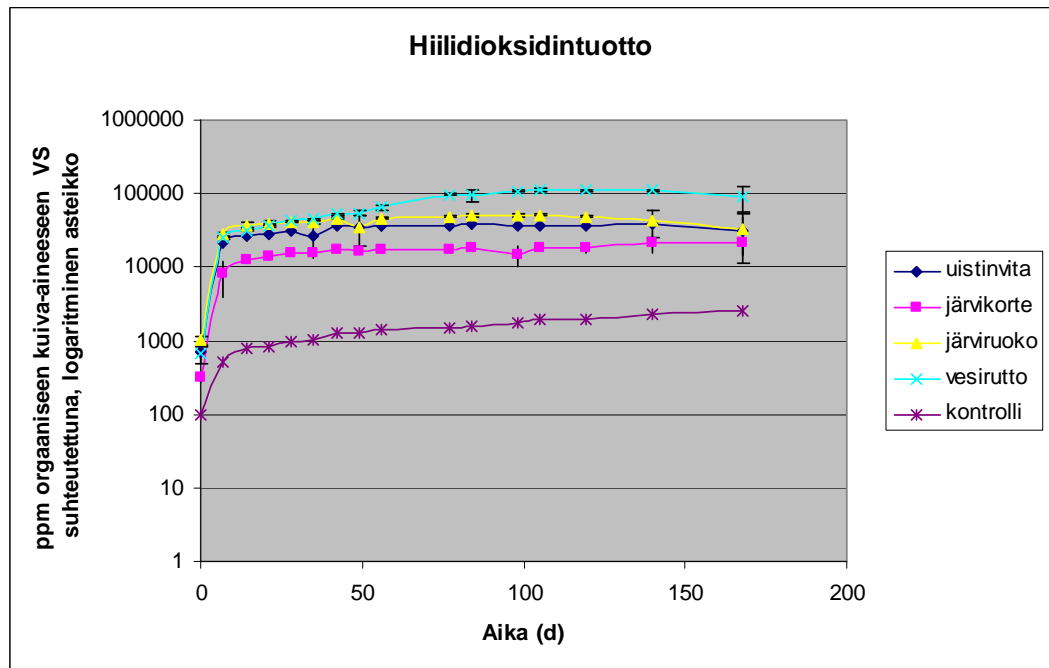
Biokaasun tyypillinen koostumus on 55–70 % metaania (CH_4) ja 30–45 % hiilidioksidia (CO_2). Tutkimuksessa saatujen laskennallisten tulosten mukaan vesirutto tuotti kaasuja mainituissa suhteissa, kuten taulukosta 5 nähdään. Järviruoko' on ja järvikortteen kaasuntuottojen suhteet olivat toisinpäin ja uistinvidan metaanintuotto oli mitätöntä suhteessa hiilidioksidintuottoon.

Vertailemalla tämän tutkimuksen tuloksia taulukosta 5a toisessa tutkimuksessa saatuihin tuloksiin maalla kasvavista kasvibiomassoista taulukossa 1, voidaan todeta, että tämän tutkimuksen tuloksissa kasvibiomassaltaan paras metaanintuotokasvi, vesirutto, antaa vain noin puolet siitä arvosta, mitä on saatu esimerkiksi ruokohelvelle $340\text{--}430\text{ m}^3\text{ CH}_4$ /tonni VS, timotei-apila-nurmelle $370\text{--}380\text{ m}^3\text{ CH}_4$ /tonni VS ja rehukaalille $310\text{--}320\text{ m}^3\text{ CH}_4$ /tonni VS. Tämän tutkimuksen tuloksissa järviruo'olla oli hieman parempi metaanintuotto kuin järvikortteella, mutta arvot olivat hyvin pieniä vesiruttoon nähden. Uistinviita ei osoittanut tuottaneen metaania juuri lainkaan. Tämä ja vertailuun käytetty tutkimus on tehty erilaisissa olosuhteissa erilaisin koejärjestelyin, joten ne eivät ole suoraan vertailtavissa keskenään. Kasvimassan hajotus ei ollut vielä päätöksessään tämän tutkimuksen koejakson päättyessä, eli kaikkea materiaalista saatavaa kaasua ei ollut vielä massasta tuotettu.

Kuvioon 16 on piirretty kunkin kasvin metaanintuotto ppm-pitoisuuksina orgaaniseen kuiva-aineeseen suhteutettuna ja kuvioon 17 vastaavasti hiilidioksidintuotto.



KUVIO 16. Kaikkien kasvien metaanintuotto ppm-pitoisuuksina orgaaniseen kuiva-aineeseen (VS) suhteutettuna 5,5 kk:n aikana viidestä rinnakkaisesta näytteestä laskettuna.



KUVIO 17. Kaikkien kasvien hiilidioksidintuotto ppm-pitoisuuksina orgaaniseen kuiva-aineeseen (VS) suhteutettuna 5,5 kk:n aikana viidestä rinnakkaisesta näytteestä laskettuna.

Vesiruton ja järviruoko' on osalta metaanipitoisuus oli kokeen lopetusvaiheessa yhä edelleen kasvussa, eikä metaanintuotto osoittanut siis vielä taantuneen (kuvio 16). Sen sijaan hiilidioksidipitoisuudet olivat tasaantuneet tai lähteneet laskuun (kuvio 17). Hiilidioksidipitoisuuksien taantuminen ja pieneneminen metaanipitoisuuksien kasvaessa oli odotettua, sillä prosessin edetessä ja hiilen kuluessa mikrobit alkavat käyttää hiilidioksidia metaaniksi. Hiilidioksidi pelkistetään metaaniksi käyttäen vetyä elektronin luovuttajana: $\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$ (Madigan ym. 2006, 427).

Taulukkoon 6 on listattu kaasukromatografikokeen tutkimusmateriaalista mitatut pH-arvot kokeen aloitus- ja lopetustilanteessa.

TAULUKKO 6. pH-arvot aloitus- ja lopetustilanteessa, suluissa keskihajonnat viiden mittauksen keskiarvoista.

| Näyte | pH 1.8.2008 | pH 15.1.2009 |
|------------|-------------|--------------|
| Uistinvita | 5,62 | 4,96 (0,03) |
| Järviruoko | 5,61 | 5,20 (0,60) |
| Järvikorte | 5,58 | 4,62 (0,07) |
| Vesirutto | 5,72 | 7,02 (0,08) |
| Kontrolli | - | 5,84 (0,52) |

Kokeen alussa mitattu sedimentin ja veden seoksen pH oli noin 5,6 ja jokaisen kasvin pulloissa lähtötilanne oli sama, kuten taulukosta 6 nähdään. Kokeen lopetusvaiheessa mitattu pH kertoo, että ainoastaan vesirutto oli prosessin toiminnan kannalta optimaalisella pH-alueella lukemalla pH 7. Kaikkien muiden kasvien kohdalla pH oli laskenut alemmas kuin kontrollipulloissa, jotka olivat säilyttäneet lähtötilanteen tason. Optimaalisen metaanintuoton kannalta arvot olivat aivan liian alhaiset. Olosuhteet olivat ehdottomasti liian happamat, mikä osaltaan selittää muiden kasvien alhaisia metaanintuottolukuja.

Kokeessa käytetyistä kasvimääristä tehtiin kuiva-ainemääritys sekä kokeen aloitus- että lopetustilanteessa. Kuivapainojen keskiarvot kullekin kasville viidestä rinnakkaisesta näytteestä laskettuna on esitelty taulukossa 7. Aloitushetken kuivapaino on luonnollisesti laskennallinen arvo, joka on saatu vastaavasta kasvien kuivatuksesta. Lopetushetken arvoissa on epävarmuustekijöitä, jotka liittyvät mädätysjäännöksen suodattamiseen lopetushetkellä. Kuivatetussa massassa saattaa olla mukana sedimenttiä, ja vastaavasti osa kasviaineksesta saattoi jäädä vesi-sedimenttiseokseen.

