

Biokaasun ja peltoenergian tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset

Hanna Tuomisto

TIIVISTELMÄ

Peltoenergia ja biokaasu ovat uusiutuvia energianlähteitä, joten ne korvaavat fossiilisia polttoaineita ja vähentävät siten kasvihuonekaasupäästöjä. Lisäksi niiden tuotannolla ja käytöllä on monenlaisia muita positiivisia ympäristövaikutuksia.

Peltoenergialla tarkoitetaan pellolla kasvatettavia kasveja, jotka käytetään suoraan polttoaineena, esimerkiksi ruokohelppi, olki ja energiakaura. Ruokohelppi monivuotisena kasvina ei tarvitse joka-vuotista maan muokkausta, joten eroosioriski vähenee. Pitkäaikainen kasvipeitteisyys parantaa myös maan rakennetta ja lisää maan tuotantokyvylle tärkeää humuspitoisuutta. Myös lannoitustaso on alempi kuin viljoilla ja ruokohelven ravinteidenottokyky on hyvä, minkä vuoksi pellosto vapautuvat dityppioksidipäästöt (N_2O) ja ravinnehuhtoutumat ovat pienemmät kuin viljoilla. Ruokohelven viljelyyn sopii myös huonolaatuisempi viljelymaa. Sen viljely orgaanisilla mailla saattaa auttaa hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä, sillä nurmikasvien juurten hiilensitomiskyky on suhteellisen hyvä. Lisäksi ruokohelpeä voidaan käyttää turvetuotantoalueiden kuivatusvesien puhdistamisessa johtamalla vedet ruokohelppiviljelmälle.

Viljoista voidaan käyttää energian tuotannon raaka-aineeksi sekä jyvät että olki. Olkea syntyy elintarviketuotannon sivutuotteena, joten oljen viljelyn ympäristövaikutukset kohdistuvat myös jyville. Siksi oljen panos-tuotos-suhde on hyvä. Olkea käytettäessä energiantuotannon raaka-aineena on huolehdittava, että maahan lisätään riittävästi muuta orgaanista ainesta humuspitoisuuden ylläpitämiseksi. Energiakauran viljelyn ympäristövaikutuksiin vaikuttavat merkittävästi viljelymenetelmät: viljelykierto, lannoitteiden ja torjunta-aineiden käyttö sekä maan muokkaus. Kauran etuna energiakäyttöön on sen soveltuvuus pellettipolttimiin, joten sen pienpoltto maatiloilla on helpompaa ilman suuria investointeja.

Energiakasvien viljelyllä on myös positiivisia vaikutuksia biologiselle monimuotoisuudelle sekä maisemalle. Viljelyalueet, ojat ja pientareet tarjoavat elinympäristöjä luonnonvaraisille kasveille ja eläimille. Peltojen pitäminen viljelyksessä auttaa myös ylläpitämään vähenevää avointa maatalousmaisemaa.

Biokaasua tuotetaan mädättämällä orgaanista ainesta, esimerkiksi lantaa tai kasvibiomassaa, biokaasureaktorissa, jolloin syntyy lähinnä metaania ja hiilidioksidia. Metaania voidaan hyödyntää sähkön- ja lämmöntuotannossa sekä moottoripolttoaineena. Lannan anaerobisella käsittelyllä voidaan vähentää lannan aiheuttamia metaani- ja dityppioksidipäästöjä sekä parantaa lannan lannoitusominaisuuksia. Lannoitearvon paraneminen voi auttaa vähentämään typen huuhtoutumista, sillä typpi muuttuu kasveille käyttökelpoisempaan muotoon. Anaerobinen käsittely vähentää myös lannan patogeenien määrää, joten torjunta-aineiden käyttötarve vähenee. Myös hajuhaitat vähenevät.

Biokaasun tuotannon raaka-aineena voidaan käyttää myös yhdyskuntien biojätteitä, jätevedenpuhdistamojen lietteitä sekä teollisuuden orgaanisia jätteitä. Näin voidaan tehostaa ravinteiden kierrätystä, kun yhdyskuntien orgaanisten jätteiden sisältämät ravinteet saadaan palautettua takaisin pelloille. Ravinteiden tehokas kierrätys vähentää runsaasti energiaa vaativien kemiallisten lannoitteiden käyttötarvetta sekä ravinteiden joutumista vesistöihin. Käyttämällä biokaasua liikennepolttoaineena voidaan vähentää liikenteen aiheuttamia kasvihuonekaasu-, rikki- ja pienhiukkaspäästöjä huomattavasti.

ESIPUHE

Kauppa- ja teollisuusministeriön asettaman Energiansäästöohjelman (ESO) ja Uusiutuvan energian edistämishjelman 2003–2006 (UEO) toteutus- ja seurantaryhmän aloitteesta maa- ja metsätalousministeriö asetti 2.10.2003 "Peltobiomassa, liikenteen biopoltonesteet ja biokaasu" -jaoston. Tämän jaoston tehtävänä on seurata toimialueidensa kansallista ja kansainvälistä kehitystä ja laatia tältä pohjalta ehdotuksia UEO 2003–2006 -ohjelmatoimenpiteiden toteutuksesta. Lisäksi jaosto laatii suunnitelman peltoenergian tuotannon ja käytön edistämisestä. Jaoston työn määräaika on 31.12.2006.

Tämän "Biokaasun, peltoenergian ja biopoltoaineiden tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset" -selvityksen tarkoitus on antaa tietoa bioenergian (erityisesti peltoenergian ja biokaasun) tuotannon ja käytön ympäristövaikutuksista "Peltobiomassa, liikenteen biopoltonesteet ja biokaasu" -jaostolle. Selvityksessä kootaan yhteen hajanaista tutkimustietoa aiheesta sekä kartoitetaan tulevaisuuden tutkimustarpeita. Liikenteen biopoltonesteiden ympäristövaikutukset eivät kuulu selvityksen piiriin.

Kirjallisuusselvityksessä on käytetty lähteenä kotimaisia ja ulkomaisia tutkimuksia ja tulevaisuuden tutkimustarpeet perustuvat maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) tutkijoiden Martti Esalan, Petri Kapuisen, Katri Pahkalan, Paula Perälän ja Kristiina Reginan haastatteluun. Selvitystyötä ovat ohjanneet maa- ja metsätalousministeriöstä ylitarkastaja Elina Nikkola ja ylitarkastaja Veli-Pekka Reskola.

Helsingissä, 25.10.2005

Hanna Tuomisto

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ESIPUHE	3
SISÄLLYS	4
TERMIEN SELITYKSET	5
JOHDANTO	6
2 PELTOENERGIAAN LIITTYVIÄ YMPÄRISTÖKYSYMYKSIÄ	7
2.1 KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT	7
2.1.1 Yleistä.....	7
2.1.2 Maatalousmaiden hiilidioksidipäästöt	8
2.1.3 Maatalousmaiden dityppioksidipäästöt.....	9
2.1.4 Maatalousmaiden metaanipäästöt	10
2.2 HAPPAAMOITUMINEN.....	10
2.3 RAVINTEIDEN HUUHTOUTUMINEN JA REHEVÖITYMINEN.....	11
2.4 MAAN VILJAVUUS JA EROOSIO	11
2.5 BIOLOGINEN MONIMUOTOISUUS JA MAISEMA	12
2.6 TORJUNTA-AINEET	12
2.7 RASKASMETALLIT.....	13
3 PELTOENERGIA	13
3.1 RUOKOHELPI.....	13
3.1.1 Ruokohelven viljely	13
3.1.2 Ruokohelven poltto.....	15
3.1.3 Ympäristövaikutukset	15
3.2 OLKI	16
3.2.1 Oljen käyttö energiaksi.....	17
3.2.2 Oljen poiston vaikutus maaperälle.....	17
3.3 KAURA.....	18
3.3.1 Kauran viljely.....	18
3.3.2 Ympäristövaikutukset	18
4 BIOKAASU	19
4.1. BIOKAASUN TUOTANTO	19
4.1.1 Biokaasulaitokset	19
4.1.2 Lannan ja muun orgaanisen materiaalin yhteiskäsittely.....	20
4.1.3 Biokaasun hyödyntäminen.....	22
4.2 BIOKAASUN KÄYTÖN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET.....	22
4.2.1 Kasvihuonekaasupäästöt.....	22
4.2.2 Biokaasu liikennepolttoaineena	23
4.2.3 Vesistövaikutukset	25
4.2.4 Ammoniakkipäästöt.....	25
4.2.5 Hajuhaitat ja patogeenit.....	26
4.2.6 Ravinteiden kierrätys.....	26
4.2.7 Luonnon monimuotoisuus	27
5 TULEVAISUUDEN TUTKIMUSTARPEITA	27
6 PÄÄTELMÄT	29
6.1 YHTEENVETO PELTOENERGIAN JA BIOKAASUN TÄRKEIMMISTÄ YMPÄRISTÖVAIKUTUKSISTA	29
6.2 LOPPUPÄÄTELMÄT	30
8 KIRJALLISUUS	32
LIITTEET	38

TERMIEN SELITYKSET

Aerobinen Happipitoinen, happea tarvitseva

Anaerobinen Ilman happea, aerobisen vastakohta

Biodiesel Yleisnimitys kasviöljypohjaiselle dieselpolttoaineelle, joka valmistetaan kasviöljyistä vaihtoesteröimällä (rasvahappojen metyyliesterit)

Biokaasu Orgaanisesta aineesta anaerobisen mikrobitoiminnan seurauksena muodostuva kaasu, joka koostuu lähinnä metaanista ja hiilidioksidista

Biomassa Orgaaninen eli eloperäinen aine

BOD₇ (Biochemical Oxygen Demand) Biologinen hapenkulutus

CO₂-ekvivalentti Kasvihuonekaasuista käytetty yksikkö, joka kuvaa eri kaasujen kasvihuonekaasupäästön lämmityspotentiaalia verrattuna hiilidioksidin

COD (Chemical Oxygen Demand) Kemiallinen hapenkulutus. Näytteen orgaanisen aineen kemiallinen hapen kulutus

Fytotoksinen Kasveille myrkyllinen

Haihtuvat rasvahapot (Volatile Fatty Acids, VFA) Lyhytketjuiset rasvahapot, esim. asetaatti, propionaatti, butyraatti, isobutyraatti, valeriaatti, isovaleriaatti

Immobilisaatio Liikkumattomaksi tekeminen

Kaasutus Prosessi, jossa kaasuttava aine reagoi kiinteän tai nestemäisen polttoaineen kanssa korkeassa lämpötilassa muodostaen polttokaasuseoksen. Kaasuttavana aineena voi olla ilma, happi, vesihöyry tai joku muu hapen kantaja.

Kombivoimala Kombivoimalassa sähköntuotannon hukkalämmöllä höyrystetään vettä ja tuotetaan lisäsähköä höyryturbiinilla.

Kuiva-aine (Volatile Fatty Acids, VS) Massan kuiva-aineen määrä

Korroosio Ruostuminen

Mesofiilinen Lämpötila-alueella 30–35 °C toimiva

Mineralisaatio Ravinteiden (ammonium ja fosfaatti) vapautuminen hajoavasta eloperäisestä aineksesta

Mädätys Orgaanisen aineen anaerobinen käsittely

Orgaaninen aine Eloperäinen aine

Patogeeni Tautia aiheuttava mikrobi

Puskurointi Kyky vastustaa pH:n muutoksia

REF (Recovered fuel) Syntypaikkalajitellusta jätteestä valmistettu polttoaine, kierrätyspolttoaine

Termofiilinen Lämpötila-alueella >50 °C toimiva

TS (Total Solids)= ks. kuiva-aine

VFA (Volatile Fatty Acids) = ks. haihtuvat rasvahapot

VS (Volatile Solids)= Massan orgaanisen kuiva-aineen määrä

Yksiköt

Wh Wattitunti

J Joule

k kilo, $10^3 = 1\ 000$

M mega, $10^6 = 1\ 000\ 000$

G giga, $10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$

T tera, $10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000$

P peta, $10^{15} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$

1 MWh = 3,6 GJ

JOHDANTO

Euroopan unioni (EU) on asettanut tavoitteeksi uusiutuvien energianlähteiden käytön kaksinkertaistamisen nykyisestä 6 prosentista 12 prosenttiin vuoteen 2010 mennessä. Taustavaikuttajina ovat Rio de Janeirossa vuonna 1992 solmittu ilmastonmuutosta koskeva yleissopimus (UNFCCC), Kioton pöytäkirja 1997, kansainväliset uusiutuvien energianlähteiden käyttöön liittyvät tavoitteet ja toimintaohjelmat (JREC 2002, OECD 2003, WREC 2004) sekä vuonna 2005 alkanut EU:n päästökauppa. Lisäksi EU:n tavoitteena on lisätä alueen energiaomavaraisuutta sekä kestävästä kehityksestä, taloudesta ja sosiaalista yhteenkuuluvuutta ja ympäristönsuojelua.

Suomen Uusiutuvan energian edistämishjelmassa (UEO) 2003–2006 on asetettu kokonaistavoitteeksi uusiutuvien energianlähteiden lisääminen vuoden 2001 tasosta 30 prosenttia vuoteen 2010 mennessä ja 60 prosenttia vuoteen 2025 mennessä. Tavoitteet on erikseen asetettu puun pienkäytölle, metsähakkeelle, kierrätyspolttoaineille, biokaasulle, peltoenergialle ja liikenteen biopoltonesteiden käytölle. Biokaasun käytölle asetettu tavoite vuonna 2025 on 8 PJ, peltoenergialle 5 PJ ja biopoltonesteille 9 PJ. Mahdollisuuksia energiakasvien viljelyyn on elintarviketuotannosta vapautuvilla pelloilla, kesantomailla ja vanhoilla turpeentuotantoalueilla.

Tämän selvityksen tavoitteena on koota yhteen tutkimustietoa maataloudessa tuotetun bioenergian ympäristövaikutuksista sekä kartoittaa tulevaisuuden tutkimustarpeita. Tutkittavat energiamuodot ovat peltoenergia ja biokaasu. Peltoenergialla tarkoitetaan tässä selvityksessä pelloilla kasvatettuja suoraan polttoaineena käytettäviä tuotteita, kuten ruokohelpeä, viljakasvien olkea ja jyviä, öljy- ja kuitukasvien korsia sekä energiapajua. Tässä selvityksessä tarkastellaan peltoenergian raaka-aineista ruokohelpeä, olkea sekä kauraa.

Biokaasulla tarkoitetaan mädätysprosessiin perustuvissa biokaasureaktoreissa tuotettua kaasua, jonka raaka-aineina käytetään mm. lantaa, kasvibiomassoja, biojätettä, teollisuuden orgaanisia jätteitä tai jätevedenpuhdistamojen lietettä. Prosessissa syntyvää biokaasua voidaan käyttää esimerkiksi kaasujoneuvojen polttoaineena sekä lämmön ja sähkön tuotannossa. Tässä selvityksessä tarkastellaan ensisijaisesti maataloustuotannon tuottamia raaka-aineita käytettäviä laitoksia.

Liikenteen biopoltonesteet ovat vain liikenteessä käytettäviksi tarkoitettuja viljelykasveista tuotettuja bioetanolia ja -dieseliä. Biodiesel on kasviöljyesteri, jota valmistetaan rypsiä ja joistakin muista öljykasveista sekä eläinperäisistä rasvoista. Bioetanolia valmistetaan viljasta, sokerijuurikkaasta, muista tärkkelys- ja sokeripitoisista kasveista sekä puuperäisistä raaka-aineista. Bioetanolia käytetään bensiinin seoskomponenttina. Tässä selvityksessä ei käsitellä biopoltonesteiden tuotannon ympäristövaikutuksia.

2 PELTOENERGIAAN LIITTYVIÄ YMPÄRISTÖKYSYMYKSIÄ

2.1 Kasvihuonekaasupäästöt

2.1.1 Yleistä

Ihmiskunnan toimien, erityisesti fossiilisten polttoaineiden käytön, seurauksena kasvihuonekaasujen pitoisuudet ilmakehässä ovat lisääntyneet, mikä aiheuttaa kasvihuoneilmion voimistumista ja ilmastoon muutosta. Tärkeimmät kasvihuonekaasut, joiden pitoisuuksiin ilmakehässä ihmistoiminta vaikuttaa, ovat hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄), dityppioksidi (N₂O) sekä halogenoidut hiilivedyt (CFC, HCFC, HFC- ja PFC-yhdisteet). Lisäksi kasvihuoneilmion voimistumiseen ovat vaikuttaneet troposfäärin otsonin lisääntyminen, ilmakehässä leijuvien hiukkasten määrän lisääntyminen, maan käytön muutokset sekä auringon säteilytehon kasvu.

Kasvihuoneilmion voimistumista pyritään hillitsemään kansainvälisillä sopimuksilla. Suomi on mukana vuonna 1992 Rio de Janeirossa YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssissa solmitussa ilmastomuutosta koskevassa yleissopimuksessa (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) sekä vuonna 1997 laaditussa ilmastopöytäkirjassa. Kioton pöytäkirjassa teollisuusmaat sitoutuvat vähentämään päästöjään yhteensä keskimäärin 5,2 % vuoden 1990 päästötasosta vuosina 2008–2012. Euroopan Unionin (EU) päästöjen alennusvelvoite on 8 % ja Suomen velvoitteena on rajoittaa päästönsä vuoden 1990 tasolle. Päästörajoitukset koskevat hiilidioksidia (CO₂), metaania (CH₄), dityppioksidia (N₂O), rikkiheksafluoridia (SF₆), fluorihilivetyjä (HFC) ja perfluorihilivetyjä (PFC).

