

JULKAISUJA 29

ENERGIAOMAVARAINEN MAATILA

SARI IIVONEN, EERO JÄPPINEN, MIKA LAIHANEN, SAMI LUSTE, ARJA NYKÄNEN,
TUIJA RANTA-KORHONEN, SARI SEPPÄLÄINEN, PENTTI SEURI, HANNE SOININEN,
TIINA TONTTI JA HANNA-MAIJA VÄISÄNEN



ENERGIAOMAVARAINEN MAATILA

**SARI IIVONEN, EERO JÄPPINEN, MIKA LAIHANEN, SAMI LUSTE,
ARJA NYKÄNEN, TUIJA RANTA-KORHONEN, SARI SEPPÄLÄINEN,
PENTTI SEURI, HANNE SOININEN, TIINA TONTTI JA HANNA-MAIJA
VÄISÄNEN**



Julkaisija Helsingin yliopisto
Ruralia-instituutti
www.helsinki.fi/ruralia

Kampusranta 9 C
60320 SEINÄJOKI

Lönnrotinkatu 7
50100 MIKKELI

Sarja Julkaisu 29

Kannen kuva Sari Iivonen

ISBN 978-952-10-6530-9
978-952-10-6531-6 (pdf)

ISSN 1796-0649
1796-0657 (pdf)

ESIPUHE

Energian hinnan noustessa on maatilataloudessa tarkasteltava yhä tarkemmin energiakustannusten osuutta maatalan kokonaiskustannuksista. Bioenergian tuotanto maatilalla lisää maatilayritysten energiaomavaraisuutta ja luo samalla uusia liiketoimintamahdollisuuksia maaseudulla. Maatilamittakaavainen biokaasu- ja biodiesel-tuotanto voivat olla maaseudun hajautettuja energiatuotantomuotoja, jotka lisäävät maatalan energiaomavaraisuutta ja mahdollistavat paikallisen energiayrittäjyyden sähkön, lämmön ja polttoaineiden tuotannossa. Investointipäätösten tueksi maatilayrittäjät tarvitsevat ajantasaista tietoa tuotannon kannattavuudesta.

ESBIO – Energiaomavarainen maatila -hanke toteutettiin Etelä-Savossa vuosina 2009–2012. Tämä kokoomajulkaisu koostuu kuudesta artikkelista, jotka ovat laadittu hankkeessa saatujen tulosten pohjalta. Artikkeleissa 1–3 tarkastellaan vaihtoehtoisten biokaasuntuotannon tilamallien kannattavuutta, maatilamittakaavaisen biokaasulaitosinvestoinnin taloudellista kannattavuutta ja Etelä-Savossa saatavilla olevien organisten materiaalien soveltuvuutta biokaasulaitoksen raaka-aineeksi. Artikkeleissa 4-5 tarkastellaan biokaasulaitoksessa syntyvän mädätysjäännöksen hyödyntämistä vehnän ja rypsin lannoitteena sekä arvioidaan kirjallisuustarkastelun avulla mädätysjäännöksen lannoituskäytön riskejä kasvinviljelyssä. Artikkelissa 6 tarkastellaan rypsi biodiesel tuotannon kasvihuonekaasu- ja energiataseita tapauksissa, joissa biodieselin raaka-aineena käytetään maakunnassa tuotettua tavanomaisesti tai luonnonmukaisesti viljeltyä kevätrypsiä.

ESBIO -hanketta on ollut toteuttamassa monitieteinen hankekonsortio. DI Hanne Soininen, FT Sami Luste, ins. (AMK) Sari Seppäläinen ja FM Tuija Ranta- Korhonen Mikkelin ammattikorkeakoulusta ja MMM Pentti Seuri Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksesta ovat vastanneet biokaasutarkasteluista. MMT Sari Iivonen ja ins. (amk) Hanna-Maija Väisänen Helsingin yliopiston Ruralia-instituutista sekä FM Tiina Tontti ja MMT Arja Nykänen Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksesta ovat tehneet mädätysjäännösten hyödyntämiseen liittyvää koetoimintaa ja tarkastelua. Kenttäkokeiden toteuttamiseen ovat osallistuneet lisäksi tutkimusmestarit Kari Narinen, Anne Tillanen, ja Mauri Nissinen sekä laborantti Marja Harmoinen Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksesta sekä MMM Hanna Avikainen ja MMyo Heljä Marjamäki Helsingin yliopistosta. DI Mika Laihanen ja DI Eero Jäppinen Lappeenrannan teknillisestä yliopistosta ovat toteuttaneet biodieseltarkastelun. Hankkeen koordinaatiosta on vastannut Sari Iivonen ja julkaisun taittotyön on tehnyt Jaana Huhtala Ruralia-instituutista.

ESBIO-hanketta ovat rahoittaneet Etelä-Savon ely-keskus Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahastosta, Suur-Savon Energiasäätiö, Suomen Kulttuurirahaston Etelä-Savon rahasto, Juvan Luomu, Juvan Bioson Oy, MTK-Haukivuori, Metsäsairila Oy, Mikkelin seutu, Juvan kunta ja useat eteläsavolaiset maatalousyrittäjät. Lämmin kiitos rahoittajille hankkeelle myöntämästänne tuesta.

Työn toteutuksen aikana olemme saaneet arvokkaita neuvoja aktiivisesti toimineelta seurantaryhmältä. Kiitämme seurantaryhmän puheenjohtajaa Kalle Mattilaa ja seurantaryhmän jäseniä Hannu Hämäläistä, Jukka Kotroa, Markku Hatakkaa, Sari Luostarista, Tapio Rantaa, Matti Kilpiäistä, Antti Kinnusta, Anssi Laamasta, Pekka Parkkista, Pekka Vauhkosta, Nils Grotenfeltia, Veli Immosta ja Pirjo Siiskosta seurantaryhmän työhön käyttämästänne ajasta ja miellyttävästä yhteistyöstä.

Mikkelissä 21.12.2012

Tekijät

SISÄLLYS

1 ENERGIANTUOTANTO MAATILALLA – HANKKEEN TILAMALLIT	7
Pentti Seuri, Hanne Soininen ja Sami Luste	
Tiivistelmä.....	7
Tilamallien tausta.....	7
Tarkasteltavat tilamallit.....	9
Mallien ravinnetalouden (N) keskinäinen vertailu.....	10
Tulokset.....	10
Tulosten tarkastelua, ravinteet, energia ja talous.....	15
Loppupäätelmiä.....	20
Lähteet.....	20
2 TILAKOHTAISEN BIOKAASULAITOKSEN KANNATTAVUUSLASKENTA OSANA MAATILOJEN ENERGIATALOUTTA ITÄ-SUOMESSA	21
Hanne Soininen, Sami Luste ja Tuija Ranta-Korhonen	
Tiivistelmä.....	21
Johdanto.....	21
Aineisto ja menetelmät.....	22
Tulokset.....	25
Johtopäätökset.....	26
Lähteet.....	26
3 ETELÄ-SAVOSSA SAATAVILLA OLEVIEN ORGAANISTEN MATERIAALIEN SOVELTUVUUS BIOKAASULAITOKSEN RAAKA-AINEEKSI – METAANINTUOTTOPOTENTIALIT, YHTEISMÄDÄTYS JA HYGIENIA	27
Sami Luste, Sari Seppäläinen ja Hanne Soininen	
Tiivistelmä.....	27
Johdanto.....	27
Materiaalit ja menetelmät.....	29
Tulokset ja tarkastelu.....	32
Johtopäätökset.....	38
Lähteet.....	39
4 BIOKAASULAITOKSEN MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN HYÖDYNTÄMINEN VEHNÄN JA RYPSIN LANNOITTEENA	41
Sari Iivonen, Tiina Tontti ja Arja Nykänen	
Tiivistelmä.....	41
Johdanto.....	41
Mädätysjäännökset vehnän lannoitteena.....	42
Kenttäkoehavainnot ja mittaukset.....	44
Tulokset ja tulosten tarkastelu.....	47
Rypsin lannoituskokeiden tuloksia.....	50
Kenttäkoehavainnot ja mittaukset.....	51
Rypsikokeen tulokset ja tulosten tarkastelu.....	51
Johtopäätökset.....	58
Lähteet.....	58

5 MÄDÄTYSJÄÄNNÖSTEN HYÖDYNTÄMISEEN LIITTYVÄT RISKIT KASVINVILJELYSSÄ	60
Sari Iivonen ja Hanna-Maija Väisänen	
Johdanto	60
Mädätysjäännösten hygienialle asetetut vaatimukset lainsäädännössä	60
Hygieniavaatimukset käytettäessä maatalan omia syötteitä	62
Mädätysjäännösten hygieniariskit	62
Mädätysjäännösten sisältämät kasvitautiriskit	66
Lähteet.....	72
6 MAATILAMITTAKAAVAN BIODIESELIN TUOTANNON KASVIHUONEKAASU- JA ENERGIATASEET	75
Mika Laihanen ja Eero Jäppinen	
Tiivistelmä.....	75
Johdanto	75
Tutkimuksen tavoite.....	76
RME biodieselin raaka-aineet, ominaisuudet ja käyttökohteet	76
RME biodieselin tuotantoprosessi maatilamittakaavassa.....	78
Kasvihuonekaasu- ja energiataseiden määrittäminen.....	79
Kasvihuonekaasu- ja energiataseiden tulokset	83
Yhteenveto ja johtopäätökset.....	89
Lähteet.....	90

1 ENERGIANTUOTANTO MAATILALLA – HANKKEEN TILAMALLIT

PENTTI SEURI¹, HANNE SOININEN² JA SAMI LUSTE²

¹ MAA- JA ELINTARVIKETALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

² MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

TIIVISTELMÄ

Biokaasun tuotantoa, joko karjanlannasta tai nurmibiomassasta, tarkasteltiin tilamallien avulla EU-osarahoitteen ES BIO – Energiomavarainen maatila -hankkeen aikana. Tarkasteltavat mallit perustuvat lähes rehuomavaraisen luomulypsykarjatilan lähtökohtiin. Tarkastelu tapahtuu eri vaihtoehtojen typpitalouden perusteella – lähtökohtana on typen täydellinen omavaraisuus (typpi peräisin vain biologisesta typensidonnasta). Typpitalouden lisäksi esitetään karkea arvio myös mallien fosforitaloudesta; lisäksi tarkastellaan energia- ja yritystaloutta. Lisäksi arvioidaan eri vaihtoehtojen laajempia vaikutuksia elintarviketuotantoon, mikäli toimintamallit olisivat yleisiä koko maataloudeksamme.

A-mallissa tila toimii lypsykarjatilana, mutta tuottaa biokaasua lannasta. B-malli on muutoin A-mallin kanssa identtinen, mutta käyttää biokaasun tuotantoon lannan lisäksi nurmibiomassaa 10 % peltoalastaan. C-mallissa (3 eri versiota) luovutaan kokonaan karjataloudesta ja käytetään nurmisato pelkästään biokaasun tuotantoon.

Lannasta saatavan biokaasun energiasisältö vastaa noin 80 l/ha polttoöljyä, 10 % nurmialan avulla energiamäärä kaksinkertaistettaisiin; yhden nurmihehtaarin nettoenergiasaanto on noin 1000 l/ha polttoöljyä. 80 l/ha vastaa kutakuinkin tilan peltoviljelyn suoria energiapanoksia (traktorin polttoöljy) lisäksi karjataloudesta kuluu jokseenkin sama määrä lisäenergiaa, pääosin sähköinä.

A- ja B-mallissa tilakohtainen kaasuntuotanto ilman muita syötteitä tuskin olisi liiketaloudellisesti kannattavaa vähäisen kokonaisenergian saannon vuoksi; C-malleissa puolestaan tilan kokonaisliikevaihto pieneni ratkaisevasti verrattuna maidontuotantovaihtoehtoon. Bioenergian tuotannon kannattavuus riippuisi voimakkaasti

tuotetun energian hinnasta. Suurimmat kokonaishyödyt saavutettaisiin, jos kaasuntuotantoon voitaisiin ohjata myös sellaisia biomassoja, jotka muutoin jäisivät kokonaan hyödyntämättä niin energiaksi kuin ravinteiden kierrätyksen osalta.

TILAMALLIEN TAUSTA

Tilamalli on työkalu, jota tässä projektissa käytetään erilaisten vaihtoehtojen toimintatapojen ja tuotantosuuntien väliseen vertailuun. Käytetyt mallit ovat melko yksinkertaisia ja niihin on vaikea sisällyttää täsmällisiä muutoksia esimerkiksi lannoitusintensiteetin vaikutuksista, koska mallit ovat perusluonteeltaan staattisia. Tämän vuoksi mallien yksittäisiin numeerisiin arvoihin on syytä suhtautua kriittisesti, eikä tässä raportissa pyritäkään antamaan eksakteja numeerisia arvoja. Sen sijaan vaihtoehtojen tilanteiden vertailussa malli antaa eri ilmiöille oikean suunnan ja asettaa eri vaihtoehdot keskinäiseen järjestykseen. Mallit havainnollistavat hyvin eri ilmiöiden mahdollisia kokonaisvaikutuksia, vaikkei aina pystykään kovin luotettavasti kuvaamaan yksittäisten ilmiöiden tarkkaa suuruutta.

Tässä tarkasteltavien mallien lähtötiedot perustuvat pääasiassa yhden suuren eteläsvolalaisen luomutilan toimintaan. Tilan toiminta on ollut voimakkaassa muutostilassa jokseenkin koko olemassaolonsa ajan. Muutokset ovat koskeneet niin karjan määrää, tuotosta ja ruokintaa kuin peltoviljelyn laajuutta, viljeltyjä kasveja ja sadon määrää. Kuitenkin pidemmän ajan tarkastelussa voidaan melko luotettavasti arvioida keskeisimpien viljelykasvien pitkäaikaiset keskimääräiset satotasot sekä hahmottaa omavaraisen rehuntuotannon edellyttämä kasvivalikoima ja kasvinvuorotus sekä lannankäytön periaatteet.

8 ENERGIAOMAVARAINEN MAATILA

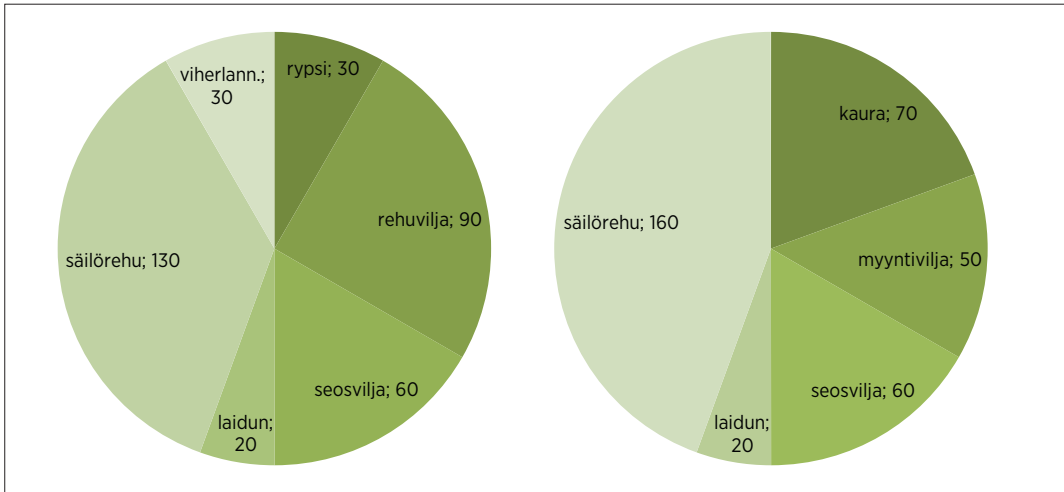
SARI IIVONEN, EERO JÄPPINEN, MIKA LAIHANEN, SAMI LUSTE, ARJA NYKÄNEN, TUIJA RANTA-KORHONEN, SARI SEPPÄLÄINEN, PENTTI SEURI, HANNE SOININEN, TIINA TONTTI JA HANNA-MAIJA VÄISÄNEN

Tarkasteltavat mallit perustuvat lähes rehuomavaraisen luomulypsykarjatilan lähtökohtiin. Tarkastelu tapahtuu eri vaihtoehtojen tyypitalouden perusteella – lähtökohtana on typen täydellinen omavaraisuus (typpi peräisin vain biologisesta typensidonnasta). Tyypitalouden lisäksi esitetään karkea arvio myös mallien fosforitaloudesta; lisäksi tarkastellaan energia- ja yritystaloutta. Lopuksi arvioidaan eri vaihtoehtojen laajempia vaikutuksia, mikäli toimintamallit olisivat yleisiä koko maataloudeessamme.

Suurimmat muutokset todellisen tilan ja mallin (A) kesken ovat rehuomavaraisuudessa: tila on todellisuudessa ostanut jonkin verran valkuaisväkirehua, mutta myynyt kutakuinkin saman määrän viljaa (kuva 1). Mallissa viljan myynti on lopetettu ja oman valkuaisen tuottamiseksi on kasvatettu rypsiä ja seosviljaa (härkäpapua ja/ tai hernettä viljaseoksessa). Aivan täsmällisesti tällaista rehuntuotantoa on vaikea kuvata, koska todellisuudessa rypsiä ei sellaisenaan syötetä kar-

jalle, vaan siitä erotetaan öljy ja vain valkuaispitoisen jäännösrouhe hyödynnetään rehuna. Mallin kuvaama rypsiala kuitenkin kuvastaa riittävällä tarkkuudella tarvittavan peltoalan ja kyseisen alan ravinnetalouden osana kokonaistuotantoa. Muissa tarkasteluissa rypsiöljyn roolia energiataloudessa voidaan tarkastella lähemmin.

Toinen merkittävin ero tilan ja mallin (A) kesken on viherkesanto. Sitä ei selväpiirteisesti esiintynyt todellisella tilalla, mutta saatujen tietojen valossa tilan kokonaispinta-ala mahdollisesti joko hieman suuremman karjan tai vaihtoehtoisesti hieman pienemmän karjan ja 30 ha viherkesantoa. Viherkesannon aiheuttama muutos rehun määrässä on kompensoitu karjamäärän muutoksella, mikä näkyy hehtaarikohtaisen maitomäärän yhden typpikilon erona tilan ja mallin (A) kesken. Tässä tarkastelussa käytettyjä tilamalleja voi vertailla esimerkiksi Grönroos ja Seppälä (toim.) 2000, ja Lötjönen ym. 2004, julkaisemiin luomutuotannon tilamalleihin.



Kuva 1. Kuvassa vasemmalla malli A peltoviljelykasvien osuudet (ha), joka on johdettu kuvassa oikealla esitetyistä todellisesta tilasta. Yhteensä peltoviljelykasvien osuus on 360 ha.

TARKASTELTAVAT TILAMALLIT

Kaikki tilamallit on johdettu rehuntuotannoltaan omavaraisesta luomulypsykarjatilasta, jonka ainoana typen lähteenä on biologinen typensidonta. Malleissa tarkastellaan peltoviljelyn energiapainoksia, karjanlannan energiantuotantopotentiaalia, sekä vaihtoehtona karjataloudelle yhdistettyä viljan ja energian tuotantoa (kuva 2). Energiantuotanto perustuu lannan ja nurmisadon käyttöön biokaasun raaka-aineina.

A-MALLI

Tila toimii luomulypsykarjatilana: omavarainen rehuntuotanto, noin 10 % (30 ha) viherkesantoa (viherlannoitukseen). Tarkastellaan, mitä vaikutuksia olisi tilan lannan hyödyntämisellä biokaasuna.

B-MALLI

Täsmälleen sama tila kuin A:ssa. Tarkastellaan, mitä vaikutuksia olisi, jos tilan lannan lisäksi viherkesanto (10 % peltoalasta) hyödynnettäisiin biokaasuna.

C-MALLIT (3 ERI VERSIOTA)

Tila luopuu lypsykarjasta; nurmisato käytetään suoraan biokaasun tuotantoon, lisäksi tuotetaan myyntisatoa (samat satokasvit kuin A-mallissa: viljaa, rypsiä, hennettä). Tästä mallista on kolme eri myyntikasvien ja biokaasunurmen keskinäistä pinta-alasuhdetta:

C1) Nurmi 50 %, myyntisato 50 %. Säilytetään alkuperäisen maitotilan pinta-alasuhteet, nurmisato käytetään biokaasun raaka-aineena, muu sato myydään.

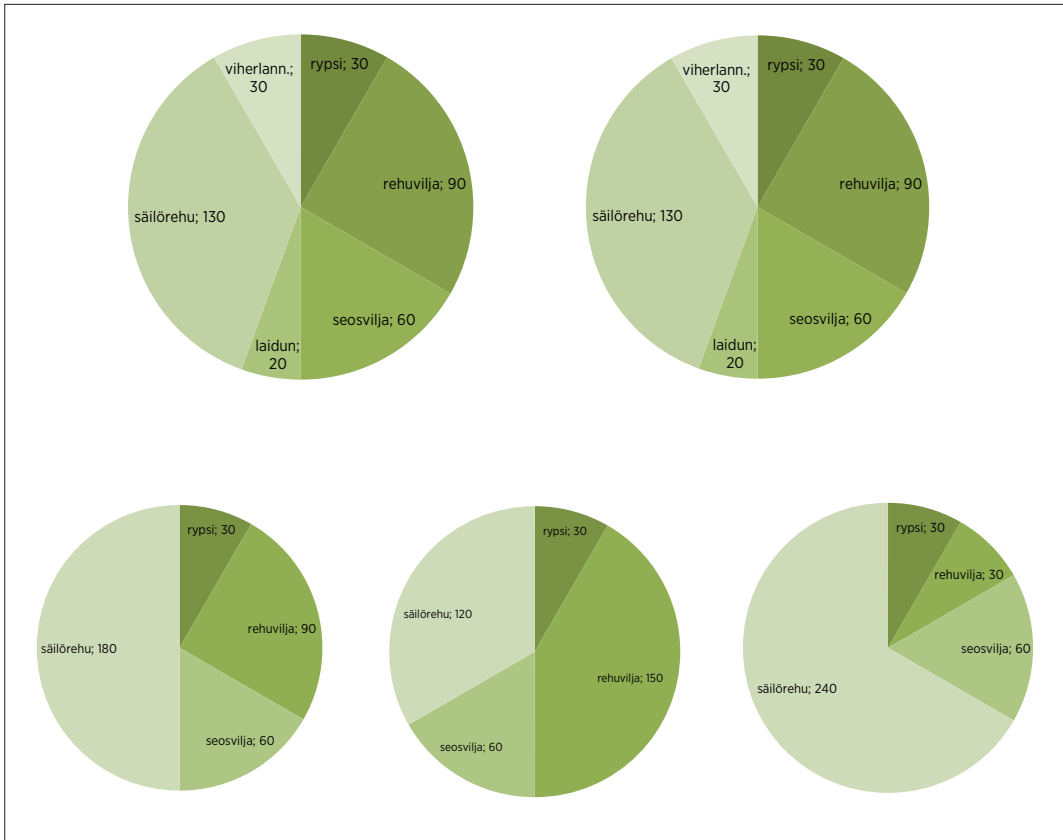
C2) Nurmi 1/3, myyntisato 2/3. Maksimoidaan myyntisadon osuus. Nurmi tarvitaan kuitenkin typensidonnan vuoksi ja biokaasun avulla yritetään siitä saada enemmän lisäarvoa kuin mitä saataisiin pelkästään viherlannoituksena.