TAULUKKO 7. Menetelmän B kasvimassan kuivapainot aloitus- ja lopetushetkellä, sekä lopetushetkellä jäljellä olleen massan osuus aloitustilanteesta.

| Kasvi | aloitustilanne (g) | lopetustilanne (g) | jäljellä % |
|-------------|--------------------|--------------------|------------|
| Uistinviita | 1,44 | 0,69 | 48 |
| Järviruoko | 3,00 | 2,20 | 73 |
| Järvikorte | 1,50 | 1,06 | 70 |
| Vesirutto | 1,09 | 0,28 | 26 |

Taulukosta 7 nähdään, että vesiruton kasvibiomassa oli hävinnyt parhaiten kasvin kuivapainoon suhteutettuna. Vesiruton massasta oli hävinnyt noin 75 %, kun taas suhteessa huonoiten hajonneen kasvin, järviruoko'n, massasta oli hävinnyt vain noin 25 %. Järvikortteestakin oli kokeen aikana hävinnyt vain 30 %. Uistinvidan kuivapaino sen sijaan oli puoliintunut, vaikka metaanintuotto ei mittauksen mukaan ollut juuri kontrollia suurempaa.

7 YHTEENVETO KOEJÄRJESTELYISTÄ JA JATKOTUTKIMUSHAASTEET

Tutkimuksen kokeissa käytettyjen kahden eri menetelmän A ja B antamien tulosten arvoja ei näillä tuloksilla voida täysin verrata toisiinsa, sillä OxiTop®-menetelmällä mitatuissa kaasuntuottoluvuissa on mukana metaanin lisäksi hiilidioksidia. Koska pulloihin kuitenkin on tehty kemikaalikäsittely hiilidioksidin poistamiseksi, ei menetelmän B tuloksia voida verrata myöskään niihin menetelmän A kaasukromatografilta saatuihin tuloksiin, jossa on laskettu yhteen sekä metaanin että hiilidioksidin tuotto. Vaikka menetelmien antamien tulosten vertailu keskenään tarkasti on mahdotonta, voidaan todeta, että menetelmällä A saatiin yleisesti ottaen suurempia metaanintuottolukuja kuin menetelmällä B.

Molempien menetelmien kautta saatuja tuloksia yhdessä tarkastellen voidaan todeta, että tutkimuksessa mukana olleista kasvibiomassoista vesirutolla on paras, järviruoko'olla toiseksi paras, järvikortteella kolmanneksi paras ja uistinvidalla kaikkein huonoin metaanintuottopotentiali tarkasteltaessa metaanin tuottoa kasvin kuiva-ainetta kohden. OxiTop®-menetelmällä mitatuissa näytteissä vesirutto

B:n antama tulos on jonkin verran vesirutto A:ta pienempi. Koska vesirutto A:n kaasussa oli huomattava määrä hiilidioksidia mukana, voidaan todeta, että vesiruton tapauksessa menetelmällä A eli paineenmittauksella saatiin pienempi metaanintuottopotentiaali kuin menetelmällä B, eli kaasunäytteistä analysoimalla.

Molemmat koemenetelmät huomioiden toiseksi paras metaanintuottopotentiaali on järviruo'olla. Se oli OxiTop®-menetelmällä analysoiduista näytteistä ainoa kasvi, joka antoi yhtenevän tuloksen molemmista rinnakkaisista näytteistä eli sekä A:sta että B:stä. Tosin järviruo'ko B:stä tehty kaasukromatografia-analyysi paljastaa, että näytteessä on ollut A:han verrattuna enemmän hiilidioksidia. Järviruo'on mittauksissa menetelmällä A saatiin suurempi tulos kuin menetelmällä B.

Järvikortteen kohdalla voidaan tutkia ainoastaan yhtä OxiTop®-menetelmällä saatua tulosta eli järvikorte A:ta ja verrata sitä kaasukromatografilla analysoituihin tuloksiin. OxiTop®-menetelmällä mitatuista järvikortteen kaasunäytteistä tehty kaasukromatografia-analyysi kertoo paineen aiheutuneen metaanista, joten voidaan todeta, että järvikortteen tapauksessa saatiin suurempi metaanintuottopotentiaali menetelmällä A kuin menetelmällä B.

Molempien menetelmien antamat tulokset osoittavat uistinvidan kasvimassan olevan tämän kokeen olosuhteissa soveltumatonta metaanintuotantoon. Uistinvita B antaa OxiTop®-menetelmällä mitattuja kasveja toiseksi parhaimman tuloksen vesiruton jälkeen, mutta kaasukromatografilla analysoitu näyte uistinvita B:n kaasusta osoittaa, että tuotettu kaasu on ollut lähestulkoon pelkkää hiilidioksidia. Kaasukromatografilla analysoiduissa näytteissä uistinvita ei osoita tuottaneen metaania juuri ollenkaan. Lukemat ovat lähellä kontrollinäytteiden tasoa.

Kaasukromatografianalyyseissä saatujen tulosten laskennassa olisi täytynyt tehdä paineenkorjaus. Koska kaasu oli pullossa ylipaineisessa tilassa ja vapautui normaalipaineiseen tilaan otettaessa ulos pullosta ruiskuun, saadut pitoisuustulokset eivät vastaa täysin todellista tilannetta, vaan todellisuudessa tulokset olisivat mitä todennäköisimmin suurempia. Koska tällä koejärjestelyllä oli mahdotonta mitata

pullossa vallinnutta painetta, ei paineenkorjausta tuloksiin voitu käytännössä tehdä.

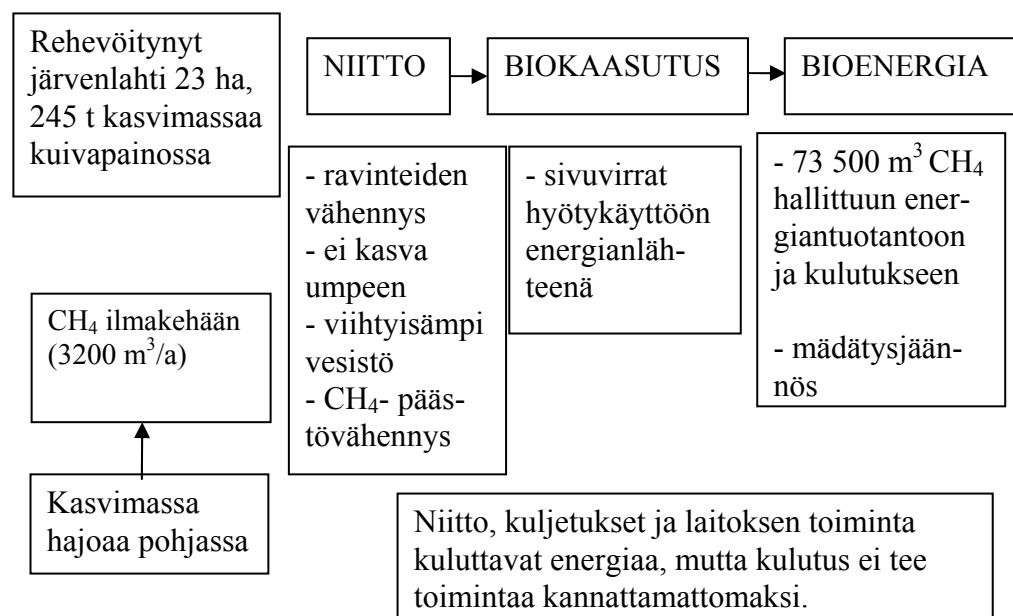
Vaikka menetelmällisesti OxiTop-koe ei onnistunut kokonaisuudessaan tavoitteen mukaisesti, saatiin siitä yhteneväiset tulokset kaasukromatografilla mitatun hajotuskokeen kanssa siitä, että tutkimuksessa mukana olleista kasveista vesirutolla on paras metaanintuottopotentiaali, ja tämän lisäksi muiden kasvien keskinäinen järjestys oli sama. Kaikkien kasvien antamat tulokset olivat samaa suuruusluokkaa vertailtaessa näitä kahden kokeessa käytetyn menetelmän antamia tuloksia keskenään.