Suomen kasvihuonekaasupäästöt olivat vuonna 2003 85,6 miljoonaa hiilidioksiditonnia (CO₂-ekvivalenteina), joka ylittää yli 20 prosentilla (noin 15 miljoonalla CO₂-tonnilla) Kioton pöytäkirjan tavoitetason (Tilastokeskus 2005). Noin 86 % Suomen kasvihuonekaasupäästöistä on hiilidioksidia, josta suurin osa on peräisin polttoaineiden energiakäytöstä. Energiasektori tuottaa yhteensä 85 % Suomen kasvihuonekaasupäästöistä ja maatalous toiseksi suurimpana 6 %. Suurimmat päästöt maataloudessa tulevat maatalousmaan viljelemisen dityppioksidipäästöistä sekä eläinten ruoansulatuksen metaanipäästöistä, mikäli maatalouskoneiden päästöjä ei oteta huomioon. Myös lannan käsittely aiheuttaa dityppioksidi- ja metaanipäästöjä.

Peltoenergia ja biokaasu ovat uusiutuvia energianlähteitä, sillä kasvit sitovat kasvaessaan saman määrän hiilidioksidia kuin niiden poltossa vapautuu. Nämä kasvit tuottaisivat luonnollisesti hajotessaan ilmakehään saman määrän hiilidioksidia kuin poltettuna. Biomassaenergian tuotannossa hiilidioksidikiertoa voidaan pitää periaatteessa suljettuna kiertona, missä nettolisäystä ilmakehän hiilidioksidiin aiheutuu ainoastaan viljelyssä ja energian jalostusprosessissa käytettävien koneiden ja laitteiden valmistuksesta sekä niiden käyttämisestä fossiilisista polttoaineista. Kasvinviljely-energianjalostus-ketjussa syntyvät kokonaishiilidioksidipäästöt ovat paljon vähäisemmät tuotettua energiayksikköä kohden kuin fossiilisia polttoaineita käytettäessä (Peltola 1996). Tuotetusta energiasta 2-6 % kuluu tuotantoon ja kuljetukseen, mutta määrä nousee huomattavasti korkeammaksi, jos bioenergia jalostetaan edelleen (Wihersaari 1996). Mikäli metsää ja peltoa hävitetään, eli uusi kasvi ei pääse kasvamaan poltetun tilalle, tuotettu energia ei ole uusiutuvaa energiaa. Myös kasveista muodostuneet eläinkunnan tuotteet (eläinten lanta ja ruhot) lasketaan energiaksi käytettyinä uusiutuvaksi energiaksi.

Energian säästöllä voidaan parhaiten vähentää kasvihuonekaasujen vapautumista ilmakehään. Energiakasvien viljelyssä energiaa voidaan säästää käyttämällä synteettisten lannoitteiden sijaan karjanlanta. Synteettisten lannoitteiden valmistuksessa vapautuu ilmakehään keskimäärin 1,5 kiloa hiiltä yhtä sidottua typpikiloa kohti (Paustian ym. 1998). Myös muokkauksen vähentäminen säästää energiaa, johtuen pienemmästä työkoneiden käyttötarpeesta (Cole ym. 1996).

2.1.2 Maatalousmaiden hiilidioksidipäästöt

Maatalousmaasta hiilidioksidipäästöjä syntyy kasvijätteiden hajotessa pellolla sekä maan orgaanisen aineen mineralisoituessa aerobisessa ympäristössä. Maahan varastoituneen orgaanisen hiilen määrä riippuu siitä, paljonko kasvijätteistä tai muusta orgaanisesta aineesta (esim. lannasta) tulee hiiltä maahan sekä hiilen vapautumisesta hiilidioksidina maan orgaanisen aineen mineralisoituessa aerobisessa ympäristössä. Anaerobisessa ympäristössä mineralisaatiossa syntyy metaania. Hiilen mineralisaatioon maassa vaikuttavat useat tekijät, kuten lämpötila, kosteus, ilmavuus, happamuus, muokkaus, maan rakenne ja koostumus, kasvijätteiden kemialliset ominaisuudet ja rakenne sekä maan ravinteisuus (Paustian ym. 1997, 1998). Hajoaminen on nopeinta lämpimässä ja kosteassa ympäristössä, missä maan pH on lähellä neutraalia ja ravinteita on riittävästi tarjolla (Paustian ym. 1998). Maan kalkituksen seurauksena syntyy hiilidioksidia ja vettä, kun kalkitusaineen karbonaatti reagoi maassa olevan vetyionin kanssa (Hartikainen 1992a).

Viljellyt turvemaat ovat hiilen lähteitä (Kuusisto ym. 1996). Soiden raivaaminen viljelyyn sekä maan muokkaus tehostavat maan orgaanisen aineksen hajoamista ja lisäävät hiilidioksidin virtaa ilmakehään. Kun orgaaninen maa otetaan viljelykäyttöön, alkaa maan orgaaninen aines hapettua ja maa painua. Hiilen vapautumiseen vaikuttavat ilmasto, orgaanisen aineksen koostumus, pellon kuivatustila sekä muut toimet kuten lannoitus ja kalkitus. Orgaanisilta mailta tapahtuva hiilen häviö voi jatkua hyvin pitkään eli periaatteessa siihen asti kunnes koko orgaaninen kerros on hävinnyt. Hajoituksen edetessä maahan kertyy yhä kestävämpiä orgaanisen aineksen fraktioita, jolloin myös CO₂-päästöt voivat pienentyä. Samanaikaisesti maata kuitenkin muokataan, jolloin vähemmän hajaantunut orgaanista ainesta nousee maan pintaosiin, jossa se hajoaa, ja samalla maa painuu edelleen. Tämän seurauksena CO₂-emissiöt voivat pysyä korkeana kunnes suuri osa orgaanisesta aineesta on hajonnut.

Turpeen hajoamisen seurauksena hiiltä vapautuu ilmakehään noin 4 000 kg/ha ja hiilidioksidia noin 15 Mg/ha vuodessa eli yhteensä lähes miljoona tonnia hiiltä ja 4 500 Gg hiilidioksidia viljelykäytössä olevailta soilta, jos turvemaita oletetaan olevan 300 000 ha (Myllys ym. 2004, Savolainen 1996). Toisaalta viljelykasvit sitovat runsaasti hiiltä, mutta sillä ei ole vaikutusta hiilitaseeseen, koska sadon sisältämä hiili vapautuu pian takaisin ilmakehään ihmisten ja kotieläinten kautta. Viljelymaan hiilimäärää lisäävät kasvien juuristo sekä muut maahan muokattavat kasvinosat. Suurin osa maahan lisäystä orgaanisesta aineesta hajoaa kuitenkin nopeasti ja voi lisätä muunkin maassa olevan orgaanisen aineen hajoamista. Juuriston hengityksen ja hajoamisen on todettu aiheuttavan hiilipäästöjä 1 900–2 000 kg/ha/vuosi (Laine 1996). Jos orgaanisilla mailla viljellään esimerkiksi viljoja ja vihanneksia, ovat hiilihäviöt suuremmat kuin nurmea viljeltäessä (IPCC 1997).

Maatalousmaan hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää lisäämällä maahan ja kasvillisuuteen varastoituneen hiilen määrää (Paustian ym. 1998). Maankäytön muutoksilla hiilidioksidipäästöjä voidaan pienentää vähentämällä pellon raivausta ja nurmettamalla uudet pellot heti raivauksen jälkeen sekä muuttamalla marginaaliset viljelymaat nurmiksi, metsiksi tai kosteikoiksi. Kun pellon viljelykäytöstä luovutaan, maahan kertyy hiiltä kunnes uusi hiilen tasapainotilanne saavutetaan yleensä 50–100 vuoden kuluessa. Kun viljelymaan annetaan muuttua kosteikoksi, hiilen kertyminen jatkuu pi-

dempään. Jos viljelymaa otetaan takaisin viljelykäyttöön, maan hiilivarastot alkavat jälleen pienentyä (Paustian ym. 1997, 1998). Keinotekoisesti kuivatettujen kosteikkomaiden (esimerkiksi turvemaat) palauttaminen hiilinieluiksi on epätodennäköistä, ellei niitä oteta pois viljelykäytöstä ja anneta palautua luonnontilaan (Paustian ym. 1997, 1998).

Monivuotisten kasvien viljely voi lisätä merkittävästi maan hiilen määrää, koska näiden kasvien juurimassa on suuri. Maata ei myöskään muokata niin usein kuin yksivuotisia kasveja viljeltäessä. Lisäksi monivuotinen kasvusto vähentää eroosiota, koska maa on kasvipeitteisenä talven yli (Cole ym. 1996, Paustian ym. 1997, 1998).

Muokkauksen vähentäminen tai siitä kokonaan luopuminen vähentää maan fysikaalista häirintää ja lisää maan pinnalle tai lähellä pintaa jäävän kasvijätteen osuutta (Cole ym. 1996, Paustian ym. 1997, 1998). Tämän seurauksena maan mineralisaatio vähentyy, murujen määrä ja kestävyys lisääntyvät sekä eroosio vähenee (Lal 1997).

2.1.3 Maatalousmaiden dityppioksidipäästöt

Maatalous tuottaa neljäsosan kaikista ja 20–70 % ihmisen toiminnan aiheuttamista dityppioksidin (N_2O) päästöistä (Mosier ym. 1998a). Suomessa maatalouden osuuden on arvioitu olevan lähes 50 % ihmisen aiheuttamista N_2O -päästöistä (Pipatti 1997).

Tärkeimmät N_2O -lähteet ovat maassa tapahtuvat nitrifikaatio eli ammoniumin hapettuminen nitraatiksi ja denitrifikaatio eli nitraatin pelkistyminen typpikaasuksi (Granli & Bøckman 1994). Dityppioksidipäästöt kasvavat yleensä typpilannoitteiden tai lannan käytön jälkeen. Mineraalitypen ja orgaanisen typen käytöstä johtuva suora ja epäsuora vuotuinen dityppioksiditypen kokonaispäästö on 2 ± 1 % lannoitteen käyttömäärästä (Mosier ym. 1998a). Laskelmaan ei kuulu mukaan lannasta varastoinnin ja käytön aikana tapahtuva typenhäviö eikä haihtuneen ammoniakkin tai typen oksidien laskeumasta muualle kuin maatalousmaalle aiheutunut N_2O -päästö. IPCC:n oletuskerroin suoralle N_2O -päästölle maaperästä on väkilannoitteelle 1,5 % ja lannalle 2 %.

Muokkauksen vähentäminen ja suorakylvö vähentävät maan eroosiota, mutta saattavat joissakin tapauksissa lisätä dityppioksidipäästöjä (Granli & Bøckman 1994). Suorakylvetyssä pellossa denitrifioivien mikrobien populaatiot saattavat olla selvästi suuremmat, mikä johtuu mikrobien toiminnalle suotuisasta ympäristöstä.

Myös orgaanisen aineen lisäys peltoon saattaa lisätä dityppioksidipäästöjä. Kun maahan lisätään hajoavaa orgaanista ainesta, maan mikrobiologinen aktiivisuus kiihtyy, jolloin happea kulutetaan enemmän. Tällöin maahan syntyy anaerobisia alueita eli olot dityppioksidin muodostumiselle tulevat suotuisammiksi. Varsinkin typpilannoituksen jälkeen orgaanista hiiltä sisältävissä maissa syntyy helpommin dityppioksidia kuin maissa, joissa orgaanisen hiilen pitoisuus on alhainen. Jos hajoavan orgaanisen aineksen määrä rajoittaa dityppioksidin muodostumista, voi lannan käyttö johtaa suurempiin päästöihin kuin mineraalilannoitteen käyttö (Grandli & Bøckman 1994). Turvemailta päästöt ovat joskus hyvinkin suuret. Dityppioksidipäästöjen on todettu lisääntyvän viljellyiltä orgaanisilta mailta maan kuivatuksen ja viljavuuden (typpipitoisuuden) lisääntyessä, pH:n laskiessa sekä maan käsittelyn lisääntyessä (Klemedtsson ym. 1999).

Typenkiertoa voitaisiin myös tiivistää jättämällä kasvijätteet pellolle sekä yhdistämällä karjankasvatus ja kasvintuotanto niin, että kaikki lanta voidaan käyttää kasvinravitsemukseen. Lannankäsitte-

lyssä tulisi pyrkiä siihen, että mahdollisimman vähän typpeä häviää, jolloin lannalla voidaan korvata muita lannoitteita mahdollisimman paljon (Cole ym. 1996, Mosier ym. 1998a).

Maahan jääneistä kasvijätteistä vapautuu dityppioksidia noin 330 000 tonnia (0,1–0,2 kg/ha) (Pipatti 1999). Väkilannoitteista aiheutuvien suorien dityppioksidipäästöjen arvioidaan olevan 3 300 tonnia vuodessa eli 1,8 kg N₂O/ha. Noin 300 000 turvepeltohehtaarialta arvioidaan vapautuvan 4 000 tonnia dityppioksidia eli noin 14 kg/ha (Kuusisto ym. 1996). Etelä-Suomessa hienorakenteisella kivennäismaalla päivittäiset dityppioksidipäästöt ovat kesäaikana keskimäärin 11 g/ha (Jaakkola & Simojoki 1998).

Oljen maahan muokkausta syksyisin suositellaan, jotta mikrobit sitoisivat maasta vapaata nitraattia. Orgaanisen aineksen lisäys saattaa kuitenkin lisätä dityppioksidipäästöjä erityisesti märässä maassa, jos siellä on runsaasti nitraattia (Granli & Bøckman 1994).

2.1.4 Maatalousmaiden metaanipäästöt

Metaanipäästöt (CH₄) ilmakehään ovat suureksi osaksi peräisin bakteerien aikaansaamasta orgaanisen aineksen hajoamisesta anaerobisissa olosuhteissa (Pipatti 1997). Maailmanlaajuisesti tärkeimmät maatalouteen liittyvät metaanilähteet ovat märehitijät, riisiviljely, kotieläinten lanta sekä biomassan poltto (Cole ym. 1996, Mosier ym. 1998b). Lisäksi maatalouskoneiden käytöstä ja maatalorakennusten lämmityksestä sekä muusta energian käytöstä aiheutuu metaanipäästöjä polttoprosessin yhteydessä (Pipatti 1997). Vuonna 2003 Suomen maatalouden metaanipäästöistä noin 87 % tuli kotieläinten ruoansulatuksesta ja noin 13 % lannasta (Tilastokeskus 2005).

Viljellyillä turvemailla metaanipäästöt ovat noin 2 kg/ha eli yhteensä 800 tonnia vuodessa. Päästöt ovat hyvin pienet verrattuna ravinteisten luonnontilaisten soiden metaanipäästöihin (Kuusisto ym. 1996).

2.2 Happamoituminen

Tärkeimmät happamoittavat yhdisteet ovat rikkidioksidi (SO₂), typen oksidit (NO_x) ja ammoniakki (NH₃). Happamoittavia yhdisteitä tulee ilmasta maahan märkälasseumana sateen mukana sekä kuivalasseumana eli kaasuna ja hiukkasina tulevana aineksina. Maalla ja vedellä on puskurointikyky happamoittavia laskeumia vastaan, eli ne voivat sitoa tai tehdä vaarattomaksi laskeuman vetyionit. Happamoitumisella tarkoitetaan luonnon puskurointikyvyn heikentymistä.

Fossiilisten polttoaineiden poltosta ilmaan pääsee happamoitumista aiheuttavaa rikkidioksidia. Polttomoottorin korkeassa lämpötilassa syntyy typpimonoksidia, joka hapettuu helposti typpidioksidiksi (NO₂). Ammoniakkipäästöistä yli 80 % syntyy maataloudessa, joista yli 90 %, 32 000 tonnia, aiheutuu kotieläintaloudesta (Grönroos ym. 1998). Happamissa maissa lannoitetyypestä haihtuu noin 0–5 % ammoniumtyyppinä ilmaan (Niskanen ym. 1990). Väkilannoitteista peräisin olevat ammoniakkipäästöt ovat noin 1 800 tonnia. Ammoniakkia voi haihtua runsaasti myös tuleentuvista kasveista runsaan lannoituksen tai täydennyslannoituksen seurauksena.

Kuiva- ja märkälasseuman happamoittavan vaikutuksen neutraloimiseksi tarvittava kalkkimäärä on Suomen oloissa tavallisesti muutama kymmenen kiloa CaCO₃:a hehtaarille vuodessa (Hartikainen

1992b). Maaperän happamoituminen voi edistää raskasmetallien liukenemista kasveille käyttökelpoisempaan eli haitallisempaan muotoon sekä pohjaveteen.

2.3 Ravinteiden huuhtoutuminen ja rehevöityminen

Vesistöjä rehevöittäviä, eli kasvien perustuotantoa kasvattavia, yhdisteitä ovat liukoinen typpi ja fosfori. Suomen järvien ja Perämeren rannikkovesien minimiravinne on yleensä fosfori, joten erityisesti liunneen fosforin kuormitus aiheuttaa niissä rehevöitymistä ja sinileväkukintoja. Typpikuormituksesta on eniten haittaa Suomenlahden ja Selkämeren rannikkovesille, joillekin järville sekä paikoittain kaivovesien nitraattipitoisuuksille.

Vesiekosysteemeissä ravinteiden lisääntynyt määrä kasvattaa kasvibiomassaa, jonka hajottamiseksi tarvitaan happea. Hapen kulutusta voidaan pitää yhtenä rehevöittämistä kuvaavana indikaattorina. Tällöin myös orgaanisten materiaalien päästöistä aiheutuvaa hapenkulutusta voidaan arvioida suoraan kemiallisen hapenkulutuksen (COD) perusteella.

Maatalouden hajakuormituksen arvioidaan olevan suurin yksittäinen ihmisen toiminnan aiheuttama vesistökuormittaja (Suomen ympäristökeskus 2005). Tuotannon yksipuolistuminen maataloilla sekä luonnonvaraisten kosteikkoalueiden häviäminen ovat lisänneet vesistökuormitusta erityisesti 1970- ja 1980-luvuilla (Rekolainen 1989). Vähäisen nurmi- ja syysviljojen viljelyn takia pellot ovat keväällä ja myöhäissyksyllä ilman eroosiota suojaavaa kasvipeitettä. Yksipuolinen viljely, runsas väkilannoitteiden käyttö sekä tehokkaat koneet ja muokkausmenetelmät ovat alentaneet myös maan humuspitoisuutta sekä tiivistäneet maita. Nämä kaikki tekijät ovat lisänneet ravinteiden huuhtoutumisriskiä.