C3) Nurmi 2/3, myyntisato 1/3. Maksimoidaan nurmen tuotanto biokaasuksi. Tarkoituksena on osoittaa maatalouden maksimaalinen energiantuotantopotentiaali typpiomavaraisen nurmitalouteen pohjautuvalla biokaasun tuotannolla. Energian ohella tuotetaan kuitenkin myös elintarvikkeiden raaka-aineita (viljaa, rypsiä, hennettä).

Koska maatalouden tärkein tehtävä viime kädessä on tuottaa ravintoa, ei C-vaihtoehdossakaan (lypsykarjasta luopuminen) ole kokonaan luovuttu ravinnon tuotannosta. C1 ja C2 toteutuessaan valtakunnallisesti merkitsivät nurmirehuun perustuvan kotieläintuotannon (nautatuotteiden, kuten maito ja liha) eriasteista vähentämistä, joka kuitenkin voitaisiin kompensoida yksimahaisten kotieläinten tuotannolla; C3 merkitsisi valtakunnallisesti toteutuessaan merkittävää kotieläintuotteiden vähentämistä dieetissä.

10 ENERGIAOMAVARAINEN MAATILA

SARI IIVONEN, EERO JÄPPINEN, MIKA LAIHANEN, SAMI LUSTE, ARJA NYKÄNEN, TUIJA RANTA-KORHONEN, SARI SEPPÄLÄINEN, PENTTI SEURI, HANNE SOININEN, TIINA TONTTI JA HANNA-MAIJA VÄISÄNEN



Kuva 2. Kuvassa ylhäällä vasemmalla malli A ja ylhäällä oikealla malli B. Kuvassa alhaalla vasemmalla malli C1, keskellä malli C2 ja oikealla malli C3. Kuvissa on esitetty hehtaareina peltoviljelykasvien osuudet eri malleissa.

MALLIEN RAVINNETALouden (N) KESKINÄINEN VERTAILU

Kustakin mallista laskettiin typen ravinnetaseet (porttitase, peltotase ja primäärیتase) sekä tarkasteltiin typen kierrätystä mallin sisällä. Huomatetaan, että tässä tarkastelussa taseet ilmaistaan ensisijaisesti tuotoksien ja panosten sisältämien ravinteiden suhteena, eikä erotuksena. Näin laskettu suhde on lopuksi kerrottu luvulla 100, jolloin lopullisena taseen yksikkönä on prosentti ("montako prosenttia ravinteesta on saatu tuotokseen"). Primäärیتaseen laskenta perustuu Seurin (2002, 2005, 2008) esittämään konseptiin, jossa ravinnevirrat jaetaan alkuperänsä mukaan primääriravinteisiin (systeemin ulkopuolelta tulevat ravinteet) ja sekundääriravinteisiin (systeemin sisällä olevat eli kiertävät ravinteet). Itse primääriravinnetase kuvaa tuotetun sadon ravinnemäärän suhdetta sadon tuottamiseksi tarvittavien primääriravinteiden

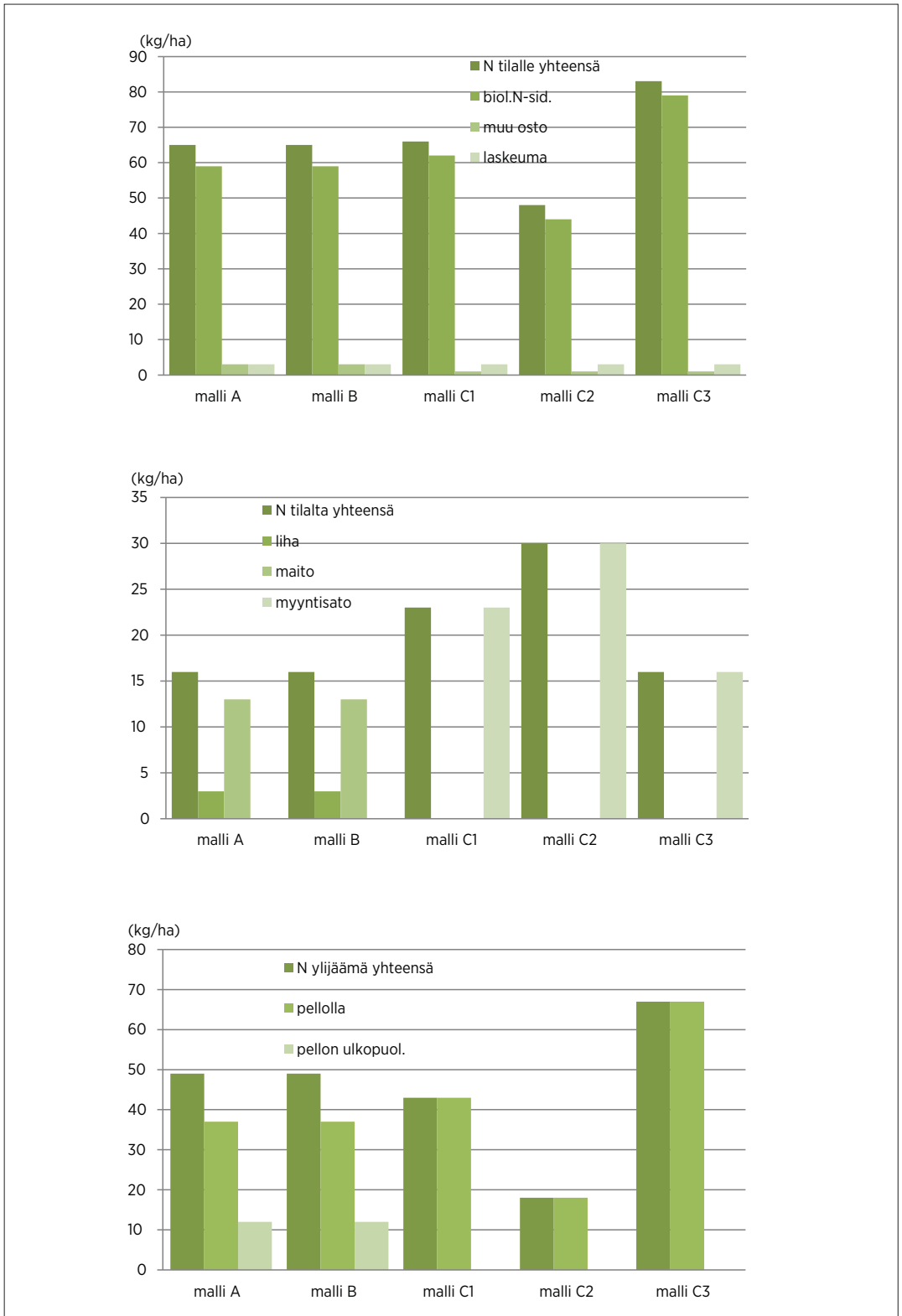
määrään ("paljonko satoa pystyttiin tuottamaan systeemiin lisättyllä ravinneyksiköllä").

TULOKSET

Erot eri ravinnetaseissa tilan ja mallin (A) kesken selittyvät helposti:

Porttitase heikkenee A:ssa, koska myyntiviljaa ei enää myydä ja toisaalta viherkesanto tuo edelleen saman määrän biologista typensidontatyyppiä kuin säilörehunurmikin, mutta osa nurmen sadosta jätetään korjaamatta ja näin osa maidosta jää pienemmän karjamäärän vuoksi tuottamatta (kuva 3).

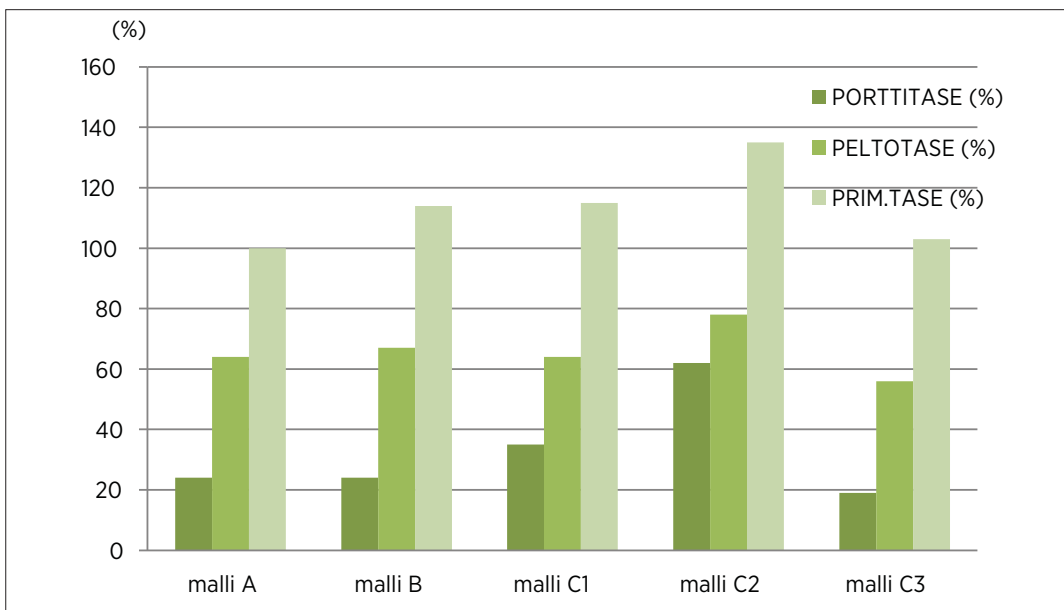
Peltotase ja primäärیتase heikkenevät A:ssä samasta syystä: viherkesannon osuus jää peltoon, vaikka pellolle tulee edelleen sama määrä biologisen typensidontan tyyppiä kuin ilman viherkesantoa (kuva 4).



Kuva 3. Kuvassa ylhäällä mallien oletettu tilalle tuleva typpimäärä (kg/ha) ja sen jakaantuminen. Kuvassa keskellä mallien oletettu tilalta lähtevä typpimäärä (kg/ha) ja sen jakaantuminen eri tuotteisiin. Kuvassa alhaalla mallien typpiylijäämä (kg/ha).

12 ENERGIAOMAVARAINEN MAATILA

SARI IIVONEN, EERO JÄPPINEN, MIKA LAIHANEN, SAMI LUSTE, ARJA NYKÄNEN, TUIJA RANTA-KORHONEN, SARI SEPPÄLÄINEN, PENTTI SEURI, HANNE SOININEN, TIINA TONTTI JA HANNA-MAIJA VÄISÄNEN



Kuva 4. Mallien porttitase, peltotase ja primääritalase (%).

Taulukoissa 1 - 2 on esitetty mallien A - C3 välisiä eroja. Taulukossa 1 on esitetty kiertävän typen ja typpi-intensiteetin erot (kg/ha).

Taulukko 1. Mallien A - C3 kiertävä typpi ja typpi-intensiteetti kg/ha.

	malli A	malli B	malli C1	malli C2	malli C3
kiertävä typpi (kg/ha)	37	46	53	35	70
N intensiteetti (kg/ha)	111	111	118	83	153

Taulukossa 2 on esitetty mallien A - C3 tilan tuotokset (kg/ha N) koko tilan keskimääräistä hehtaaria kohden. Kokonaissato sisältää biokaasulaitokselle tuotetun nurmen määrän.

Taulukko 2. Mallien A - C3 tilan tuotokset (kg/ha N).

	malli A	malli B	malli C1	malli C2	malli C3
sato (kg/ha N)	(65)	(74)	(75)	(65)	(86)
maito (kg/ha N)	13	13	0	0	0
liha ((kg/ha N)	3	3	0	0	0
vilja (kg/ha N)	0	0	23	30	16
biok. (nurmi ha)		lanta+30	180	120	240

Taulukossa 3 on esitetty viljelykasvien sadot. Kaikissa malleissa A - C3 on käytetty samaa viljelykasvin satoa.

Taulukko 3. Viljelykasvin bruttosato (kg/ha) ja nettosato (kg/ha N). RY on rehuyksikkö (11,8 MJ).

Viljelykasvit	Bruttosato ka. (kg/ha)	Nettosato (kg/ha N)
rypsi	1200	42
myyntivilja	2500	42
rehuvilja	2500	42
seosvilja	2100	54
laidun	3060 (2900 RY)	77
säilörehu	4200 (3800 RY)	105
viherkesanto	4200 (3800 RY)	(105)

Taulukossa 4 on esitetty eri mallien yhteenvedot. Viljelykasvit on esitetty yksikössä hehtaaria/vuosi. Laskelma ei ota huomioon lehmiiä.

Taulukko 4. Viljelykasvit malleissa A - C3 (hehtaaria/vuosi).

Viljelykasvit	malli A	malli B	malli C1	malli C2	malli C3
rypsi	30	30	30	30	30
myyntivilja	0	0	90	150	30
rehuvilja	90	90	0	0	0
seosvilja	60	60	60	60	60
laidun	20	20	0	0	0
säilörehu	130	160	180	120	240
viherkesanto	30	0	0	0	0

MALLIEN A JA B KESKINÄISET EROT

A ja B -mallien typpitalous on jokseenkin identtinen. Mallithan eivät eroa muutoin ravinnetalouden osalta kuin että A-mallissa 10 % nurmialasta jätetään sato korjaamatta ja kasvusto muokataan suoraan peltoon; B-mallissa sato korjataan, mutta jokseenkin kaikki sadon ravinteet palautuvat peltoon mädätysjäännöksenä. Punnittavaksi lähinnä jää, syntykö viherkesannon maahan muokkauksesta vai mädätteestä suurempi typen tappio ennen seuraavan vuoden kasvuston ravinteiden ottoa. Mahdollisesti myös seuraavan vuoden kasvuston ravinteiden otto / satotaso viherlannoituksen tai mädätysjäännöksellä lannoituksen jälkeen saattavat poiketa hieman toisistaan.

B-malli muistuttaa suuresti todellista tilaa; suurimpana erona on vain se, että 30 hehtaarin nurmisato myydään maidon sijasta biokaasuener-

giana. Ravinnetaloudessa tämä näkyy lähinnä hieman parempana primäärیتaseena A:han verrattuna (A:ssa 100 %, B:ssä 114 %). Parempi primäärیتase on sekä suuremman kierrätyskertoimen että korkeamman peltotaseen ansiota. Molemmat selittyvät viherkesantoalalta (30 ha) talteen korjattavan nurmisadon avulla: biokaasuksi korjattavasta nurmisadosta ei tapahdu lainkaan typpihäviöitä pellon ulkopuolella, jolloin tältä osin mädätysjäännöksessä typpi palautuu täysimääräisesti takaisin peltoon; peltotase puolestaan kohoaa, koska samalla lannoituksella tuotettu sato korjataan tarkemmin hyötykäyttöön. Typen ylijäämä hehtaaria kohti pysyy A:ssa ja B:ssä kuitenkin muuttumattomana (49 kg/ha), koska viherkesannon maahan kyntäminen sellaisenaan, tai sadon talteen korjuu ja reaktorijäännöksen maahan levittäminen ovat typen määrän osalta identtiset toimenpiteet.

MALLIEN B JA C1 (50 % BIOKAASUKSI) EROT

Mallissa C1 jatketaan peltoviljelyä täsmälleen samoin kuin mallissa B, mutta luovutaan kokonaan karjataloudesta. Tila myy kaiken viljan (rypsin, viljan ja seosviljan), mutta kaikki nurmisato käytetään biokaasun tuotantoon.

Typitaloudessa muutos on vähäinen. Typen kokonaistappiot pienenevät, koska lannan kaasumaiset tappiot pellon ulkopuolella jäävät pois. Sen sijaan pellolla tapahtuvat tappiot hieman lisääntyvät, koska typen kokonaisintensiiteetti kohoaa. Se puolestaan johtuu siitä, että kierrätystypen määrä hieman lisääntyy, eli mädätysjäännöksessä on enemmän typpeä kuin aiemmin oli karjanlannassa.

Ympäristönäkökulmasta katsottuna typen kaasumaiset tappiot vähenevät, mutta vesistötapit saattavat kasvaa vastaavasti. Koska tuotettu ravinto on kuitenkin pelkästään kasvisravintoa, muutoksen on katsottava heikentävän toiminnan ympäristötehokkuutta.

Taseindikaattoreiden valossa porttitase paranee merkittävästi (B:ssä 24 %, C1:ssä 35 %), mikä johtuu siitä, että kotieläintuotteiden sijasta nyt tilalta poistuu kasvinviljelysatoa. Myydyssä sadossa on merkittävästi enemmän ravinteita kuin aiemmin myydyissä kotieläintuotteissa.

Peltotase sen sijaan lievästi heikkenee, koska tuotetusta sadosta kuitenkin palautuu jossain määrin enemmän typpeä reaktorijäännöksenä kuin mitä aiemmin palautui karjanlannassa. Tämä perustuu oletukseen, että reaktorijäännöksessä olisi kaikki syötteenä käytetyn nurmisadon tyyppi – oletus ei välttämättä käytännössä toteudu, joten peltotaseessa ei siis ole mainittavaa eroa B-malliin nähden.

Myös primääritase on B-mallin ja C1 mallin kesken jokseenkin sama, saadaanhan kummassakin mallissa jokseenkin sama kokonaissatomäärä identtisellä primäärityyppipanoksella.

Fosforitalouden kannalta malli on kestävä ilman ulkopuolelta tulevaa fosforitäydennystä. Vuotuinen fosforitaseen alijäämä on suuruusluokaltaan 5 kg/ha; vastaava fosforitaseen alijäämä A- ja B-malleissa on noin 3 kg/ha.

MALLIEN C1 JA C2 VERTAILU

Mallissa C2 tuotetaan maksimaalinen määrä myyntiviljaa, biokaasunurmea on koko alasta vain 1/3. Vähäinen nurmiala vähentää tilalle tulevan typen määrää oleellisesti (66 kg/ha vs. 48 kg/ha). Mikäli myyntikasvien hehtaarisadot eivät heikkene, poistuisi tilalta myös paljon typpeä (30 kg/

ha). Kierrätystypen määrä jäisi alhaiseksi ja näin kokonaistyyppi-intensiiteetti olisi 83 kg/ha. Tämä merkitsisi enää 18 kg/ha typen kokonaistappioita ja tappiot syntyisivät kokonaan pellolla.

Mikäli malli oikeasti toimisi kuvatuilla sato-tasoilla, malli olisi typpitalouden kannalta ehdottomasti tehokkain ja kuormittaisi vähiten ympäristöä. Todennäköisesti viljojen satotaso todellisuudessa jonkin verran heikentyisi typen niukkuuden vuoksi.

Biokaasun tuotannon näkökulmasta malli tarjoaisi parhaan vaihtoehdon vastaanottaa tilan ulkopuolisia biomassoja. Tällöin mädätteen levitys tilan omille pelloille parantaisi ravinnetaloutta, eikä ravinteiden ylijäämää vielä näkyisi haitallisen suurena ympäristökuormituksena. Mallin oman biokaasunurmen typpisisältö on 35 kg/ha; tilan ulkopuolelta hankittavan biomassan määrä voisi olla suuruusluokaltaan puolet tästä (15 - 20 kg/ha N). Tällöin saavutettaisiin samansuuruinen biokaasutuotos kuin mallissa C1, selvästi suurempi myyntiviljan tuotos, mutta jonkin verran pienempi ympäristörasitus. Fosforitalouden kannalta tilan ulkopuolelta tulevat biomassat ovat suorastaan välttämättömiä, ilman merkittävää ulkopuolista fosforilisää tilan peltojen fosforitila heikkenisi nopeasti.

Mallin ravinnetaseista peltotase (78 %) paljastaa ehkä selvimmin mallin epärealistisuuden: ei ole kovin uskottavaa, että typen kokonaishyödyntämisasteeksi saadaan lähes 80 %, koska merkittävä määrä (35 kg/ha) kokonaistypestä on reaktorijäännöksessä. Toisaalta biologisen typensidonnan avulla hankitun typen hyödyntämisaste on hyvin korkea (90 - 100 %), joten toki näiden kahden eri typpilannoitusprosessin keskimääränä on mahdollista saavuttaa em. lähes 80 % kokonaishyödyntämisaste.

MALLIEN C1 JA C3 VERTAILU

Mallissa C3 tuotetaan maksimaalinen määrä biokaasua, myyntiviljan osuus on koko alasta vain 1/3. Typeä tulee tilalle hyvin runsaasti (83 kg/ha, olettaen, ettei biologinen typensidonta heikkene) ja kierrätystypen määrä on erittäin suuri (70 kg/ha). Typen kokonaisintensiiteetti muodostuu erittäin suureksi (153 kg/ha) ja tappiot pellolla ovat niin suuret (67 kg/ha), ettei toimintaa voida hyväksyä ympäristönäkökulmasta. Fosforitalous on samaa luokkaa alijäämäinen kuin malleissa A ja B ja saattaa toimia ilman mainittavaa lisäfosforia pitkiäkin aikoja.