Varsinaisten teknisten mittausmenetelmien lisäksi on tarkastelussa huomioitava koejärjestelyn olosuhteet. Kummankin menetelmän prosessia olisi suosinut korkeampi prosessilämpötila, joka olisi tehostanut mikrobien toimintaa. Jatkotutkimusmielessä lämpötilan ja pH:n sekä ravinteisuuden säätö olisivat merkittävimmät tekijät, joiden avulla menetelmän tehokkuutta voitaisiin lähteä parantamaan. Jotta pH:ta voitaisiin säätää koejakson aikana, olisi koejärjestelyä ja laitteistoa kuitenkin huomattavalta osin saatava paranneltua. Lämpötila olisi nostettava tasolle 35-38 °C, joka vaatisi esimerkiksi lämpökaapin käyttämistä. Mikäli uistinviita, järviruoko ja järvikorte haluttaisiin pitää tutkimuksissa mukana, niiden pH-arvoja olisi nostettava emäskäsittelyllä. Kasveista täytyisi tehdä yksityiskohtaiset ravinnemääritykset, jotta ravinnesuhteet saataisiin tarvittavin ravinnelisyksin hajotusprosessin kannalta optimaalisiksi. Eri materiaaleja yhdistellen voitaisiin saada hyvin sekamädätykseen sopivaa raaka-ainemateriaalia. Vesirutto hyötyi luonnollisesti korkeasta pH:sta näissä olosuhteissa, joissa luonnollista tilannetta ei säädetty puskurilisäyksillä. Jatkotutkimusmielessä kokeisiin pitäisi ottaa mukaan puskurilisäykset.

8 ARVIO KÄYTÄNTÖÖN SOVELTUVUUDESTA

Tämän rehevöityneiden järvien vesikasviniittojätteiden biokaasuhyötykäytön tilannetta mallintavan esimerkkitapauksen avulla voidaan arvioida sitä, kannattaisiko niittojätteiden keruu biokaasuntuotantoon ilmastonsuojelullisessa ja energian-

tuotannollisessa mielessä. Laskuissa on käytetty esimerkkialueena pahasti rehevöitynyttä järvenlahtea. Arvio on vain suuntaa-antava ja perustuu karkeisiin arvioihin. Tarkoituksena oli ensin selvittää, kuinka paljon rehevöityneestä järvenlahdesta pääsisi luonnollisessa tilassaan ilmakehään metaania, jos kasveja ei niitettäisi. Laskelma on tehty yhden kasvukauden ajalle. Tämän jälkeen on tehty arviota siitä, kuinka paljon energiaa jouduttaisiin käyttämään, kun kasvit niitettäisiin ja tuotettaisiin biokaasuksi suhteessa siihen, kuinka paljon kasvimassasta saisi lopputuloksena metaania käyttöön biokaasutuksessa. Tilannetta on esitelty kuviossa 18 sen perusteella, mitä myöhemmin esiteltävissä laskelmissa on saatu tulokseksi. Taloudellisen kannattavuuden arvioiminen on jätetty mallinnuksesta pois. Kasvibioenergian tuottamisen taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttaa suuresti tukipolitiikka eli se, minkälaisia energiatukia kasvi saa, minkälaisia tukia korjuukoneisiin saa, ja minkälaisia tukia biokaasuntuotannolle maksetaan.



KUVIO 18 Tilanteen ja toiminnan mallinnus

8.1 Reunaehdot ja oletukset

Mallinnuksen tekemisessä on tehty seuraavanlaisia muutamia oletuksia, joita vesikasvien hyötykäyttö edellyttää. Ensimmäiseksi on hoidettu lupa-asiat kun-

toon. On varmistettu, että alue ei ole suojelukohde, eikä vesialueen omistajilla, osakaskunnalla ja alueellisella ympäristökeskuksella ole mitään niittoa vastaan. Toisekseen on löydetty urakoitsija, jolla on käytössään tarkoitukseen sopiva kalusto eli vedessä tapahtuvaan niittoon soveltuva laitteisto. Sopivan urakoitsijan lisäksi käyttöön on saatu kuljetuskalusto, jolla niittojäte toimitetaan rannalta biokaasulaitokselle. Rantaan pääsee raskaiden koneiden painon kestävää tietä pitkin. On myös ratkaistu, kuinka niitetty kasvijäte saadaan nostettua vedestä kyytiin lavalle. Koska jätteitä ei kannata kuljettaa pitkiä matkoja, on varmistettu, että niittopaikan läheltä löytyy maatila, jolla on tarjolla mädätyskalusto. Tavallisessa käytössään tilan mädätysreaktori tuottaa biokaasua pääasiallisesti alueen karjatilojen tuottamasta lannasta ja maatalouden kasvijätteestä. Biokaasulaitoksen eli mädätyskaluston omistajan kanssa on tehty sopimus niittojätteen vastaanotosta ja laitteisto on vähäisin muutoksin valmis vastaanottamaan niittojätettä.

Niitto on vesiensuojelullisen hyödyn ja kannattavuuden kannalta toistettava myös ensimmäistä niittoa seuraavana kesänä. Tämän jälkeen voidaan pitää joitain vuosia taukoa, mutta todennäköisesti tarve uusille niitoille syntyy muutamien vuosien jälkeen uudelleen. Tosin lähialueen muita järviä voidaan myös niittää tällä välillä, joten tilan mädätyslaitteisto täytyy siis pystyä ottamaan käyttöön epäsäännöllisin väliajoin lyhyen ajanjakson ajaksi.

Niittoa suunniteltaessa on luonnonsuojelulliset näkökohdat otettava monipuolisesti huomioon. Harvinaisten ja suojeltavien kasvien esiintyminen järvellä tai järven huomionarvoinen merkitys lintuvetenä estäisivät kyseiset kasvien poistotoimenpiteet. Vastaavasti kasvien poistoa suunniteltaessa on otettava huomioon, miten ravinteita sitovan kasvillisuuden poisto vaikuttaa ravinteiden kulkeutumiseen. Esimerkkitapauksena ollut järvenlahti on rehevöityessään toiminut suodattimena lopulle järvelle. Koska ravinteet ovat jääneet lahteen, ne eivät ole levinneet järvenselälle. Ilman kasvimassan poistoa lahti kuitenkin kasvaa erittäin voimakkaasti umpeen. Osa ravinteista lähtisi poistettavan kasvimassan mukana järvestä pois ja kun niitto toistettaisiin määräajoin, saataisiin sillä järven tilan kannalta myönteisiä tuloksia aikaan.

8.2 Mallijärvenlahden tiedot

Tapauskohtaisen tarkastelun malliksi on esimerkkiluontoisesti valittu erään järven eteläpäässä sijaitseva lahti, jonka vesialueen pinta-alaksi on tässä tarkastelussa rajattu 23 ha. Alue on otettu tarkastelun kohteeksi vain siksi, että lahti on erittäin rehevöitynyt. Muut mallinnukseen liittyvät olettamukset eivät täsmää kyseiseen järvenlahteen, ja siksi sitä käytetään vain kuvitteellisen tilanteen esimerkkinä. Järvenlahteen laskevaa jokea pitkin kulkeutunut liete on mataloittanut aluetta ja lisännyt sen umpeenkasvua. Järvenlahden runsas kasvillisuus hidastaa veden virtausta, joten suuri osa joen tuomista ravinteista sedimentoituu lahdelle. Kyseiselle vesialueelle on tehty kasvillisuuskartoitus, jonka mukaan kasvillisuusvyöhykkeen pinta-ala oli yhteensä 20,87 ha, kuten taulukosta 8 näkyy. Pinta-alallisesti merkittävin kasvi on pohjanlumme, sitä seuraavat järvikorte ja järviruoko, ulpukka ja järvikaisla. Muina kasveina mainitaan sarat, leveäosmankäämi ja siimapalpakko.