Vesi valuu yleensä mikrohuokosten, lierokanavien, juurikanavien ja halkeamien kautta salaojiin, mutta jos maa on jäässä tai tiivistynyt, veden virtaus alaspäin estyy. Tällöin vesi virtaa pellon pintaa pitkin ja irrottaa helposti maa-ainesta mukanaan. Sääoloilla, rinteiden kaltevuudella ja pituudella sekä valunnan suuntautumisella on suuri vaikutus eroosioon ja ravinteiden huuhtoutumiseen.

Viljeltäessä viljoja savimailla, typpeä on arvioitu huuhtoutuvan vuosittain keskimäärin pintavaluntana 6 kg/ha ja salaojavaluntana 8 kg/ha ja fosforia 0,8 kg/ha ja 0,5 kg/ha, kun jyväsato on 4 000 kg/ha ja lannoitemäärät 100 kg typpeä/ha ja 18 kg fosforia/ha (Katajajuuri 2000)

Monivuotisten kasvien viljely yksivuotisten sijaan pienentää vesistöjen ravinne- ja torjunta-ainekuormitusta. Syynä ovat torjunta-aineiden vähentynyt käyttö, pidempi kasvukausi, kasvipeitteisyys vuoden ympäri ja vahvemmat juuret. On arvioitu, että typen huuhtoutuminen on noin 50 % pienempää viljeltäessä monivuotisia energiakasveja kuin yksivuotisia viljelykasveja (Johansson & Hoffman 1996). Monivuotisten kasvien viljely ehkäisee myös fosforin kulkeutumista vesistöön, sillä suurin osa pellolta huuhtoutuneesta fosforista kulkeutuu pintavalunnan mukana eroosioainekseen sitoutuneena.

2.4 Maan viljavuus ja eroosio

Humuskerros, joka koostuu eloperäisestä aineksesta, on erittäin tärkeä maan viljavuudelle. Humuspitoisuuden on todettu viime vuosikymmenien aikana alentuneen vajaan prosentin vuodessa (Erviö 1995). Syynä pidetään viljanviljelyn monokulttuurin sekä karjanlannan käytön ja nurmiviljelyn loppumista. Erityisesti avokesannointi lisää orgaanisen aineksen häviämistä. Viljanviljelyssä maahan

palautuvat kasvinjätteet eivät täysin korvaa hiilen menetystä. Kymmenen vuoden jaksolla maan humuksen muutosta olkien poiston tai maahan kynnön seurauksena ei tosin ole pystytty osoittamaan (Erviö & Talvitie 1995).

Maan hiilimäärää lisäävät kasvien juuret sekä maahan kynnettävät oljet ja muut kasvinosat. Orgaanisen aineksen joutuminen kosketuksiin hapen kanssa nopeuttaa hajoamista, joten muokkaaminen lisää hajoamisnopeutta. Kevennetty muokkaus säästää maan orgaanisen aineksen määrää tavanomaiseen muokkaukseen verrattuna (Lal 1997). Monivuotisten energiakasvien viljely voi parantaa maan viljavuutta ja vähentää eroosiota (Börjesson 1999).

2.5 Biologinen monimuotoisuus ja maisema

Biodiversiteetti eli biologinen monimuotoisuus tarkoittaa elävän luonnon kaikenlaista vaihtelua: erilaisten elinympäristöjen määrää, lajien lukumäärää ja lajinsisäistä perinnöllistä vaihtelua.

Suomessa tiedetään kuolleen sukupuuttoon 138 kasvi- ja eläinlajia viimeisen sadan vuoden aikana. Suomen tunnetuista 42 000 eläin- ja kasvilajista 217 lajia elää erittäin uhanalaisena ja noin joka kymmenes on uhanalainen. Lajien suurin uhka on ympäristön muuttaminen, kuten maa- ja metsätaloudessa tapahtunut viljelytapojen ja maankäytön muuttuminen, kosteikkojen kuivatus ja yhä laajemmalle levittyvä yhteiskunnan infrastruktuuri (tiet, sähkölinjat, voimalaitokset, satamat ym.).

Suomessa on noin 8 % (n. 2,5 milj. ha) avointa viljelymaisemaa koko maa-alasta, joten kaikki pellot ja laidunmaat ovat tärkeitä avoimen maiseman säilyttämisen kannalta. Tosin jakauma on alueellisesti painottunut Etelä- ja Lounais-Suomeen, joiden kunnissa peltoa saattaa olla jopa 40 % pinta-alasta. Lähes kolmannes maataloista on poistunut tuotannosta Suomessa 1990-luvulla. Samalla tuotanto on erikoistunut, ja varsinkin kotieläintuotanto on keskittynyt yhä harvemmille tiloille. Tuotantoyksiköiden koot ovat kasvaneet ja peltoalueet yhtenäistyneet. Peltojen avo-ojien määrä on vähentynyt salaojituksen yleistyttyä (Katajajuuri 2000).

Maatalouden tuotantotapojen muutokset, kuten torjunta-aineiden käyttö, maanmuokkausmenetelmien muutokset, monokulttuurin suosiminen ja laidunnuksen harvinaistuminen, heijastuvat suoraan maatalousympäristön lajien esiintymiseen ja runsauteen (Maa- ja metsätalousministeriö 1999).

2.6 Torjunta-aineet

Suomessa käytetään torjunta-aineita myyntimääristä laskettuna keskimäärin 0,7 kg tehoaineita viljeltyä peltohehtaaria kohti (Hynninen & Blomqvist 1995). Tilastojen mukaan torjunta-aineiden käyttömäärät muissa Euroopan maissa ovat hehtaaria kohden jopa yli kymmenen kertaa suurempia. Hehtaarikohtainen vertailu ei kuitenkaan ota huomioon satojen suuruutta ja toisaalta kasvihuonetuotannon määrää.

Torjunta-aineita käytettäessä torjunta-ainetta joutuu torjuntakohteen lisäksi myös ilmakehään, maaperään, viljelykasviin ja lopulta myös vesistöihin. Jopa 90 % torjunta-aineesta päätyy suoraan ilmaan tai maahan (Lavonen 1998). Maan muokkauksella on vaikutuksia torjunta-aineiden kulkeutumiseen maassa. Kyntö vähentää pintavaluntaa ja lisää salaojavaluntaa. Niinpä MTT:n kokeissa syyskynnön jälkeen torjunta-aineita havaittiin salaojavesissä, mutta ei talven pintavaluntavesissä (Kurppa & Laitinen 1999).

2.7 Raskasmetallit

Useimmiten maahan päätyvien raskasmetallien lähteinä ovat laskeumat ilmasta ja erilaiset maanparannustoimet (mm. jätevesilietteet, kaupalliset fosfaatti-, kalium- ja typpilannoitteet, kalkitukseen käytetyt aineet, torjunta-aineet, lanta) (Moolenar 1998). Raskasmetallit eivät hajoa maassa käytännöllisesti katsoen koskaan. Raskasmetallit siis kertyvät maahan ja eliöihin ja ovat jo pieninä annoksina myrkyllisiä kaikille eliöille.

Merkittävimpiä raskasmetalleja maatalouden kannalta ovat kadmium (Cd), lyijy (Pb) ja elohopea (Hg). Ihmisen lisäksi maaperän pieneliöt ovat hyvin herkkiä raskasmetalleille.

3 PELTOENERGIA

3.1 Ruokohelpi

3.1.1 Ruokohelven viljely

Ruokohelpi (*Phalaris arundinacea*) on reheväkasvuinen ja monivuotinen Suomen luonnossa tavallinen heinäkasvi. Se on hyvin sopeutunut kosteuden vaihteluihin ja kestää hyvin sekä tulvaa että kuivuutta. Kesällä ruokohelpi kasvaa noin 1-2 metrin korkuiseksi. Kasvutavaltaan se muistuttaa juolavehnnää eli kasvattaa laajan juurakon noin 2-15 cm syvyyteen. Juurakoista kasvavat juuret ulottuvat noin metrin syvyyteen. Ruokohelpi on keväällä korjattuna pitkäikäinen. Suomessa on koetoksia yli kymmenen vuotta kestävästä viljelystä ja viljely jatkuu yhä (Pahkala ym. 2005).

Ruokohelven luontaisia kasvupaikkoja ovat rannat, ojat ja tienpientareet. Viljeltynä ruokohelpi soveltuu kaikille maalajeille. Se menestyy myös viljan viljelyyn sopimattomilla lohkoilla, mutta hyvässä maaperä- ja sääoloissa sato on suurempi ja korjuu oleellisesti edullisempaa. Parhaat sadot ruokohelpi tuottaa kosteilla turve- ja multamailla, mutta myös hietamaat sopivat hyvin viljelyyn. Savisilla pelloilla sadot ovat noin 20 % turvemaita huonompia. Keväällä korjattu kuitusato on 3 500-8 000 kg ka/ha.

Turvetuotantoon suunnitelluilla tai tuotannosta poistuneilla aluilla voidaan jatkaa biomassan tuotantoa käyttämällä alueita ruokohelven viljelyyn. Turvetuotannosta poistuu alueita vähitellen, ja useilla työmailla osa alueista on edelleen tuotannossa ja osalla tuotanto on jo loppunut. Ruokohelven kasvatus soveltuu hyvin osittain tuotannosta poistuneille alueille. Tällöin biomassaa voidaan käyttää turpeen kanssa seospolttoaineena, jolloin paikallisen polttoaineen tuotantomäärä pysyy ennallaan turvetuotannon vähentyessä. Ruokohelpikasvustoa voidaan käyttää myös turvetuotantoalueelta tulevien kuivatusvesien suodatuksessa (Kallio ym. 2001). Kuivatusvedet pumpataan kasvustoon, joka käyttää ravinteet hyödyksi ja toisaalta haihduttaa kuivatusvesiä. Kun suota kuivatetaan turvetuotantoa varten, siellä voidaan kasvattaa ruokohelpeä. Suo on tällöin biomassan tuotannossa myös valmisteluvaiheen aikana.

Ruokohelpi on hyvä ravinteiden ottaja ja sen juurilla on suuri ravinteiden varastointikyky. Kun sato korjataan keväällä, suuri osa ravinteista säilyy juurissa tai palaa maahan varisevien lehtien mukana. Ruokohelpi pystyy tehokkaasti hyödyntämään juuristoon varastoituneita ravinteita ja selviää vuoden ilman lannoitusta, mutta pidemmällä aikavälillä sato ja ravinnepitoisuudet alenevat, jos maata ei

lannoiteta. Ruokohelpi pystyy hyödyntämään erinomaisesti varsinkin runsaasti typpeä sisältävien orgaanisten maiden koko kasvukauden ajan vapautuvaa typpeä. Lannoituskokeita on tehty vähän, joten ohjeita kaikille maalajeille ei ole vielä käytössä. Lannoitussuositukset on esitetty taulukossa 1. Lannoitus on mahdollista tehdä vain joka toinen vuosi, jolloin käytetään noin 1,5-kertaisia määriä.

TAULUKKO 1. *Ruokohelven lannoitussuositukset peltoviljelyyn eri maalajeilla sekä turvesoille. (Pahkala ym. 2002)*

Maalaji/kasvuston ikä	Typpi (kg/ha)	Fosfori (kg/ha)	Kalium (kg/ha)
Peltoviljely			
Perustamisvuosi	40	20	40
Satovuodet			
– eloperäiset maat	50	5-10	30-50
– savimaat	60-80	5-10	30-50
– karkeat kivennäismaat	60-80	5-10	30-50
Turvesuot			
Perustamisvuosi	40	40	80
Satovuodet 1-2	60	30	70-80
Satovuodet 3-	50-60	15-20	70

Ylimääräinen lannoitus lisää maan liukoisen typen määrää erityisesti eloperäisillä mailla ja voi aiheuttaa ravinteiden huuhtoutumista.

Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää lannoitusaineina myös yhdyskuntajätelietteitä. Yhdyskuntajäteliete sisältää runsaasti kasvin tarvitsemia ravinteita, mutta myös haitallisia raskasmetalleja kuten kadmiumia ja lyijyä. Kalkitusaineena voidaan hyödyntää terästehtaiden kuona-aineita sekä puuntuhkaa (Puuronen ym. 1998).

Ruokohelpi ei vaadi muita kasvinsuojelutoimenpiteitä kuin rikkakasvitorjunnan kylvövuonna (Pahkala ym. 2002). Muina vuosina ruokohelpi kilpailee tehokkaasti rikkakasvien kanssa. Tuhohyönteisistä on ollut haittaa vain siementuotannossa. Merkittäviä kasvitauteja ei ole toistaiseksi havaittu. Keväthallat voivat joskus hidastaa ruokohelven kehitystä.

Viljeltäessä ruokohelpeä energiakäyttöön halutuin kasvinosa on korsi, jonka osuus biomassasta on suurin keväällä kuloheinässä (60–75 %). Kylvövuonna ja sitä seuraavana vuonna ruokohelvestä ei vielä saada keväällä korjattavaa satoa, vaan energiasadon korjuu alkaa kolmannesta keväästä lähtien. Energiaksi tai kuiduksi korjattava ruokohelpi korjataan poltto- ja viljelyteknisistä syistä keväällä kuloheinänä, mieluiten toukokuun alussa heti roudan sulamisen jälkeen. Kevätkorjattu ruokohelpi on kuivaa (kosteus 10–20 %), joten erillistä kuivausta ei tarvita. Lisäksi ravinteet ovat palautuneet juuriin, millä on myönteisiä vaikutuksia lannoitukselle sekä poltto-ominaisuuksille. (Pahkala ym. 2000, Flyktman 2000). Korjuuseen käytetään tavallisesti esikuivatun säilörehun kalustoa. Ruokohelpi niitetään niittomurskaimella ja korjataan tavallisesti pyöröpaalaimella, mutta voidaan korjata myös irtosilppuna.

Yhteen rekkaan mahtuu noin 15 tonnia ruokohelpeä pyöröpaaleissa eli noin kahden hehtaarin sato. Kantipaaleja mahtuu kuormaan noin 60–80 % enemmän kuin pyöröpaaleja (Hemming ym. 1996) eli noin 24–27 tonnia. Osa voimaloista hankkii paaleja jopa 80-100 kilometrin etäisyydeltä (Aalto Mikko, tiedonanto 6.10.2005).

3.1.2 Ruokohelven poltto

Suomessa kiinteän polttoaineen yleisimmät polttotavat ovat arinapoltto, jota käytetään pienissä, alle 5 MW:n, voimalaitoksissa ja sahojen lämpökeskuksissa (teho alle 15 MW), sekä leijupoltto, jota käytetään suurissa voimalaitoksissa. Suomessa leijupolttokattiloiden lämpötehot ovat 3–550 MW. Lisäksi Suomessa on muutama kaasutuspolttoon perustuva lämpökeskus, joiden kattiloiden tehot ovat noin 5–6 MW.

Keväällä korjatun ruokohelven energia-arvo on noin 4,5 MWh/tn ka. Kun kuiva-ainetaso on tavallisesti 7 tn/ha, saadaan hehtaarilta noin 30 MWh. Voimalaitosten kattiloissa ruokohelven käyttö onnistuu teknisesti melko hyvin, mutta määrän noustessa ensisijaiseksi ongelmaksi tulevat kuljetinlaitteet ja erilaiset anturit ja mittarit, jotka on sovitettu joko turpeen tai hakkeen polttamiseen. Ruokohelpi poltetaan seoksena turpeen ja hakkeen kanssa, sillä yksin poltettuna ruokohelven palamislämpötila nousee hyvin korkeaksi. Lisäksi ruokohelpisilpun keveyden takia kattilasta saatava teho alenee. Ruokohelpisilppu sisältää vain noin kolmasosan jyrshinturpeen energiasta tilavuusyksikköä kohti. Siksi ruokohelpeä on parasta polttaa silloin, kun laitosta ei ajeta täydellä teholla.

Ruokohelpi on silputtava riittävän lyhyeksi (4 cm), jotta polttoaineet sekoittuvat hyvin keskenään ja lämpökeskusten polttoaineiden käsittelylaitteet toimisivat hyvin. Ruokohelvestä voidaan valmistaa myös pellettejä sekoittamalla sitä pienenä silppuna turpeen tai puun joukkoon. Puu on hyvää, koska siinä on hartsia, joka on liima-aine, joten pelletistä tulee lujempaa. Pelkkä ruokohelpipelletti on liian löyhää pellettipolttimiin.

Ruokohelpi alentaa turpeenpolton hiilidioksidipäästöjä (Flyktman & Paappanen 2005). Lisäksi se parantaa kostean puun poltto-ominaisuuksia, sillä kuiva ruokohelpi toimii kattilassa imupaperin tavoin. Korsibiomassa sisältää jonkin verran klooria, joka saattaa aiheuttaa korroosiota höyrykattiloissa. Korroosioriskiä voidaan pienentää polttamalla seassa myös rikkiä sisältävää polttoainetta, kuten turvetta tai kivihiiltä. (Flyktman & Paappanen 2005).

3.1.3 Ympäristövaikutukset

Korvaamalla kivihiili ruokohelvellä voidaan vähentää hiilidioksidipäästöjä merkittävästi. Ruokohelvestä hehtaarilta saatavan energiamäärän (30 MWh) tuottamisesta kivihiilellä syntyy hiilidioksidipäästöjä CHP-voimalaitoksessa noin 17 tonnia (580 g CO₂/kWh_e) ja lauhdutusvoimalaitoksessa noin 25 tonnia (820 g CO₂/kWh_e). Uusiutuvan energian edistämishojelman tavoitteena on tuottaa Suomessa 2,1 petajoulea peltobiomassaenergiaa vuonna 2010, mikä edellyttäisi 17 000 hehtaarin ruokohelven viljelypinta-alaa, mikäli 80 % tavoitteesta toteutetaan ruokohelven viljelyn avulla. Jos ruokohelvellä korvattaisiin kivihiiltä, vähenisivät hiilidioksidipäästöt 289 000 – 425 000 tonnia riippuen voimalaitostyyppistä. Suomen hiilidioksidipäästöt ovat noin 73,19 Mt CO₂-ekvivalentteina (Tilastokeskus 2005) eli tavoitteen mukainen ruokohelven energiakäyttö vastaisi 0,4–0,6 prosentin vähennystä Suomen kaikista hiilidioksidipäästöistä.