C3-mallissa mädätteen levitys omille pelloille ei olisi enää mielekäästä, vaan mädätettä voitaisiin

myydä tilan ulkopuolelle ja tilan yksi myyntituote olisikin typpilannoite, joka sisältää myös fosforia. Tilan oman fosforitalouden näkökulmasta mädätteen myynti merkitsisi vajetta fosforitaseessa ja se pitäisi korvata tilan ulkopuolelta.

Taseindikaattoreilla kuvattuna C3-mallissa typen porttitase muodostuisi jopa A- ja B-malleja heikommaksi (24 % vs. 19 %), mikä siis tarkoittaa, että C3-mallissa myydyin sadon typpimäärä jää pienemmäksi kuin kotieläinmallien kotieläintuotteissa myydyin typen määrä suhteessa tilalle tulevaan typpipanokseen.

Myös peltotase jää heikoimmaksi (56 %) kuin missään muussa mallissa. Tämä johtuu luonnollisesti siitä, että tilalle tulee kaikkein eniten tyypeä suurimman nurmialan ansiosta (typensidonta nurmessa oletettu vakioksi), mutta samanaikaisesti tyypeä poistuu kaikkein vähiten pienimmän myyntisatoalan seurauksena, jolloin maksimaalinen määrä tyypeä palautuu mädätysjäännöksessä takaisin peltoon. Näin ollen typen kokonaisintensiteetiksi muodostuu 153 kg/ha tyypeä, mikä on ylivoimaisesti korkein kaikista malleista.

Primäärıtase ei reagoi yhtä voimakkaasti kuin muut taseet, toki sekin heikkenee, mutta saa arvon 103 %. Arvo on jopa lievästi parempi kuin mallissa A. Tässä ehkä parhaiten tulee näkyviin peltotaseen ja primäärıtaseen ero: kiertävä tyyppi (reaktorijäännöksen tyyppi) ei rasita primäärıtasetta lainkaan, toisin kuin peltotasetta, joka ei tee mitään eroa sille, onko pellolle tuleva tyyppi systeemin sisältä vai ulkopuolelta pärisin.

TULOSTEN TARKASTELUA, RAVINTEET, ENERGIA JA TALOUS

YLEISTÄ

Edellä kuvatut eri mallien viljelykasvien keskinäiset paljousuhteet ja käyttötarkoitus ei sellaisenaan vielä määritä yksiselitteisesti mallin toimintaa. Esimerkiksi A-mallin pellon käyttö, jossa nurmen osuus on 50 % ja viljojen osuus 50 %, on mahdollista toteuttaa käytännössä hyvin monella eri vaihtoehtoisella tavalla. Merkittävin vaikutus peltoviljelyn viljelytoimien energian käyttöön lieenee nurmen iällä. Ääritapauksessa yksivuotisen nurmen ja yksivuotisen viljan vuorottelulla saatutettaisiin kuvattu 50 % nurmen osuus ja 50 % viljan osuus viljelykierrossa; toisena ääripäänä voisi olla 5-vuotinen nurmi ja sen jälkeen viisi peräkkäistä yksivuotista viljakasvia. Lyhytkestoiseen nurmeen perustuvassa viljelykierrossa muokkaus-

tarve on huomattavasti suurempi kuin pitkäkestoiseen nurmeen perustuvassa. Edellä kuvatuissa ääriesimerkeissä toisessa joudutaan muokkaamaan vuosittain (100 % kokonaisalasta), toisessa kuutena vuotena kymmenestä (60 % kokonaisalasta). Jos nurmen perustamiseen tai lopettamiseen liittyy muokkauksen ja kylvön lisäksi vielä muitakin toimenpiteitä - kuten kivenkeruu, kasvuston murskaus, lannan levitys - voi peltoviljelyn suora energiankulutus vaihdella varsin laajoissa rajoissa nurmen kiertoajasta riippuen.

Mallien yleistettävyyden näkökulmasta kannattaa myös muistaa, että tilakohtaisia eroja syntyy myös sadon käsittelytavoista ja varastointivaihtoehtoista. Esimerkkejä tällaisista vaihtoehtoisista menetelmistä voisi olla vaikka nurmen korjuu- ja varastointitekniikat, olkien/satotähteiden talteen korjuu ja hyväksikäyttö, tai viljojen varastointi joko kuivaamalla tai tuoresäilöntämenetelmillä. Kokonaan oma lukunsa on peltolohkojen sijainti ja koko, jotka vaikuttavat päällekkäisajoon pellolla, siirtoajoon lohkojen välillä ja kuljetusmatkoihin. Jonkin verran peltoviljelyn suoriin energiapanoksiin vaikuttaa myös traktorin koko ja teho.

MALLIEN OLETUKSET

Kaikkien mallien perusoletuksena on kolmivuotinen nurmi, joka perustetaan suojaviljaan. Viherkesanointi voidaan ajatella toteutettavan joko siten, että viimeisenä satovuonna korjataan vain ensimmäinen niitto ja jälkisasat murskataan maahan ja muokataan saman vuoden syksyllä viherlannoitukseksi maahan; toisena vaihtoehtoisena menetelmänä viimeisen vuoden nurmen jälkisasat jätetään korjaamatta, mutta muokataan vasta seuraavana keväänä - tällöin erillinen murskaus jää kokonaan pois, mutta keväällä kynnetty nurmi vaatinee lisämuokkausta ennen seuraavan kasvuston perustamista, ettei nurmi jää rikkakasvustoksi. Taulukossa 5 on esitetty nurmen perustamisen, nurmen korjuun ja viljan korjuun työvaiheet ja niihin kuuluva polttoöljyn määrä (l/ha).

16 ENERGIAOMAVARAINEN MAATILA

SARI IIVONEN, EERO JÄPPINEN, MIKA LAIHANEN, SAMI LUSTE, ARJA NYKÄNEN, TUIJA RANTA-KORHONEN, SARI SEPPÄLÄINEN, PENTTI SEURI, HANNE SOININEN, TIINA TONTTI JA HANNA-MAIJA VÄISÄNEN

Taulukko 5. Nurmen perustamisen ja korjuun sekä viljan korjuun työvaiheet sekä arvioitu polttoaineen kulutus (l/ha).

Nurmen perustaminen	l/ha
Kyntö	14,2
Äestys	2,7
Kiveys	13,5
Kylvö	6,5
Lannan levitys	14,0
Rikkaäestys	2,1
Nurmen korjuu	l/ha
Niitto (sis. siirtoajat)	5,7
Karhotus	3,9
Ajosilppuri	8,6
Kuljetus	22,7
Viljan korjuu	l/ha
Puinti	10,5
Kesantomurskaus	6,0
Kuljetus	11,4

Koska eri vaihtoehdoissa nurmen ja viljan osuus vaihtelee, ei tämä perusoletus kirjaimellisesti toteudu kaikissa vaihtoehdoissa. Mallien yksinkertaistamiseksi peltoviljelyn suora energiankulutus on mallista riippumatta kuitenkin vakioitu 60 l/ha, luku ei sisällä viljan kuivauksen vaatimaa energiaa. Kohdentaminen erikseen viljalle ja erikseen nurmelle ei ole mielekäs, koska kohdentaminen esim. lannanlevityksen, kiveämisen, nurmen murskauksen ja nurmen kynnön osalta on monitulkintainen.

ENERGIASAANTO ERI MALLEISSA

Kaikissa malleissa tilan kokonaispeltopinta-ala on 360 ha. **A-mallissa** tilalla on lypsykarjaa (112 lehmää), jonka keskituotos on noin 9000 kg maitoa/lehmä (EKM), eli koko tilan maitotuotos on n. 1 milj. kg/vuosi. Lypsylehmien lisäksi on nuorta karjaa uudistuksen edellyttämä määrä (46 eläinyksikköä; ey), joten yhteensä karjaa on noin 158 ey. Yhden eläinyksikön vuotuinen rehun kuiva-ainemäärä on 6500 kg, jolloin koko karjan vuotuinen rehumäärä on 1 milj. kuiva-ainekiloa. Talteen saatavassa lannassa kuiva-aineesta on jäljellä noin 23 % (4000 kuutiometriä lietettä, 6 % kuiva-ainetta). Puhdasta metaania vuotuisesta lantamäärästä arvioidaan saatavan 41 000 kuutiometriä (taulukko 6).

Taulukko 6. Eri mallien biokaasulaitoksen syötemäärät, metaanimäärä ja muunnos kevyeksi polttoöljyksi.

Malli	Nurmirehu ka t/a	Karjanlanta ka t/a	Brutto metaani (m ³ /a)	Kevyt polttoöljy (l/a)
A	0	228	41 151	28 806
B	126	228	90 367	63 257
C:1	765	0	295 294	206 706
C:2	504	0	196 862	137 804
C:3	1008	0	393 725	275 607

Metaanin ja polttoöljyn yhteismitallistamiseksi on tässä tarkastelussa metaani muutettu vastaamaan kevyen polttoöljyn energiasisältöä siten, että yksi kuutiometri metaania vastaa 0,7 litraa polttoöljyä. Tällöin biokaasuvoimalan sisäiseksi hyötysuhteeksi muodostuu 70 %, eli kokonaiskaasuntuotoksesta 30 % kuluu itse prosessin ylläpitoon. Huomattakoon kuitenkin, että metaanin arvo markkinoilla riippuu voimakkaasti metaanin käyttötavasta: pol-

tettaessa metaani vain lämmöntuotantoon muodostuu polttoöljylitran hinnaksi noin 0,4 €/litra; käytettäessä sama määrä metaania moottoripolttoaineena, voi hinnaksi arvioida 1,0 €/litra (erilaisten verojen rooli hinnoittelussa on huomattavan monimutkainen ja tulkinnanvarainen, joten hinta-arvioon tulee suhtautua varauksin). Taulukossa 7 on esitetty laskennan lähtöarvoja.

Taulukko 7. Laskennan lähtöarvoja yhtä kuiva-ainekiloa kohden lantaa ja nurmea.

	ka. kg	VS % TS	Biokaasu m ³ /kgVS	Brutto metaani (m ³ /a)	Kevyt polttoöljy (l/a)
Lanta	1	85,8	0,35	0,18	0,13
Nurmi	1	93	0,75	0,49	0,29

A-mallin lannasta saatava metaani, 41 000 kuutiometriä, vastaa siten nettoenergiasisällöltään noin 29 000 litraa polttoöljyä. Kun tämä suhteutetaan koko tilan peltopinta-alaan, saadaan lannasta noin 80 l/ha polttoöljyä. Mallin peltoviljelyn suoraksi energiantarpeeksi (traktorityö) arvioitiin 60 l/ha. Koska tilan karjanruokinnassa vilja varastoidaan tuoresäilönnällä, ei lukuun sisälly viljan kuivauksen vaatimaa energiaa. Voidaan todeta, että rehuntuotannoltaan omavarainen luomulypsykarjatilalla kykenisi tuottamaan tilalla syntyvän karjanlannan avulla kutakuinkin peltoviljelyn suoran energiankulutuksen verran biokaasua.

B-mallissa kaikki muut oletukset ovat samat kuin A:ssa, mutta B:ssä oletetaan voitavan tuottaa noin 10 % (30 ha nurmisato, 126 t kuiva-ainetta) enemmän satoa ilman mainittavia lisäresursseja ja ohjata tämä lisäsato biokaasun tuotantoon. Tämän lisäsadon voidaan olettaa olevan osittain pilaantunutta, talteenkorjattua satoa ja/tai viherlannoitussatoa korjataan osittain biokaasun tuotannon syötteenä. Polttoöljyksi muunnettuna tästä lisäsyötteenä saataisiin lisäenergiaa noin 34 000 l polttoöljyä.

Viherlannoitusnurmen erillinen korjuu biokaasun tuotantoon vaatii pellolla lisäenergiapanoksen, samoin siitä syntyvän mädätysjäännöksen levitys peltoon. Yhteensä lisäenergian määrä olisi 2200 l polttoöljyä. Osaa tästä voisi kompensoida se, että nurmen talteenkorjuun avulla viherlannoitusnurmen maahan murskaukselta voitaisiin välttyä. Lisäenergiapanoksen määrä suhteessa tuotettavaan lisäenergiaan olisi ilman kompensatiota noin 6 %.

Kun tuotetusta lisäenergiasta vähennetään tarvittava peltoviljelyn lisäenergia, jää nettoenergialisäykseksi 32 000 l polttoöljyä (90 l/ha). Tämä ja lannasta saatava energia kattaisivat myös kotieläintalouden suoran energiankulutuksen. Tästä mallista voisi käyttää käsitettä energiaomavarainen maatalous. On kuitenkin huomattava, että tässä tarkastelussa ei ole tarkemmin arvioitu kotieläintalouden suoraa energiapanoksia, joten tämä määrittely on vain suurpiirteinen suuruusluokka. Grönroos ym. (2006) raportoivat maidontuotannon tilalla vaatiman suoran energiankulutuksen (lähinnä sähköenergia navetassa) olevan samaa suuruusluokkaa kuin peltojen energiankulutuksen.

C-malleille on yhteisenä piirteenä se, että koko karjatalous tilalla on vaihdettu suoraan biokaasun tuotantoon nurmibiomassasta. Nurmibiomassan kaasuntuotanto on vakioitu, polttoöljyä 0,27 l/kg kuiva-ainetta (polttoöljyä 1148 l/nurmihehtaari). Nurmisadosta (kuiva-ainekiloa kohti) saadaan tämän tarkastelun valossa 9,4-kertainen

energiasaanto verrattuna vastaavasta sadosta syntyneen karjanlannan energiasaantoon. Peltoviljelyn vaatima suora energiankulutus nousee hieman, koska mädätysjäännöksen levityksen vaatima energia verrattuna samasta nurmirehusta syntyvään karjanlannan levityksen energiaan on hieman suurempi. Lisäksi A- ja B-malleissa esiintyvä laidun vaihtuu säilörehunurmeksi C-malleissa ja lisää jonkin verran peltoviljelyn suoraa energiankulutusta.

C1-mallissa (nurmen ja viljan pinta-alaosuudet kuten A- ja B-malleissa) biokaasuenergiaa syntyy noin 207 000 l polttoöljyä vastaava määrä. Peltojen suora energiankulutus lisääntyy laitumen poisjäännin ja lisääntyneen mädätysjäännöksen levitystarpeen vuoksi noin 20 l nurmihehtaaria kohti (3600 l/180 nurmihehtaaria). Lisäksi on huomattava, että nyt nurmentuotannon osalta kaikki peltojen energiankulutus kohdistuu biokaasuntuotantoon, koska nurmisadolla ei tuoteta enää kotieläintuotteita, vaan ainoastaan energiaa. Bioenergian tuotantoon kohdistuva peltoviljelyn suora energiankulutus on noin 14 000 l polttoöljyä (180 ha x 80 l/ha), joten nettoenergiaa tuotetaan tässä vaihtoehdossa noin 193 000 l. Jos mittatuksi ottaa peltojen suoran energiankulutuksen, 60 l/ha, vastaisi saatu energiamäärä 3200 peltohehtaarin viljelyn suoraa energian tarvetta (9-kertainen verrattuna energian tuottaneen tilan kokonaispinta-alaan).

Energian lisäksi tila tuottaa saman määrän viljaa ja valkuaiskasvien satoa kuin malleissa A ja B, mutta sato on käytettävissä joko ihmisravinnoksi tai kotieläintuotantoon tilan ulkopuolella. Karkeasti arvioiden syntyneellä myyntisadolla voitaisiin tuottaa yksimahaisten kotieläinten avulla (siat, siipikarja) lähes verrannollinen määrä kotieläintuotteita, kuin mitä A- ja B-malleissa tuotetaan maitoa ja naudanlihaa nautojen avulla.

C2-mallissa (nurmen osuus 1/3, viljojen 2/3) biokaasuenergiaa syntyy 138 000 l polttoöljyä vastaava määrä. Peltojen suora energiankulutus koko tilalla ei muutu mainittavasti puoleen eikä toiseen verrattuna A- malliin. Mutta jos biokaasutuotannon mädätysjäännöksen levityksen aiheuttaman energiankulutuksen ja laitumen korvaamisen niitonurmella kohdentaa voimakkaammin nurmituotantoon, voidaan karkeasti laskea viljantuotannon peltojen vaatiman energiantarpeen olevan noin 50 l/ha (ilman viljan kuivausta) ja vastaavasti biokaasunurmihettaarin noin 80 l/ha. Tällöin bioenergian tuotannon peltojen suora energiankulutus on 9600 l, joten nettoenergiaa syntyy 128 000 l polttoöljyä. Tämä vastaisi noin 2100 peltohehtaarin peltoviljelyn suoraa energian

tarvetta (lähes 6-kertainen verrattuna energian tuottaneen tilan kokonaispinta-alaan).

Energian lisäksi tila tuottaa n. kolmanneksen enemmän viljaa ja valkuaiskasvisaitoa verrattuna A- ja B-malleihin. Toisaalta tämä perustuu oletukseen, että viljojen hehtaarisato ei alene, mikä oletus on ilmeisesti virheellinen. Todennäköisesti viljan ja valkuaiskasvisaidon määrä on vain jonkin verran (noin 20 %) suurempi kuin A- ja B-malleissa. Mikäli sato käytettäisiin yksimahaisten kotieläinten ruokinnassa, saataisiin jokseenkin verrannollinen määrä kotieläintuotteita, kuin mitä A- ja B-malleissa tuotetaan maitoa ja naudanlihaa.

C3-mallissa (nurmen osuus 2/3, viljojen 1/3) biokaasuenergiaa syntyy noin 276 000 l polttoöljyä vastaava määrä. Kun tästä vähennetään nurmen viljelyn peltoitoiden suora energiantarve, 19 200, nettoenergiaa jää noin 257 000 l polttoöljyä. Tämä vastaisi n. 4300 peltohehtaarin peltoviljelyn suoraan energian tarvetta (lähes 12-kertainen verrattuna energiaa tuottaneen tilan kokonaispinta-alaan).

Energian lisäksi tila tuottaa viljaa ja valkuaiskasvisaitoa kolmanneksen vähemmän kuin A- ja B-mallissa. Mikäli sato käytettäisiin yksimahaisten kotieläinten ruokinnassa, saataisiin noin 60 % siitä kotieläintuotteiden määrästä, mikä syntyisi A- ja B-malleissa maitona ja naudanlihana.

YRITYSTALouden SUUNTAVIIVAT ERI MALLEISSA

A-mallissa varsinaisessa maataloudessa aiheutuisi hyvin vähän muutoksia, jos karjanlannasta tuotettaisiin biokaasua. Lanta vain ohjattaisiin biokaasureaktoriin, reaktorijäännöksen tilavuus ja ravinnemäärä olisivat kutakuinkin samat kuin raa'an lietelannan. Saatavan energian arvo (1 l polttoöljyä = 1 €) olisi suuruusluokaltaan 30 000 €. Tarvittavan biokaasuvoimalan vaatima investointi ja laitoksen ylläpitäminen aiheuttaisi helposti samansuuruisen kustannuksen, joten liiketaloudellisesti tilakohtaisena ratkaisuna A-malli tuskin olisi kannattava.

Mikäli tuotetun energian arvo perustuisi vain lämmön tuotantoon (1 l polttoöljyä = 0,4 €), olisi tuotetun energian kokonaisarvo vain 12 000 €. Tällöin biokaasuvoimalan investoinnista ja laitoksen ylläpitämisestä aiheutuisi selvästi tuottoja suuremmat kustannukset.

B-mallissa kyettäisiin kaasuntuotanto kaksinkertaistamaan ilman lisäinvestointeja A-malliin verrattuna. Tuotetun energian arvo olisi yhteensä 60 000 € (1 l polttoöljyä = 1 €). Kaasuntuotannon kaksinkertaistaminen vaatisi jossain määrin lisätyötä (pilaantuneiden rehuerien talteenotto,

säilörehun korjuualan lisäys ja reaktorijäännöksen peltoon levitys; vastapainona viherkesannon murskauksen loppuminen), joten ratkaisevasti kannattavampaa ei B-mallin energiantuotanto olisi A-malliin verrattuna.

C-malleille ominaista on, että tilan koko toiminta muuttuisi perin pohjin. Alun perin noin 500 000 € liikevaihdon tuonut maidon ja naudanlihan tuotanto vaihdettaisiin kasvinviljelytuotteiden ja energian myyntiin. Yhden viljahehtaarin liikevaihto nykyhinnoin olisi noin 400 €; vastaavasti kaasun energia-arvo nurmihehtaaria kohden olisi myös kutakuinkin 1000 euroa. 360 hehtaarin tila liikevaihdoksi muodostuisi näin ollen 200 000 - 300 000 euroa riippuen nurmen osuudesta viljelykierrossa (1/3 - 2/3). Yhden nurmihehtaarin peltoviljelyn vuotuiset kustannukset (jos reaktorijäännöksen levityskustannus kohdennetaan ensisijassa nurmen kustannukseksi) eivät juuri poikkeaisi viljahehtaarin viljelykustannuksista. Mutta peltoviljelykustannusten lisäksi kaasuntuotantoa rasittaisi kaasuntuotannon vaatimat investoinnit ja kaasuntuotannosta aiheutuva lisätyö.

Punnittavaksi siis jäisi, pystyisikö tuotetun biokaasun arvo kattamaan kaasuntuotannon vaatimat investoinnit ja lisätyön. Selvää on, että alemmalla kaasun hinnalla (1 l polttoöljyä = 0,4 €) energiantuotannon kannattavuus olisi selvästi viljantuotannon kannattavuutta heikompi. Energian arvohan vastaisi hehtaaria kohti viljan arvoa, ja koska vilja- ja nurmihehtaarin peltoviljelyn kustannukset ovat kutakuinkin samansuuruiset, ei itse biokaasun tuotantoon voisi liittyä tuotantokustannuksia lainkaan. Selvää on myös se, että tällainen kasvintuotannon ja biokaasun tuotannon yhdistäminen työllistää selvästi vähemmän kuin vastaava lypsykarjatila.