TAULUKKO 8. Järvenlahdella kasvavien kasvien kasvupinta-alat. (lähde Eeva Huitu)

| Kasvi | Pinta-ala (ha) |
|--|-----------------------|
| Pohjanlumme (<i>Nymphaea candida</i>) | 15,24 |
| Järvikorte (<i>Equisetum fluviatile</i>) | 1,91 |
| Järviruoko (<i>Phragmites australis</i>) | 1,54 |
| Ulpukka (<i>Nuphar lutea</i>) | 0,98 |
| Järvikaisla (<i>Schoenoplectrus lacustris</i>) | 0,98 |
| Sarat (<i>Carex sp.</i>) | 0,1 |
| Leveäosmankäämi (<i>Typha latifolia</i>) | 0,07 |
| Siimapalpakko (<i>Sparcanium gramineum</i>) | 0,04 |
| yhteensä | 20,86 |

8.3 Arvio ilman toimia litoraalista ilmakehään vapautuvan metaanin määrästä

Järvien litoraalissa kasvavat kasvit vapauttavat kasvuvaiheessaan ja etenkin kasvun päätyttyä, pohjassa hajotessaan, huomattavia määriä metaania ilmakehään

(Dacey & Klug 1979; Kankaala ym. 2004). Seuraavaksi on esitelty tuloksia eri tutkimuksista, joissa on mitattu litoraalin eri kasvillisuusalueiden metaanipäästöjä. Vesijärven järviruokoa tutkittiin kolmen vuoden ajan. Sulavesikaudella metaanipäästöt olivat keskimäärin $20\text{--}50\text{ g/m}^2/\text{a}$, mutta uloimmalla ruovikkovyöhykkeellä päästöt olivat jopa $123\text{ g/m}^2/\text{a}$. Talven osuus oli 10 % koko vuoden päästöistä. (Kankaala ym. 2004.) Lammin Pääjärven järvikortekasvuston metaanintuottoa seurattiin heinäkuusta marraskuuhun. Suurin arvo $813\text{ mg/m}^2/\text{d}$ mitattiin heinäkuussa ja pienin arvo $6,5\text{ mg/m}^2/\text{d}$ marraskuussa, jolloin ranta oli jo jäässä. Koko kasvukauteen suhteutettuna vuotuiseksi päästökseksi arvioitiin $43,7\text{ g CH}_4/\text{m}^2$. (Hyvönen ym. 1998.)

Kankaala ym. (2003) tutki kolmen päivän ajan litoraalin metaanipäästöjä erään eteläsuomalaisen järven vesikasvikasvustoista. Tulokset on esitetty muodossa $\text{mmol/m}^2/\text{h}$: järviruoko $1,16 \pm 0,33$, järvikaisla $0,09 \pm 0,02$, järvikorte $0,07 \pm 0,01$, isoulpukka $0,04 \pm 0,01$, siimapalpakko $0,04 \pm 0,01$ ja uistinviita $0,02 \pm 0,01$. Amerikkalaiselle leveäosmankäämille löytyi kirjallisuusarvo $0,94\text{ g/m}^2/\text{d}$ (Yavitt & Knapp 1995).

Taulukkoon 9 on kirjallisuusarvojen perusteella arvioitu metaanipäästöarvoja grammoissa neliömetriltä ($\text{g CH}_4/\text{m}^2$) eri vesikasvien kasvustoille. Taulukon alle on listattu perusteita sille, miten arvot on valittu. Taulukkoon 9 on listattu myös kunkin kasvilajin kasvuston yhteenlaskettu kasvupinta-ala, joten kertomalla tietyltä pinta-alalta ilmaan vapautuva metaanimäärä kasvupinta-alalla, on saatu arvio metaanipäästön määrälle massana grammoissa (g).

TAULUKKO 9. Eri kasvilajien kasvustojen metaanintuotto.

| Kasvi | Pinta- ala (m ²) | g CH ₄ /m ² sula- vesikausi 180 d | m CH ₄ (g) | Lähde metaanipäästölle |
|-----------------|---------------------------------|--|--------------------------|---------------------------|
| Pohjanlumme | 152400 | 2,77 | 422462 | *1 |
| Järvikorte | 19100 | 43,70 | 834670 | Hyvönen 1998 *2 |
| Järviruoko | 15400 | 50,00 | 770000 | Kankaala 2004 *3 |
| Ulpukka | 9800 | 2,77 | 27166 | Kankaala 2003 *4 |
| Järvikaisla | 9800 | 6,24 | 61124 | Kankaala 2003 *5 |
| Sarat | 1000 | 30,00 | 30000 | *6 |
| Leveäosmankäämi | 700 | 169,20 | 118440 | Yavitt&Knapp 1995 *7 |
| Siimapalpakko | 400 | 2,77 | 1109 | Kankaala 2003 *8 |
| | | yhteensä | 2264970 | |

- 1) Metaanipäästölle on oletettu sama arvo kuin ulpukalle.
- 2) Vuotuinen päästö koko kasvukaudelle suhteutettuna.
- 3) Sulavesikauden keskimääräinen tuotto vaihteluvälin yläpäästä.
- 4) Isoulpukan päästö, tulokset oli laskettu kolmen päivän ajalla ja esitetty muodossa mmol/m²/h. Siitä moolit laskettiin grammoiksi ja kerrottiin 180 vuorokaudelle
- 5) Tulokset oli laskettu kolmen päivän ajalla ja esitetty muodossa mmol/m²/h. Siitä moolit laskettiin grammoiksi ja kerrottiin 180 vuorokaudelle.
- 6) Arvio muiden kasvien arvojen perusteella
- 7) Pohjoisamerikkalainen tutkimus, jossa tulokset esitetty muodossa g/m²/d, josta kerrottiin 180 vuorokaudelle.
- 8) Tulokset oli laskettu kolmen päivän ajalla ja esitetty muodossa mmol/m²/h. Siitä moolit laskettiin grammoiksi ja kerrottiin 180 vuorokaudelle.

Tämän karkean ja moniin olettamuksiin perustuvan laskennan perusteella voidaan arvioida, että järvenlahden kasvillisuudesta aiheutuisi noin 2300 kg:n metaanikaasupäästöt ilmakehään yhden kasvukauden aikana. Kaavaa 3 käyttäen voidaan laskea, kuinka paljon kyseinen metaanimäärä on tilavuutena.

n = ainemäärä (mol)

M = moolimassa (g/mol)

V = tilavuus

$V_m = 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol}$ ideaalikaasun moolitilavuus normaalitilassa

$M_{\text{CH}_4} = (12,01 + 4 \cdot 1,008) \text{ g/mol} = 16,042 \text{ g/mol}$

$$n = m/M \quad n = V/V_m$$

$$\text{Kaava 3. } V = n * V_m = m/M * V_m$$

$$V = 2264970 \text{ g} / 16,042 \text{ g/mol} * 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol} = 3\,164\,068 \text{ dm}^3 = 3164 \text{ m}^3$$

Tämän laskutoimituksen perusteella alueelta vapautuu vuosittain 3164 m³ metaania ilmakehään. Mikäli käytetään vertailua, jonka mukaan 1 m³ metaania vastaa 1 dm³ öljyä, joka vastaa 10 kWh energiaa, niin tällä kasvillisuusvyöhykkeeltä vapautuvalla energialla saisi hoidettua yhden öljylämmitteisen omakotitalon lämmityksen yhden vuoden ajan.

8.4 Arvio niiton ja biokaasutuksen energiankulutuksesta

Vesikasvien niittoon on valittu käytettäväksi Truxor-monitoimikone, sillä laite käy lisälaitteidensa avulla kaikenlaisten vesikasvien sadonkorjuuseen ja -keruuseen. Truxor DM 4700B:ssä on dieselmoottori Lombardini Focs 1003 27 hv, ja sen ajonopeus on 0-80 m/min. Truxor kuluttaa polttoainetta noin 2,5 litraa tunnissa. Yhden hehtaarin niittoon ja korjuuseen voidaan laskea kuluvan noin 3-4 tuntia, joten karkeasti arvioiden 20 hehtaarin alueen niittoon kuluisi polttoainetta 150-200 litraa. (Palomäki 2009; Truxor-esite 2007.) Kaikkea alueella kasvavaa kasvillisuutta ei kuitenkaan poistettaisi.

Truxorin avulla kasvimassa saadaan kuormattua traktorin lavalle, ja niittojäte kuljetetaan traktorin avulla maatilalle. Karkeasti voidaan arvioida, että traktorin kevyen polttoöljyn kulutus on noin 120 litraa/työpäivä, jos se on n. 15 l/h. Oletuksena on, että matkaa rannasta maatilalle tulee noin 5 km. Paluu tilalta rantaan tapahtuu tyhjällä kuormalla. Jokaisen kuorman takia on ajettava 10 km:n matka. Lavalle mahtuu arviolta kerralla noin 10-13 m³ niittojätettä. Koko niiton aikana kuljettavaa märkää jätettä kertyisi noin 750 tonnia, kun otetaan huomioon, että koko järvenlahtea ei millään voida tyhjentää kaikesta kasvillisuudestaan, vaan sitä vain harvennetaan reilusti. Näillä lähtötiedoilla voidaan karkeasti arvioida, että yhdelle koneelle laskettuna kuluisi kuljetuksiin lastauksineen ja purkuineen arviolta puoli-

toista työviikkoa. Tällainen konetyömäärä voisi kuluttaa 1200 litraa polttoainetta. Käytännössä työtä kannattaisi kenties tehdä useammalla traktorilla, mutta laskennallisessa arviossa polttoaineen kulutus on sama huolimatta siitä, jaetaanko sama työmäärä useammalle koneelle.