Laskelmien mukaan ruokohelven tuotantoketjun energian kulutus on noin 5,8 % ruokohelven tuottamasta energiasta (Wihersaari 1996). Näissä laskelmissa ruokohelven keväällä korjatun sadon määränä on käytetty 5,5 tn/ha ja lämpöarvona 4,5 MWh/tn. Suurimpana energian kuluttajana on synteettisten lannoitteiden tuotanto, joka kuluttaa 4,4 % ruokohelven tuottamasta energiasta (44

kWh/1 MWh polttoainetta). Kylvön ja korjuun vaatima energia on 1,0 % (10 kWh/1 MWh polttoainetta), kun satoa oletetaan korjattavan yhdeksänä vuonna. Kuljetuksen kuluttama energiapanos on noin 0,4 %, kun 20 paalia kuljetetaan kuorma-autolla 20 km päässä olevalle lämpölaitokselle.

Ruokohelvestä saattaa olla apua hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä erityisesti orgaanisilla mailloilla. Ruokohelven juuriston hiilensitomiskyvystä ei ole tehty tutkimuksia, mutta monivuotisena kasvina se sitonee hiiltä enemmän kuin viljat ja vihannekset.

Ruokohelven etuna on suhteellisen pieni työmenekki perustamisvaihetta lukuun ottamatta. Ruokohelven tuottaman energian hyötysuhdetta voitaisiin parantaa käyttämällä orgaanisia lannoitteita, jolloin lannoittamiseen kuluva energiatarve pienenee. Ongelmana on kuitenkin kiinteiden orgaanisten lannoitteiden multaaminen perustamisvuotta lukuun ottamatta. Kevätkorjuun etuna on sadon luonnonmukainen kuivattaminen jopa alle 15 kosteusprosentin, joten erillistä kuivatusta ei tarvita. Toisaalta kevätkorjuussa menetetään siemensato siemenhuollosta tai rehukäytöstä.

Biomassaviljelyssä ruokohelven keväinen korjuuajankohta ja pitkä kasvipeitteisyysaika (10–12 vuotta) edistävät tehokasta ravinteiden kierrätystä kasvin ja maan välillä. Lisäksi kyntämätön, juuriston valtaama maa suojaa ja kuohkeuttaa pintamaata. Näiden tekijöiden ansiosta ravinteiden huuhtoutuminen pienenee ja maan rakenne paranee. Biomassanurmi torjuu tehokkaasti typen huuhtoutumista saraturvemaasta. Kymmenessä vuodessa liukoista typpeä huuhtoutuu noin 40 % vähemmän ja liukoista fosforia jopa 40 % vähemmän kuin suositusten mukaisesti lannoitetusta rehunurmesta (Partala & Turtola 2000).

Ruokohelven viljely turvetuotantoalueilla voi auttaa vesistöjen ravinnekuormitusten vähentämisessä, jos turvetuotantoalueen vedet johdetaan ruokohelpiviljelmälle. Ruokohelpiviljelmä voi adsorboida 70–90 % veden mukana tulleesta kiintoaineesta, ravinteista ja humuksesta (Kallio ym. 2001).

Korvaamalla yksivuotiset viljelykasvit monivuotisilla energiakasveilla, voidaan lisätä biologista monimuotoisuutta. Maamikrobien ja -eliöstön, esimerkiksi lierojen, monimuotoisuus ja esiintyminen ovat suurempia energiaheinäviljelmillä kuin yksivuotisilla ruokakasviviljelmillä (Börjesson 1999). Tämä johtuu pääosin vähäisemmästä maan muokkauksesta ja torjunta-aineiden käytöstä. Keskimääräinen kemiallisten torjunta-aineiden käyttömäärä energiaheinäviljelmillä on noin 0,2 kg vaikuttavaa ainetta/ha vuodessa, kun se on 1 kg yksivuotisilla viljelykasveilla.

Monet tutkimukset osoittavat, että heinän viljely lisää lintulajien, erityisesti laululintujen, määrää (Börjesson 1999). Energiakasvien viljely voi lisätä biologista monimuotoisuutta myös epäsuorasti pienempien typen huuhtoumien vuoksi, jolloin vesistöjen lajisto säilyy monimuotoisempana kuin ravinnekuormitetuissa vesissä.

Suomen maatalouspinta-ala on suhteellisen pieni, joten nykyisten peltojen tuotannossa pitäminen on maatalousmaiseman säilyttämisen kannalta ensiarvoisen tärkeää. Ruokohelven viljely elintarviketuotannosta vapautuvilla pelloilla auttaa ylläpitämään maatalousmaisemaa.

3.2 Olki

Viljan (ohra, vehnä, ruis ja kaura) olki ja jyvät sopivat myös kiinteänä polttoaineena käytettäväksi. Oljella ja jyvillä on erilaiset palamisominaisuudet, joten olkea ja jyviä käytetään erikseen. Oljen polttoon tarvitaan olkea varten suunniteltu kattila, kun taas viljan siemeniä voidaan polttaa laadukkaissa pelletinpolttimissa ilman tukipolttoaineita.

Koska olki on viljan tuotannon sivutuote, viljelyn ympäristövaikutukset eivät kohdennu vain oljelle, vaan ne kohdistuvat myös jyville. Viljan viljelyn ympäristövaikutuksia tarkastellaan seuraavassa kauraa käsittelevässä luvussa ja tässä keskitytään vain oljen energiakäytön vaikutuksiin.

3.2.1. Oljen käyttö energiaksi

Oljen saanto hehtaarilta on noin 3 tonnia ja lämpöarvo 3,5 MWh/tonni, joten oljesta saadaan energiaa yli 10 MWh/hehtaari (Alakangas 2000). Vuonna 1996 Suomessa tuotettiin olkea yhteensä noin 2,66 miljoonaa tonnia, mutta vain pieni osa tästä hyödynnetään energian tuotannossa. Energian tuotantoon olkea käytetään noin 6 000 tonnia (70 TJ) vuodessa (FINBIO 1998).

Oljen tuotannon energiapanos on noin 1,3 % tuotoksesta, eli yhteensä noin 12,6 kWh/MWh (Wiher-
saari 1996). Oljen tuotantopanos on huomattavasti ruokohelpeä pienempi, koska kasvuston perustamisen ja lannoittamisen energiankulutus kohdentuu jyville eikä oljelle. Oljen korjuuseen paalamalla kuluva energiapanos on noin 0,9 % tuotoksesta (oletuksena oljen lämpöarvo 4,5 MWh/tn ja sato 2,0 tn/ha) ja kuljetus 20 kilometrin päähän noin 0,4 %.

Oljen suuri tilavuus (irto-oljen tilavuus on 30–40 kg/m³) hankaloittaa varastointia ja tekee kuljetukset kalliiksi. Olkea käytetään polttoaineena suurpaaleina, kovapaaleina, silppuna, jauhettuna ja puristeina. Briketointi ja pelletointi kasvattavat oljen tiheyttä ja helpottavat polttoaineen käsittelyä. Olkibriketin kiintotiheys on 450–1 100 kg/m³ ja olkipellettien 800–1 400 kg/m³ (Peltola 1981, Ahokas ym. 1983). Silppuaminen lisää biomassan tiheyttä vain, jos silppu on riittävän lyhyttä. Jauhetun oljen tiheys on noin 220–240 kg/m³. Oljen alkuainesisältö ja tehollinen lämpöarvo ovat hyvin samankaltaisia kuin puulla. Olki ja puu palavat pitkällä valaisevalla liekillä ja vaativat palotilakseen laajan tulipesän. Oljen pieni energiatiheys ja suuri tuhkapitoisuus tekevät siitä kuitenkin puuta ja muita kiinteitä polttoaineita ongelmallisemmän polttoaineen (Ahokas ym. 1983, Sankari 1995).

Oljen puintikosteus on 30–60 % ja polttokosteus yleensä 20 %. Olki kuivuu varastoinnin aikana 2–6 prosenttiyksikköä, joten polttoon kerättävän oljen kosteus saa olla korjuuhetkellä enintään 25 %. Jos olki joudutaan korjaamaan yli 30 %:n kosteudessa, se on kuivattava koneellisesti ennen polttoa (Ahokas ym. 1983).

Oljen korkea alkali- ja klooripitoisuus saattaa aiheuttaa korroosioriskiä kattiloissa, joissa on yli 480–500 °C tulistinlämpötila. Tämä voidaan ehkäistä sekoittamalla olki turpeeseen tai puuhun ja pitämällä oljen osuus polttoaineesta tarpeeksi pienenä. Myös korjuuajankohta vaikuttaa oljen koostumukseen. Kloori- ja alkalipitoisuudet laskevat, jos oljen annetaan olla pellolla sateen huuhtottavana. Aikaisin korjatun oljen klooripitoisuus on lähes nelinkertainen myöhään korjattuun olkeen verrattuna (Sankari 1995, Tuunanen 1994).

Oljen tuhkan kalsium-, magnesium- ja kaliumpitoisuudet ovat korkeat. Poltettaessa olkea turpeen kanssa saadaan poltossa syntyvä rikki sitoutumaan tuhkaan juuri näiden metallien ansiosta (Puuronen ym. 1994).

3.2.2 Oljen poiston vaikutus maaperälle

Olkien jättämistä maahan syksyllä suositellaan, koska lierot saavat oljista ravintoa ja lahotessaan oljet muodostavat humusta. Lierojen kaivamat käytävät ja humuspitoinen pellon pinta ovat tärkeitä

ominaisuuksia hyvälle viljelymaalle. Käytettäessä kasvinjätteitä energiantuotannon raaka-aineena olisi siis huolehdittava siitä, että myös maahan jää riittävästi orgaanista ainesta maan hiilipitoisuuden ja tuottavuuden ylläpitoon sekä eroosion estämiseen (Cole ym. 1996, Paustian ym. 1998). Kymmenen vuoden jaksolla maan humuksen muutosta olkien poiston tai maahan kynnön seurauksena ei tosin ole pystytty osoittamaan (Erviö & Talvitie 1995).

Olkien maahan muokkaus edistää myös mikrobien vapaan nitraatin sidontaa maasta. Orgaanisen aineksen lisäys saattaa kuitenkin lisätä N₂O-päästöjä erityisesti märässä maassa, jos siellä on runsaasti nitraattia (Granli & Bøckman 1994).

Erityisesti suorakylvön yleistyessä paineet olkien poistolle maasta kasvavat. Suorakylvössä maata ei muokata, vaan kylvö tapahtuu suoraan edellisen vuoden sänkeen. Olkia ei siis voida kyntää maahan, vaan ne joko kerätään pois tai silputaan ja levitetään pellon pinnalle. Jätettäessä oljet pellolle on ongelmana kuitenkin tautiriskien kasvaminen, koska patogeenit pääsevät helpommin siirtymään oljista viljelykasviin.

3.3 Kaura

3.3.1 Kauran viljely

Kaura (*Avena sativa*) on yksivuotinen mätästävä heinäkasvi, jonka kukinto on pitkähaarainen röyhy. Syväjuurisena kasvina se tulee toimeen heikkoravinteisilla mailla ja sopii hyvin pohjoisen kauruille, kosteille, eloperäisille ja happamille pelloille sekä viileään ilmastoon. Kaura soveltuu viljeltäväksi lähes kaikilla maalajeilla ja viljelyalueilla. Sen taudinkestävyys on erinomainen, joten se ei vaadi jatkuvaa tautitorjuntaa. Kaura sopii hyvin energian tuotantoon, koska se tuottaa valmiita ekologisia pellettejä (jyviä), joiden polttaminen laadukkailla pelletinpolttimilla on mahdollista ilman tukipolttoaineita.

3.3.2 Ympäristövaikutukset

Kauran viljelyn ympäristövaikutuksiin vaikuttavat pääasiassa maan fosforitaso, lannoitteiden, torjunta-aineiden ja kalkin käyttö sekä polttoaineiden kulutus.

Kauran jyvien lämpöarvo on noin 4,8 MWh/tn ja jyväsato on noin 4 t/ha, joten energiatuotto on noin 19,2 MWh/ha (4 tn*4,8 MWh/tn = 19,2). Viljan viljelyn energiankulutus on 3 340 MJ/tn eli noin 928 kWh/tn (Katajajuuri 2000). Jos sato on 4 tn/ha, olisi tuotantoon kuluva energia noin 3,7 MWh/ha eli 19,3 % tuotetusta energiasta.

Viljoilla kokonaistypen huuhtoutuminen on noin 1 kg/ha ja kokonaisfosforin 0,1 kg/ha vuodessa (Katajajuuri 2000). Lisäksi eroosioaineksen mukana tyypeä joutuu vesistöihin 13 kg/ha ja fosforia 1,2 kg/ha. Leville käyttökelpoista fosforia on 28 % kokonaisfosforista (Ekholm 1998). Rehevöitymistä kuvaava hapenkulutus 1 000 kg kevätiljaa kohden on 13 kg liukoiselle fosforille ja 58 kg liukoiselle typelle, jotka ovat huuhtoutuneet pellolta.

Eroosion määräksi viljalla Katajajuuri (2000) on saanut 460 kg maa-ainesta tuhatta kiloa kevätiljaa kohden. Tämän määrän tuottamiseen tarvitaan pinta-alaa noin 0,27 ha eli yhdeltä hehtaarilta eroosiota syntyy noin 1700 kg maa-ainesta (460 kg/0,27≈1704 kg)

Hiilidioksidin merkittävin lähde on kalkituksen jälkeen hiljalleen kalkista vapautuva hiili (Katajajuuri ym. 2000). Työkoneiden käytön aiheuttamat hiilidioksidipäästöt ovat suunnilleen samaa suuruusluokkaa. Lisäksi hiilidioksidipäästöjä syntyy kuivauksessa ja lannoitteiden valmistuksessa.

Rikin oksideista yli 50 % vapautuu lannoitteiden valmistusketjussa ja 30 % fossiilisten polttoaineiden käytöstä ja hankinnasta (Katajajuuri ym. 2000). Typen oksideista kaksi kolmasosaa aiheutuu työkoneiden käytöstä (Katajajuuri 2000). Lisäksi niitä muodostuu lannoitteiden valmistuksesta ja kuljetuksista. Tuotantoketjun aikaisista dityppioksidipäästöistä yli 60 % vapautuu viljelymailta ja vajaa 40 % lannoitteiden valmistusketjusta. Ammoniakkipäästöjä syntyy eniten (80 %) pellolla käytetystä lannoitetyypistä. Sijoituslevityslannoitustekniikka on ammoniakkipäästöjen osalta parempi kuin pintalevitystekniikka. Ammoniumtyyppiä haihtuu ilmaan tyyppinä arvioilta 0,5 % sijoituslevityksen tyyppistä (Grönroos ym. 1998a). Pintaan levitettävästä lannoitetyypistä haihtuisi enemmän. Viljelymaalta tapahtuvat suorat dityppioksidipäästöt ovat arviolta noin 1,25 % lannoitetyypen määrästä (Katajajuuri 2000)

Torjunta-aineiden käyttömäärät vaihtelevat torjuntatarpeen mukaan. Katajajuuren (2000) laskelmien mukaan käytettäessä MCPA-tehoainetta 360 g/ha aiheutuu päästöjä ilmaan yli 24 g/ha, maahan yli 96 g/ha ja pintavesiin 0,192–4,8 g/ha. Suurin osa (65 %) tehoaineesta hajoaa pidemmällä aikavälillä eikä kuormita ympäristöä.

4 BIOKAASU

4.1. Biokaasun tuotanto

Biokaasua muodostuu, kun eloperäinen aine hajoaa biokemiallisesti ja mikrobiologisesti hapettomissa olosuhteissa. Luonnossa sitä muodostuu esimerkiksi merten ja järvien pohjissa, suolla ja märehitijöiden ruoansulatuksessa. Biokaasu sisältää yleensä 60–70 % metaania, 30–40 % hiilidioksidia, alle 1 % rikkivetyä ja pieniä määriä muita kaasuja. Hallitusti biokaasua voidaan tuottaa biokaasureaktoreissa peltobiomassasta eli energiakasveista ja kasvintuotannon jätteistä, lannasta, elintarviketeollisuuden ja yhdyskuntien orgaanisista jätteistä sekä jätevedenpuhdistamojen lietteestä. Biokaasua voidaan monipuolisesti käyttää fossiilisten polttoaineiden korvikkeena niin liikenteessä kuin sähkön ja lämmöntuotannossa.

4.1.1 Biokaasulaitokset

Biokaasulaitos voi olla maatilakohtainen tai keskitetty. Maatilakohtaisessa laitoksessa käsitellään vain yhden maatilan tuottama lanta sekä mahdollisesti lähialueella tuotettua muuta orgaanista materiaalia tai kasvibiomassaa. Muodostunut energia hyödynnetään tilalla lämpönä ja sähkönä, ja käsitelty lanta käytetään lannoitteena tilan pelloilla. Sähköä voidaan myydä myös sähköverkkoon.

Keskitetyssä biokaasulaitoksessa käsitellään usealta maatilalta kerättyä lantaa teollisuuden ja yhdyskuntien biojätteiden ja -lietteiden kanssa. Energia myydään verkkoon ja käsitelty materiaali jaetaan lannoitteeksi usealle maatilalle. Biokaasun tuotanto kannattaa toteuttaa hajautettuna energiantuotantona lähellä kasvien viljelyalueita, jolloin kuljetusten määrä saadaan minimoitua.

Anaerobinen käsittely toteutetaan yleensä joko mesofiilisenä (30–35 °C) tai termofiilisenä (50–65 °C). Käsittely voidaan tehdä myös alemmissa lämpötiloissa (15–25 °C). Korkeammassa lämpötilas-

sa käsittelyaika on lyhyempi, metaanintuotto on suurempaa ja materiaali hygienisoituu tehokkaammin (Rintala ym. 2002). Toisaalta termofiilinen prosessi kuluttaa enemmän energiaa prosessin lämmitykseen ja on herkempi erilaisille häiriötekijöille.