BIOKAASUN TUOTANNON VAIKUTUKSET RAVINNONTUOTANTOON

A- ja B-malleissa ei nykyiseen ravinnontuotantoon tulisi käytännössä mitään muutoksia. Kaasuntuotannon määrä olisi sellainen, että se kattaisi joko peltoviljelyn (A-malli) tai myös kotieläintalouden suoran energiatarpeen (B-malli). Tilakohtaisesti toteutettuna sekä A- että B-mallissa tuotetun energian määrä jäisi varsin vähäiseksi. Tarvittaviin laiteinvestointeihin suhteutettuna tilakohtaiset ratkaisut tuskin tulisivat kyseeseen. Nyt tarkasteltava tila, 360 peltohehtaaria, on meidän oloissamme poikkeuksellisen suuri. Olisi hyvin kyseenalaista, voisiko vielä tässäkin karjakokoluokassa tilakohtainen kaasuntuotantoratkaisu olla kannattava. Useamman tilan yhteistyönä toteutet-

tava kaasuntuotanto saattaisi olla kannattava, ellei raakalietteen ja vastaavasti reaktorijäännöksen kuljetuskustannukset söisi suuremman yksikön skaalahyötyjä.

C-vaihtoehdot pohjautuvat kaikki samaan perusajatukseseen: osa peltoviljelyn sadosta ohjataan suoraan energiantuotantoon, ilman, että sadolla aikaansaadaan lainkaan sen paremmin rehua kotieläintuotantoon kuin ihmisravintoakaan. Tuotanto on kuitenkin integroitu viljan ja valkuaisadon tuotantoon, joka ravinnetalouden näkökulmasta muutoin vaatisi huomattavan peltoalan viherke-sannoksi tuottamaan biologisen typensidonnan avulla viljojen tarvitseman typen.

C-vaihtoehdossa tuotettava myyntisato olisi käytettävissä sellaisenaan ihmisravinnoksi ja / tai hyödynnettävissä kotieläinten rehuna. Mikäli sadon avulla haluttaisiin tuottaa kotieläintuotteita, mielekkäin vaihtoehto tällöin olisi yksimahaisten kotieläinten tuotanto. Niiden rehun hyväksikäyttö-kyky on lähes kaksinkertainen märehtijöihin (nautoihin) verrattuna. Karkeasti voidaan sanoa, että yhdistetyssä maidon- ja naudanlihantuotannossa (lypsylehmien vasikat kasvatetaan naudanlihaksi, ei erillisiä lihantuotantoon erikoistuneita emolehmiä) rehun energiasta ja ravinteista noin 20 % voidaan muuntaa kotieläintuotteiksi (maito ja liha); vastaava hyötysuhde sian ja siipikarjan lihantuotannossa on 30 - 40 %.

Näin toimien C1-malli vähentäisi vain hieman kotieläintuotannon kokonaistuotantopotentiaalia, mutta maidon ja naudanlihan sijaan tuotettaisiin vain sianlihaa ja siipikarjatuotteita (kananmunia, lihaa). C2-malli ei vähentäisi lainkaan kotieläintuotteiden kokonaistuotantopotentiaalia, mutta tällöinkin maidon ja naudanlihan tuotannosta tulisi luopua lähes tyystin yksimahaisten kotieläinten hyväksi. C3-mallissa tuotettavalla myyntisadolla pystyisi korvaamaan noin 60 % maidon ja naudanlihan määrästä.

Nykyisellään noin puolet peltoalasta on kotieläintilojen hallinnassa, mutta ostorehu huomioon ottaen kotieläintuotantoon on valjastettu noin 80 % koko peltoalasta. Mikäli C3-mallin kaltainen kasvinviljelytuotanto ja energiantuotanto toteutuisi koko maataloudessa, voitaisiin silläkin teorias- sa tyydyttää suomalaisten ravinnontarve. Tällöin dieetti olisi kuitenkin jokseenkin pelkkää kasvisravintoa. Kotieläintuotantoon ohjautuisi lähinnä sadon jalostusprosessin jakeita (suuruusluokkaa 10 %), sekä laajaperäiseen naudanlihantuotantoon hyvin heikkolaatuisia rehuja (oljet, epäonnistuneet viljakasvustot).

MAATALOUDEN ENERGIAOMAVARAISUUS?

Tämän tarkastelun valossa maatalous kykenisi tuottamaan biokaasun avulla parhaimmillaan energiaa määrän, joka vastaisi noin 1100 l polttoöljyä hehtaaria kohti. Energiantuotanto tapahtuisi käyttämällä nurmisato suoraan – ilman kotieläintuotantoa – biokaasun syötteenä. Energiantuotantoon tarvittava nurmen peltoviljelyn suora energiankulutus (työkoneiden polttoaineen kulutus) olisi suuruusluokaltaan noin 80 l/ha.

Mikäli tällainen biologiseen typensidontaan nojaava nurmibiomassan tuotanto olisi integroitu- nut viljan ja öljykasvien tuotantoon, olisi systeemi täysin typpiomavarainen. Sen sijaan muiden ravinteiden osalta systeemiin tulisi palauttaa sadon mukana poistuvat ravinteet.

Liiketaloudellisen kannattavuuden näkökulmasta biokaasun tuotanto nurmibiomassasta, jota ei hyödynnetä muutoin kuin energiantuotantoon, on kyseenalaista. Parhaimmillaankin hehtaarin energiantuotoksen markkina-arvo on noin 1000 euroa. Tämä vaatii kuitenkin investoinnit itse peltoviljelyä varten (nurmen viljely ja sadon korjuu) ja sen lisäksi vielä investoinnit itse biokaasun tuotantoon.

Biokaasun tuotanto kotieläintaloudessa syntyvästä lannasta tuottaisi huomattavasti vähemmän energiaa (80 l/ha). Tämä energiamäärä kattaisi vain tilan peltoviljelyn välittömän energian tarpeen. Itse biokaasun tuotantoon käytettävä syöte- materiaali – lanta – ei aiheuttaisi lisäkustannuksia, mutta ollakseen liiketaloudellisesti kannattavaa tarvittava biokaasun tuotantoinvestointi edellyttäisi selvästi suurempaa syötemäärää, mitä tämän tarkastelun tilakohtainen lantamäärä olisi. Mikäli tällainen biokaasulaitos toimisi alueella, jossa pel- lon osuus maankäytöstä on vähäinen, muodostuisi suuren, keskitetyn biovoimalaitoksen syötteiden ja reaktorijäännöksen kuljetusetäisyydet pitkiksi ja söisivät osaltaan taloudellista kannattavuutta.

LOPPUPÄÄTELMÄ

Moderni maatalous on täysin riippuvainen ulkopuolisesta apuenergiasta, joka on pääosin uusiutumattomaa energiaa. Grönroos ym. (2006) mukaan uusiutuvaa energiaa kaikesta maidontuotannon tai ruisleivän tuotantoon käytetystä energiasta oli vain 7 - 14 %.

Tässä tarkasteltiin biologiseen typensidontaan pohjautuvaa systeemiä. Itse biologisen typensidontan hyödyntäminen vähentää maatalouden uusiutumattoman energian käyttöä merkittävästi. Väkilannoitetyypin vaatima energiapanos vastaa karkeasti 1 polttoöljykiloa puhdasta lannoitetyypikiloa kohti. Voidaan arvioida, että pelkästään biologisen typensidontan avulla maatalouden uusiutumattoman energian kulutusta voidaan vähentää alle puoleen (maatilaprosessien energiankulutukseen suhteutettuna).

Biokaasun tuotannon suurimpina ongelmina ovat toisaalta biokaasuvoimalan vaatimat suuret investoinnit ja toisaalta niin syötteiden kuin reaktorijäännöksen logistiset ongelmat. Alueilla, joilla niin pelto kuin karja sijoittuvat hyvin laajalle alueelle ilman merkittäviä keskittyviä, muodostuu kuljetusetäisyydet helposti liian pitkiksi keskitettyä biokaasun tuotantoa ajatellen. Tällä hetkellä kuitenkin itse biokaasuvoimalan yksikkökustannukset ovat pienissä yksiköissä merkittävästi suuremmat kuin kookkaissa yksiköissä.

Maatilojen ulkopuolisten syötteiden avulla biokaasutuotannon syötemäärää voisi lisätä peltoalasta riippumattomasti. Reaktorijäännöksen prosessoinnilla (esimerkiksi separointi) voitaisiin vastaavasti ravinteiden kuljetuskustannuksia alentaa ja näin mahdollistaa ylimääräisten ravinteiden tarkoituksenmukainen hyödyntäminen peltoviljelyssä. Separoimalla reaktorijäännös nestejakeeseen ja kiintoainekseksi ohjautuu typpi pääosin nestejakeeseen ja fosfori puolestaan kiintoainekseen. Tällaisen fosforipitoisuudeltaan rikkaamman kiintoaineksen tilavuus on murto-osa alkuperäisen jäännöksen tilavuudesta, mikä mahdollistaa huomattavasti pidemmät kuljetusetäisyydet.

Tällaisten maatalouden ulkopuolisten syötteiden käyttö mitä ilmeisimmin lisää myös ravinteiden kierrätyspotentiaalia. On luultavaa, että ilman biokaasutuotantoa monet tällaiset käyttökelpoiset biomassat tuskin tulisivat aktiivisesti maatalouden ravinnekiertoon mukaan. Todennäköisesti ne ohjautuisivat hyvin marginaalisiin ja ravinteiden hyödyntämisen kannalta toissijaisiin käyttökohteisiin (läjitykseen, viherrakentamiseen ja maiseointiin).

Biokaasun tuotantoa tulisi kehittää paitsi energian tuotantomenetelmänä, myös osana ravinteiden

den kierrätystä. Biokaasun tuotannon syötemateriaaliksi kelpaavat hyvin monenlaiset biomassat. Tulisikin alueellisesti inventoida alueen biomassavirrat – sekä olemassa olevat, että potentiaaliset lisävirrat – ja arvioida alueellisten biokaasulaitosten mahdollisuuksia tältä pohjalta. Potentiaalisia lisävirtoja voisivat olla esimerkiksi erilaiset vesistöjen hoitobiomassat (kalat, kasvibiomassa).

LÄHTEET

- Grönroos, J. & Seppälä, J. (toim.) 2000. Maatalouden tuotantotavat ja ympäristö. Suomen ympäristö 431.
- Grönroos, J., Seppälä, J., Voutilainen, P., Seuri, P. & Koikkalainen, K. 2006. Energy use in conventional and organic milk and rye bread production in Finland. *Agriculture, ecosystems and environment* 117, 2-3: 109-118. doi:10.1016/j.agee.2006.03.022 [Abstract]
- Lötjönen, T., Muuttomaa, E., Koikkalainen, K., Seuri, P. & Klemola, E. 2004. Laajamittaisen luomutuotannon teknologia - taloudellinen toteutettavuus ja ekologinen kestävyys. *Maa- ja elintarviketalous* 44: 131 s. + 4 liitettä. [Url] Verkkojulkaisu päivitetty 1.3.2004 [Tiivistelmä] [Abstract]
- Seuri, P. 2002. Nutrient utilization with and without recycling within farming systems. In: *Urban areas - rural areas and recycling - the organic way forward?* / eds. Jakob Magid et al.. DARCOF Report 3: p. 175-181. [Url]
- Seuri, P. 2008. Nitrogen utilization in integrated crop and animal production. In: *Cultivating the future based on science : volume 1 organic crop production* / eds. Daniel Neuhoff et al. . Bonn: International Society of Organic Agriculture Research. p. 142-145.
- Seuri, P. & Kahiluoto, H. 2005. Evaluation of nitrogen utilization by means of the concept of primary production balance. In: *Shaping sustainable systems : 15th IFOAM organic world congress, 20-23 September 2005 Adelaide, South Australia : congress handbook.* p. 92.

2 TILAKOHTAISEN BIOKAASULAITOKSEN KANNATTAVUUSLASKENTA OSANA MAATILOJEN ENERGIATALOUTTA ITÄ-SUOMESSA

HANNE SOININEN, SAMI LUSTE JA TUIJA RANTA-KORHONEN
MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

TIIVISTELMÄ

Yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto biokaasulla voi olla taloudellisesti kannattavaa isoilla maatiloilla tai maatilojen yhteenliittymillä, jos biokaasureaktorille on käytettävissä riittävästi karjanlantaa ja muuta biomassaa, ja tuotettu sähkö ja lämpö voidaan myydä tilalta ulos. Suomessa maatilamittakaavan biokaasulaitoksia on tällä hetkellä toiminnassa vain kymmenkunta, mutta kiinnostus biokaasulaitoksia kohtaan lisääntyy koko ajan poliittisista syistä, teknologian kehittymisen johdosta ja energian kallistuksessa. Suomessa biokaasulaitosinvestointeja rajoittava tekijä maatilamittakaavassa on suuret investointikustannukset suhteessa laitoksen tuottamasta energiasta saataviin myyntituloihin. Tässä tutkimuksessa on laskennallisesti tarkasteltu maatila-mittakaavan biokaasulaitoksen kannattavuutta erilaisilla energian hinnoilla, porttimaksuilla ja investointituki-prosentteilla. Tarkastelukohteeksi valittiin 19 500 tonnia vuodessa käsittelevä biokaasulaitos, jonka laskennallinen CHP-nettotuotanto vuodessa on 3 300 MWh. Laskelmat osoittivat, että nykyisillä sähkön ja lämmön energiahinnoilla ei ole mahdollista kattaa laitoksen vuotuisia investointi- ja käyttökustannuksia. Laskelmien mukaan maatilakokoluokan biokaasulaitosinvestointia on nykyisillä energiahinnoilla tuettava vähintään 50 - 60 prosentilla, jotta laitos saadaan taloudellisesti kannattavaksi.

Asiasanat: Maatilakohtainen biokaasulaitos, bioenergia, biokaasu, yhdistetty lämmön- ja sähkön-tuotanto (CHP)

JOHDANTO

Biokaasutuotanto on yksi potentiaalinen bioenergian tuotantosuunta maatiloilla, joilla on käsiteltävänä riittävän suuri määrä karjanlantaa ja muuta biomassaa. Biokaasulaitoksen avulla voidaan hyödyntää suuria lantamääriä maatilan energiantuotannossa ja samalla muuttaa lantaa ympäristöystävällisempään muotoon. Sivutuotteena syntyvää mädätettä voidaan hyödyntää lannoitteena sellaisenaan tai sitä voidaan jatkoprosessoida helpommin käsiteltävään muotoon.

Suomessa on tällä hetkellä kymmenkunta maatilamittakaavan biokaasulaitosta. Laitosten rakentamista ja käyttöönottoa rajoittavat muun muassa korkeat investointikustannukset suhteessa laitoksesta saataviin energian myyntituloihin. Investointihankkeita on pyritty edistämään muun muassa Suomen maa- ja metsätalousministeriön investointituella. (MMM 2007, Suomen biokaasuyhdistys 2012, Soininen ym. 2009).

Odotettavissa on, että biokaasulaitosten ja erilaisten tyypipiratkaisujen yleistymisen sekä tekniikan kehittyminen tulee alentamaan investointikustannuksia. Myös jatkuvasti nouseva energian hinta ja pyrkimys hajautettuun energiantuotantoon sekä omavaraiseen maatilatalouteen tekee maatilamittakaavan laitoksista entistä houkuttelevampia. Oma merkityksensä on myös Suomen ilmastopoliittisilla velvoitteilla sekä niiden täyttämiseen tähtäävällä ilmasto- ja energiastrategialla, jonka mukaan pitkän aikavälin tavoitteena on tehostaa maatalouden sivuvirtojen ja viljeltävän pelto biomassan energiakäyttöä. (Edström ym. 2008, BioG 2011, Suomen biokaasuyhdistys 2012)

Suunniteltaessa biokaasulaitoksen perustamista tulee edetä järjestelmällisesti. Perustamisvaiheet voidaan jaotella neljään vaiheeseen, jotka ovat: esitetietojen kerääminen, laitoksen kilpailutus, tarvittavien lupien ja asiakirjojen hankinta sekä rahoituksen järjestäminen (Soininen ym. 2007). Erityisen tärkeää perustamisvaiheessa on suorittaa biokaasulaitoksen kannattavuustarkastelu.

Biokaasulaitoksen kannattavuus riippuu useasta eri tekijästä, ja siihen vaikuttavat esimerkiksi: syötteen laatu, prosessiparametrit, paikalliset olosuhteet, energian tarve sekä kustannukset. Kannattavuuden arvioinnissa on tärkeää ottaa huomioon myös biokaasulaitoksen tarkoitus ja tavoite, sillä nämä määräävät suurelta osin kannattavuudelle asetettavat rajat. (Hämeen ammattikorkeakoulu 2005)

Laitosinvestoinnin kannattavuutta laskettaessa pitää tietää, mikä osa tuotetusta lämmöstä ja sähköstä menee omaan käyttöön ja mikä myyntiin tai hukkaan. Tärkeää on niin ikään tietää mahdollisten porttimaksujen todellinen arvo, sekä lain-säädännön käsittelylle aiheuttamat lisäkustannukset ja/tai rajoitteet, kuten esimerkiksi materiaalien hygienisointivaatimus. Koska kannattavuuslaskelmien pohjalta tehdään investointipäätös, on laskelmille hyvä tehdä myös erilaisia herkkyystarkasteluja. Herkkyystarkastelujen avulla arvioidaan erilaisten kustannuksiin ja tuloihin vaikuttavien parametrien vaikutusta kannattavuuteen. Herkkyystarkasteluja voidaan tehdä esimerkiksi laskentakoron, porttimaksujen, investointituen ja energian käytön suhteen. Herkkyystarkastelun avulla voidaan tuoda esille niitä rajatapauksia, joissa investointi muuttuu kannattavasta kannattomaksi, tai päinvastoin. (Soininen ym. 2007)

Käytössä olevien kannattavuuslaskentamethodien mukaan biokaasulaitoksen tulovirtaan vaikuttaa olennaisesti syötteen vastaanottamisesta saatavat porttimaksut, tai esimerkiksi syötteenä käytettävän viljeltävän peltobiomassan maailmanmarkkinahinnan vaihtelu. Monissa laskelmissa huomioidaan myös ostolannoitteiden korvaaminen mädätysjäännöksellä osana laitoksen tuloja. Sosio-ekonomisissa laskentamallissa voidaan ottaa huomioon myös mm. CO₂ ekv-päästöjen tai typpipäästöjen väheneminen. Laskelmissa arvioitavia muuttujia voivat lisäksi olla parantunut energiaomavaraisuus tai huoltovarmuus. Ruotsissa vuonna 2008 tehty laskelma huomioi myös maatilanelintarviketuotannossa käytettävän uusiutuvan energian tuoman imagohyödyn. Kaikkien kannattavuuslaskelmien mukaan biokaasulaitos vaatii investointitukea toimiakseen kannattavasti. Koska myyty energia on kaikissa laskelmissa laitoksen

merkittävin tulonlähde, vaikeuttaa tämänhetki-nen alhainen energian hintataso kannattavuuden saavuttamista. (Edström ym. 2008, Brännlund ym. 2010, Lantz & Börjesson 2010, Murphy & Power 2009, Järvenpää 2011)

Erittäin merkittävä rooli on kannattavuustarkastelussa syöttemateriaalien laadulla ja niiden metaanintuottopotentialilla, sekä materiaalien riittävällä saatavuudella ja varastoitavuudella Suomen olosuhteissa ympärivuotisesti. Syöttemateriaalien metaanintuottopotentiali ja materiaalien varma saatavuus ja soveltuvuus yhteismädätykseen vaikuttavat oleellisesti laitoksen kannattavuuteen ja investointipäätökseen.

AINEISTO JA MENETELMÄT

Seuraavaksi on esitetty kolme kustannuslaskelma esimerkkiä keskitetyn maatilamittakaavan biokaasulaitoksen saatavilla olevien syöttemateriaalien vaikutuksesta laitoksen kannattavuuteen. Kustannuslaskelmissa on oletettu, että laitoksen materiaaliavirroista pääosa muodostuu useamman maatilanelintarviketuotannasta. Kustannuslaskelmat ovat osa EU-osarahoitteista ESBIO – Energiaomavarainen maatila -hanketta.

LASKELMAMALLIEN SYÖTEMATERIAALIT JA NIIDEN TUOTTAMA ENERGIA

Laskelmissa on oletettu esimerkkimallilaitosten käsittelevän vuodessa naudanliete- ja kuivalantaa, kanan ja hevosen kuivalantaa sekä nurmirehua, biojätettä ja vihannesjätettä yhteensä 19,500 tonnia.

Taulukossa 1 on esitetty laskelmamalli 1. vuositain käsittelemä materiaali ja laskelmissa käytetyt TS- ja VS-pitoisuudet sekä arvioidut biokaasun tuottopotentialit ja materiaalin tuottama metaanin määrä. Syöttemateriaalien TS %, VS%%TS ja biokaasuntuotto on määritelty Etelä-Savon alueen materiaaliavirroista EU-osarahoitteen ESBIO-Energiomavarainen maatila -hankkeen laboratorio- ja pilot-mittakaavan kokeissa (Luste & Soininen 2011, 2012, Luste ym. 2012).

Taulukko 1. Laskelmamalli 1. vuosittain tuottama metaanin määrä (m³/a).

Syöte	Määrä (t/a)	TS %	VS % % TS	Biokaasu (m ³ /kgVS)	CH ₄ (m ³ /a)
Naudan lietelanta	15100	6	80	0.3	143510
Kuivalanta	1000	20	80	0.3	31680
Kananlanta	1000	25	80	0.6	72000
Hevoselanta	800	30	80	0.4	46080
Viherrehu	500	25	90	0.7	47250
Biojäte	500	30	85	0.4	30600
Vihannesjäte	500	3	85	0.6	4590
Leipomojäte	100	50	90	0.9	24300
Yhteensä	19500				400010

Taulukossa 2 on esitetty laskelmamalli 2. vuosittain käsittelemä materiaali ja laskelmissa käytetyt TS- ja VS-pitoisuudet sekä arvioitua biokaasun tuottopotentialit ja materiaalin tuottama metaanin määrä.

Taulukko 2. Laskelmamalli 2. vuosittain tuottama metaanin määrä (m³/a).