Tutkimustulosten mukaan peltokasveista biokaasua Suomen olosuhteissa tuotettaessa kuluu tuotannon eri vaiheisiin primäärienergiaa 16,4 % tuotetusta energiasta (Luostarinen 2007, 45). Samaisen tutkimuksen mukaan biokaasun tuotannon suurimpia energiankuluttajia ovat reaktorin ja syötteen lämmitys, joka kuluttaa noin kymmenyksen tuotetusta energiasta. Suomen olosuhteissa, joissa keskilämpötila on huomattavan alhainen, biokaasuprosessissa energiaa kuluu enemmän kuin ilmastoltaan lämpimissä maissa. Sähköä kuluu myös kasvimassan syöttämiseen ja reaktorin sisällön sekoitukseen, käsitellyn massan pumppaamiseen, vedetöintiin ja kaasuväaran paineen ylläpitoon. Mikäli syntyvää biokaasua halutaan käyttää liikennepolttoaineena, tulee se puhdistaa ja paineistaa, mihin kuluu energiaa edellisten lisäksi. Prosessin kuluttama energia voidaan käyttää laitoksen omasta tuotosta, eikä se sinänsä välttämättä lainkaan vaadi ulkopuolista energianlähdettä. (Luostarinen 2007, 32-34.)

Koska vesikasvit eivät ole erikseen viljeltäviä satokasveja, niiden tuotantoon ei kulu minkäänlaista energiapanosta. Niitä ei tarvitse kylvää, lannoittaa tai kastella, eikä niiden tuottaminen vaadi torjunta-aineiden käyttöä tai mitään muutakaan kasvua ylläpitävää toimintaa. Peltokasveihin verrattuna niiden tuotantoon ei siis kulu energiaa, mutta toisaalta niiden niitto ja korjuu on työläämpää ja kosteusprosentti korjuuhetkellä liian suuri mädätysprosessiin, eli niiden käyttö edellyttää kuivatus-

8.5 Arvio mädätyksessä niittojätteistä saatavan metaanin määrästä

Seuraavaksi on eri lähteistä koottu tietoja siitä, millaisia kasvibiomassamääriä pinta-alaa kohden minkäkin kasvin on todettu muodostavan ja näiden lukujen perusteella taulukkoon 10 on koottu karkeat arviot kunkin kasvilajin kuiva-ainemassalle neliometriä kohden (g/m^2). Pääjärven järvikortteesta tehdyssä tutki-

muksessa elokuun lopulla vihreän verson biomassa oli keskimäärin 700 g/m^2 kuivapainossa ja maksimimäärältään 1000 g/m^2 . Juuristo ja maavarret muodostavat aina suuremman biomassan ja syyskuun lopulla niiden keskiarvo oli 1400 g/m^2 ja maksimiarvo 2200 g/m^2 . (Hyvönen ym. 1998.) Littoistenjärven vesiruton keskimääräinen kuivamassa vaihteli välillä $10\text{-}380 \text{ g/m}^2$ vuosina 1986-2004 siitä riippuen, missä kierron vaiheessa kasvikanta on (Sarvala 2005, 33).

Eräiden järvikasvityyppien pohjanpäällisten ja pohjanalaisten osien vuosittaiseksi biomassantuotoksi on saatu seuraavanlaisia lukuja: uposlehtiset $500\text{-}1000 \text{ g/m}^2/\text{a}$ ja lauhkean vyöhykkeen ilmaversoiset $2000\text{-}4500 \text{ g/m}^2/\text{a}$. Yhden kasvukauden kasvibiomassan kuivapainon maksimiarvoiksi on saatu ilmaversoisille 3980 g/m^2 , kelluslehtisille $850\text{-}1750 \text{ g/m}^2$, uposlehtisille ravinneköyhässä $5\text{-}140 \text{ g/m}^2$ ja ravinteikkaassa ympäristössä $65\text{-}700 \text{ g/m}^2$. (Wetzel 2005, 563.)

Seuraavaksi on listattu joidenkin järvikasvien pohjanpäällisten osien vuosittaisia biomassantuottoja: tanskalainen rantapalpakko 234 g/m^2 , tsekkiläinen vesirutto 450 g/m^2 , pohjoisruotsalaiset järvikorte $10\text{-}21 \text{ g/m}^2$ ja pullosara $12\text{-}25 \text{ g/m}^2$, tsekkoslovakialaiset järviruoko 2980 g/m^2 , osmankäämi 4040 g/m^2 ja järvikaisla 3000 g/m^2 sekä eteläruotsalainen järviruoko 2380 g/m^2 , englantilaiset osmankäämi ja järviruoko $800\text{-}1100 \text{ g/m}^2$, tsekkiläinen ruoko $1100\text{-}2200 \text{ g/m}^2$ ja suomalainen pullosara 185 g/m^2 . (Wetzel 2005, 561).

TAULUKKO 10 Eri kasvilajien kuiva-ainemassat (g) tutkimuskohteessa.

| Kasvi | Pinta-ala (m²) | Kuiva-ainemassa (g/m²) | Kuiva- aine (g) |
|-----------------|--------------------------------------|--|----------------------------|
| Pohjanlumme | 152400 | 1000 (850-1750) | 152400000 |
| Järvikorte | 19100 | 700 | 13370000 |
| Järviruoko | 15400 | 2380 | 36652000 |
| Ulpukka | 9800 | 1000 (850-1750) | 9800000 |
| Järvikaisla | 9800 | 3000 | 29400000 |
| Sarat | 1000 | 185 | 185000 |
| Leveäosmankäämi | 700 | 4040 | 2828000 |
| Siimapalpakko | 400 | 234 | 93600 |
| Yhteensä | 208 600 | Yhteensä | 244728600 |

Lähteet kuiva-ainearvoille:

- 1) Wetzel 2001, 563. kelluslehtisille kasveille maksimaalinen kasvibiomassantuotto kuivapainossa yhden kasvukauden aikana 850–1750 g/m²
- 2) Hyvönen ym. 1998, suomalainen järvikorte
- 3) Wetzel 2001, 561. eteläruotsalainen järviruoko
- 4) Wetzel 2001, 563. kelluslehtisille kasveille maksimaalinen kasvibiomassantuotto
- 5) Wetzel 2001, 561. tsekkiläinen järvikaisla
- 6) Wetzel 2001, 561. suomalainen pullosara
- 7) Wetzel 2001, 561. tsekkiläinen osmankäämi
- 8) Wetzel 2001, 561. tanskalainen rantapalpakko

Tämän runsaisiin olettamuksiin perustuvan laskelman mukaan järvenlahdessa on 244 729 kg eli vajaa 250 tonnia kasvimassaa kuiva-aineena mitattuna. Järvenlahdea ei järvenkunnostustilanteessa voida toki täysin kasvillisuudesta tyhjentää, vaan osa kasveista on jätettävä kasvamaan.

Kun kasvillisuusalueen pinta-ala on 20,86 ha, joka tarkoittaa 208 600 m² ja kasvibiomassan kuivapaino vaihtelee kasvilajista riippuen 185-4040 g/m², niin alueella on näiden lähtötietojen perusteella 244 728 600 g kasvibiomassaa, joka tarkoittaa 245 tonnia kasvia kuivapainossa. Jos arvioidaan, että kasvimassasta saataisiin

sekamädätyksessä metaania kasvilajista riippumatta keskimäärin 300 m³/tonni kuiva-ainetta, niin kyseisestä kasvimassasta saataisiin 73 500 m³ metaania, joka vastaa 73 500 m³ litraa öljyä ja 735 MWh energiaa. Yksi öljylämmitteinen omakotitalo kuluttaa vuodessa lämmitettävästä pinta-alasta ja lämmityslaitteista riippuen noin 2000-4000 litraa öljyä, joten tämän karkean arvion mukaan tällä kasvimäärällä saisi tuotettua n. 24 omakotitalon vuotuista öljylämmitystä vastaavan energiamäärän, jos koko järvenlahti tyhjennettäisiin kaikesta kasvusta.