Suomessa biokaasun tuotanto on vielä toistaiseksi melko vähäistä. Vuonna 2003 Suomessa tuotettiin biokaasua yhteensä 114,5 milj. m³, josta tosin hyödynnettiin vain 46 % (Kuittinen & Huttunen 2004). Kiinnostus maatilakohtaisiin biokaasulaitoksiin on lisääntynyt nopeasti vuodesta 2000 lähtien energian hinnannousun ja kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoitteiden vuoksi. Lisäksi tilojen koon kasvu on antanut valmiuksia investointien tekemiseen. Maatilakohtaisia biokaasulaitoksia toimi Suomessa vuoden 2003 lopussa kuusi kappaletta: Kalajoella, Kontionlahdella, Jepualla, Nivalassa, Laukaassa ja Taipalsaassa. Näistä tiloista pienimmät tuottivat biokaasua noin 13 000 m³ ja suurin 60 000 m³. Lisäksi biokaasureaktorilaitoksia toimi 15 jätevedenpuhdistamolla ja kolmessa teollisuuslaitoksessa. Näissä laitoksissa tuotettiin biokaasua yhteensä 25,8 milj. m³, jota hyödynnettiin lämpö- ja sähköenergiana sekä mekaanisena energiana yhteensä 121,3 GWh. Ylijäämäpolttoon biokaasua kului 3,4 milj. m³ eli 90 % hyötysuhteella laskettuna 18,8 GWh. Vuoden 2003 lopussa biokaasua kerättiin talteen 27 kaatopaikalta yhteensä 88,7 milj. m³, josta 23,2 milj. m³ käytettiin sähkön ja lämmön tuotantoon. Energiaa tuotettiin 115,1 GWh. Talteen otetun biokaasun ylijäämäpoltossa hukattiin lämpöenergiaa 90 % hyötysuhteella laskettuna 254,0 GWh. Espoon Ämmäsuon kaatopaikalla hukkapoltetulla 22,9 milj. m³ metaania olisi kaasumootorisella linja-autolla pystytty liikennöimään noin 32,7 miljoonaa kilometriä. Vertailun vuoksi mainittakoon, että Helsingin liikennelaitoksen linja-autoille kertyi vuonna 2003 noin 25,8 miljoonaa linjakilometriä.

4.1.2 Lannan ja muun orgaanisen materiaalin yhteiskäsittely

Lanta on hyvä perusmateriaali biokaasun tuotantoon, sillä se sisältää runsaasti bakteerien tarvitsemia ravinteita ja vettä. Biokaasureaktorien toimintaa voidaan tehostaa lisäämällä lannan sekaan myös muuta orgaanista ainesta, esimerkiksi biojätettä, elintarviketeollisuuden jätteitä tai kasvibiomassaa. Biokaasun tuottaminen kasveista on kuitenkin useita kertoja tehokkaampaa verrattuna siihen, että eläimet käyttäisivät kasvit ensin ravinnokseen ja biokaasu tuotettaisiin eläinten lannasta. Anaerobinen käsittely tarjoaa käyttökohteen kasvinviljelyssä syntyville kasvinjätteille sekä maatalouden ylituotantona syntyvälle kasvimateriaalille. Lisäksi reaktoreissa voidaan käsitellä nimenomaan energiantuotantoa varten viljeltyjä kasveja, kuten ruokohelpeä.

Taulukossa 2 on esitetty eri materiaalien metaanintuottopotentiaaleja ja taulukossa 3 kasvibiomasojen metaanintuotantopotentiaaleja. Metaanisaantoa on mahdollista parantaa esikäsittelemällä kasvimateriaalia fysikaalisesti, kemiallisesti tai biologisesti. Myös sadonkorjuun ajoituksella voidaan vaikuttaa metaaninsaantoon. Korjuuajankohta kannattaa optimoida siten, että kasvien metaanintuottopotentiaali on mahdollisimman korkea ja sadon määrä mahdollisimman suuri. Monilla kasveilla tämä siis edellyttää useita korjuukertoja kasvukauden aikana. Jotta biokaasua pystyttäisiin tuottamaan haluttuina ajankohtina, esimerkiksi sähkön hinnan ollessa kalleimmillaan, on kasvimateriaalin varastointiteknologioita kehitettävä. Varastoinnin tarvetta lisää myös kasviaineksen saatavuuden kausittaisuus.

Metaanintuoton on havaittu nousevan lannan ja erilaisten kasvien yhteiskäsittelyssä verrattuna pelkän lannan käsittelyyn, koska yhteiskäsittelyssä muodostuu suotuisa hiili/typpi-suhde. Metaanintuoton on havaittu laskevan, jos kasvien osuus yhteiskäsittelyssä nousee liian suureksi (Hills 1979, Hashimoto 1983, Nordberg & Edström 1997). Kasvien osat ovat kiinteää jätettä, joten ne on sekoitettava nesteeseen, esimerkiksi lietelantaan, ennen anaerobista käsittelyä (Nordberg & Edström

1997). Kasvit on ensin pilkottava pieniin palasiin, jotta bakteerit pystyvät hajottamaan niitä (Angelidaki & Ahring 1999, Hartmann ym. 1999). Kasvien hajoavuutta reaktorissa voidaan parantaa myös kemiallisilla ja biologisilla esikäsittelymenetelmillä sekä korjuuajankohdan ja varastointimenetelmän valinnalla.

TAULUKKO 2. Eri materiaalien metaanintuottopotentiaaleja (tyypillisessä kosteuspitoisuudessa) (Rintala ym. 2002). VS (Volatile Solids) = eloperäinen aine

Materiaali	Metaanintuottopotentiaali	
	(m ³ /t materiaalia)	(m ³ /tVS)
Naudanlanta	10-20	haarukoitu 180
Sianlanta	20-25	
Biojäte	100-150	550
Teurastamojätteet		430

TAULUKKO 3. Peltobiomassojen kuiva-ainesadot, potentiaaliset hehtaariohtaiset metaani- ja energiasaannot sekä niitä vastaavat ajokilometrien määrät henkilöautolla (keskikulutus 8 m³CH₄/100 km). (Lehtomäki ym. 2003).

Kasvi	Sato (tn _{ka} /ha)	Metaanisaanto (m ³ CH ₄ /ha)	Energiasaanto (MWh/ha)	Ajokilometrien määrä (km/ha)
Heinäseos	7-8	2 490-2 840	24-28	31 100-35 500
Puna-apila	4-5	1 070-1 340	10-13	13 400-16 700
Rehukaali	6-8	1 730-2 300	17-22	21 600-28 800
Lupiini	4-6	1 150-1 720	11-17	14 300-21 500
Ruokohelpi	9-10	2 970-3 300	29-32	37 100-41 300
Sokerijuurikkaan naatti	4-6	1 180-1 770	11-17	14 700-22 100
Kauran olki	2	580	6	7 300
Rypsin olki	2	440	4	5 500

4.1.3 Biokaasun hyödyntäminen

Biokaasua voidaan hyödyntää sähkön ja mekaanisen työn tekemiseen kaikissa lämpövoimakonetyypeissä ja lisäksi polttokennoissa. Suuressa kokoluokassa kombivoimaloissa sillä voidaan nykyään saavuttaa 60 %:n sähköntuotannon hyötysuhde. Tämä on suurempi kuin millään nestemäisellä tai kiinteällä polttoaineella voidaan millään teknologialla saavuttaa ja kaasuistakin vain vedylä voidaan teoriassa ylittää 70 %:n hyötysuhde. Suomessa keskimääräinen sähköntuotannon hyötysuhde kemiallisista polttoaineista on alle 30 %, mutta suuri osa voimaloista tuottaa lisäksi lämpöä. (Lampinen 2004).

Biokaasuprosessi on energian nettotuottaja, sillä biokaasussa olevan metaanin energia on noin 10-kertaisesti suurempi kuin prosessin lämmitykseen, sekoitukseen ja pumppaukseen tarvittava energia (Lampinen 2004). Lisäksi energia saadaan erityisen arvokkaassa muodossa, joten sen työntekopotentiaali kannattaisi hyödyntää esimerkiksi käyttämällä biokaasua liikennepolttoaineena (lisää aiheesta kohdassa 4.2.2).

4.2 Biokaasun käytön ympäristövaikutukset

Biokaasun käytöllä on monia positiivisia ympäristövaikutuksia. Uusiutuvana energianlähteenä se korvaa fossiilisia polttoaineita ja auttaa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Lannan anaerobinen käsittely vähentää monella tavalla lannan aiheuttamia haitallisia ympäristövaikutuksia ja lannan lannoitusarvo paranee. Lisäksi biokaasun käyttö parantaa mahdollisuuksia ravinteiden kierrätykseen, sillä myös yhdyskuntien orgaanisten jätteiden ravinteet voidaan palauttaa pellolle. Biokaasun tuotanto tarjoaa myös uuden käyttötarkoituksen kesantomaille sekä ylituotannossa ja vuoroviljelyssä syntyvälle kasvibiomassalle.

4.2.1 Kasvihuonekaasupäästöt

Biokaasun tuotanto vähentää kasvihuonekaasupäästöjä kahdella tavalla: korvaamalla fossiilisia polttoaineita sekä vähentämällä lannan käsittelyn aiheuttamia metaanipäästöjä.

Metaanipäästöjä syntyy erityisesti lietalannan varastoinnissa. Kiinteän lannan varastoinnin metaanipäästöt ovat hyvin alhaiset (van Benthem & Hänninen 2001). Sian lietalannan metaanipäästöt ovat 31,2 kg metaania/tonni lantaa ja IPCC:n (The Intergovernmental Panel on Climate Change) metodologialla metaanin muutosprosentti (lannan käsittelyjärjestelmän vaikutusta metaanipäästöihin kuvaava kerroin) on 39 % kylmissä ilmastoissa (vuotuinen keskilämpötila alle 15 °C) (IPCC 2000). Yksi tonni lietettä ja kiinteää lantaa käsiteltynä anaerobisesti vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 0,07 tonnia CO₂-ekvivalenttia vuosittain (van Benthem & Hänninen 2001). Laskelmissa on huomioitu kasvihuonekaasuvähennykset, jotka syntyvät fossiilisten polttoaineiden korvautumisesta sekä lannan metaanipäästöjen välttämistä. Prosessin vaatima energian kulutus on myös huomioitu. 100 lehmää tai 1000 sikaa tuottaa lantaa noin 5000 tonnia vuodessa (Rintala ym. 2002), joten tuon lantamäärän anaerobinen käsittely vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 350 tonnia hiilidioksidiekvivalentteina vuodessa. Metaania syntyy 10 000 Nm³ eli 1 GWh. Tämä energiamäärä riittää täyttämään yhden tilan vuotuisen energiatarpeen lämmön, sähkön sekä työkonien ja ajoneuvojen polttoaineiden osalta (Rintala ym. 2002). Lisäksi myyntiin jää energiaa 700 000 kWh/v.

Anaerobisessa käsittelyssä hiili/typpi-suhde ja kuiva-ainepitoisuus laskevat ja lopputuotteesta tulee homogeenisempaa (Klingler 1999, Ørtenblad 1999). Tällä saattaa olla vaikutusta dityppioksidipäästöjen pienenemiseen pellolta, sillä alhaisempi orgaanisen aineksen pitoisuus saattaa tehostaa nitrifikaatiota ja denitrifikaatiota pellossa.

4.2.2 Biokaasu liikennepolttoaineena

Pelkän lämmön tuotanto ei ole järkevä biokaasun käyttötapa, koska silloin menetetään kokonaan polttoaineen työntekopotentiaali (Lampinen 2004). Biokaasua kannattaisikin käyttää liikennepolttoaineena, sillä fossiilisten polttoaineiden korvaaminen liikennesektorilla on erityisen vaikeaa. Mikäli biokaasua ei kuluteta tuotantopaikassa, se voidaan kuljettaa rekkojen avulla kuten muitakin polttoaineita. Lisävaihtoehtona on putkikuljetus, joka ei ole mahdollista kiinteille ja nestemäisille polttoaineille.

Biokaasun käyttö ajoneuvojen ja työkoneiden polttoaineena edellyttää hiilidioksidin poistamista ja kompressointia. Puhdistettua biokaasua voi maatala oman käytön lisäksi myydä oman jakeluaseman kautta tai siirtää myytäväksi muualle rekkakuljetuksen tai maakaasu-, kaupunkikaasu- tai erillisen biokaasuputkiverkon kautta. Tämän hetkisenä käytön esteenä ovat jakeluasemaverkoston ja riittävän ajoneuvokaluston puute.

Metaani palaa puhtaammin kuin mikään muu kemiallinen polttoaine vetyä lukuun ottamatta (Lampinen 2004). Nestemäisten polttoaineiden palamisprosessiin verrattuna polttoaineen ja ilman sekoittuminen on metaaninpoltossa paljon parempi, joten epätäydellisiä palamistuotteita kuten hiilimonoksidia ei tule yhtä paljon ja hyötysuhde on saatavissa korkeammaksi. Terveydelle haitallisia aromaattisia kaasuja ei muodostu lainkaan ja muitakin orgaanisia kaasuja sekä hiukkaspäästöjä hyvin vähän. Rikkidioksidia syntyy erittäin vähän, koska rikkivety on helppo puhdistaa biokaasusta. Taulukossa 4 on listattu tärkeimpien päästöjen vähenemät, kun liikennekäytössä käytetään biokaasua öljyn sijaan.

TAULUKKO 4. *Biokaasumetaania käyttävien bussien ja henkilöautojen päästövähennemät ajoneuvokilometriä kohti verrattuna vuonna 2005 voimaantulevan EURO4-normin mukaisiin dieselbusseihin sekä diesel- ja bensiiniautoihin kaupunkiliikenteessä (Lampinen 2003).*

Päästövähennemät biokaasupolttoaineella			
Päästölaji	Bussi: dieselistä biokaasuun (otto)	Auto: dieselistä biokaasuun(otto)	Auto: bensiinistä biokaasuun (otto)
Kasviuonekaasut (CO ₂ , CH ₄ ja N ₂ O)	>-96 %	>-95 %	>-96 %
Pienhiukkaset PM 2,5	-94 %	-99,9 %	-66 %
SO ₂	>-94 %	>-99 %	>-98 %
NO _x	-39 %	-88 %	-57 %
NM VOC	-70 %	-33 %	-79 %

Yksi kuutiometri metaania vastaa normaalissa ilmakehän paineessa 1,13 bensiinilitran energiamäärää. Metaania voidaan kuitenkin kompressoida pienempään tilavuuteen nostamalla painetta, kuten menetellään ajoneuvokäytössä. Viljellyllä peltohehtaarilla voitaisiin tuottaa 3 000 kuutiometriä metaania vuodessa, mikä vastaa 1-2 henkilöauton vuotuista polttoainetarvetta (Lehtomäki ym. 2003).

Biokaasumetaanilla käyvien ajoneuvojen päästöt ovat yli 90 % tavanomaisten ajoneuvojen päästöjä pienemmät hiilidioksidin ja monien muiden kaasumaisten yhdisteiden ja hiukkasten osalta (taulukko 4, Lampinen 2003, Lehtomäki ym. 2003). Lisäksi biokaasujoneuvojen melutaso on matalampi kuin bensiini- ja dieselkäyttöisten ajoneuvojen.

Verrattaessa muihin uusiutuviin tai fossiilisiin polttoaineisiin biokaasusta muodostuvilla pakokaasuilla on suhteellisen pienet päästöt (Klingler 1999). Taulukossa 6 on esitetty eri polttoaineiden pakokaasujen päästöjä.

Käytettäessä biokaasua maakaasun asemasta voidaan palamiskaasuista laskea saatavan päästövähennyksiä 44 % NO_x-päästöistä ja 44 % CO-päästöistä. Pölypäästöt lisääntyvät hieman. Käytettäessä biokaasua kivihiilen asemasta päästövähennyksiä saadaan 99 % SO₂-päästöistä, 66 % NO_x-päästöistä, 85 % pölypäästöistä, 50 % CO-päästöistä ja 100 % Benzo(a) pyreenin päästöistä.

TAULUKKO 5. *Jäteperäisen biokaasumetaanin vuosituotantopotentiaali Suomessa. Oletuksena henkilöautoille 20 000 km kaupunkiajoo vuodessa kulutuksella 1 kWh/km eli 10 l/100 km. Busseille on oletettu 100 000 km vuodessa 3 kWh/km. Tämä on tekninen yläraja kyseisten jätteiden hyödyntämiseksi, eikä se ole käytännössä saavutettavissa. Taulukon ilmaiset ajoneuvomäärät voidaan saavuttaa tuottamalla biokaasua lisäksi energiakasveista ja puusta, joiden molempien tekninen potentiaali on huomattavasti nopeasti hajoavaa biojätettä suurempi. (Lampinen 2003)*

Metaanin lähde	Jätteen massa (tn)	Metaanin tuotto (m ³ /tn)	Energia (TWh)	Polttoaine autoille (kpl)	Polttoaine busseille (kpl)
Kaatopaikkakaasu			1,5	75 000	5 000
Yhdyskuntien biojäte (keittiöjäte)	360 000	100	0,36	18 000	1 200
Yhdyskuntien jätevesi (kiintoaine)	160 000	200	0,32	16 000	1 100
Eläinten lanta	21 500 000	20	4,3	220 000	15 000
Maatalouden kasvijätteet (tuorepaino)	4 000 000	170	6,8	340 000	23 000
Elintarviketeollisuuden jätteet (tuorepaino)	960 000	50	0,48	24 000	1 600
Teollisuuden jätevesi	22 300	200	0,04	2 000	130
YHTEENSÄ			14	700 000	47 000

TAULUKKO 6. *Polttoaineiden pakokaasupäästöjä (Klingler 1999: Alkuperäinen lähde: OECD, Fritsche: Energie-Wende Komitee Freiburg, 1998)*

Polttoaine	SO ₂ Kg/TJ	NO _x Kg/TJ	Pöly Kg/TJ	CO g/TJ	Benzo(a)pyreeni g/TJ
Maaöljy	140	90	20	90	1
Maakaasu	3	90	2	70	-
Kivihiili	300	150	20	100	3000
Puu: teollisuus ¹	100	64	100	130	130
Puu: yksityinen ²	30	60	100	300	
Olki	170	340	200	300	
Biokaasu	3	50	3	50	-

¹ Teollisuus: tehokas poltto korkeissa lämpötiloissa

² Yksityinen: tehoton poltto

4.2.3 Vesistövaikutukset

Lannoittamisen suurimmat negatiiviset vaikutukset ovat nitraattien kulkeutuminen pohjavesiin ja sitä kautta juomavesiin sekä ravinteiden kulkeutuminen vesistöihin, mikä aiheuttaa rehevöitymistä. Vähentämällä maanviljelyksessä ravinteiden kokonaismäärää ja tehostamalla kasvien ravinteiden ottoa voidaan vähentää haitallisia ympäristövaikutuksia.