Syöte	Määrä (t/a)	TS %	VS % % TS	Biokaasu (m ³ /kgVS)	CH ₄ (m ³ /a)
Naudan lietelanta	16500	6	80	0.3	156816
Kuivalanta	2500	20	80	0.3	79200
Kananlanta	0	25	80	0.6	0
Hevoselanta	0	30	80	0.4	0
Viherrehu	500	25	90	0.7	47250
Biojäte	0	30	85	0.4	0
Vihannesjäte	0	3	85	0.6	0
Leipomojäte	0	50	90	0.9	0
Yhteensä	19500				283266

Taulukossa 3 on esitetty laskelmamalli 3. vuosittain käsittelemä materiaali ja laskelmissa käytetyt TS- ja VS-pitoisuudet sekä arvioitua biokaasun tuottopotentialit ja materiaalin tuottama metaanin määrä.

Taulukko 3. Laskelmamalli 3. vuosittain tuottama metaanin määrä (m³/a).

Syöte	Määrä (t/a)	TS %	VS % % TS	Bio-kaasu(m ³ /kgVS)	CH ₄ (m ³ /a)
Naudan lietelanta	16500	6	80	0.33	91476
Kuivalanta	2500	20	80	0.33	79200
Kananlanta	0	25	80	0.6	0
Hevoselanta	0	30	80	0.4	0
Viherrehu	500	25	90	0.7	47250
Biojäte	0	30	85	0.4	0
Vihannesjäte	0	3	85	0.6	0
Leipomojäte	0	50	90	0.9	0
Yhteensä	19500				217926

24 ENERGIAOMAVARAINEN MAATILA

SARI IIVONEN, EERO JÄPPINEN, MIKA LAIHANEN, SAMI LUSTE, ARJA NYKÄNEN, TUIJA RANTA-KORHONEN, SARI SEPPÄLÄINEN, PENTTI SEURI, HANNE SOININEN, TIINA TONTTI JA HANNA-MAIJA VÄISÄNEN

Laskentamallin 1. tuottama bruttoenergia on vuodessa 4 000 MWh/a, josta saadaan tuotettua sähköä vuodessa 1 400 MWh/a ja lämpöä 2 000 MWh/a. Laitoksen arvioitu oma energiankäyttö on vuodessa sähkön osalta 173 MWh/a ja lämmön osalta 847 MWh/a, eli yhteensä vuosittain 1 020 MWh/a. Laitoksen sähkön myynnin on arvioitu olevan vuodessa 1 227 MWh/a ja lämmön myynnin 1 153 MWh/a.

Laskentamallin 2 tuottama bruttoenergia on vuodessa 2 833 MWh/a, josta saadaan tuotettua sähköä vuodessa 991 MWh/a ja lämpöä 1 416 MWh/a. Laitoksen arvioitu oma energiankäyttö on vuodessa sähkön osalta 123 MWh/a ja lämmön osalta 600 MWh/a, eli yhteensä vuosittain 722 MWh/a. Laitoksen sähkön myynnin on arvioitu olevan vuodessa 869 MWh/a ja lämmön myynnin 817 MWh/a.

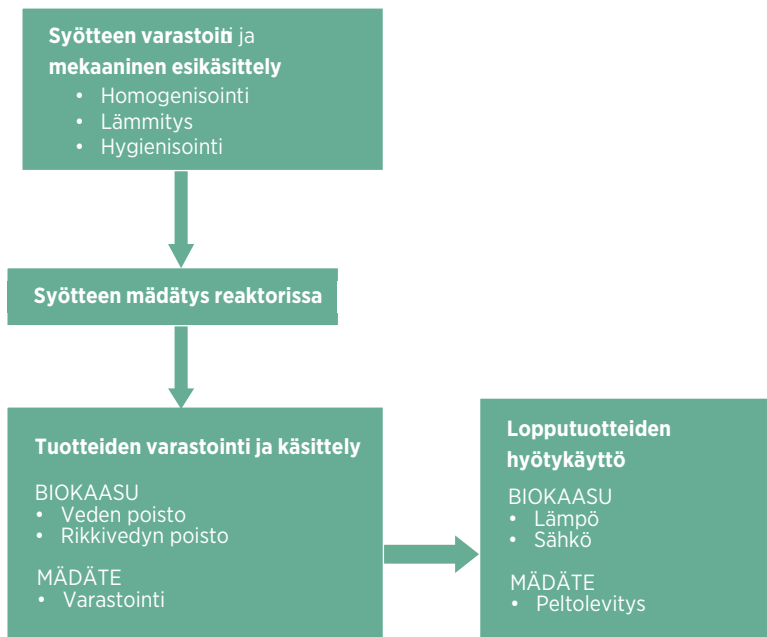
Laskentamallin 3. tuottama bruttoenergia on vuodessa 2 179 MWh/a, josta saadaan tuotettua sähköä vuodessa 763 MWh/a ja lämpöä 1 090 MWh/a. Laitoksen arvioitu oma energiankäyttö on vuodessa sähkön osalta 94 MWh/a ja lämmön osalta 461 MWh/a, eli yhteensä vuosittain 556 MWh/a. Laitoksen sähkön myynnin on arvioitu olevan vuodessa 668 MWh/a ja lämmön myynnin 628 MWh/a.

Laskelmissa on oletettu, että laitoksella tuotetaan sekä sähköä että lämpöä CHP-yksikössä. Tarkastelussa laitoksen omakäyttöhyötysuhteena on käytetty arvoa 0,70 ja yhdistetyn tuotannon osalta sähkölle arvoa 0,35 ja lämmölle arvoa 0,50.

LASKELMAMALLIEN LAITOSTYYPPI JA PROSESSIN KUVAUS

Biokaasulaitoksen prosessiksi on valittu mesofiilissä olosuhteissa toimiva märkämenetelmä. Laitoksen prosessi on esitetty kuvassa 1. Prosessi on jaettu neljään osakokonaisuuteen: syötteen varastointi ja mekaaninen esikäsittely, syötteen mädätys reaktorissa, tuotteiden varastointi ja käsittely sekä lopputuotteiden hyötykäyttö.

Kustannustarkastelussa on otettu huomioon laitoksen tärkeimmät laitehankinnat: lietteen vastaanottosäiliö, kuivalannan ja vihannesjätteen vastaanottorakennus, syöttölaitteita ja murskain, syötteiden sekoitin- ja lämmitysyksikkö sekä hygienisointi-yksikkö, kaasuvälikamari, tekninen tila kaasun hyötykäytölle, kaasupoltin ja kaasumootori, mädätteen varastosäiliöt sekä huoltorakennukset. Lisäksi kustannustarkastelussa on otettu huomioon laitoksen rakennuskustannukset ja suunnittelutyöt sekä alueen maarakentamisesta aiheutuvat kustannukset.



Kuva 1. Laitoksen prosessin eteneminen [1].

LASKENTAMALLIEN INVESTOINTI- JA KÄYTTÖKUSTANNUSTEN LÄHTÖARVOJA

Biokaasulaitoksen investointikustannusten on arvioitu olevan suunnittelutöineen, rakennuksineen, prosessilaitteineen ja rakennustöineen 1 500 000 €. Kustannuslaskelmiin on saatu hintatietoja muun muassa seuraavilta suomalaisilta yrityksiltä: Metaenergia Oy, Metener Oy, NHK-Keskus Oy ja Preseco Oy. Laskelmissa on lisäksi käytetty pohjatietona vuosina 2006 - 2007 toteutettua EU-osarahoitettua tutkimushanketta ”Bioenergiaa eteläsavolaisille maataloille ja kasvihuoneyrityksille” (Soininen ym. 2007).

Käyttökustannusten on arvioitu olevan vuodessa mallissa 1: 160 131 €, mallissa 2: 151 950 € ja mallissa 3: 147 303 €. Vuotuiset käyttökustannukset koostuvat materiaalivirtojen kuljetuksista ja ostopalveluista, henkilö- ja konetyön kustannuksista, laitoksen sähkön ja lämmön käytöstä, kemikaaleista sekä kunnossapidosta. Laitoksen on oletettu työllistävän 1 - 2 henkilöä.

Oletetulla laitoksella muodostuva hygieeninen mädäte käytetään peltoviljelyssä. Mädätteessä on ravinteet paremmin kasvien saatavilla tavanomaiseen karjanlantaan verrattuna. Näissä laskentamalleissa ei ole otettu huomioon mädätteen myyntihintaa.

Tulojen on arvioitu olevan vuotuisella tasolla laskentamallissa 1: 226 701 euroa ja laskentamallissa 2: 169 580 €/t ja laskentamallissa 3: 147 323. Tulot koostuvat sähkön ja lämmön myynnistä ulkopuoliselle käyttäjälle ja laitoksen omaan käyttöön. Lisäksi laitos ottaa vastaanottomaksua (porttimaksu) lantajakeiden (4 €/t) ja muiden materiaalien (20 €/t) käsittelystä ja maksaa laitokselle tuotavasta nurmirehusta (5 €/t).

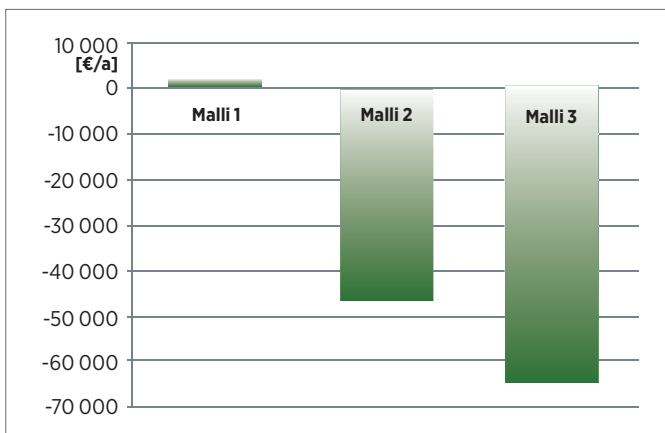
Laitoksen vuotuiset menot koostuvat investointikustannuksista ja vuotuisista laitoksen käyttökustannuksista. Laskentamallin 1. menot ovat yhteensä 225 162 €/a ja mallin 2. 216 981 €/a ja mallin 3. 212 334 €/a.

Laskentamallien kannattavuuslaskelmissa on käytetty korkokantana 5 % ja pitoaikana 15 vuotta, jolloin investointikustannus on vuodessa 144 513 euroa.

TULOKSET

Laskentamallien mukaan biokaasulaitosinvestointi kokoluokassa 19 500 t/a ei ole kannattavaa, jos laitoksen porttimaksut ovat vähäisiä, eikä laitoksen perustamiseen saada investointitukea. Laitosta ei voi myöskään rakentaa pelkästään sen tuottaman sähkön- ja lämmönmyynnin varaan.

Erittäin tärkeä osuus on laitokselle vastaanotettujen syötemateriaalien metaanintuottopotentiaalilla. Vain mallin 1 mukainen laitos olisi taloudellisesti kannattava, koska sen syötemateriaalit sisältävät muutakin kuin karjanlantaa (voitto 1 539 €/a). Mallissa 2 ja 3 vastaanotetaan laitokselle pääosin karjanlantaa ja nurmirehua (3 %). Laitos tuottaisi tappiota mallissa 2 vuodessa 47 401 € ja mallissa 365 011 €. Vuotuinen 17 601 euron kannattavuusero johtuu siitä, että mallissa 3 on oletettu laitokselle tulevan karjanlantaa lietesäiliöistä, joihin pääsee sadevedet sekä pesuvedet karjasuojasta (kuva 2).



Kuva 2. Laskentamallien vuotuinen kannattavuus.

Jotta keskitetty maatilamittakaavan laitos toimisi kannattavasti, tulisi sen saada porttimaksua sen käsittelemistä materiaaliavirroista, myytävä bio-kaasusta tuotettua sähköä sekä lämpöä (mahdollisesti myös hiilidioksidia) sekä saatava investointiin tukea. Lisäksi vastaanotettavien syötemateriaalien VS ja TS -pitoisuudet sekä metaanintuottopotentiali on oltava riittävällä tasolla.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tarkastelun mukaan käytetyillä lähtöarvoilla ja biokaasulaitoksella tuotetusta energiasta saatavilla tuloilla ei nykyisellä energian hintatasolla ilman tukea ja porttimaksuja, pystytä kattamaan laitoksen vuotuisia investointi- ja käyttökustannuksia.

Erittäin tärkeässä asemassa on laitoksen kannattavuutta arvioitaessa sen vastaanottamien syötemateriaalien energiasisältö ja kyky tuottaa metaania. Jos mm. laitokselle vastaanotettava liettemateriaalin joukkoon menee pesuvesiä ja sadevesiä, aiheuttaa se laitoksen kannattavuuteen jopa 20 - 30 % eron. Syötemateriaalin varastointiin ennen laitokselle tuontia tulisikin kiinnittää aiempaa enemmän huomiota.

Laitoksen kannattavuutta saadaan puolestaan lisättyä tuomalla laitokselle materiaaleja, jotka sisältävät paljon energiaa. Teoreettisesti suurin metaanisaanto on rasvoissa (1 014 l/kgVS), ja proteiinien (496 l/kgVS) ja hiilihydraattien (415 l/kgVS) on noin puolet tästä. Käytännössä materiaalien metaanisaantoon vaikuttavat materiaalien koostumuksen lisäksi mm. materiaalien inhiboivat yhdisteet, prosessiolosuhteet, prosessin operointi ja mahdolliset materiaalin esikäsitteilyt.

LÄHTEET

- BioG. 2011. Maatilatason biokaasulaitoksen toteutus selvitys. BioG – Biokaasun tuotannon liiketoimintamallien kehittäminen Pohjois-Pohjanmaalla –hanke. Seminaariesitys.
- Brännlund, R., Nilsson, I. & Söderholm, P. 2010. Samhällsekonomiska värden av olika miljöeffekter vid ett ökat utnyttjande av biogas.
- Edström, M., Nordberg, Å. & Nordberg, U. 2008. Gårdsbaserad iogasproduktion - System, ekonomi och klimatpåverkan. JTI-rapport 42.
- Hämeen ammattikorkeakoulu 2005. Biokaasun tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Kanta-Hämeessä.
- Järvenpää, M. (toim.) 2011. Lannan kestävä hyödyntäminen. MTT raportti 21. 164 s.
- Lantz, M. & Börjesson, P. 2010. Kostnader och potential för biogas i Sverige.
- Luste, S. & Soininen, H. 2011. Anaerobic co-digestion of chicken manure, cattle slurry and vegetable wastes from a food industry, In: Book of Proceedings (CD) of the International Nordic Bioenergy 2011, Conference held in Jyväskylä, Finland 5. - 9.9.2011. FINBIO publication 51, s 4.
- Luste, S. & Soininen, H. 2012. Anaerobic co-digestion of chicken manure in laboratory- and pilot-scale batch reactors – methane production and quality of digestate. Poster presentation and in Proceedings of International Nordic Biogas Conference 2012, Copenhagen, s. 6.
- Luste, S., Soininen, H. & Lehesvaara, M. 2012. Methane production potential of materials available for the treatment in farm-scale biogas process in south-savo. Poster presentation and in Proceedings of Nordic Environmental Chemistry Conference (NECC).
- MMM. 2007. Bioenergia Manner-Suomen maaseudun kehittämissuunnitelmassa 2007 - 2013. Maa- ja metsätalousministeriön bioenergiatuotannon strategiatyöryhmän muistio 31.5.2007.
- Murphy, J.D. & Power, N. 2009. Technical and economic analysis of biogas production in Ireland utilizing three different crop rotations. Applied Energy 86 (1):25-36.
- Soininen, H., Kiukas, I. & Mäkelä, L. 2007. Biokaasusta bioenergiaa eteläsavolaisille maaseutu-yrityksille. 78 s.
- Soininen, H., Valkeapää, A. & Heinimö, J. 2009. Profitability analysis of farm-scale biogas plants as part of agricultural farms' energy management. Proceedings (CD) of the 17th European Biomass Conference and Exhibition From Research to Industry and Markets, Hamburg 29 June-3 July 2009. 3 s.
- Suomen biokaasuyhdistys 2012.

3 ETELÄ-SAVOSSA SAATAVILLA OLEVIEN ORGAANISTEN MATERIAALIEN SOVELTUVUUS BIOKAASULAITOKSEN RAAKA-AINEEKSI-METAANINTUOTTOPOTENTIAALIT, YHTEISMÄDÄTYS JA HYGIENIA

SAMI LUSTE, SARI SEPPÄLÄINEN JA HANNE SOININEN
MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

TIIVISTELMÄ

Biokaasulaitoksen teknisiin ratkaisuihin ja kannattavuuteen vaikuttaa erityisesti saatavilla olevat materiaalit, niiden soveltuvuus (yhteis)mädätykseen sekä eri materiaalien spesifiset metaanin(CH₄) tuottopotentiaalit. Tässä artikkelissa tutkitaan Etelä-Savossa saatavilla olevien orgaanisten materiaalien soveltuvuutta ja metaanintuottopotentiaaleja, jotka vaihtelivat välillä 20 - 1080 m³ CH₄/t VS. Erityistä huomiota kiinnitettiin tutkimuksen päämateriaalien, naudan lietelannan, kananlannan ja vihannesjätteen yhteismädätykseen. Kananlannanosuudella oli seoksien metaanintuotossa ja biohajoamisessa merkittävä rooli. Mitä isompi osuus seoksessa on kananlantaa, sitä suuremman osuuden vihannesjätettä seos vaatii puskurointikapasiteetin ylläpitämiseksi. Suurin metaanintuotto saavutettiin naudan lietelannan, kananlannan, ja vihannesjätteen seoksella 50:25:25 (märkäpaino; mp). Tutkimuksessa tarkasteltiin myös käsittelyn keston vaikutusta mädätteen hygieenisyyteen, sekä hygienisointi ja kestäväntä käsittelyjen sekä glyseroli lisäyksen vaikutusta mädätysprosessiin ja erityisesti metaanintuottoon. Jälkimädätys vähensi huomattavasti Enterobakteerien- pitoisuutta verrattuna reaktori viipymän jälkeiseen tilanteeseen (21 vuorokautta; vrk). Sekä glyserolin lisäys, että esikäsittelyt mahdollistavat materiaalin tehokkaamman hajoamisen ja näin ollen myös korkeamman metaanintuoton.

Asiasanat: Anaerobinen hajotus, biokaasu, esikäsittelyt, hygienisointi, metaani, mädäte, yhteismädätys

JOHDANTO

Anaerobinen hajotus on anaerobisten mikro-organismien yhdessä aiheuttamaa orgaanisen aineen syntrofista mädätystä biokaasuksi ja mädätteeksi. Anaerobinen hajotus on luonnossa automaattisesti tapahtuva mikrobireaktio, joka kontrolloituna prosessina on hyvä esimerkki ympäristöteknologisesti kestäväntehtävien sovelluksesta.

Biokaasu voidaan hyödyntää lämpönä, sähkönä tai liikenteen polttoaineena, kun taas ravinnerikas mädäte voidaan hyödyntää uusiolannoitteena (hygieniä asetukset huomioiden). Tämän lisäksi esimerkiksi stabiloivaa käsittelyä kaipaavat orgaaniset jätteet, sivutuotteet ja lietteet voidaan hyödyntää suljetusti niin, että kasvihuonekaasujen määrä vähenee verrattuna kontrolloimattomaan hajotukseen. Lisäksi biokaasulla ja uusiolannoitteella voidaan korvata fossiilisia polttoaineita ja mineraalilannoitteita, joiden valmistuksessa syntyvät päästöt vähenevät.

Kiinteät orgaaniset aineet hajoavat hydrolyysissä liukoiseen muotoon, jonka jälkeen ne katalysoidaan erilaisiksi prosessin jatkojohdyntäviksi välituotteiksi, kunnes lopputuloksena syntyy biokaasua (CH₄: ~ 60 %; CO₂: ~ 40 %) ja mädätettä.

Liiallinen määrä tiettyjä välituotteita (esimerkiksi: ammoniakki, ammoniumtyppi, orgaaniset rasvahapot, vety) voivat kuitenkin saattaa prosessin epätasapainoon, jolloin välituotteita kertyy, pH muuttuu mikrobien toiminnalle epäedulliseksi, metaanintuotto vähenee ja prosessi inhiboituu (Mata-Alvarez 2003).

Välituotteiden riskejä pyritään vähentämään muun muassa materiaalien yhteiskäsittelyllä ja esikäsittelyillä. Anaerobinen yhteiskäsittely tarkoittaa kahden tai useamman materiaalin yhteiskäsittelyä prosessissa. Optimaalinen materiaalien valinta parantaa materiaalin C/N-suhdetta ja alkaliniteettiä (puskorointikyky) mahdollistaen tehokkaamman prosessin toiminnan ja parantaen prosessin taloudellista kannattavuutta (energian tuoton kasvu, lopputuotteen lannoite ominaisuudet ja porttimaksut).

Materiaalien mahdollisella esikäsittelyllä ennen mädätysprosessia pyritään hajottamaan orgaaninen materiaali liukoiseen muotoon, jolloin anaerobiset mikro-organismit pystyvät hyödyntämään sen tehokkaammin. Hydrolyysivaihe on usein kiinteän orgaanisen materiaalin hajotuksen hitain ja prosessia rajoittava vaihe.

Naudan lietalanta on yleinen maatilakokoluokan biokaasuprosesseissa käytetty materiaali, sillä sen tuotanto on tasaista ja lehmien määrä on suhteellisen korkea verrattuna muihin tuotantoeläimiin. Naudan lietalannan sisältämä metaanintuottopotentiaali on kuitenkin suhteellisen matala (130 - 240 m³ CH₄/t VS; Ahring ym. 2001, Amon ym. 2006, Angelidaki & Ahring 2000, Lehtomäki ym. 2007, Mladenovska ym. 2006, Møller ym. 2004, Nielsen ym. 2004), koska kasvien ensisijainen energiasisältö on hyödynnetty lehmien ruuansulatuskanavassa ja lantaan jäljelle jäänyt materiaali sisältää hitaasti hajoavaa orgaanista materiaalia, esimerkiksi ligniini yhdisteitä (Lehtomäki ym. 2007). Lietalannan yhteismädättäminen muiden fraktioiden kanssa, kuten esimerkiksi energiakasvit ja orgaaniset jätteet, lisää prosessin taloudellista kannattavuutta (Alvarez & Liden 2008, Lehtomäki ym. 2007, Luste ym. 2012).