Kuten jo aiemmin on todettu, järven kaikkea kasvillisuutta ei toki voida poistaa, joten käytössä oleva kasvimassa olisi todennäköisemmin niittoon ja kuljetuksiin kuluvan energian laskelmissa käytetty 750 tonnia kasvimassaa, joka on 150 tonnia kuivapainona, kun laskelmissa kuiva-aineprosenttina on käytetty 20 %. Siitä kasvimäärästä mädätyksessä saatava metaanimäärä on 45 000 m³, joka siis vastaa suurin piirtein 45 000 öljylitraa ja 450 MWh energiaa. Tällä saisi tuotettua n. 15 omakotitalon vuotuista öljylämmitystä vastaavan energiamäärän.

8.6 Vesiruton soveltuvuusarvio

Tämän tutkimuksen olosuhteissa saatujen tulosten valossa kokeeseen valituista kasveista vesirutto on antanut kaikkein mielenkiintoisimmat tulokset metaanintuottopotentialille. Kuten edellä on kerrottu, runsaista vesiruttokasvustoista kärsivän Littoistenjärven vesiruttokasvusto kuoli keväällä 1992 ja rannoille ajautunutta kasvimassaa jouduttiin ajamaan 510 tonnia kaatopaikalle (Sarvala 2005, 31). Samoin aiemmin on todettu, että niitto ei ole sopiva tapa vesiruton poistoon, mutta jos kasvusto esimerkiksi happikadon seurauksena kuolee, on se järkevää kerätä pois järvestä. Näillä oletuksilla voidaan tehdä arvio kaatopaikalle toimitetun vesiruttomassan metaanisaannolle käyttäen tässä tutkimuksessa saatuja arvoja, joiden mukaan vesiruton kuiva-aineprosentti on 11 % ja metaanintuotto 150 m³ CH₄/tonni TS. 510 tonnia tuoretta vesiruttoa vastaa kuivapainossa 56,1 tonnia. Tästä vesiruttomäärästä metaania saadaan 8415 m³ ilman mitään ravinne- ja pH-säätöjä tai erillistä lämmitystä tai sekoitusta muuhun jäteraaka-aineeseen. Määrä vastaa siis suurin piirtein 8415 litraa öljyä ja 84,2 MWh energiaa.

Koska vesiruttokanta aiheutti tässä tapauksessa itse oman tuhonsa, tehtiin järvelle vesiensuojelullinen teko poistamalla kuollut kasvimassa pois hajoamasta järvessä. Kasvimassan poisto paransi järven vesiekologista tilaa ja samalla saatiin sivuvirralle eli niittojätteelle järkevä käyttökohde sekä ikään kuin ”puhtaana voittona” biouusiutuvaa energiaa, samalla kun estettiin metaanin vapautuminen ilmakehään kasvimassan hajotessa järvenpohjassa.

8.7 Yhteenveto soveltuvuusarviolle

Karkeisiin arvioihin ja olettamuksiin perustuvan mallinnuksen avulla saatujen tuloksien perusteella voidaan sanoa, että kuvatuunlainen toiminta olisi energiataloudellisesti kannattavaa. Arvion mukaan ilman mitään toimenpiteitä luonnollisessa tilassaan tutkimuskohteena olleen esimerkkijärvenlahden kasvusto aiheuttaa vuosittain noin 3200 m³:n metaanipäästöt ilmakehään. Käyttämällä 60 % järvenlahden kasvibiomassasta biokaasuntuotantoon saataisiin tuotettua 45 000 m³ metaania. Kaikki järvenlahden kasvimassa käyttämällä saataisiin 73 500 m³ metaania. Niiton, kuljetusten ja biokaasutusten energian tarve olisi sellaista suuruusluokkaa, etteivät ne kumoaisi toiminnan energiataloudellista kannattavuutta.

9 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Biomassaraaka-aineen tuonti Suomeen ulkomailta on aiheuttanut huomattavaa vastustusta energiapoliittisessa keskustelussa. Viime vuosina keskustelunaiheena on ollut Malesiasta ja Indonesiasta tuotava palmuöljy. Palmuöljyn tuonti on sen tuontia vastustavien mukaan ekologisesti ja sosiaalisesti ongelmallista (Antikainen, Tenhunen, Ilomäki, Mickwitz, Punttila, Puustinen, Seppälä & Kauppi 2007, 71). Järviruoko ja muut vesistöjen niittojätteet olisivat paikallisia raaka-aineita, eikä niitä riittävällä biokaasulaitostiheydellä tarvitsisi kuljettaa pitkiä matkoja. Määrällisesti niittojätteitä saadaan niin vähän, etteivät ne riittäisi laajaan energiantuotantoon, mutta hajautetun paikallisen tuotannon yhtenä raaka-aineena ja sekämädätyksen osana ne olisivat ainakin omalta osaltaan tukemassa bioenergian tuotantoa.

Energiakasveihin liittyvässä keskustelussa tuodaan usein esiin se eettinen ongelma, että energiakasvien viljelyyn käytettävä peltopinta-ala on pois ruuantuotannolta. Vesikasvien niittojätteiden käyttö ei vie pinta-alaa ravinnontuotannolta eivätkä vesikasvit vaadi mitään muutakaan työpanosta kasvuvaiheessaan. Vesikasvit eivät vaadi lannoitusta tai kastelua, eivätkä mitään muuta työpanosta kuin korjuun, kuljetuksen ja käsittelyn biokaasulaitoksella. Vesikasvien käyttö ei siis pahenna maailman vesipulaa eikä vaadi ravinteita lannoituskäyttöön. Vesikasvien liiallinen kasvu on rehevillä järvillä ongelma, ja niitettävä kasvimassa on muuhun käyttöön soveltumatonta jätettä.

Ongelmalliseksi vesikasvien hyötykäytön tekee tällä hetkellä taloudellinen kannattomuus. Jotta niittojätteen käytöstä saataisiin taloudellisesti kannattavaa, energiakäyttöön tuleva kasvibiomassa pitäisi saada saman energiakasvituen piiriin kuin energiaviljelykäytössä olevat peltokasvit. Energiakasvitueella saataisiin katettua korjuusta tulevat kustannukset, ja käytöstä tulisi taloudellisesti realistista (Komulainen ym. 2008, 46). Vaihtoehtoisilla biopolttoaineilla tuotetulle energialle pitäisi luoda muutenkin nykyistä kilpailukykyisemmät markkinat, jotta energian tuottaminen niiden avulla olisi taloudellisesti mahdollista ja kannattavaa. Yleisesti ottaen maanviljelijät suhtautuvat tilakohtaisiin biokaasulaitoksiin myönteisesti ja biokaasun hyötykäyttö kiinnostaa heitä, mutta taloudellinen kannattavuus ei ole riittävän varmistettua. Tämänhetkinen tekniikka on sitä luokkaa, että sadan lehmän navettaan ja sitä pienempäänkin kannattaa rakentaa oma biokaasulaitos. Kannattavuus paranee, mikäli laitoksessa oman jätteen lisäksi käytetään tilan ulkopuolisia jätteitä, joiden vastaanottamisesta saa maksun. Varmasti kannattavaksi laitoksen toiminta tulisi siinä vaiheessa, jos kaasun tuotannossa syntyvälle sähkölle asetettaisiin takuuhinta, jolla sitä myydään verkkoon eli syöttötariffi. (Rönkkö 2009, 6.)