Lannan anaerobinen käsittely voi vähentää vesistöjen ravinnekuormituksia. Anaerobisessa käsittelyssä osa lannan typestä muuttuu kasveille käyttökelpoisempaan muotoon, jolloin kasvien typenotto tehostuu (Kligler 1999, Ørtenblad 1999). Kun kasvit sitovat typen maasta, sitä kulkeutuu vähemmän rehevöittämään vesistöjä ja saastuttamaan pohjavesiä nitraatilla. Lisäksi maaperän mikrobit kykenevät immobilisoimaan vähemmän typpeä, jos lanta on mädätetty. Immobilisoitunut typpi voi vapautua myöhemmin usein kasvukauden jälkeen ja voi silloin aiheuttaa ilman ja vesistöjen saastumista (Ørtenblad 1999). Mädätyksessä lannan orgaaninen aines vähenee huomattavasti, joten immobilisaation määrä laskee. Mädätys parantaa myös kasvien fosforinottoa lannasta.

Mädätyksellä voidaan pienentää vesistön kuormitusta alentuneina BOD₇- ja COD-pitoisuuksina, jotka kuvaavat helposti hajoavien orgaanisten yhdisteiden määrää. Vesistöjen happitasapaino paranee, koska valumavesien sisältämän orgaanisen aineen hajoamiseen kuluvan hapen tarve pienenee (Lehtimäki & Lundström 1994).

Anaerobisessa käsittelyssä useat orgaaniset yhdisteet, kuten torjunta-aineet, voivat hajota. Tämä siis vähentää torjunta-aineiden kulkeutumista lannan mukana maaperään ja vesistöihin (Klinger 1999). Raskasmetallit eivät kuitenkaan vähene anaerobisessa käsittelyssä.

4.2.4 Ammoniakkipäästöt

Maatalouden suurimpia ympäristökuormittajia on lannan typpi. Tanskassa on arvioitu, että noin 77 % kaikesta haihtuvasta ammoniakista tulee lannasta, ja haihtuneesta typestä 39 % tulee eläinsuojista, 22 % lantavarastoista ja 39 % lannan levityksen yhteydessä (Knudsen & Birkmose 1997).

Anaerobisessa käsittelyssä lannan pH nousee orgaanisten happojen hajotessa käsittelyssä, jolloin suurempi osa lannan typestä on helposti haihtuvana ammoniakkina (Klinger 1999). Lannan mädätyksen aikana ammoniakkitypen määrä kokonaistyppeen verrattuna kasvaa noin 15–30 %. Ammoniakin haihtuminen tapahtuu mädätetyn lannan varastoinnin aikana. Haihtumista varastoinnin aikana voidaan vähentää 96 % peittämällä varastotankki (Ørtenblad 1999).

Ammoniakin haihtuminen levitettäessä lietettä pellolle voi olla pH:sta riippuen jopa 20–40 % ammoniakin kokonaismäärästä (Ørtenblad 1999). Sekoittamalla liete maahan muutaman tunnin kuluessa levityksestä voidaan estää lähes kokonaan ammoniakin haihtuminen, sillä haihtuminen on suurinta heti levityksen jälkeen.

4.2.5 Hajuhaitat ja patogeenit

Mädätyksessä voivat lietteiden ja ruokajätteiden hajut vähentyä 80 prosentilla. Anaerobisessa prosessissa haisevat yhdisteet hajoavat, sillä rasvahappopitoisuus (VFA) pienenee. Myös BOD₇- ja COD-pitoisuuksien pienentyminen vähentää hajuja (Mattila ym. 1985). Erityisesti asutusalueiden läheisyydessä hajun vähenemisellä voi olla huomattava ympäristöllinen merkitys. Lannan hajuhaittojen vähetessä myös lannan lannoituskäyttö mahdollistuu (Klinger 1999).

Anaerobinen prosessi tuhoaa monia patogeenisia organismeja (Colleran 1999). Mitä korkeampi lämpötila on, sitä tehokkaampi on tuhoava vaikutus. Bakteerit tuhoutuvat helpommin kuin virukset. Huolimatta prosessin patogeeneja tuhoavasta vaikutuksesta, useat keskitetyt anaerobiset laitokset on varustettu erillisillä hygienisointiyksiköillä.

Lannan kuljetus keskitettyihin biokaasulaitoksiin, sen sekoittaminen toisilta tiloilta tulleeseen lantaan sekä käsitellyn lannan jakelu lannoitteeksi luovat uusia leviämisreittejä orgaanisen jätteen sisältämille patogeeneille. Patogeenikantaa monipuolistaa esimerkiksi teuras- ja kalajätteen sekä jätevedenpuhdistamoiden lietteen ja biojätteen sekoittaminen lannan joukkoon yhteiskäsittelyä varten. Siksi eri materiaaleja yhteiskäsittelyä varten biokaasulaitosten pitäisi hygienisoida lanta ennen pellolle levitystä (Colleran 1999). Termofiilisten biokaasureaktoreiden hygienisoiva vaikutus on yleensä riittävä sellaisenaan, mutta mesofiilisisä reaktoreissa käsitelty lanta on sen sijaan yleensä hygienisoitava vielä erikseen. Lanta voidaan esimerkiksi pastöroida ennen tai jälkeen anaerobisen käsittelyn pitämällä se tunti 70 °C:ssa, mikä riittää tuhoamaan patogeenit (Bendixen 1997).

4.2.6 Ravinteiden kierrätys

Anaerobinen käsittely mahdollistaa orgaanisen materiaalin ravinteiden kierron, kun käsitelty materiaali hyödynnetään lannoitteena. Lannoitevaikutukseltaan tärkeät aineet, kuten kalium, fosfori, kalsium, magnesium ja mikroravinteet, eivät muutu käsittelyssä, joten ne saadaan täydellisesti talteen (Field ym. 1985).

Orgaanisia lannoitteita ei yleensä levitetä kasvien päälle, koska fytotoksiset eli kasveille myrkylliset yhdisteet voivat aiheuttaa kasveihin tummentumia ja kovettumia. Anaerobinen käsittely vähentää lannan fytotoksisten yhdisteiden määrää ja lisää lannan juoksevuuutta, jolloin se ei jää peittämään kasveja. Käsiteltyä lantaa voidaan siis levittää myös kasvien päälle, jolloin mineraalilannoitteiden tarve vähenee. Käsitelty lanta sisältää myös humusta lisäävää materiaalia, joten sen käyttö ei köyhdytä maaperää samoin kuin kemialliset lannoitteet. Lisäksi anaerobinen käsittely hajottaa joitakin orgaanisia haitta-aineita, kuten fenoleita (Klinger 1999).

Anaerobisen käsittelyn avulla voidaan vähentää kemiallisten lannoitteiden tarvetta ja tehostaa ravinteiden kiertoa. Käyttämällä yhdyskuntien ja teollisuuden biojätteitä sekä jätevedenpuhdistamojen lietteitä saadaan ravinteet palautettua pellolle takaisin kiertoon. Kemiallisten lannoitteiden käytön vähentäminen pienentää myös kasvihuonekaasupäästöjä. Kemiallisten lannoitteiden valmistuksessa vapautuu ilmakehään keskimäärin 1,5 kiloa hiiltä yhtä sidottua typpikiloa kohti (Paustian ym. 1998). Myös kemiallisten lannoitteiden valmistuksen aiheuttamat N₂O-päästöt vähenevät. Lisäksi typen ollessa kasveille käyttökelpoisemmassa muodossa, kasvit käyttävät sen tehokkaammin ja N₂O-päästöjä syntyy vähemmän.

4.2.7 Luonnon monimuotoisuus

Turpeen nostolla on pitkäaikaiset vaikutukset turpeennostoalueiden luontoon. Anaerobisesti käsiteltyä lantaa voidaan jossain määrin käyttää turpeen vaihtoehtona maan parannusaineena, joten enemmän turvesoita voidaan säilyttää luonnontilaisina.

Peltobiomassan kasvatusta energiakäyttöön mahdollistaa viljely-ympäristön säilymisen myös muun viljelyn loputtua. Tällä on positiivinen vaikutus luonnon monimuotoisuuteen, sillä tällöin pelto-luonnon lajisto säilyy.

5 TULEVAISUUDEN TUTKIMUSTARPEITA

Peltoenergian ja biokaasun tuotannon ja käytön ympäristövaikutuksista on tehty melko vähän tutkimuksia varsinkin Suomen oloissa (liitteessä 1 esitetään Suomessa tehtyjä tutkimuksia ja meneillään olevia tutkimushankkeita). Keski-Euroopassa tehtyjä tutkimuksia ei voida suoraan soveltaa Suomeen erilaisten ilmasto-olosuhteiden vuoksi, joten olisi tärkeää tehdä tutkimuksia ympäristövaikutuksista myös Suomessa.

Tässä kappaleessa esitellään MTT:n tutkijoiden näkemyksiä peltoenergian viljelyn ja käytön sekä biokaasun tuotannon ympäristövaikutuksiin liittyvistä tulevaisuuden tutkimustarpeista. Nämä tutkimustarpeet esitettiin 3.6.2005 käydyssä keskustelussa Jokioisilla. Mukana keskustelussa olivat MTT:ltä Martti Esala, Petri Kapuinen, Katri Pakkala, Paula Perälä ja Kristiina Regina.

Ruokohelven viljelyllä orgaanisilla mailla saattaa olla hiilidioksidipäästöjä alentava vaikutus, koska nurmikasvien juuret sitovat hiiltä enemmän kuin viljat ja vihannekset. Ruokohelven juuriston hiilensidontakykyä ei kuitenkaan ole tutkittu. Samoin myös turvepeltojen maaperän hiilitaseet pitäisi tutkia, jotta voitaisiin kartoittaa paremmin hiilidioksidipäästöjen vähentämismahdollisuuksia.

Ruokohelven tuotannon ja sadon jatkokäsittelyn tekniikkaa ja tuotantoketjujen kannattavuutta tulisi kehittää. Tällä hetkellä suurimpia pullonkauloja ovat sadonkorjuun puutteellisesta tekniikasta johtuva suuri korjuuhävikki sekä tehokkaat ja edulliset keinot ruokohelpipaalien murskaamiseen ja sekoittamiseen turpeen tai puun joukkoon.

Olki on tärkeä maaperän humuksen lisääjä, joten oljen poltto saattaa johtaa maaperän koostumuksen heikkenemiseen. Tämän vuoksi olisi tutkittava paremmin olkien poiston vaikutukset maaperään. Tätä aihetta on tutkittu jonkin verran esimerkiksi Englannissa, mutta kotimaisia tutkimuksia ei ole tehty. Lisäksi olisi tutkittava peltoenergian poltosta aiheutuvia pienhiukkasvaikutuksia.

VTT:llä meneillään olevassa tutkimuksessa "Liikenteen biopolttoaineet ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit" (päättyy 31.12.2005) tutkitaan ruokohelven ja biodieselin ja -etanolin kasvihuonekaasupäästöjä ja energiataseita. Tässä tutkimuksessa ei tutkita muita ympäristövaikutuksia, eikä niistä ole tehty eikä tehdä tällä hetkellä tutkimuksia Suomessa. Olisi tärkeää tutkia myös päästöt maaperään ja vesistöihin. Erityisesti rypsilä käytettyjen torjunta-aineiden ympäristö- ja terveysvaikutukset tulisi tutkia paremmin. Esimerkiksi trifluralinilla on todettu olevan negatiivisia vaikutuksia ympäristölle ja ihmisten terveydelle. Sen käyttö on kielletty joissakin maissa, mutta Suomessa se on sallittua.

Eri kasvien metaanintuotto-ominaisuuksia on selvitetty, mutta tarvittaisiin vielä tarkempaa tutkimusta siitä, miten saataisiin optimoitua suurin mahdollinen metaaninsaanto biokaasutuksessa. Korjuuajankohdalla on suuri vaikutus kasvin metaanintuottoon, joten pitäisi tutkia kuinka monta kertaa eri kasvilajit kannattaisi vuodessa korjata ja mihin aikaan, jotta metaanintuotto saataisiin maksimoitua kannattavimmin.

Anaerobisesti käsitellyn lannan lannoitusvaikutuksia verrattuna käsittelemättömään lantaan olisi tutkittava myös Suomen oloissa. Anaerobisesti käsitellyn lannan hiilen vaikutuksista maaperään verrattuna lietteen hiileen ei myöskään ole tietoa. Lannan käsittely biokaasutuksella vähentää teoriassa lannan käsittelyn aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä. Olisi kuitenkin tutkittava tarkemmin, mikä suuruisia päästöjä syntyy lannan käsittelyn eri vaiheissa. Myös koko biokaasun tuotantoketjun ympäristövaikutukset olisi kartoitettava paremmin.

6 PÄÄTELMÄT

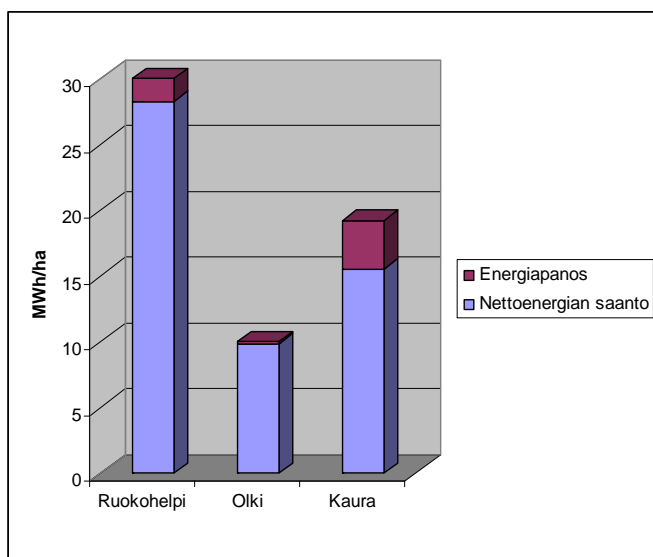
6.1 Yhteenveto peltoenergian ja biokaasun tärkeimmistä ympäristövaikutuksista

Bioenergia yleisesti

Bioenergian käyttö vähentää hiilidioksidipäästöjä korvaamalla fossiilisia polttoaineita.

Peltoenergian ja biokaasun käytöllä voidaan vähentää kasviuonekaasujen vapautumista ilmakehään, sillä kasvit sitovat kasvaessaan saman määrän hiilidioksidia kuin niiden poltossa vapautuu. Kuvassa esitetään ruokohelven, oljen ja kauran energia saannot hehtaarilta sekä energian tuottamiseen kuluva energia.

Peltoenergian ja biokaasun tuotanto tarjoavat uuden käyttötarkoituksen kesantomaille, elintarviketuotannosta poistuville maille sekä ylituotannossa ja vuoroviljelyssä syntyvälle kasvibiomassalle. Maataloustuotannon jatkuminen puolestaan ylläpitää maatalousmaisemaa sekä maataloustuotannon synnyttämiä elinympäristöjä ja niistä riippuvaisia eliölajeja.



KUVA 1. Ruokohelven, oljen ja kauran energian saanto hehtaarilta sekä energian tuottamiseen tarvittava energiaipanos (sisältää synteettisten lannoitteiden valmistuksen, kylvön ja korjuun sekä kuljetukset).

Ruokohelmi

Alentaa hiilidioksidipäästöjä:

- seospoltossa turpeen kanssa
- viljeltäessä orgaanisilla mailla

Vähentää ravinnehuuhtoutumia

- ympärivuotinen kasvipeitteisyys estää eroosiota
- maan muokkaustarve vähenee, joten eroosio vähenee
- vahva juuristo parantaa maan rakennetta, joten kasvien ravinteiden otto paranee
- vähentää turvetuotantoalueiden ravinnekuormitusta, jos vedet johdetaan esim. ruokohelviljelmälle

Ylläpitää biologista monimuotoisuutta

- maamikrobien ja -eliöstön määrä ja monimuotoisuus suurempia viljeltäessä monivuotisia kuin yksivuotisia kasveja
- ylläpitää luonnonvaraisten eliöiden elinympäristöjä
- auttaa avoimen maatalousmaiseman säilyttämisessä

Olki

Olki on viljan tuotannon sivutuote, joten viljelyn ympäristövaikutukset kohdistuvat jyville.

Käytettäessä olki polttoaineena, on huolehdittava, että pellolle lisätään riittävästi muuta orgaanista ainesta maan hiilipitoisuuden ja tuottavuuden ylläpitoon sekä eroosion estämiseksi.

Kaura

Kauran etuna ovat luonnollisesti valmistuneet pelletit (jyvät), joita voidaan polttaa laadukkaissa pelletinpolttimissa ilman tukipolttoaineita.

Eroosio ja ravinnehuuhtoutumat ovat yksivuotisten viljojen viljelyssä suurempia kuin monivuotisten kasvien viljelyssä.

Yksipuolinen kauran viljely vuodesta toiseen heikentää maan tuottokykyä, joten viljelykierto on tarpeellinen.