Kananlannalla on suhteellisen korkea (300 - 800 m³ CH₄/t VS; Taavitsainen ym. 2002), mutta vaihteleva metaanintuottopotentiaali. Tämä johtuu spesifisistä lannankeräysmetodeista, eli käytännössä siitä, miten pitkälle lanta on jo ehtinyt hajota ennen biokaasuprosessiin syöttämistä. Kananlannalla on korkea typpipitoisuus, joka hankaloittaa sen anaerobista hajotusta ja biokaasuntuottoa (Salminen & Rintala 2002).

Orgaaninen typpi hajoaa hydrolyysissä liukoiseksi ammoniumtypeksi (NH₄⁻N⁺), joka konvertoi-

tuu ammoniakiksi (NH₃). Korkea pH ja lämpötila edesauttavat ammoniakkin muodostumista. Korkea ammoniakkipitoisuus vaikuttaa metanogeenihin ja niiden kautta metaanin tuotantoon. Tämän vuoksi kananlantaa on suositeltu yhteismädätettäväksi hiilihydraattipitoisen materiaalin, kuten vihannesjätteen, kanssa (Hobson & Wheatley 1993, Hashimoto 1986, Callaghan ym. 2002). Kananlannan yhteismädätys hiilihydraattipitoisen materiaalin kanssa parantaa materiaalin C/N-suhdetta ja alkaliniteettiä (puskorointikyky) mahdollistaen tehokkaamman ja varmemman mikrobitoiminnan prosessissa ja korkeamman biokaasun tuoton (Hashimoto 1986, Mata-Alvarez 2003). Kananlannan korkea typpipitoisuus lisää yhteismädätyksessä naudan lietalannan kanssa syntyneen mädätteen lannoitepotentiaalia, mutta jo 30 % osuus kananlantaa on raportoitu johtavan metaanin tuoton heikentymiseen (Callaghan ym. 2002).

Vihannesjätteen metaanintuotto-potentiaaliksi on raportoitu 370 m³ CH₄/t VS (Viswanath ym. 1992), mutta materiaalin matalat typpi- ja fosfori- ja korkea orgaanisten happojen pitoisuudet suosivat vihannesjätteen yhteismädätystä (Callaghan ym. 2002).

Anaerobinen käsittely stabiloi orgaanista materiaalia ja tuhoaa patogeenejä. Patogeenien tuhoutumiseen vaikuttavat prosessin lämpötila ja riittävä viipymä. Mesofiilinen prosessilämpötila (~ 35 °C), ei useissa tapauksissa ole riittävä patogeenien tuhoutumiseen (Iranpour ym. 2004), kun taas termofiilisen prosessin (~ 55 °C) on raportoitu vähentävän patogeenejä tehokkaasti (Huyard ym. 2000, Lu ym. 2008).

Mädätteen hygieeninen laatu on määritelysopivaksi, kun se ei sisällä salmonellaa ja *E. coli*- tai Enterobakteeri pitoisuudet < 1 000 PMY/g (208/2006/EC). Tämä voidaan tarvittaessa varmistaa erillisellä hygienisoitinkäsittelyllä (70 °C, 60 min, partikkelikoko <12 mm). Ennen prosessia suoritettava hygienisointi saattaa toimia myös lämpöesikäsittelynä, jolla on kiinteää orgaanista ainetta hajottava vaikutus (Luste ym. 2011, Bougrier ym. 2005).

Tämä artikkeli käsittelee EU-osarahoitteista ESBIO – Energiaomavarainen maatila -hankkeen, Mikkelin ammattikorkeakoulun osiossa suoritettuja biokaasuun ja orgaanisten materiaalien anaerobiseen hajoavuuteen liittyviä laboratorio- ja pilot-mittakaavan kokeita. Laboratoriokokeiden tarkoituksena oli määrittää Etelä-Savossa saatavilla olevien materiaalien soveltuvuutta anaerobisen hajotuksen materiaaleiksi, sekä materiaalien biokaasun ja metaanin tuottopotentiaaleja. Erityistä huomiota kiinnitettiin naudan lietalannan, ka-

nanlannan ja vihannesjätteen yhteismädätykseen. Kokeiden aikana määritettiin materiaalien vaatimien käsittelyiden (murskaus, kestäväointi, hygienisointi) synergistisiä vaikutuksia prosessiin, metaanintuottoon ja mädätteen hygieniseen laatuun. Päällimmäisenä tavoitteena oli metaanintuoton lisääminen, johon pyrittiin optimoitujen seos-suhteiden, kuormituksen ja viipymän säätelyn sekä yhteismädätyksen keinoin.

MATERIAALIT JA MENETELMÄT

MATERIAALIT

Hankkeen aikana määritettiin seuraavien Etelä-Savossa saatavilla olevien orgaanisten materiaalien metaanintuottopotentiaalit ja soveltuvuus biokaasun tuotantoon: naudan lietelanta, kananlanta, ruuanjalostusteollisuuden vihannesjäte (Taulukko 1) sekä yhdyskunnan jätevedenpuhdistamon liete (pH: 6,9 - 7,2; TS: 4,5 - 5,6 %; VS: 3,0 - 3,5 %), kartonkitehtaan jätevesiliete (pH: 5,8; TS: 16 %; VS: 13 %), kotitalouksien biojäte (pH: 4,9; TS: 28 %; VS: 26 %), haja-asutusalueiden sakokaivolietteen (pH: 5,8; TS: 1,1 %; VS: 0,9 %), maa-artistokka (TS: 48 %; VS: 40 %) ja nurmirehu (pH: 14; TS: 5,4 %; VS: 4,1

%), maitoteollisuuden sivutuotteet (pH: 6,8; TS: 12 %; VS: 11 %), leipomojen sivutuotteet (TS: 53 %; VS: 50 %), hillojen tuotannon sivutuotteet (TS: 37 %; VS: 35 %), hevosenlanta (pH: 6,8; TS: 6,9 %; VS: 6,8 %), sokerivesi elintarviketeollisuudesta (pH: 3,5; TS: 19 %; VS: 18 %), järvikala vesistöjen hoidosta (pH: 6,4; TS: 26 %; VS: 23 %) ja glyseroli (pH: 14) bioetanolin valmistuksesta.

Naudan lietelanta ja kananlanta kerättiin keskikokoisista eteläsavolaisista kanaloista ja nave-toista. Ruokateollisuuden vihannesjäte koostui kauppakunnostetuista salaatin lehdistä ja kannoista. Jäteveden puhdistamoliete sekä sako- ja umpikaivolietteen olivat Mikkelin Kenkäveron jätevedenpuhdistamolta. Teollisuuden sivutuotteet olivat peräisin maakunnan yrityksistä ja biojätteet paikalliselta jätehuolto-yhtiöltä. Bakteeriympäristö reaktorien käynnistämiseen oli materiaalien ja ympin ja materiaalien samankaltaisuudesta riippuen peräisin joko Mikkelin jätevedenpuhdistamolta (viipymä: 21 vuorokautta; vrk; 35 °C; pH: 7,5; TS: 3,4; VS: 1,8), Jyväskylän maatilamittakaavan biokaasulaitokselta (viipymä 21 vrk, 35 °C; pH: 7,7; TS: 5,4; VS: 4,1) tai Juvan keskitetyltä biokaasulaitokselta (viipymä 21 vrk, 35 °C; pH: 7,7 - 8,2; TS: 3,2 - 6,3; VS: 2,3 - 4,5). Bakteeriympin metaanintuotto on vähennetty panosten ilmoitetusta metaanintuotosta.

Taulukko 1. Perusseoksena käytettyjen materiaalien (Naudan lietelanta, kananlanta ja vihannesjäte) ominaisuudet.

	Lietelanta	Kananlanta	Vihannesjäte
pH	7,2-7,8	7,5-8,0	6,0-6,3
TS (%)	5,4-8,3	20 -29	3,1-3,8
VS (%)	3,9-6,6	15-21	2,8-3,2
Kokonaistyyppi (mg/g)	2,8	15	0,9
Liukointyyppi (mg/g)	1,8	13	0,7
Ammoniumtyppi (mg/g)	1	10	0,4
Kokonaisfosfori (mg/g)	0,4	1,7	0,1
Liukoinfosfori (mg/g)	0,3	1,6	0,1
Kokonaisbakt. (PMY/g)	140 milj.	710 milj.	280 milj
Enterobakt. (PMY/g)	6 600	400	-
Klostridit (PMY/g)	400	16 000	-
Biokaasupot. (m ³ /t VS)	280-300	520	620
CH ₄ pot. (m ³ /t VS)	150-200	300	250
CH ₄ -pitoisuus (%)	40-60	49	42
Biohajoavuus (%)	46	80	85

ESIKÄSITTELYT

Ennen reaktoriin syöttöä tapahtuvan hygienisoinnin ($70\text{ °C}/1\text{ tunti}$, partikkelikoko $< 12\text{ mm}$) vaikutusta metaanintuottopotentiaalin lisääntymiseen ja mädätteen hygienisoitumiseen tutkittiin biojätteen sekä naudan lietalannan, kananlannan ja vihannesjätteestä koostuvan seoksen (Seos A) mädätyskokeiden yhteydessä. Kemiallisen esikäsitteilyn vaikutusta metaanintuottoon tutkittiin järvikalan käsittelyn yhteydessä. Kemiallisen käsittelyn päätarkoitus oli materiaalin kestävänti varastointia varten. Kemiallinen käsittely suoritettiin rehukan säilömisohjeen mukaisesti metaanihapolla ja antioksidantilla (resepti ei saatavilla). Reaktoreiden syötön mahdollistamiseksi kaikki materiaali oli murskattu pienempään palakokoon ($< 1\text{ cm}$).

PANOSKOKEET JA PILOT-KOKEET

Panoskokeiden tarkoituksena oli selvittää materiaalin tai seoksen soveltuvuus anaerobiseen hajoituksen materiaaliksi, biohajoavuus ja metaanintuottopotentiaali.

Panoskokeet tehtiin Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa kaikille erillisille materiaaleille ja seuraaville lietalannan, kananlannan ja vihannesjätteen seoksille (mp):

- A) 70:10:20
- A*) Hygienisoitu seos A
- B) 76:13:11
- C) 50:25:25
- D) 82:15:3
- D*) Pilot-panos seoksella D.

Panoskokeet suoritettiin rinnakkaisissa kahden litran umpinaisissa reaktoreissa, $33 \pm 2\text{ °C}$. Tutkittavien materiaalien lisäksi panoksiin lisättiin bakteeriympästä (750 g/ panos) ja täydennettiin vedellä $1,5\text{ litraan}$. pH säädettiin (2 M NaOH , 6 M HCl) anaerobisten bakteerien hajotustoiminnalle optimaaliseksi. Biokaasu kerättiin talteen alumiiniinisiin kaasupusseihin (Tesseraux Spezialverpackungen GmbH, Saksa) analyysiä varten. Panoskokeet olivat käynnissä $35 - 40\text{ päivää}$. Ympin erillinen biokaasuntuotto vähennettiin muiden panosten kaasuntuotoista. Panokset sekoitettiin kaasumittausten yhteydessä.

Pilot-koereaktori oli jatkuvasekoitteinen $2,7\text{ m}^3$ panosreaktori (ympästä $0,7\text{ m}^3$), $35 \pm 2\text{ °C}$. Pilot-reaktorilla tutkittiin seoksen D* anaerobista hajoamista ja potentiaalia. Pilot-kokeen tuloksia verrattiin laboratoriomittakaavan panokseen D. Pilot-mittakaavankoe kesti 55 päivää ja se toteutettiin Jyväskylässä Metener Oy:llä.

JATKUVATOIMISET REAKTORIKOKEET

Jatkuvatoimiset reaktorikokeet tehtiin kolmessa viiden litran reaktorissa, $33 \pm 2\text{ °C}$:ssa. Reaktorit olivat jatkuvasekoitteisia (300 rpm ; Heidolph MR 3001 magneettisekoittaja, Saksa) ja ne simuloivat keskitetyn biokaasulaitoksen täyden mittakaavan prosessia. Reaktorit syötettiin viitenä päivänä viikossa, 65 päivän ajan. Reaktoreiden viipymä oli 21 vrk , jonka jälkeen reaktorilietteen hygienisoitumista seurattiin jälkimädätyksessä 35 vrk :tta.

Kolmea koereaktoria (R1 - R3) syötettiin naudan lietalannan, kananlannan ja vihannesjätteen seoksella (mp) seuraavasti:

- R1) 70:10:20
- R2) 69:10:20 & $\sim 1\%$ glyserolia
- R3) 60:20:20

Noin 1% :n (mp) R2:n glyseroli-lisäys tehtiin kirjalisuuden perusteella (Fountoulakis ym. 2010). R1:n syöteseos oli sama kuin panoskokeissa käytetty seos A.

Koepäivien $0 - 44$ välillä R1:n ja R2:n kuormitus oli $2,1 \pm 0,1\text{ kg VS/m}^3$ päivä ja R3:n $2,4 \pm 0,1\text{ kg VS/m}^3$ päivä. Koepäivien $45 - 65$ välillä R1:n ja R2:n kuormitusta nostettiin $3,0 \pm 0,1\text{ kg VS/m}^3$ päivä ja R3:n $3,6 \pm 0,1\text{ kg VS/m}^3$ päivä (ks. 3.3). Koska reaktori ei korotetulla kuormituksella ehtinyt toimia yli 21 vrk :n siirtymävaihetta (jolloin koko reaktorin käsittelytilavuus olisi vaihtunut), tulosten pääpaino on päivien $21 - 45$ toiminnalla.

ANALYYSIT

Tutkimuksessa mitattiin materiaalien hydrolysoitumista, kiintoainepitoisuutta (TS & VS), metaanintuottoa ja mädätteen hygieenistä laatua (taulukko 2). Biokaasun tilavuus mitattiin vettä syrjäyttämällä ja sen metaanipitoisuus selvitettiin kaasukromatografilla (Agilent 6890N: PerkinElmer Elite-Alumina kolonni $30\text{ m} \times 0,53\text{ mm}$, liekki ionisaatio detektori 225 °C , uuni 100 °C , inlet 225 °C , kantajakaasu helium 10 ml/min , jakosuhte $35:1$, näytetilavuus $100\text{ }\mu\text{l}$).

Lyhyt ketjuisia rasvahappoja (asettaatti, propioni, iso-butyraatti, butyraatti, isovaleriaatti, valeriaatti, kaproini happo) määritettiin jatkuvatoimisten reaktorikokeiden yhteydessä. Määrittäminen suoritettiin kaasukromatografilla (Agilent 6890N GC-FID, kolonni Agilent HP-FFAP $30\text{ m} \times 0,32\text{ mm} \times 0,25\text{ }\mu\text{m}$; Luste ym. 2011).

Taulukko 2. Tutkimuksissa käytetyt analyysit ja menetöt.

Analyysi	Testi	Metodi
pH	SFS 3021	MeterLab, PHM210
COD liukoinen	SFS 5504	Poltto, titraus
Kokonaistyyppi	EN ISO 20483, mukailleen	Kjeldahl
Liukointyyppi	SFS 5055	Kjeldahl
Ammoniumtyyppi	Pikatestit	V-2000 fotometri, CHEMetrics
Kokonaisbakt.	SFS EN ISO 4833	Inkubointi 48 h
Enterobakt.	Pohjoismainen elintarvikkeiden metodiikka-komitea, menetelmä no 114, 2. painos soveltuvin osin	Inkubointi 24 h
Klostridit	CEN 26461-2	Inkubointi 48 h
TS, VS analyysit	SFS 3008	Kuivaus ja hehkutus

Kaasumaisen ammoniakkin (NH_3) osuus mädätteen liukoisesta ammoniumtyyppistä ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) laskettiin yhtälöllä 1 (Martinnelle & Häggström 1997):

$$[\text{NH}_3] = [\text{NH}_x] * 10^{(\text{pH}-\text{pK}_a)} / (1 + 10^{(\text{pH}-\text{pK}_a)}).$$

Liukoisuus vakio (pK_a) 35 °C:ssa on 8,95, tyyppi-
toisuutena määrittämisessä on käytetty $\text{NH}_4\text{-N}$ pitoi-
suutta ja haihtuva-osuus on riippuvainen lämpöti-
lasta ja pH:sta. Biohajoavuutta indikoi kiintoaine
(VS) poistuma.

TULOKSET JA TARKASTELU

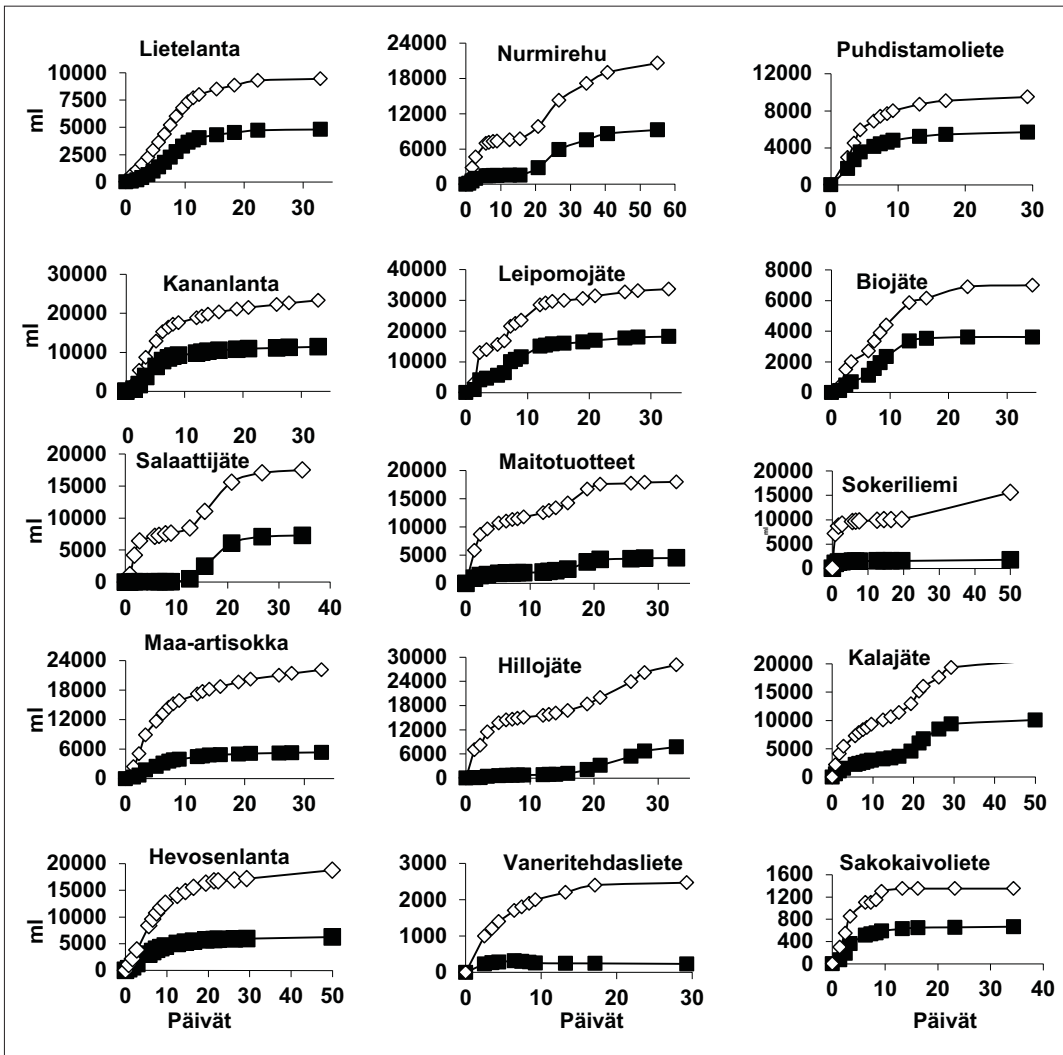
MATERIAALIKOKEET

Kaikki tutkitut materiaalit olivat biohajoavia ja soveltuivat tältä osin anaerobisen käsittelyn materiaaleiksi. Kuitenkin vaneritehtaan-, sako- ja umpikaivo-lietteissä kaasuntuotto-potentiaalit olivat huomattavan matalat korkean puuainepitoisuuden ja/tai matalan kiintoainepitoisuuden vuoksi (Kuva 1).

Puolestaan hillojäte, sokeriliemi, salaattijäte, maa-artisokka eivät soveltuneet anaerobiseen käsittelyyn erillisinä fraktioina, mikä näkyi alen-

tuneena, viivästyneenä tai epätasaisena metaanintuotona (Kuva 1). Liian korkeat pitoisuudet orgaanisia rasvahappoja tai ammoniakkia inhiboivat yleensä ensimmäisinä metaania muodostavien bakteerien toimintaa, mikä näkyy alentuneena metaanintuotona (Mata-Alvarez 2003).