Kokemus on osoittanut, että mekaaninen niitto ei ole hyvä keino hävittää liian runsasta vesiruttokasvustoa järvistä (Sarvala 2005). Tämä on sekä järvien kunnostuksen, että tutkimuksessa saatujen tulosten kannalta huono asia, sillä vesiruton niittojäte soveltuisi hyvin biokaasuntuotantoon. Vesiruton tahallinen kasvataminen luonnonvesissä epätoivottuna vieraslajina ei ole järkevää, mutta mikäli

haluttaisiin aikaansaada paljon vesiruton kasvimassaa, sen tuottaminen olisi melko helppoa, sillä niitto alkukesällä johtaa kasvuston kiihtyvään kasvutahtiin. Energiahyötykäyttöön vesiruttoa voitaisiin tietoisesti kasvattaa esimerkiksi peltojen suojavaiohyökköiden kasvatusaltaissa sillä edellytyksellä, ettei kasvi leviä sieltä millään keinoin muualle. Jos tulevaisuudessa käytössä olisi jokin sopiva uusi keino vesiruttokasvuston tuhoamiseksi niin, että kasvimassan saisi kerättyä järvestä ilman, että se aiheuttaisi kannanvoimistumista, olisi vesiruton kasvibiomassalle hyvä hyötykäyttötapa biokaasuntuotannossa.

Uposkasvien niitto ja poisto vesistöistä on kallista. Mikäli poistettavalle kasvimaassalle löytyisi vaikkapa energiantuotannollista, ja samalla taloudellista hyötykäyttöä, voisi se vauhdittaa uposkasvien vaivaamien vesistöjen kunnostamista. Maaseudun Tulevaisuudessa 3.10.2008 (Vesterinen 2008, 9) oli uutinen, jossa kerrottiin, kuinka lampisirppisammaleelle on keksitty kaupallista käyttöä jätevesien suodattimena. Biolan Oy käyttää lampisirppisammalta harmaavesisuotimissa. Alun perin Biolan Oy ryhtyi lampisirppisammaleen keruuseen, koska sitä ajateltiin kivivillan korvaajaksi kasvihuoneiden kasvualustoihin. Lampisirppisammal on hajoamista vastaan erittäin kestävä. Yhteen harmaavesisuotimeen, joka on mitoitettu 500 litran päivittäiseen kuormitukseen, tarvitaan noin 300 litraa sammalta. Sammal on vaihdettava 100 käyttövuorokauden välein, minkä jälkeen se voidaan kompostoida. Biolan Oy:n tämän hetkinen lampisirppisammaleen tarve on noin tuhat kuutiota vuodessa, mutta mikäli sitä päästään käyttämään kasvualustaksi, arvioidaan tarpeen olevan kymmeniä tai satoja tuhansia kuutioita vuodessa.

Mikäli lampisirppisammaleesta tulisi kaupallisesti arvokasta materiaalia, avaisi se uudenlaiset kunnostusmahdollisuudet pahoin sammaloituneille järville. Tämän tutkimusaiheen kannalta ajatellen vastaavasti vesiruton vaivaamille järville voitaisiin saada paremmat kunnostusmahdollisuudet, mikäli itse vesirutto menisi hyötykäyttöön energiantuotantoon. Vesirutto on istuttamalla tuotu ja ihmistoiminnan seurauksena levinnyt tulokaslaji. Se ei kuulu Suomen luontoon ja siitä on erityistä harmia vesistöissä niin luonnon kuin ihmisenkin kannalta, joten sen suurimittainen poistaminen hyötykäyttöön olisi tervetullutta, eikä aiheuttaisi luonnonsuojellisia tai eettisiä ongelmia.

Biokaasulaitoksia on vähitellen tulossa lisää Suomeen. Esimerkiksi Nastolaan on rakenteilla biokaasulaitos, jonka on määrä olla käyttövalmis vuoteen 2011 mennessä. Laitoksen raaka-aineena on tarkoitus käyttää Etelä-Suomen maatalouden ja teollisuuden sivuvirtoja sekä yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoiden lietteitä. Saatava biokaasu tullaan käyttämään liikenteen polttoaineena. (Etelä-Suomen Sanomat 1.3.2009, 6.) Rehevöityneiden järvien niittojätteitä voitaisiin käyttää tällaisissa laitoksissa yhtenä raaka-aineosana muiden raaka-aineiden rinnalla. Sivuvirtojen, kuten niittojätteiden, käyttö biokaasuntuotannossa olisi järkevä tapa edesauttaa paikallisen uusiutuvan energian tuotantoa ja käyttöä.

LÄHTEET

Antikainen R., Tenhunen J., Ilomäki M., Mickwitz P., Punttila P., Puustinen M., Seppälä J. & Kauppi L. 2007. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 11/2007. Bioenergian uudet haasteet Suomessa ja niiden ympäristönäkökohdat. Helsinki. Suomen ympäristökeskus. Saatavissa:

[<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=70772&lan=fi>]

Dacey J.W.H. & Klug M.J. 1979. Methane Efflux from Lake Sediments Through Water Lilies. *Science*, vol 203, 23 march 1979, 1253-1254.

Dolfing J. & Widdel F. 1998. Microbiology and ecology of sulfate- and sulfur – reducing bacteria. Teoksessa Zehnder A.J.B. (toim.): *Biology of Anaerobic Microorganisms*. John Wiley & Sons Inc. 872 s.

Edelmann W., Schleiss K. & Joss A. 1999. Ecologic, energetic and economic comparison of anaerobic digestion with different competing technologies to treat biogenic wastes. Teoksessa; Mata-Alvarez J., Tilche A., ja Cecchi F. (toim) *Proceedings of the Second International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Wastes*, Barcelona, vol. 1. Grafiques 92, 15-17 June. 22. 274-281.

Euroopan Yhteisöjen komission ehdotus, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä. 2008. Bryssel.

Hein R., Crutzen P.J. & Heimann M. 1997. An increase modeling approach to investigate the global atmospheric methane cycle. *Global Biochemical Cycles* 11 43-76.

Hobson & Wheatley 1993; *Anaerobic digestion –Modern theory and practise* Elsevier Science Publishers LTD Great Britain 261s.

Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P.J., Dai X., Maskell K. & Johnson C.A. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press.

Huitu E. & Mäkelä S. 1999. Etelähämäläinen järviluonto: nykytila ja tulevaisuuden näkymiä. Maatalouden vesiensuojelun, maatalousympäristön sekä vesiekosysteemin monimuotoisuuden kehittäminen. Projektin järvitutkimusosuuden loppuraportti. Helsingin yliopisto, Lammin biologinen asema.

Huttunen J.T., Alm J., Liikanen A., Juutinen S., Larmola T., Hammar T., Silvola J. & Martikainen P.J. 2003. Fluxes of methane, carbon dioxide and nitrous oxide in boreal lakes and potential anthropogenic effects on the aquatic greenhouse gas emissions. *Chemosphere* 52, 609-621.

Hyvönen T., Ojala A., Kankaala P. & Martikainen P.J. 1998. Methane release from stands of water horsetail (*Equisetum fluviatile*) in a boreal lake. *Freshwater Biology* (1998) 40, 275-284.

Ikonen I. & Hagelberg E. 2008. Etelä-Suomen ruovikkostrategia. Esimerkkeinä Halikonlahti ja Turun kaupungin rannikkoalueet. Suomen ympäristö 9/2008. Turku, Lounais-Suomen ympäristökeskus. Saatavissa:
[<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=287745&lan=fi>]

Juutinen S., Alm J., Larmola T., Huttunen J., Morero M., Martikainen P., Silvola J. 2003. Major implication of the littoral zone for methane release from boreal lakes. *Global Biogeochemical cycles*, vol 17, no. 4, 1117.

Kankaala P., Mäkelä S., Bergström I., Huitu E., Käki T., Ojala A., Rantakorpi M., Kortelainen P. & Arvola L. 2003. Midsummer spatial variation in methane efflux from stands of littoral vegetation in a boreal meso-eutrophic lake. *Freshwater Biology* 48, 1617-1629.

Kankaala P., Ojala A. & Käki T. 2004. Temporal and spatial variation in methane emissions from a flooded transgression shore of a boreal lake. *Biogeochemistry* 68, 297-311.

Kankaala P., Käki T., Mäkelä S., Ojala A., Pajunen H. & Arvola L. 2005. Methane efflux in relation to plant biomass and sediment characteristics in stands of three common emergent macrophytes in boreal mesoeutrophic lakes. *Global Change Biology* (2005) 11, 145-153.