Biokaasu

- anaerobinen käsittely vähentää lannan aiheuttamia ympäristöhaittoja seuraavasti:
 - vähentää lannan aiheuttamia metaanipäästöjä
 - torjunta-aineet hajoavat
 - hajuhaitat vähenevät 80 %
 - patogeenit tuhoutuvat, joten niiden leviäminen lannan mukana estyy
 - vähentää lannan fytotoksisten eli kasveille myrkyllisten yhdisteiden määrää ja lisää lannan juoksevuutta, joten lanta voidaan levittää kasvien päälle. Tämä vähentää kemiallisten lannoitteiden käyttötarvetta.

Biokaasun tuotanto parantaa mahdollisuuksia ravinteiden kierrätykseen, sillä yhdyskuntien ja teollisuuden orgaanisten jätteiden ravinteet voidaan palauttaa pellolle tai käyttää maanparannukseen.

Tuotanto on kustannustehokasta, sillä prosessin vaatima energia (lämmitys, sekoitus ja pumppaus) on vain noin 10 % biokaasun energiasisällöstä.

Jos biokaasu käytetään esimerkiksi liikennepolttoaineena vähenevät liikenteen aiheuttavat hiilidioksidin ja muiden kaasujen sekä pienhiukkasten päästöt.

6.2 Loppupäätelmät

Peltoenergian ja biokaasun tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset ovat monelta osin positiivisia. Ympäristövaikutusten arviointiin vaikuttaa tosin myös vaihtoehto, johon vaikutuksia verrataan. On siis pohdittava, mikä olisi pellon tai biokaasutusmateriaalin vaihtoehtoinen käyttötapa, jos sitä ei käytettäisi energian tuotantoon. Näissäkin tarkasteluissa on muistettava katsella asioita riittävän laaja-alaisesti, jotta myös epäsuorat vaikutukset huomioidaan. Jos esimerkiksi pellolla viljeltäisiin ruokohelven sijaan ruokaviljaa, on pohdittava, miten ruokohelven tuottama energia siinä tapauksessa tuotetaan ja verrattava sen ympäristövaikutuksia tilanteeseen, jossa pellolla tuotettaisiin ruokohelpeä ja sama määrä ruokaviljaa jossakin muualla.

Voidaan myös pohtia, miten ympäristövaikutukset saataisiin minimoitua, jos pelto halutaan ottaa nimenomaan energiakäyttöön. On pohdittava, mitä kasvia kannattaisi kasvattaa ja miten energia tuotetaan (poltto, kaasutus vai käyttö nestemäisiksi polttoaineiksi). Päätökseen vaikuttavat tosin monet muutkin kuin ympäristösyöt, mutta usein ne tukevat toisiaan. Esimerkiksi ruokohelpeä ei kannata tuottaa tietyllä alueella, mikäli riittävän lähellä ei ole sopivaa voimalaitosta, joka on valmis ottamaan sitä vastaan.

Kaikista kannattavinta olisi kasvin- ja eläintuotannon sivutuotteiden, kuten kasvinjätteiden ja lannan, hyödyntäminen energiakäyttöön, sillä silloin ei vallata alaa elintarviketuotannolta. Samalla voidaan tehostaa lannan ja orgaanisen jätteen käsittelyä ja pienentää niiden aiheuttamia ympäristöongelmia. Energiakasvien kasvatusta ei kuitenkaan aina ole vaihtoehto ruoan tuotannolle, vaan energiakasvien viljelyyn käytetään kesantoaloja sekä elintarviketuotannosta poistuneita peltoja. Äkkiseltään ajateltuna saattaisi tuntua, että viljelemättömän pellon ympäristövaikutukset ovat pienemmät kuin pellon, jolla kasvatetaan energiakasveja. Näin ehkä onkin, mikäli tarkastellaan vain pellon lähiympäristön vaikutuksia. Jos kuitenkin otetaan huomioon laajemmät vaikutukset eli pohdittaisiin, miten pellon tuottama energia muuten tuotettaisiin (esim. kivihiilellä), saattavat ympäristövaikutuksetkin kääntyä energiakasvien viljelyn hyväksi.

Peltoenergiakasveista ruokohelpeä on Suomen oloissa monessa suhteessa ylivoimainen. Monivuotisena kasvina sen vaikutukset maaperälle ja vesistöille ovat hyvin suotuisat verrattuna yksivuotisiin kasveihin, kuten viljoihin. Oljen etuna puolestaan on, että se on viljan tuotannon sivutuote, joten suurin osa ympäristövaikutuksista kohdistuu jyvälle. Kauran energiakäyttöä puoltaa puolestaan lähinnä kyky tuottaa ekologisia pellettejä (jyviä), joita voidaan polttaa suoraan pellettipolttimissa. Sen energiakäyttö tiloilla ei siis vaadi suuria investointeja.

Biokaasu on monessa suhteessa kuitenkin parempi vaihtoehto peltoenergiaan verrattuna. Suurin etu on biokaasutuksesta jäävä jäännösmateriaali, joka voidaan käyttää vielä lannoitteena. Biokaasulaitokset tarjoavat myös erinomaisen mahdollisuuden palauttaa yhdyskuntien orgaanisten jätteiden ravinteet takaisin pelloille, jolloin voidaan tehostaa ravinteiden kierrätystä. Mitä paremmin ravinteet saadaan kierrätettyä, sitä vähemmän niitä pääsee rehevöittämään vesistöjä. Myös paljon energiaa vaativien kemiallisten lannoitteiden tarve vähenee. Biokaasun etuna on myös sen soveltuvuus liikennepolttoaineeksi.

8 KIRJALLISUUS

- Ahokas, J. 1983. Energiantuotanto maatilatalouden omista energianlähteistä. Vihti. Vakola, Tutkimuslauseke nro 33. 66 s.
- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettyjen polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo 2000. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. VTT Tiedotteita 2045. 175 s. + liit. 17 s.
- Alakangas, E. 2002 Renewable Energy Sources in Finland 2002. OPET Report 9. OPET FINLAND. Jyväskylä 2002. PRO2/T6509/02
- Angelidaki, I. & Ahring, B.K. 1999. Methods for increasing the biogas potential from the recalcitrant organic matter contained in manure. Teoksessa: Mata-Alvarez, J., Tilche, A. & Cecchi, F. (toim.). Proceedings of the Second International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Wastes, Barcelona, vol. 1, Grafiques 92, 15-17 June. s. 375-380.
- Bendixen, H.J. 1997. Hygiene and sanitation requirements in Danish biogas plants. Teoksessa: Holm-Nielsen, J.B. (toim.). The Future of Biogas in Europe, Proceedings. Biopress, Risskov, Denmark. ss. 50-57.
- van Benthem, H. & Hänninen, K. 2001. Lannan anaerobiprosessin ympäristövaikutuksista Vakka-Suomen alueella. Jyväskylän yliopisto. 9 s.
- Börjesson, P. 1999. Environmental effects of energy crop cultivation in Sweden. Identification and quantification. Biomass and Bioenergy 16 (1999) 137-154.
- Cole, V., Cerri, C., Minami, K., Mosier, A., Rosenberg, N. & Sauerbeck, D. 1996. Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emissions. Teoksessa: Watson, R.t., Zinyowera, M.C. & Moss, R.H. (toim.). Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Published for the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press. s. 745-771. ISBN 0-521-56437-9.
- Colleran, E. 1999. Hygienic and sanitation requirements in biogas plants treating animal manures or mixtures of manures and other organic wastes. National University of Ireland, Galway, Ireland. www.adnett.org. 25.1.2000.
- Danfors, B. 1988. Orienterande undersökning över bränsleförbrukning och avverkning vid olika jordbearbetningssystem för såbäddsberedning. Teoksessa: Hansen, L. & Rasmussen, K.J. (toim.). Reduced cultivation. Reporter från jordbearbetningsavdelningen 77. The Scandinavian Association of Agricultural Scientists, Seminar in Horsens, Denmark, February 9-11, 1988. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för marksvetenskap, Avdelningen för jordbearbetningen. s. 174-187. ISBN 91-576-3542-0.
- Ekholm, P. 1998. Algal-available phosphorus originating from agriculture and municipalities. Monographs of the Boreal Environment Research No. 11. 60 s. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.

- Erviö, R. 1995. Viljelymaan humuksen väheneminen kolmen vuosikymmenen aikana. Teoksessa: Viljelymaan humuspitoisuuden muuttuminen ja siihen vaikuttaminen. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 11/95. s. 5-12.
- Erviö, R., Mäkelä-Kurtto, R. & Sippola, J. 1990. Chemical characteristics of Finnish agricultural soils in 1974 and 1987. Teoksessa: Kauppi, P., Nattila, P. & Kenttämies, K. (toim.): Acidification in Finland. Berlin: Springer-Verlag. s. 214-234.
- Erviö, R. & Talvitie, H. 1995. Viljelymaan humuspitoisuuteen ja fysikaaliseen rakenteeseen vaikuttaminen viljelyn keinoin. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 11/95. Jokioinen. s. 13-18.
- Field, J.A., Reneau, R.B.Jr., Kroontje, W. ja Caldwell, J.S. 1985: Nutrient recoveries from plug-flow anaerobic digestion of poultry manure. *Agricultural Wastes*, 13. s. 207-216.
- FINBIO 1998. Suomen bioenergiastrategia. Suomen Bioenergiayhdistys (FINBIO). Julkaisu 10. Jyväskylä. 22 s.
- Flyktman, M., Paappanen, T. 2005. Ruokohelven käyttökapasiteetti selvitys. Tutkimusselostus. VTT Prosessit. PRO2105/05. 22.4.2005.
- Flyktman, M. 2000. Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi. Päättöraportti osa II. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 85. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. s. 140-169.
- Granli, T. & Bøckman, O.C. 1994. Nitrous oxide from agriculture. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*, Supplement 12: 1-128.
- Grönroos, J., Nikander, A., Syri, S., Rekolainen, S. & Ekqvist, M. 1998. Maatalouden ammoniakkipäästöt. Osa 1: Päästöt ja niiden kehittyminen, Osa 2: Päästöjen vähentäminen ja vähentämiskustannukset. Suomen ympäristö 206. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 62 s.
- Hartikainen, H. 1992a. Maaperä. Teoksessa: Heinonen, R., (ed.). Maa, viljely ja ympäristö. Porvoo: WSOY. p. 9-89. ISBN 951-0-17090-9.
- Hartikainen, H. 1992b. Maatalous ja ympäristönsuojelu. s. 301-334. Teoksessa: Heinonen, R., Hartikainen, H., Aura, E., Jaakkola, A. & Kemppainen, E. (toim.): Maa, viljely ja ympäristö. 1.-2-painos (1996). WSOY.
- Hartmann, H., Angelidaki, I. & Ahring, B.K. 1999. Increase of anaerobic degradation of particulate organic matter in full-scale biogas plants by mechanical maceration. Teoksessa: Mata-Alvarez, J., Tilche, A. & Cecchi, F. (toim.). Proceedings of the Second International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Wastes, Barcelona, vol. 1, Grafiques 92, 15-17 June. s. 129-136.
- Hashimoto, A.G. 1983. Conversion on straw-manure mixtures to methane at mesophilic and thermophilic temperatures. *Biotechnology and Bioengineering*, 25. s. 185-200.
- Hemming, M., Maunu, T., Suokannas, A., Järvenpää, M. & Pehkonen, A. 1996. Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa. Tutkimuksen loppuraportti, II osa. Ruokohelven korjuu, varastointi ja

mekaaninen esikäsittely sekä tuotantokustannukset ja saatavuus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 4. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 98 p. ISBN 951-729-467-0.

- Hills, D.J. 1979. Effects of carbon:nitrogen ratio on anaerobic digestion of dairy manure. *Agricultural Wastes*, 13. s. 267-278.
- Hynninen, E.-L. & Blomqvist, H. 1995. Pesticide Sales in Finland in 1994. *Kemia-Kemi* 22:6, s. 529-531.
- IPCC 1997. Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 950 s.
- IPCC 2000. Good Practice and Uncertainly Management in National Greenhouse Gas Inventories.
- Jaakkola, A. & Simojoki, A. 1998. Effect of soil wetness on air composition and nitrous oxide emission in a loam soil. *Agricultural and Food Science in Finland* 7: 491-505.
- Johansson, H. & Hoffman, M. 1996. Nitrogen leaching from Swedish arable land in 1985 and 1994. Department of Soil Science, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Kallio, E., Lindh, T., Käyhkö, V., Marja-Aho, J. & Selin, P. 2001. Kasvuston käyttö ylivuotokentällä turvetuotannon vesien puhdistuksessa. VTT Energian raportteja 5. Jyväskylä. 37 p. + 8 liitettä.
- Katajajuuri, J., Loikkanen, T., Pahkala, K., Uusi-Kämpä, J., Voutilainen, P., Kurppa, S., Laitinen, P., Mikkola, H., Kivinen, T. & Salo, S. 2000. Ympäristöhallintaa tukevan tietopohjan kehittäminen osana maatilojen laatujärjestelmää. Case: Rehuohran elinkaariarviointi. Espoo 2000. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 2034. 134 s. + liitt. 4 s.
- Klemedtsson, L., Kasimir-Klemedtsson, Å., Esala, M. & Kulmala, A. 1999. Inventory of N₂O emission from farmed European Peatlands. Teoksessa: Freibauer, A. & Kaltschmitt, M. (Toim.). Approaches to greenhouse gas inventories of biogenic sources in agriculture. Universität Stuttgart/IER
- Klingler, B. 1999. Environmental aspects of biogas technology. German Biogas Association. www.ad-nett.com 15.4.2000.
- Knudsen, L. & Birkmose, T. 1997. Biogas – agriculture and environment. Teoksessa: Holm-Nielsen, J.B. (toim.): The Future of Biogas in Europe, Proceedings. Biopress, Risskov, Denmark. s. 39-49.
- Kulmala, A. & Esala, M. 2000. Maatalous ja kasvihuonekaasupäästöt. Kirjallisuuskatsaus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 76. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus 67 s. ISSN 1238-9935, SSBN 951-729-573-1.
- Kuittinen, V. & Huttunen, M. 2004. Suomen biokaasulaitosrekisteri VII. Tiedot vuodelta 2003. <http://www.kolumbus.fi/suomen.biokaasukeskus/docs/rek7.pdf>. 10.8.2005.

- Kurppa, S. & Laitinen, P. 1999. Torjunta-aineiden hajoaminen ja kulkeutuminen viljelymaassa (Cost 66) Pesticides - soil - environment. Loppuraportti Maa- ja metsätalousministeriölle 31.3.1999.
- Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. (toim.) 1996. Ilmastonmuutos ja Suomi. Suomalainen ilmakehänmuutosten tutkimusohjelma (SILMU). Helsinki: Yliopistopaino ja Suomen Akatemia 1996. 265 s.
- Laine, J. (ed.) 1996. Suot. Teoksessa: Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. (Toim.). Ilmastonmuutos ja Suomi. Helsinki. Yliopistopaino. p. 107-126.
- Lal, R. 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. *Soil & Tillage Research* 43: 81-107.
- Lampinen, A. 2003. Jätteiden liikennekäyttöpotentiaali Suomessa. *Kuntatekniikka* 1/2003:31-34.
- Lampinen, A. 2004 Biokaasun tuotannon ja hyödyntämisen perusteet. *Dimensio. Matemaattis-luonnontieteellinen aikakauslehti*. 68. vuosikerta (3) 2004 s. 4-9.
- Lavonen, A. 1998. Kemiällisen kasvinsuojelun kehitys. Teoksessa: Pehkonen, A. & Mäkinen, H. Teknologian mahdollisuudet maatalouden kehittämässä. Helsingin yliopisto, Maa- ja kotitalousteknologian laitos. *Maatalousteknologian julkaisuja* 24. 1998. 120 s.
- Lehtimäki, M. & Lundström, H. 1994. Biojätteen ja siitä saatavan biokaasun määrä Vaasan vesi- ja ympäristöpiirin alueella. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 551.
- Lehtomäki, A., Lampinen, A. & Rintala, J. 2003. Peltobiomassoista puhdasta kotimaista kaasua. *Kemia* 30(8):34-35.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 1999. Uusiutuvien luonnonvarojen kestävän käytön yleismitarit. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 3/1999. 158 s.
- Mattila, I., Harmaa, K. & Stenroos, A. 1985. Biokaasun käytön soveltuvuus maatilan energiahuollossa. *Maatalouskeskusten liitto*.
- Moolenaar, S. 1998. Heavy-Metals Balances, Part I. General Aspects of Cadmium, Copper, Zinc and Lead Balance Studies in Agro-Ecosystems. *Journal of Industrial Ecology*, vol 2, nro 4, s. 45-60.
- Mosier, A.R. 1993. Nitrous oxide emissions from agricultural soils. Teoksessa: Amstel, A.R. van (Toim.) International IPCC Workshop, Methane and Nitrous Oxide, methods in national emissions inventories and options for control. Proceedings. RIVM Report no. 481507003. EUROASE Hotel, Amersfoort, The Netherlands, 3-5 February 1993. Bilthoven: RIVM. s. 273-285. ISBN 90-6960-043-9.
- Mosier, A.R., Duxbury, J.M, Freney, J.R., Heinemeyer, O. & Minami, K. 1998a. Assessing and mitigating N₂O emissions from agricultural soils. *Climatic Change* 40: 7-38.
- Mosier, A.R., Duxbury, J.M, Freney, J.R., Heinemeyer, O., Minami, K. & Johnson, D.E. 1998b. Mitigating agricultural emissions of methane. *Climatic Change* 40: 39-80.