Ilman optimaalisten mädätysolosuhteiden luomista (kemiallinen puskurointi, pH:n säätö) myös kananlannan, leipomojätteen, kalajätteen ja biojätteen erillismädätys olisi ollut hankalaa (Callaghan ym. 2002, Hashimoto 1986). Kuvan 1 alun pitkälepovaihe metaanintuotannossa (esimerkiksi salaattijäte) kertoo metanogeenien adaptoitumista olosuhteisiin. Mahdollisten välituote inhibition



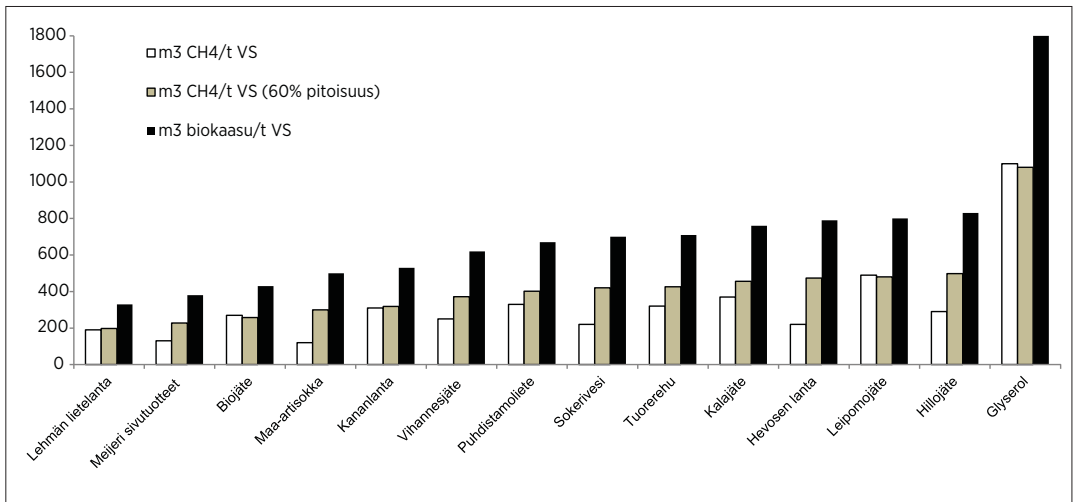
Kuva 1. Biokaasun (◇) ja metaanin (■) kumulatiivinen tuotto (ml) Etelä-Savossa saatavilla olevista orgaanisista materiaaleista.

(rasvahapot, NH_3) ja pH muutoksien lisäksi on huomioitava monen materiaalin (esimerkiksi kananlanta) suhteellisen korkea kuiva-ainepitoisuus ($\text{TS} > 20\%$), jolloin märkämädätys tekniikkaa ei enää voida hyödyntää, vaan kyseeseen tulee ns. kuivämädätys.

Tutkittujen orgaanisten materiaalien biokaasuntuottopotentialit vaihtelivat välillä 170 - 900 m^3/t VS ja metaanintuottopotentialit 20 - 490 m^3/t VS (Kuva 2). Biokaasun metaanisältö oli välillä 30 - 65 %. Lisätty bakteeriympäristö ei kaikkien panosten kohdalla ehtinyt sopeutua erilaisiin ma-

teriaaleihin, mikä on saattanut vähentää biokaasun metaani-pitoisuutta, verrattuna pidemmän käsittelyajan aikana sopeutuneeseen populaatioon. Vertailun helpottamiseksi metaanipotentiali on annettu myös 60 %:in metaanipitoisuuden mukaan (Kuva 2).

Kuvaan 2 on koottu tutkittuja orgaanisia materiaaleja, joiden kaasupotentiaali on suurempi kuin naudan lietalannan. Glyserolin biokaasun- (1 700 m^3/t VS) ja metaanintuottopotentialit (1 080 $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{t}$ VS) määritettiin laskennallisesti yhteismädätys-kokeiden perusteella.



Kuva 2. Metaanin- ja biokaasuntuottopotentialit Etelä-Savossa tuotetuista orgaanisista jätteistä, maataloudessa tuotettavista materiaaleista ja teollisuuden sivutuotteista.

LABORATORIOMITTAKAAVAN PANOSKOEKKEET JA PILOT-KOE

Eteläsvolaisten maatilojen naudan lietalantojen metaanintuottopotentiali (170 - 200 $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{t}$ VS) on verrattavissa aiemmin raportoituuihin potentiaaleihin (130 - 240 $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{t}$ VS). Se on kuitenkin suhteellisen matala verrattuna muiden tutkittujen fraktioiden potentiaaleihin. Tämän vuoksi naudan lietalannan, kananlannan ja vihannesjätteen yhteismädätystä tutkittiin panos- ja pilot- ja jatkuva-toimisissa reaktorikokeissa.

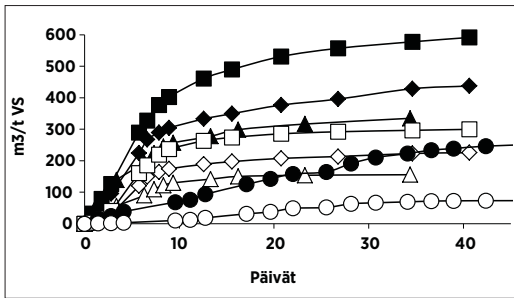
Kaikkina panoksissa (A - D) oli muutaman päivän viive, ennen kuin metaanintuotto alkoi lisääntyä. Metaanintuotto oli korkeinta seoksessa C) 300 $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{t}$ VS ja matalinta seoksessa D) 80 $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{t}$ VS. Seoksen D metaanintuotto alkoi laskea koepäivänä 21, jolloin biokaasun metaanipitoisuus laski 60 %:sta 3 %:iin (Kuva 3). Tämä indikoi metaaninmuodostaja bakteerien inhiboitumista se-

oksessa D. Biohajoavuus kaikissa laboratoriomittakaavan panoksissa oli $65 \pm 3\%$.

Seoksen D ammoniakkipitoisuudeksi laskettiin 310 $\text{mg NH}_3/\text{l}$ (NH_4^+-N 1,8 mg/g ; pH: 8,2; 35 °C). Aiemmissä kokeissa naudan lietalannan ja kananlannan seossuhteen 3:1 ja ammoniakkipitoisuuden 100 - 140 $\text{mg NH}_3/\text{l}$ on todettu haittaavan asettaa hyödyntäviä metaaninmuodostajia (Webb & Hawkes 1985, Callaghan ym. 2002). Anaerobisen prosessin mikro-organismit pystyvät tosin sopeutumisen kautta sietämään jopa 250 $\text{mg NH}_3/\text{l}$ pitoisuuksia (Bujoczek ym. 2000). On huomioitavaa, että kananlannan korkein pitoisuus seoksessa C (25 %; mp) ei johtanut ammoniakkiihbitioon, sillä vastaava määrä runsaasti orgaanisia rasvahappoja sisältävää vihannesjätettä (25 %; mp) paransi seoksen puskuroidintykyä verrattuna seokseen D, jossa vihannesjätettä 3 % (MP).

34 ENERGIAOMAVARAINEN MAATILA

SARI IIVONEN, EERO JÄPPINEN, MIKA LAIHANEN, SAMI LUSTE, ARJA NYKÄNEN, TUIJA RANTA-KORHONEN, SARI SEPPÄLÄINEN, PENTTI SEURI, HANNE SOININEN, TIINA TONTTI JA HANNA-MAIJA VÄISÄNEN



Kuva 3. Naudan lietalannan, kananlannan ja vihannesjäte-seosten biokaasun- ja metaanintuotto-potentiaalit.

- A) biokaasu: ▲; metaani: △,
 B) biokaasu: ◆; metaani: ◇,
 C) biokaasu: ■; metaani: □
 D) biokaasu: ●; metaani: ○.

Taulukossa 3 on esitetty teoreettinen metaanintuottopotentiali perustuen erillisesti tutkittujen materiaalien potentiaaleihin ja niiden suhteellisiin osuuksiin (mp) seoksessa. Erityisesti seoksen A potentiaali jää huomattavasti odotetusta, vaikka metaanipitoisuus on suhteellisen korkea verrattu-

na muihin panoksiin (> 50 %). Myös jatkuvatoimisten kokeiden vastaava seos tuotti 21 vrk:n aikana huomattavasti enemmän metaania, verrattuna potentiaali määritykseen. Koska metaanintuotto oli suhteellisen tehokasta ja biohajoavuus panoksessa oli verrattavissa muihin panoksiin sekä aiemmin raportoituihin kokeisiin vastaavilla materiaaleilla (65 %; Luste ym. 2012), ei syytä alentuneeseen biokaasun tuottoon pystytty selittämään esimerkiksi heikentyneellä hydrolyysillä tai metaanin muodostuksen häiriintymisellä.

Yksittäisten materiaalien mukaan seoksille lasketut biokaasun- ja metaanipotentialit eivät välttämättä ole suoraan verrattavissa keskenään. Tämä johtuu eri materiaalien positiivisista tai negatiivisista fysikaalis/ kemiallisista yhteisvaikutuksista käsittelyn aikana (Ashkekuzzaman ym. 2011). Eri materiaalien yhteiskäsittelyllä pyritään aikaansaamaan positiivista yhteisvaikutusta (puskurointikyky, C/N-suhde, viskositeetti) verrattuna materiaalien erilliskäsittelyyn. Tällaisia synergia etuja materiaalien välillä on huomattavissa seoksissa C ja D*, joissa metaanintuotto ylittää laskennalliset pitoisuudet (Taulukko 3).

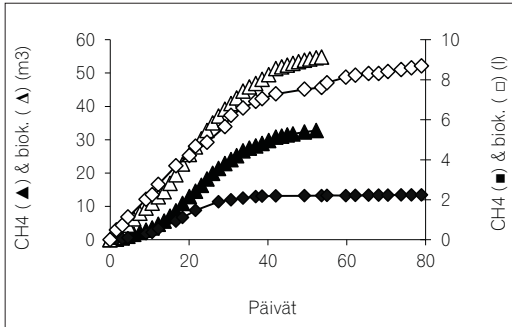
Taulukko 3. Naudan lietalannan, kananlannan ja vihannesjätteen seosten (A-D) anaerobinen hajotus panos- ja pilot-reaktoreissa.

Syöteseos (%) Lietelanta/Kananlanta/ Vihannesjäte	A) 70/10//20	A*) Hyg.	B) 76/13/11	C) 50/25/25	D) 82/15/3	D*) Pilot
Ennen mädätystä						
pH	6,9	7,4	7,4	7,5	-	-
TS (%)	9,3	9,7	9,8	11	9,1*	9,1*
VS (%)	7,1	7,7	7,7	8,5	7,3	7,3*
COD liukoinen (g/l)	-	-	3,6	5,6	-	-
Mädätyksen jälkeen						
pH	7,6	7,6	7,7	7,7	8,2	8,1
TS (%)	1,3	1,4	4,3	4,28	5,1	5,2
VS (%)	0,7	0,8	2,9	2,8	3,6	3,9
COD liukoinen (g/l)	-	-	1,4	1,5	-	-
Biokaasupot. (m³/t VS)	340	600	440	590	290	490
CH ₄ - pot. (m³/t VS)	160	160	230	300	80	290
CH ₄ - pitoisuus (%)	50	30	40	48	22	60
CH ₄ - pot. (CH ₄ -60%)*	250	-	240	290	240	-

* Laskettu materiaalien metaanipotentialeista

Pilot-panosreaktori vs. laboratorio mittakaavan panosreaktori

Sekä laboratoriomittakaavan panosreaktori D, sekä pilot-panoksen seos D* koostuivat samasta suhteesta lietelantaa, kananlantaa ja vihannesjätettä (82:15:3). Pilot-reaktorin biokaasun (490 m³ /t VS) ja metaanin (290 m³ CH₄ /t VS) tuottopotentiali olivat huomattavasti suurempia kuin inhiboituun laboratoriomittakaavan reaktorin (290 ja 80 m³ CH₄ /t VS; Taulukko 3; Kuva 4).



Kuva 4. Biokaasun- ja metaanintuotot naudan liete-lanan, kananlannan ja vihannesjätteen seoksesta D pilot-panoksessa (m³; biokaasu: Δ; metaani: ▲) ja laboratoriomittakaavan panoksissa (l; biokaasu: ◇; metaani: ◆).

Biohajoaminen seoksessa D oli 41 % ja seoksessa D* 35 %, mikä osoittaa, että huolimatta matalasta metaanintuotosta materiaali hajosi tehokkaasti. Tämä on osaltaan saattanut vaikuttaa ammonium-typen vapautumiseen ja pH:n nousuun, joka on puolestaan edistänyt inhiboivan ammoniakkin muodostumista (Hobson & Wheatley 1993). Pilot-reaktorissa 43 % kokonaistypestä oli ammoniumtyyppinä, kun taas laboratorio mittakaavan panoksessa vastaava luku on 65 %. Huomattavasti suurempi määrä ammoniakkia muodostui seoksesta D. Laboratoriomittakaavan panokset käsitelivät seosta myös huomattavasti pidempään, joka osaltaan vaikuttaa materiaalien korkeampaan stabiilisuuteen.

Merkitsevimät erot pilot- ja laboratoriopanosoksen välillä (jotka ovat saattaneet vaikuttaa eroon metaanin tuotossa) ovat panosten kokoerot, erot syötesekoksen määrässä ja sekoituksessa (pilot-panoksessa jatkuva sekoitus, laboratoriopanos sekoitettiin manuaalisesti kaasumittausten yhteydessä). Sekoituksella ja sen intensiteetillä on todettu olevan suuri merkitys metaanintuotolle (Kapara ju ym. 2008). Sopiva sekoitus yhdessä seoksen sopivan TS-pitoisuuden kanssa parantaa huomattavasti biohajoamista sekä materiaalin ja bakteerien välistä kontaktia, mikä ylläpitää parempaa

puskurointikykyä (Mata-Alvarez 2003, Cavinato ym. 2010). Jatkuva sekoitus on saattanut myös helpottaa inhiboivan ammoniakkin haittumista seoksesta, joka on estänyt pH:n nousua ja ammoniakkin muodostumista.

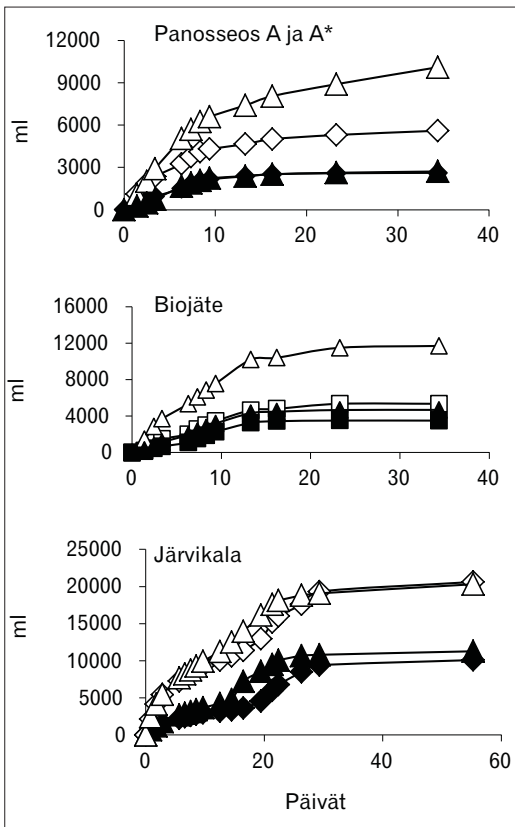
Esikäsittelyt

Seos A:lle ja biojätteelle suoritettiin hygienisointi (70 °C/1 tunti) ennen reaktoriin syöttöä. Hygienisointi käsittely on pakollinen biojätteelle, kuten muillekin elintarviketeollisuuden sivutuotteille. Hygienisointi lisäsi seoksen A* biokaasuntuottoa 40 %, pidentäen samalla biokaasun aktiivista tuotovaihetta noin 1 - 2 vrk:ta verrattuna hygienisoimattomaan seokseen A. Hygienisointi ei kuitenkaan nostanut metaanintuottopotentialia (A, A*: 160 m³ CH₄/t VS; Taulukko 3; Kuva 5), joka johtui kaasun vähentyneestä metaanipitoisuudesta (28 %), verrattuna hygienisoimattomaan seokseen (50 %). Tämä saattaa johtua tehostetussa hydrolyysissä vapautuneista liukoisista välituotteista, kuten rasvahapoista, jotka ovat saattaneet inhiboida herkkiä metaaninmuodostaja bakteereita. Tätä ei kuitenkaan todennettu rasvahappo mittauksin. Hygienisointi kasvatti materiaalien (Seos A, biojäte) biohajoamista 3 - 5 % ja lisäsi biokaasun sekä metaanintuottoa kotitalouksista kerätyistä biojätteistä noin 25 %. Kemiallinen esikäsittely puolestaan nosti järvikalan metaanintuottoa noin 9 % (Kuva 5).

Kaikki esikäsittelyt tehostivat mikrobien hajoamista ja lisäsivät biokaasuntuottoa. Esikäsittelyiden kannattavuutta ei kuitenkaan ratkaise ainoastaan nettoenergiansaanto (metaanintuoton lisäys - esikäsittelyn käyttämä energia), vaan esimerkiksi edellä suoritettujen esikäsittelyiden olisi suoritettava materiaaleille joka tapauksessa, joten lisääntynyt metaanintuotto on synergiaetua, jonka vaikutus prosessikokonaisuuteen täytyy arvioida tapauskohtaisesti.

36 ENERGIAOMAVARAINEN MAATILA

SARI IIVONEN, EERO JÄPPINEN, MIKA LAIHANEN, SAMI LUSTE, ARJA NYKÄNEN, TUJJA RANTA-KORHONEN, SARI SEPPÄLÄINEN, PENTTI SEURI, HANNE SOININEN, TIINA TONTTI JA HANNA-MAIJA VÄISÄNEN



Kuva 5. Kaasun tuotot hygienisoidusta (Biokaasu: Δ ; Metaani: \blacktriangle) ja alkuperäisestä (Biokaasu: \diamond ; Metaani: \blacklozenge) seoksesta A ja biojätteestä sekä järvikalan kemiallinen esikäsitellyä.

JATKUVATOIMISET LABORATORIOKOKKEET

Jatkuvatoimisilla laboratoriomittakaavan reaktorikokeilla simuloitiin syötteiden käyttöä ja käyttäytymistä täysmittakaavan biokaasureaktorissa. Reaktorien viipymä oli 21 vrk. Reaktorin kuormitusta kasvatettiin koepäivänä 45.

Spesifinen metaanintuotto 21 vrk:n viipymällä R1:stä oli $180 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{t VS}$, R2:sta $270 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{t VS}$ ja R3:sta $190 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{t VS}$, kun laskennalliset potentiaalit (materiaalien metaanintuottopotentiaalien perusteella) seoksille olivat vastaavasti 250, 270, $270 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{t VS}$.

Glyserolin lisäys R2:een lisäsi metaanipitoisuutta 10 %, biohajoavuutta 9 % ja metaanintuottoa 45 % 21 vrk:n reaktori viipymän aikana verrattuna R1:sen vastaaviin arvoihin. Glyseroli on liukoisessa muodossa oleva alkoholi, joka on suoraan reaktorin mikro-organismien hyödynnettävissä. Korkeampi liukoisesta materiaalin määrä tehostaa bakteerien toimintaa, mikä nopeuttaa mädätystä

ja lisää metaanintuotantoa, jolla puolestaan on todettu olevan hydrolyysiä ja täten biohajoamista tehostava vaikutus (Palenzuela-Rollon 1999, Miron ym. 2000).

Korkeampi kananlannan osuus seoksessa tarvitsee vastapainoksi riittävästi orgaanisia happoja sisältävää materiaalia, mutta myös pidemmän viipymän. R3:sen seos sisälsi eniten kananlantaa (20 %; mp) ja sen biohajoaminen 21 vrk aikana oli 35 %, kun se R1:ssä oli 43 % ja R2:ssa 48 %. Hitaammasta hajoamisesta indikoi myös R3:sen moninkertainen orgaanisten happojen pitoisuus mädätteisessä (Taulukko 4) ja jälkimädätyksen korkeampi metaanintuotto ja verrattuna R1:een (28 %) ja R2:een (52 %). Reaktorilietteiden jälkimädätys kuitenkin tehosti biohajoamisen 72 %:iin (21 vrk mädätys + 35 vrk jälkimädätys). Jälkimädätys (21 + 35 vrk) ei tuottanut metaania merkittävästi vähemmän kuin pidempään kestäneet potentiaalikoeket (35 - 40 vrk).

Kun kuormitusta kasvatettiin (R1 & R2: $3,0 \pm 0,1 \text{ kg VS}/\text{m}^3$ päivä ja R3: $3,6 \pm 0,1 \text{ kg VS}/\text{m}^3$ päivä) koepäivänä 46, metaanintuotto laski R2:ssa nopeasti ja R1:ssä sekä R3:ssa hitaammin. R2:sen orgaanisten happojen määrä kävi kuormituksen vaihdoksessa $2500 \text{ mg}/\text{l}$:a, kun $2200 - 4900 \text{ mg}/\text{l}$ on jo raportoitu inhiboivan metaanintuottoa (Kalle & Menon 1984, Siebert & Banks 2005, Climet ym. 2007). Rasvahappojen pitoisuus nousi kuormitusta nostettaessa kaikissa reaktoreissa aluksi voimakkaasti (R1: $280 - 100 \text{ mg}/\text{l}$; R2: $2500 - 272 \text{ mg}/\text{l}$; R3: $1400 - 160 \text{ mg}/\text{l}$) laskien mikrobin tottuessa korkeampaan kuormitukseen. Samalla hetkellisesti heikentynyt metaanintuotto alkoi lisääntyä (Kuva 6). Kuormituksen noston vaikutusta ei voida verrata matalampaan kuormitukseen (päivät 0 - 45), sillä reaktorin sisältö ei ehtinyt vaihtua ennen kokeen lopetusta (päivä 65). Tasaantuva kaasuntuotto ja rasvahappojen tehostunut poisto reaktorista antavat kuitenkin viitteitä reaktorien sopeutumisesta pidempään jatkuneeseen korkeampaan kuormitukseen.

HYGIENIAVERTAILU

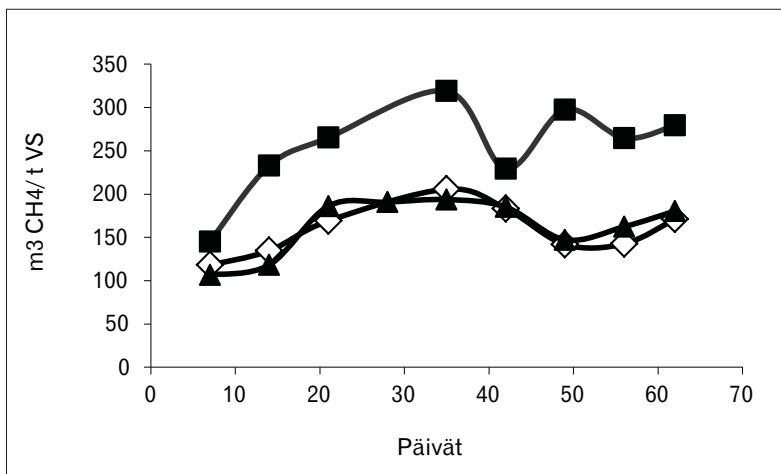
Reaktoriviipymän (21 vrk) jälkeinen 35 vrk:n jatkomädätys lisäsi materiaalien biohajoamista ja patogeenien tuhoutumista. Enterobakteerien pitoisuus väheni alle raja-arvon ($< 1000 \text{ PMY}/\text{g}$; 208/2006/EC) jo 21 vrk:n käsittelyn aikana sekä laboratoriomittakaavan että täyden mittakaavan prosesseissa. Jälkimädätys laski patogeenipitoisuudet hygienisoidun raakasyötteen tasolle (Taulukko 5).