Komulainen M., Simi P., Hagelberg E., Ikonen I. & Lyytinen S. 2008. Ruo-koenergiaa – järviruo'on käyttömahdollisuudet Etelä-Suomessa. Turun ammatti-
korkeakoulun raportteja 66. Saatavissa:

[<http://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522160300.pdf>]

Laita M., Tarvainen A., Mäkelä A., Sammalkorpi I., Kempainen E. & Laitinen L. 2007. Uposkasvien runsastumisesta 2000-luvun alussa. Suomen ympäristökes-
kuksen raportteja 20/2007. Edita Prima Oy, Helsinki. Saatavissa:

[<http://www.ymparisto.fi/julkaisut>]

Laukkanen T., Hartikainen T., Kostia S. & Rautio M. 2003. Ympäristönsuojelun
biotekniikka. Oppikirjan koeversio. Mikkeli: Kopio Oswald Valokopiolaitos.

Lehtomäki A., Paavola T., Luostarinen S. & Rintala J. 2007a. Biokaasusta energi-
aa maatalouteen – raaka-aineet, teknologia ja lopputuotteet. Jyväskylän yliopiston
bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 85. Jyväskylän yliopisto. Saata-
vissa: [www.biokaasufoorumi.fi]

Lehtomäki A., Viinikainen T.A., Rintala J.A. 2007b. Screening boreal energy
crop residues for methane biofuel production. *Biomass and bioenergy* 32 (2008)
541-550.

Lehtonen J. 2000. Vesirutto ja karvalehti täyttävät ajoittain Littoistenjärven. Tu-
run yliopisto. *Aurora* 1/2000.

Lelieveld J., Crutzen P., Dentener J.F. 1998. Changing concentration, lifetime and climate forcing of atmospheric methane. *Tellus* 50B 128-150.

Luostarinen J. 2007. Energiakasveista tuotetun biokaasun energiatase suomalaisessa maatilakokoluokan biokaasulaitoksessa. Pro gradu-tutkielma. Jyväskylän yliopiston matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, bio- ja ympäristötieteiden laitos, ympäristötiede. Saatavissa: [<http://urn.fi/URN:NBN:fi:jyu-2007691>]

Madigan M.T. & Martinko J.M. 2006. *Brock Biology of Microorganisms*. 11. uudistettu painos. USA: Pearson Prentice Hall.

Mäkelä S., Huitu E. & Arvola L. 2004. Spatial patterns in aquatic vegetation composition and environmental covarities along chains of lakes in Kokemäenjoki watershed (S. Finland). *Aquatic Botany* 80 (2004) 253–269. Elsevier.

Mata-Alvarez J., Mace S. & Llabres P. 2000. Anaerobic digestion of organic solid waste. A review of research achievements and perspectives. *Review paper Biore-source Technology* 74: 3-16.

Nybom C. 1985. Vesikasvien niiton koetoiminta vesihallinnossa. Tulokset 1984. Vesihallitus, Helsinki. Vesihallituksen monistesarja 343.

Rintala J., Lampinen A., Luostarinen S. & Lehtomäki A. 2002. Biokaasusta uusiutuvaa energiaa maataloilla. Jyväskylä.

Sarvala J. 2000. Littoistenjärven tila 1998-1999. Turun yliopiston Biologian laitoksen julkaisuja 22, Turku.

Sarvala J. 2005. Littoistenjärven ekologisen tilan kehitys ja hoitovaihtoehdot. Turun yliopiston Biologian laitoksen julkaisuja 24, Turku.

Süßmuth R., Doser C. & Lueders T. 1999. Applications of analysis no. 3. Determination of the biological biodegradability of organic substances under anaerobic conditions using the OxiTop® Control measuring system. Application report 0600412e.

Schomaker A.H.H.M., Boerboom A.A.M., Uisser A. & Dfeifer A.E. 2000. Anaerobic digestion of agro-industrial wastes: information networks. Technical Summary of a gas treatment. www.ad-nett.org. Rintala J. (2002) viitannut 25.1.2000.

Ulvi T. & Lakso E. 2005. Ympäristöopas 114 Järvien kunnostus. Helsinki: Edita Prima Oy.

Wetzel R.G. 2001. Limnology, Lake and River Ecosystems. 3. uudistettu painos. California: Academic Press.

Yavitt J.B. & Knapp A.K. Methane emission to the atmosphere through emergent cattail (*Typha latifolia* L.) plants. Department of Natural Resources, Fernow Hall, Cornell University, Ithaca, New York 14853, USA; and Division of Biology, Ackert Hall, Kansas State University, Manhattan, Kansas 66506, USA.

Etelä-Suomen Sanomat 1.3.2009 s. 6.

Rönkkö J. 2009. Biokaasun käyttö kiinnostaa maanviljelijöitä. Maaseudun Tulevaisuus 2.2.2009 s. 6.

Vesterinen R. 2008. Savolaisjärvestä nostetaan sammalta Biolanin vedensuodattimiin. Maaseudun Tulevaisuus 3.10.2008 s. 9.

Suomen biokaasuyhdistyksen esite. Viitattu 26.8.2008. Saatavissa: [<http://kolumbus.fi/Suomen.biokaasukeskus/>]

Truxor monitoimityökoneiden esite. 2007. Viitattu 29.1.2009. Saatavissa: [<http://www.reedcutters.com/fin/Produktter/Truxor/truxor.htm>]

Vesikasvikurssi, Hämeen ympäristökeskus. 2003. Täydennetty
SATAVESI/Lounais-Suomen ympäristökeskus 2005. Viitattu 18.8.2008. Saatavissa: [<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=71470&lan=fi>]

Vesikasvien vähentäminen, Suomen ympäristökeskus. 2008. Viitattu 26.8.2008. Saatavissa: [<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=79364&lan=fi>]

Vesikasvien poisto, Suomen ympäristökeskus. 2008. Viitattu 26.8.2008. Saatavissa: [<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=600>]

Palomäki A. Kaislapojat Oy. Sähköpostitiedonanto 19.2.2009.

LIITTEET

Liite 1. Kokeessa käytetyt kasvilajit.



Liite 1a uistinviita



Liite 1b järviroko



Liite 1c järvikorte



Liite 1d vesirutto

Liite 2 (lähde Jaakko Vainionpää)

Taulukko järvien tiedoista

| Vuosi | Järvi | N/NO ₂ +NO ₃ µg/l | P/PO ₄ µg/l | N/NH ₄ µg/l | tot N µg/l |
|---------------------|-----------------------|--|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 2003- 2004 KA | Ormajärvi | 308 | 4 | 77 | 871 |
| 2003- 2004 KA | Suolijärvi | 279 | 3,1 | 44 | 835 |
| 2007 KA | Pääjärvi | 1016 | 1,6 | 10 | 1391 |
| 1979- 1999 KA | Kataloisten- järvi | 39 | 2,3 | 34 | 809 |
| | | tot P µg/l | liuk. tot P µg/l | Si µg/l | TOC mg/l |
| | | 19 | 10 | 1130 | 8,5 |
| | | 27 | 15 | 2653 | 10 |
| | | 9 | | | 11,3 |
| | | 36,5 | | | 9,3 |
| | | pH | alkalin- iteetti mmol/l | johtokyky µS/cm/25°C | K mg/l |
| | | 7,23 | 0,599 | 165,8 | 4,37 |
| | | 7,13 | 0,433 | 135,6 | 3,59 |
| | | 7,24 | 0,277 | 94,0 | 2,25 |
| | | 7,43 | 0,405 | 82,6 | 1,85 |
| | | Na mg/l | Ca mg/l | Mg mg/l | Mn mg/l |
| | | 6,90 | 16,63 | 4,24 | 0,33 |
| | | 5,83 | 13,19 | 3,70 | 0,20 |
| | | 3,66 | 9,04 | 2,96 | 0,00 |
| | | 3,39 | 8,35 | 2,35 | 0,10 |
| | | Fe mg/l | mg Pt/l | Cl mg/l | SO ₄ mg/l |
| | | 0,13 | 31,37 | | |
| | | 0,67 | 80 | | |
| | | 0,15 | 105 | 4,6 | 15,1 |
| | | 1,32 | 110 | 4,1 | 6,4 |
| | | Mn mg/l | Fe mg/l | mg Pt/l | Cl mg/l |
| | | 0,33 | 0,13 | 31,37 | |
| | | 0,20 | 0,67 | 80 | |
| | | 0,00 | 0,15 | 105 | 4,6 |
| | | 0,10 | 1,32 | 110 | 4,1 |