- Myllys, M. & Sinkkonen M. 2004. Viljeltyjen turve- ja multamaiden pinta-ala ja alueellinen jakauma Suomessa (Summary: The area and distribution of cultivated organic soils in Finland). *Suo* 55(3-4): 53-60.
- Mäkinen, T., Sipilä, K. & Nylund, N. 2005. Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Suomessa. Taustaselvitys. VTT, Espoo. VTT Tiedotteita 2288. 96 s.
- Niskanen, R., Keränen, S. & Pipatti, R. 1990. Ammonia emissions in the 1980s. Teoksessa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.): Acidification on Finland. Berlin: Springer-Verlag. s. 31-39.
- Nordberg, A. & Edström, M. 1997. Co-digestion of ley crop silage, source-sorted municipal solid waste and municipal sewage sludge. Teoksessa: Verstraete, W. Anaerobic conversions for environmental protection, sanitation and re-use of residues, 5. FAO/SREN-Workshop, REUR Technical Series 52, University Gent, 03. s. 162-172.
<http://homepage2.nifty.com/biogas/cnt/refdoc/whrefdoc/d1codig.pdf>. 10.8.2005.
- Pahkala, K. & Mela, T. 2000. Ruokohelven viljelymenetelmät. Teoksessa: Salo, R. (toim.), Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 84. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. s. 15-31
- Pahkala, K., Partala, A., Suokannas, A., Kelemola, E., Kalliomäki, T., Kirkkari, A-M., Sahramaa, M., Isolahti, M., Lindh, T. & Flyktman, M. 2002. Ruokohelven viljely ja korjuu energian tuotantoa varten. Maa- ja elintarviketalous 1. 20 s. MTT.
- Pahkala, K., Isolahti, M., Partala, A., Suokannas, A., Kirkkari, A-M., Peltonen, M., Sahramaa, M., Lindh, T., Paappanen, T., Kallio, E. & Flyktman, M. 2005. Ruokohelven viljely ja korjuu energian tuotantoa varten. 2. korjattu painos. Maa- ja elintarviketalous 1. 31 s.
- Partala, A. & Turtola, E. 2000. Biomassanurmi estää tehokkaasti typen huuhtoutumista. Koetoiminta ja käytäntö 57, 6 (24.10.2000):6.
- Paustian, K., Andren, O., Janzen, H.H., Lal, R., Smith, P., Tiessen, H., Noordwijk, M., van & Woormer, P.L. 1997. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil Use and Management* 13:230-244.
- Paustian, K., Cole, C.V., Sauerbeck, D. & Sampson, N. 1998. CO₂ mitigation by agriculture: an overview. *Climatic Change* 40: 135-162.
- Peltola, A. 1981. Olkipuristeet polttoaineeksi. Valmistuksen tekniikka, energiatase ja talous. Työtehoseuran maatalous- ja rakennusosaston monisteita 2/1981. 50 s.
- Peltola, J. 1996. Kasvihuoneilmiö- bioenergian käyttökymät Yhdysvalloissa. Teoksessa: Ajan kohtaista maatalouden ympäristöekonomiaa. Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. Tiedonantoja 205. Helsinki. s. 109-188.
- Pipatti, R. 1997. Suomen metaani- ja dityppioksidipäästöjen rajoittamisen mahdollisuudet ja kustannustehokkuus. VTT Tiedotteita 1835. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. ISBN 951-38-5117-6.

- Pipatti, R. 1999. Anthropogenic methane and nitrous oxide emissions in Finland in 1990-1997. In: Finland's national greenhouse gas inventory to the UN's Framework Convention on Climate Change, years: 1990, 1995-1997. Helsinki: Ministry of the Environment. Appendix 2, 8 s.
- Puuronen, M., Käyhkö, V. & Mikkonen, T. 1998. Bioenergian tutkimusohjelma. Vuosikirja 1997. Osa II. Turpeen ja peltobiomassojen tuotantotekniikka. Energiakasvien (mm. ruokohelpi) viljelykokeilu turvesuoalueilla ja saatavan bioenergian soveltuvuus eri käyttökohteisiin. Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 18: p. 135-142. Jyväskylä: Jyväskylän tiedepuisto.
- Puuronen, M., Vilppunen, P. & Kauppi, H. 1994. Peltobiomassojen energiataloudellinen hyödyntäminen. Oulu, Oulun yliopisto, Energialaboratorio, Loppuraportti 10.10.1994. 40 s. + liitt. 5 s.
- Rekolainen, S. 1989. Phosphorus and nitrogen load from forest and agricultural areas in Finland. *Aqua Fennica* 19: 95 - 107.
- Rintala, J., Lampinen, A., Luostarinen, S. & Lehtomäki, A. 2002. Biokaasusta uusiutuvaa energiaa maataloilla. Bio- ja ympäristötieteiden laitos. Jyväskylän yliopisto. 54 s.
<http://www.cc.jyu.fi/~ala/biokaasukirjanen.pdf> 20.5.2005.
- Sankari, H. 1995. Bioenergian tuotantoon soveltuvat peltokasvit. Teoksessa: Bioenergian tuotanto elintarviketuotannosta vapautuvalla peltoalalla. Työtehoseuran julkaisuja 333. s.10-48.
- Savolainen, I. (toim.) 1996. Suomen kasvihuonekaasujen päästöt ja nielut. Teoksessa: Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. (toim.). Ilmastonmuutos ja Suomi. Helsinki: Yliopistopaino. s. 179-196. ISBN 951-570-296-8.
- Sauerbeck, D.R. 1999. CO₂ emissions and C sequestration by agriculture - perspectives and limitations. Teoksessa: International Conference "Biogenic Emissions of greenhouse Gases Caused by Arable and Animal Agriculture - Processes, Inventories, Mitigation". 13-15 October 1999, Haus
- Shih, J.C.H. 1987: Ecological benefits of anaerobic digestion. *Poultry Science*, 66. s. 946-950.
- Suomen ympäristökeskus 2005. <http://www.miljo.fi/default.asp?contentid=98548&lan=fi>. 10.8.2005.
- Tilastokeskus 2005. Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2003. National Inventory Report to the UNFCCC. 15.4.2005. Suomen Tilastokeskus. 212 s.
- Tuunanen, L. 1994. Biomassan polttotekniset laatuvaatimukset. Teoksessa: Bioenergian tuotanto elintarviketuotannosta vapautuvalla peltoalalla. Työtehoseuran julkaisuja 333. s. 49-65.
- Wihersaari, M. 1996. Biopolttoaineet ja ympäristö. Loppuraportin luonnos. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 17/1996. 146 s. + liitt.18 s.
- Ørtenblad, H. 1999. The use of digested slurry within agriculture. Herning Municipal Utilities, Denmark. www.ad-nett.org. 25.1.2000.

LIITTEET

LIITE 1: TUTKIMUSHANKKEET

Suomessa tehtyjä tutkimuksia

ELEKTROWATT-EKONO

Itä-Suomen peltoenergiaohjelma vuoteen 2010 (2005)

Itä-Suomen energiatoimisto 2005. Itä-Suomen peltoenergiaohjelma vuoteen 2010. Itä-Suomen energiatoimisto 1/05. Joulukuu 2004. 60 s. + liit. 9 s.

Tutkimuksessa selvitettiin peltoenergian tuotanto- ja käyttöpotentiaali Itä-Suomessa. Selvityksessä on käsitelty myös hieman polttoainelasteita, mm. pelletöintiä.

MAA- JA ELINTARVIKETALouden TUTKIMUSKESKUS (MTT)

Maaseudun uusiutuvien energiamuotojen kartoitus

Nyholm, A.-M., Risku-Norja, H. & Kapuinen, P. 2005. Maaseudun uusiutuvien energiamuotojen kartoitus. MTT: selvityksiä 89. 33 s.

Tutkimuksessa kartoitettiin uusiutuvan energian käyttöä ja tuotantoa ja niiden ympäristö- ja työllisyysvaikutuksia. Lisäksi etsittiin keinoja uusiutuvan energian käytön edistämiseksi ja paikannettiin kohteita, joissa on suurin potentiaali korvata fossiilisia polttoaineita. Tutkimuksessa selvitettiin, minkälaista tietoa maatalouden energiankulutuksesta on saatavilla ja tarkasteltiin OECD:n maatalouden energiaindikaattoreiden soveltuvuutta Suomessa.

VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSKESKUS (VTT)

Ruokohelven käyttökapasiteettiselvitys 2005

Flyktman, M. & Paappanen, T. 2005. Ruokohelven käyttökapasiteettiselvitys. Jyväskylä. VTT. PRO2105/05. 28 s. + liit. 3 s.

Selvityksessä tutkittiin ruokohelven, oljen ja järviruo'on soveltuvuutta polttoaineeksi ja teknistä käyttö- ja vastaanottopotentiaalia. Tutkimuksessa on otettu kantaa viljelypinta-aloihin, mutta siinä on käsitelty vain kesantoaloja. Selvityksessä on hieman tietoa myös pelletöinnistä.

Bioenergian tuotanto- ja käyttöketjut sekä niiden suorat työllisyysvaikutukset

Halonen, P., Helynen, S., Flyktman, M., Kallio, E., Kallio, M., Paappanen, T. & Vesterinen, P. Bioenergian tuotanto- ja käyttöketjut sekä niiden suorat työllisyysvaikutukset. Espoo 2003. VTT Tiedotteita 2219. 51 s.

Selvityksessä kuvataan yleisimmät biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttöketjut, selvitetään bioenergian tuotannon ja käytön nykyiset työllisyysvaikutukset sekä lasketaan työllistävyys vuonna 2010. Tarkasteltavat energiamuodot ovat puu, kierrätyspolttoaineet, peltoenergia, biopoltonesteet, biokaasu ja turve.

Kasvuston käyttö turvetuotantoalueen vesien puhdistuksessa

Tutkimus tehtiin 15.6.1998–31.5.2000. Sen vastuuhenkilönä toimi Tuulikki Lindh ja vastuuyksikönä VTT Energia. Tutkimuksessa tutkittiin ruokohelpi- ja pajuviiljelmien kykyä puhdistaa turvetuotantoalueiden kuivatusvesiä.

Suomessa meneillään olevaa tutkimusta**GAIA GROUP*****Maatilojen biokaasutuotannon kannattavuus***

Hankkeen vastuullinen johtaja on TkT Juha Vanhanen ja projektipäällikkönä Markku Hagström.

Tutkimuksessa selvitetään erilaiset suomalaisille maataloille sopivat biokaasulaitoskonseptit, niiden tekniset ja taloudelliset toimintamahdollisuudet sekä niihin liittyvät liiketoiminnalliset ratkaisumallit. Lisäksi selvitetään Suomessa jo olemassa olevat biokaasukonseptit ja niiden kokemukset, tehdään laskelmat erilaisten biokaasulaitosratkaisujen kokonaistaloudellisesta kannattavuudesta, tarkastellaan biokaasutuotannon ja biokaasulla tuotetun energian käyttöä ja myyntiä teknisesti ja taloudellisesti rajoittavia tekijöitä sekä tehdään ehdotuksia havaittujen pullonkaulojen ja ongelmakohdrien ratkaisemiseksi ja biokaasutuotannon kannattavuuden edistämiseksi.

KUOPION YLIOPISTO***Tuotannosta poistuneen turvetuotantoalueen ruokohelpiviiljelmän kasvihuonekaasutaseet***

TEKES-rahoitteisesta hankkeesta vastaa tutkija Pertti Martikainen. Hankkeessa tutkitaan tuotannosta poistuneen turvetuotantoalueen ruokohelpiviiljelmän kaasutaseita (CO₂, CH₄ ja N₂O). Tarkoitus on saada selville viljelmän ilmastollinen vaste kokonaisuudessaan. Hanke loppuu vuoden 2005 loppussa, jonka jälkeen tuloksista tiedotetaan. Jatkotutkimus samalla alueella alkaa vuonna 2006.

MAA- JA ELINTARVIKETALouden TUTKIMUSKESKUS (MTT)***Biokaasun tuotanto, käyttö ja lisämateriaalin hankinta maataloilla sekä mädätysjäänteen käyttö kasvinravinteena, siihen liittyvät hygieniakysymykset ja kasvihuonekaasupäästöt (BIOKAS)***

Tutkimuksen kesto on 2004–2006. Johtavana tutkijana on Kristiina Regina (MTT Maaperä ja ympäristö) ja muina tutkijoina Martti Esala, Eija Syväsalu, Paula Perälä ja Petri Kapuinen. Yhteistyötä tehdään Jyväskylän ja Joensuun yliopistojen sekä Työtehoseuran kanssa.

Tutkimuksessa arvioidaan biokaasun tuotannon teknologisia vaihtoehtoja eri lähtömateriaaleille (lanta, biomassa, biojäte ja puhdistamoliete) ja biokaasun käyttöä sähkön tuotannossa. Tutkimus muodostuu kolmesta osatutkimuksesta: 1. Biokaasun tuotanto ja käyttö maataloilla, 2. Mädätetyn lannan käyttö lannoitteena ja siitä aiheutuvat kaasupäästöt ja 3. Lietteen hygienisoituminen biokaasutuksessa ja mädätysjäänteen turvallinen jälkikypsytyksen.(MTT:n tutkimustietokanta Tuike)

Maatalouden bioenergia maaseudulla -ympäristö- ja aluetaloudelliset vaikutukset sekä tukitoimien kohdentaminen (BIOAGRE)

Tutkimuksen kesto on 2005–2007. Johtavana tutkijana on Marko Sinkkonen MTT Taloustutkimuksesta ja muina tutkijoina Esa Aro-Heinilä ja Antto Vihma. Yhteistyötä tehdään Jyväskylän yliopiston, Oulun yliopiston Thule-instituutin sekä Suomen ympäristökeskuksen kanssa.

Hankkeessa selvitetään maatalouden uusiutuvien bioenergiälähteiden tuotantopotentiaali, tuotannon kannattavuus ja aluetaloudelliset vaikutukset sekä tukitoimien tarve. Lisäksi arvioidaan maatalouden bioenergian tuotannon vaikutukset kasvihuonekaasu- ja ravinnepäästöihin. Hankkeessa hyödynnetään MTT Taloustutkimuksen RegAE- panos-tuotosjärjestelmää. Aluetaloutta kuvaavaan malliin lisätään myös maatalouden energiantuotantoa kuvaava tuotantomalli. Tutkimuksen esimerkki-alueina ovat Varsinais-Suomi, Keski-Pohjanmaa ja Kainuu. Alueellisen analyysin pohjalta voidaan arvioida maatalouden bioenergian taloudellista merkitystä ja ympäristöhyötyjä myös kansantalouden tasolla. (MTT tutkimustietokanta Tuike)

Lisäarvoa monimuotoisesta kasvinviljelystä -mahdollisuudet ympäristön, viljelijän ja kuluttajan kannalta

Keskitalo, Marjo ym. MTT Kasvinviljely ja biotekniikka.

Tutkimuksessa selvitetään erikoiskasvien, mm. ruokohelven, viljelyn vaikutuksia pellon monimuotoisuudelle. Lisäksi lasketaan erikoiskasvien viljelyn kustannuksia ja taloudellista kannattavuutta ja kartoitetaan viljelymahdollisuuksia ja halukkuutta sekä kuluttajien näkemyksiä. (MTT:n tutkimustietokanta Tuike)

Biomassan tuottaminen energiaksi ja kuiduksi

Tutkimuksen kesto on 1994–2006 ja johtavana tutkijana on Katri Pahkala (MTT, kasvinviljely ja biotekniikka). Tutkimuksessa ovat mukana myös VTT Energia Jyväskylä, Svalöf Weibullin kasvinjalostuslaitos, SLU Umeå, Työtehoseura, Kemira Oyj, IVO, Vapo Oyj, Suoviljelyyhdistys, Helsingin yliopisto, ProAgria Kainuun maaseutukeskus, Maa- ja metsätalousministeriö ja Pohjolan Voima Oy. Hanke on laaja tutkimuskokonaisuus, joka koostuu mm. seuraavista alatutkimuksista: Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi (1994–2003), Ruokohelvestä energiaa (2002–2005), Peltoenergiatuotannon käynnistäminen Kainuussa (2004–2006), Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit, BIOGHG (2005–2006) (lisätietoa kohdassa VTT). (MTT:n tutkimustietokanta Tuike)

MOTIVA

Maatilojen energiaohjelma

Hankkeesta vastaavat Vikström Kari ja Rautanen Juha.

Maatilojen energiaohjelman valmistelu on alkanut vuonna 2005. Siinä selvitetään maatilojen energiankäytön jakautumista ja määritetään keskeiset energiansäästökeinot kustannuksineen sekä energiansäästöpotentiaali. Lisäksi selvitetään, millä edellytyksillä uusiutuvien energianlähteiden käyttöä ja tuotantoa maatiloilla voidaan lisätä ja mikä on lisäkäytön potentiaali. Lisäksi laaditaan ehdotus maatilojen energiaohjelmasta ja siihen liittyvä seurantatyökalu.

PRIZZTECH OY, ENERGIA JA YMPÄRISTÖ -TOIMIALA***Kesannosta energiaksi – lietteistä ravinteiksi (KESSELI).***

Projektipäällikkönä on Hannu Uusihonko.

Hanke pyrkii edistämään teollista ekologiaa ja agroekologiaa käytännön tasolla. Siinä kokeillaan energiakasvien, etenkin energiakauran, viljelyä ja polttoa sekä puhdistamolietteiden käyttöä lannoitteeksi. Hankkeessa tuotetaan lähdemateriaalia ja käytännön tietoa, jota käytetään MTT:n BIOAGRE-hankkeen mallintamisessa tarvittavina pohjatietoina. (<http://www.prizz.fi/sivu.asp?taso=1&id=102>)

VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSKESKUS (VTT)***Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit***

Tutkimuksen kesto on 1.1.2005–31.12.2005, vastuhenkilö on Tuula Mäkinen ja vastuuyksikkö VTT Prosessit. Tutkimuksen tavoitteena on laskea liikenteen biopolttoaineiden tuotannon ja käytön sekä raaka-aineiden vaihtoehtoiskäyttöjen kasvihuonekaasutaseet ja vältettyjen CO₂-päästöjen hinta. Työssä tehdään kaupallisiin tekniikoihin ja kehitettäviin teknologiaskenaarioihin perustuvat arviot ja road mapit. Road mapeissa esitetään toimintamallit, joilla kustannustehokkaimpia teknologioita vietäisiin eteenpäin tutkimus- ja kehitystyön avulla. Päävaihtoehtona on ruokohelven viljely kiinteäksi CHP-polttoaineeksi, metsätähteet ja REF:n (jätteistä valmistetut kierrätyspolttoaineet) käyttö synteetisikaasun kautta alkoholiksi tai dieseliksi sekä jätevirtojen käyttö biokaasuna tai etanolina. (VTT:n tutkimusrekisteri)