Hygienisoidun panoksen loppumädätteen bakteeriympäristö (reaktoriliete 21 vrk) ei hygienisoitu, mikä osaltaan heikentää mädätteen hygieenistä laatua verrattuna hygienisoituun syötteeseen.

Taulukko 4. R1, R2 ja R3 syötteiden ja mädätteiden ominaisuudet sekä metaanintuotto päivien 21 - 46 välillä.

Lietelanta/ kananlanta/ vihannesjäte	R1) 70/10/20	R2) (1%Glys.)	R3) 60/20/20
Mädätystä ennen			
Viipymä (vrk) / kuormitus (g VS/vrk l)	21/ 2,0	21/ 2,0	21/ 2,0
pH	6,8	6,9	7,2
TS (%)	5,3 ±0,2	5,4 ±0,2	6,5 ±0,2
VS (%)	4,3 ±0,2	4,3 ±0,3	5,0 ±0,2
COD liukoinen (g/l)	11 ±3	18 ±4	16 ±1
Kokonaistyyppi (mg/g)	2,2 ±0,1	2,2 ±0,1	2,8 ±0,2
Liukointyyppi (mg/g)	1,5	1,6	1,7
Mädätyksen jälkeen			
pH	7,4-7,6	7,3-7,7	7,4-7,6
TS (%)	2,9 ±0,1	2,9 ±0,1	3,1 ±0,1
VS (%)	2,2 ±0,1	2,1 ±0,1	2,3 ±0,1
COD liukoinen (g/l)	2,1 ±0,9	2,3 ±0,9	2,2 ±0,8
Rasvahapot (mg/l)	4-90	81-580	65-870
Kokonaistyyppi (mg/g)	1,6	1,6	1,8
Liukointyyppi (mg/g)	0,7	0,8	1,0
Biokaasupot. (m ³ /t VS)	360 ±10	470 ±10	360 ±10
CH ₄ - pot. (m ³ /t VS)	180 ±10	270 ±20	190 ±10
CH ₄ - pitoisuus (%)	50 ±4	55 ±4	49 ±5
CH ₄ - pot. (CH ₄ -60%)*	250	260	270
Biohajoavuus (%)	43	48	35

* Laskettu materiaalien metaanipotentiaaleista.

**Kuva 6.** Spesifinen metaanin tuotto jatkuvatoimisista reaktoreista R1 (◇), R2 (■) ja R3 (▲).

38 ENERGIAOMAVARAINEN MAATILA

SARI IIVONEN, EERO JÄPPINEN, MIKA LAIHANEN, SAMI LUSTE, ARJA NYKÄNEN, TUIJA RANTA-KORHONEN, SARI SEPPÄLÄINEN, PENTTI SEURI, HANNE SOININEN, TIINA TONTTI JA HANNA-MAIJA VÄISÄNEN

Taulukko 5. Naudan lietalanta, kananlanta ja vihannesjäte seoksen (70:10:20) kokonaisbakteeripitoisuudet käsittelemättömästä ja hygienisoidusta seoksesta, laboratorio mittakaavan ja täydenmittakaavan reaktorilietteestä (21 vrk) sekä käsittelemättömästä ja hygienisoidusta jälkimädätteestä (21 + 35 vrk).

Syötteet ja mädätteet	Kokonaisbakteerit (PMY/g)	Enterobakteerit (PMY/g)	Klostridit (PMY/g)
Käsittelemätön raakasyöte	38 000 000	300 000	32 000
Hygienisoitu syöte	5 200 000	0	2700
Reaktoriliete (21 vrk; Laboratorio)	3 000 000	640	7100
Reaktoriliete (21 vrk; Täysmittakaava)	4 000 000	280	4100
Loppu mädäte (21+ 35 vrk)	1 300 000	0	4100
Hygienisoitu loppu mädäte (21+ 35 vrk)	4 800 000	59	18 000

Anaerobinen hajotusprosessi vähensi Klostridia-bakteerien määrää huomattavasti alkuperäisestä pitoisuudesta (78 - 91 %), mutta ei ole suoraan verrannollinen käsittelyn kestoon (Taulukko 5). Klostridia-bakteerit pystyvät muodostamaan itiöitä, mikä tekee niistä hyvin kestäviä. Esimerkiksi yksi tässä kokeessa määritetyistä pääajikkeista (*Clostridium perfringens*) ei tuhoudu termofiilisessä käsittelyprosessissa (55 - 60 °C; Sahlström 2002). On siis mahdollista, että hygienisointi käsittely ei ole riittävä itiöiden tuhoamiseksi (70 °C/1 tunti; Luste ym. 2012). Tulosten perusteella näytti siltä, että hygienisointi jopa aktivoi itiöitä ja lisäsi klostridibakteerien määrää mädätteessä (18 000 PMY/g), verrattuna käsittelemättömään mädätteeseen (2 900 PMY/g; Taulukko 5).

Pidentyneen käsittelyajan vaikutus reaktorimädätteen hygienisyyteen oli havaittavissa myös pilot- (55 vrk) ja laboratoriomittakaavan reaktoreissa (80 vrk), jotka käsitelivät seosta D. Pitkäkestoisempi mädätys vähensi Enterobakteerien määrän < 10 PMY/g ja klostridien määrän < 1000 PMY/g, kun pilot-panoksessa vastaavat pitoisuudet olivat < 100 ja 3500 PMY/g. Kokonaisbakteerien osuus pilot-panoksessa oli pienempi, 1,6 milj. PMY/g, kun se laboratorio mittakaavassa oli 8,9 milj. PMY/g.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Kaikki tutkitut materiaalit olivat erittäin biohajoavia ja soveltuivat näin ollen anaerobisessa biokaasuprosessissa käsiteltäviksi. Osalle materiaaleista ei voi suositella erillistä mädätystä, vaan yhteismä-

dätystä korkeita ja inhiboivia välituote pitoisuuksia laimentavan perusmateriaali kanssa.

Naudan lietalanta muodostaa riittävän kostean, tasalaatuisen ja tasaisesti tuotetun pohjamateriaalin yhteismädätykselle. Kaasuntuotannon näkökulmasta lietalannan kanssa kannattaa mädättää orgaanisia materiaaleja, joiden metaanintuottopotentiaali on suurempi kuin naudan lietalannan (> 200 m³ CH₄/t VS) ja jotka muodostavat puskuroidun ja teknisesti helppokäyttöisen seoksen.

Kananlanta sisältää paljon orgaanista tyypeä, joka hajotessaan saattaa alkaa inhiboimaan metaanin tuottoa. Kananlannan yhteismädätys vihannesjätteen kanssa lisää orgaanisia happoja ja seoksen puskurointikapasiteettiä mahdollistaen suuremman kananlanta-osuuden käytön, korkeamman metaanintuoton ja mädätteen suuremman lannoitepotentiaalin.

Pidempi käsittelyaika parantaa mädätteen hygieenistä laatua. Noin 35 vrk jälkimädätys vähensi kokeessa tutkittuja patogenejä samalle tasolle hygienisoidun syöteseoksen kanssa.

Tutkimuksen tulokset korostavat jälkimädätysprosessin tärkeyttä mädätteen hygienisoinnissa, materiaalin stabiloitumisessa ja metaanin tuotossa erityisesti seoksilla jotka sisältävät suurempia osuuksia kananlantaa ja vihannesjätettä.

Glyserolin lisäys biokaasuprosessiin (~ 1 %; mp) tehostaa huomattavasti myös muiden materiaalien biohajoamista ja metaanintuottoa.

Hygienisointi käsittelyllä (70 °C/1 tunti) on mahdollisuus lisätä biokaasun ja metaanintuottoa (25 - 40 %). Käsittely saattaa kuitenkin lisätä inhiboivien välituotteiden määrän metaanintuottoa häiritsevälle tasolle.

LÄHTEET

- Ahring, B., Ibrahim, A. & Mladenovska, Z. 2001. Effect of temperature increase from 55 to 65°C on performance and microbial population dynamics of an anaerobic reactor treating cattle manure. *Wat. Res.* 35: 2446-2452.
- Amon, B., Kryvoruchko, V., Amon, T. & Zechmeister-Boltenstern, S. 2006. Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agric. Ecosyst. Environ.* 112: 153-162.
- Angelidaki, I. & Ahring, B.K. 1993. Thermophilic anaerobic digestion of livestock waste: the effect of ammonia. *App. Microbiol. Biotech.* 38: 560-564.
- Ashekuzzaman, S.M., Tjalfe, G. & Poulsen, B. 2011. Optimizing feed composition for improved CH₄ yield during anaerobic digestion of cow manure based waste mixtures *Biores. Tech.* 102: 2213-2218.
- Alvarez, R. & Lidén, G. 2008. Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste. *Renew. Energ.* 33: 726-734.
- Bougrier, C., Carrère, H. & Delgenès, J. 2005. Solubilisation of waste-activated sludge by ultrasonic treatment. *Chem. Eng. J.* 106: 163-169.
- Bujoczek, G., Oleszkiewicz, J., Sparling, R. & Cenkowski, S. 2000. High Solid Anaerobic Digestion of Chicken Manure. *J. Agricult. Eng. Res.* 76: 51-60.
- Callaghan, F. J., Wase, D. A. J., Thayanithy, K. & Forster, C. F. 2002. Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure *Biomass Bioen.* 22: 71-77.
- Cavinato, C., Fatone, F., Bolzonella, D. & Pavan, P. 2010. Thermophilic anaerobic co-digestion of cattle manure with agro-wastes and energy crops: Comparison of pilot and full scale experiences. *Bior. Tech.* 101: 545-550.
- Climent, M., Ferrer, I., Mar Baeza, M., Artola, A., Vázquez, F. & Font, X. 2007. Effects of thermal and mechanical pretreatments of secondary sludge on biogas production under thermophilic conditions. *Chem Eng J.* 133: 335-342.
- Commission of the European Communities (208/2006/EC): Commission regulation amending Annexes VI and VII to Regulation No. 1774/2002 of the European Parliament and of the Council as regards processing standards for biogas and composting plants and requirements for manure. *OJEU. L* 36/25.
- Fountoulakis, M.S., Petousi, I., Manios, T. 2010. Co-digestion of sewage sludge with glycerol to boost biogas production. *Waste Manag.* 30: 1849-1853.
- Hashimoto, A. 1986. NH₃ inhibition of methanogenesis from cattle wastes. *Agricult. Wastes*, 17: 241-261.
- Hobson, P., Wheatley, A. 1993. *Anaerobic Digestion – Modern Theory and Practice.* Elsevier Applied Science, London, Great Britain, 261.
- Huyard, A., Ferran, B. & Audic, J.M. 2000. The two phase anaerobic digestion process: sludge stabilization and pathogens reduction. *Wat. Sci. Tech.* 42: 41-47.
- Iranpour H.H, Cox R.J., Kearney J.H., Clark A.B., Daigler P. & Daigler G.T. 2004. Regulations for biosolids land application in US and European Union. *J. Resid. Sci. Tech.* 1: 209-222.
- Kalle, G. & Menon, K. 1984. Inhibition of methanogenesis and its reversal during biogas formation from cattle manure. *J Biosci.* 6: 315-324.
- Kaparaju, P., Buendia, I., Ellegaard L. & Angelidaki, I. 2008. Effects of mixing on methane production during thermophilic anaerobic digestion of manure: Lab-scale and pilot-scale studies. *Bior. Tech.* 99: 4919-4928.
- Lehtomäki, A., Huttunen, S. & Rintala J. 2007. Laboratory investigations on co-digestion of energy crops and crop residues with cow manure for methane production: Effect of crop to manure ratio. *Resour. Conservat. Recycl.* 51: 591-609.
- Lu, J., Gavala, H.N., Skiada, S.I.V., Mladenovska, Z. & Ahring, B.K. 2008. Improving anaerobic sewage sludge digestion by implementation of a hyper-thermophilic pre-hydrolysis step. *J Environ Manage.* 88: 881-889.
- Luste, S., Heinonen-Tanski, H. & Luostarinen, S. 2012. Co-digestion of dairy cattle manure and industrial meat-processing by-products – Effect of ultrasound and hygienisation pretreatments. *Biores. Tech.* 104: 195-201.
- Luste, S. & Luostarinen, S. 2011. Enhanced methane production from ultrasound pre-treated and hygienized dairy cattle slurry. *Waste Manag.* 31: 2174-2179.
- Martinelle, K. & Häggström, L. 1997. On the dissociation constant of ammonium: effects of using an incorrect pKa in calculations of the ammonia concentration in animal cell cultures. *Biotech. Techniq.* 11: 549-551.
- Mata-Alvarez, J. 2003. *Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes*, 2nd ed., IWA, London, Great Britain.

40 ENERGIAOMAVARAINEN MAATILA

SARI IIVONEN, EERO JÄPPINEN, MIKA LAIHANEN, SAMI LUSTE, ARJA NYKÄNEN, TUJJA RANTA-KORHONEN, SARI SEPPÄLÄINEN, PENTTI SEURI, HANNE SOININEN, TIINA TONTTI JA HANNA-MAIJA VÄISÄNEN

- Mladenovska, Z., Hartmann, H., Kvist, T., Sales-Cruz, M., Gani, R. & Ahring, B. 2006. Thermal pretreatment of the solid fraction of manure: impact on the biogas reactor performance and microbial community. *Wat. Sci. Technol.* 53: 59-67.
- Miron, Y., Zeeman, G., van Lier, J. & Lettinga, G. 2000. The role of sludge retention time in the hydrolysis and acidification of lipids, carbohydrates and proteins during digestion of primary sludge in CSTR systems. *Wat. Res.* 34: 1705-1713.
- Møller, H., Sommer, S. & Ahring, B. 2004. Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. *Biomass Bioenerg.* 26: 485-495.
- Nielsen, H., Mladenovska, Z., Westermann, P. & Ahring, B. 2004. Comparison of two-stage thermophilic (68°C/55°C) anaerobic digestion with one-stage thermophilic (55°C) digestion of cattle manure. *Biotech. Bioeng.* 86: 291-300.
- Palenzuela-Rollon, A. 1999. Anaerobic digestion of fish wastewater with special emphasis on hydrolysis of suspended solids. Ph.D. thesis, Balkema Publishers, Wageningen University.
- Sahlström, L. 2002. A review of survival of pathogenic bacteria in organic waste used in biogas plants. *Biores. Tech.* 87: 161-166.
- Salminen, E. & Rintala, J. 2002. Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste – a review. *Bior. Tech.* 83: 13-26.
- Siegert, I. & Banks, C. 2005. The effect of volatile fatty acid additions on the anaerobic digestion of cellulose and glucose in batch reactors. *Proc Biochem.* 40: 3412-3418.
- Taavitsainen, T., Kapuinen, P. & Survo, K. 2002. MaLLa-hankeen loppuraportti: Maatalouden lietteiden ja lantojen keskitetyn käsittelyn mallinnus:133.<http://kokoeko.savonia-amk.fi/MaLLa%20-hankkeen%20loppuraportti.pdf>
- Webb, A.R. & Hawkes F.R. 1985. The anaerobic digestion of poultry manure: variation of gas yield with influent concentration and ammonium-nitrogen levels. *Agricult. Wastes* 14: 135-156.
- Viswanath, P., Devi, S. & Nand, K. 1992. Anaerobic digestion of fruit and vegetable processing wastes for biogas production. *Biores. Tech.* 40: 43-48.

4 BIOKAASULAITOKSEN MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN HYÖDYNTÄMINEN VEHNÄN JA RYPSIN LANNOITTEENA

SARI IIVONEN¹, TIINA TONTTI² JA ARJA NYKÄNEN²

¹HELSINGIN YLIOPISTO, RURALIA-INSTITUUTTI

²MAA- JA ELINTARVIKETALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

TIIVISTELMÄ

Tässä tutkimuksessa testattiin mädätysjäännösten eli mädätteiden lannoitusominaisuuksia vehnän ja rypsin lannoitteena kasvukaudella 2010. Lannoitusvaikutuksia verrattiin markkinoilla saatavilla oleviin potentiaaliisiin orgaanisiin lannoitteisiin ja tasalaatuisen kemialliseen väkilannoitteeseen. Kenttäkokeet toteutettiin luomulohkolla, jossa oli kontrollikäsitteilynä lisälannoittamaton luomupelto. Kokeissa testattiin kahta erilaista mädätysjäännöstä. Toinen mädätysjäännös oli peräisin pilot-mittakaavan koereaktorista, jossa syötteenä oli käytetty kananlantaa, naudanlietelantaa ja salaattijätettä. Toinen oli peräisin maatilamittakaavaisesta biokaasulaitoksesta, jossa raaka-ainesyötteinä oli pääasiassa naudan lietelanta ja nurmibiomassa.

Vehnällä saadut tulokset osoittivat, että mädätysjäännökset sopivat hyvin vehnän lannoitteeksi. Kananlantapohjainen mädätysjäännös antoi riittävän suurella annostuksella mineraalilannoitteen kaltaisen satotuloksen vehnällä. Kananlantapohjaisen mädätysjäännöksen hyvää lannoitusvaikutusta selitti korkea liukoisien typen osuus kokonaistypestä ja korkeampi P/N-suhde naudanlantapohjaiseen mädätysjäännökseen verrattuna. Rypsin lannoitteena mädätysjäännökset antoivat selvästi heikomman siemensadon kuin väkilannoite ja samansuuruisen satotason kuin lisälannoittamaton käsittely. Mädätysjäännösten heikkoa lannoitusvaikutusta selitti todennäköisesti rikin puutos. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että mädätysjäännökset eivät sellaisenaan sovi kevätrypsin lannoitteeksi vaan niiden ravinnesuhteita on tarkasteltava ja tarvittaessa täydennettävä lisäravinteilla tasapainoisen ravinnesuhteen saavuttamiseksi.

JOHDANTO

Luonnonmukaisen tuotannon lisääntyminen ja tavanomaisessa tuotannossa väkilannoitteiden hintakehityksen takia lisääntynyt paine käyttää orgaanisia lannoitteita väkilannoitteiden sijaan on lisännyt tutkimustiedon tarvetta orgaanisten lannoitevaihtoehtojen soveltuvuudesta eri tuotantokasveille.

Luomutilan ravinnehuolto perustuu tilan sisällä tuotettuihin ravinteisiin. Optimaalisessa tilanteessa luomukasvintuotannon ja luomukotieläintuotannon ravinteet kiertävät tilan sisällä. Nykyinen tilakehitys on kuitenkin johtanut erikoistumiseen ja useat kasvinviljelytilat hyödyntävät muissa luomutuotantoyksiköissä ja tavanomaisessa tuotannossa syntyviä lantapohjaisia lannoitevalmisteita tai luomutuotantoon sallittuja kaupallisia valmisteita täydennyslannoitteina. Tilalla käytettävän lannan mukana saa peltoon levittää enintään 170 kg typpeä hehtaaria kohti vuodessa ns. nitraattidirektiivin mukaisesti Luomulainsäädäntö asettaa vaatimuksia lannoituskäytännöille rajaten sallittujen lannoitteiden ulkopuolelle kemiallisesti valmistetut lannoitteet. Luomutuotannossa on sallittua ja tarpeellista käyttää sadon tuottamiseen eloperäisiä täydennyslannoitteita silloin kun riittävä ravinnemäärää ei voida saavuttaa käyttämällä monivuotista viljelykiertoa ja luomutuotantoyksiköistä saatavia orgaanisia aineksia.

Kasvien sadonmuodostuksen kannalta tärkeä ravinnetyyppi (N) on orgaanisissa lannoitteissa sekä liukoisessa että orgaanisessa muodossa ja lannoitteen sisältämän kokonaistypen käyttökelpoisuus kasvin kannalta voi vaihdella paljon lannoitetyypistä riippuen. Myös muiden pää-, sivu- ja hivenravinteiden suhteet lannoitteen tyyppisälttöön vaihtelevat. Kaikki nämä vaikuttavat

keskeisesti lannoitteen kasvinravitsemukselliseen arvoon ja lannoitteen annostelumahdollisuuksiin nitraattidirektiivin ja ympäristötuen ehtojen sallimissa rajoissa. Esimerkiksi maanparannuskompostien kokonaistyyppisällöstä vain pieni osa on heti kasvien käytettävässä muodossa, jolloin ne vaativat kasvinviljelykäytössä liukoisen typen täydennystä (Tontti ym. 2009). Toisaalta esimerkiksi lietemäisillä mädätysjäänöksillä voi liukoisen typen pitoisuus olla samaa luokkaa lietelannan kanssa, jolloin levityksen jälkeisen typen haihdunnan ehkäiseminen on tärkeää.

Viherlannoituksen ja perinteisten kompostien käytön lisäksi luonnonmukaisessa viljelyssä uusia lisälannoitusvaihtoehtoja ovat biokaasulaitoksista syntyvät mädätysjäänökset. Kokeellista tutkimusta on lantapohjaisten mädätysjäänösten lannoituskäytöstä tehty Suomessa hyvin vähän, vaikka biokaasulaitosinvestointeja usein perustellaankin mädätysjäänöksen paremmalla lannoitusarvolla. Lannoitusarvon odotetaan realisoituvan suurempina satotasoina ja/tai parempana sadon laatuana annettua lannoituspanosta kohden. Lisäsadon taloudellinen merkitys voi kuitenkin vaihdella suuresti riippuen tuotantokasvin arvosta, sadon laadusta ja lannoituksen kustannuksista.

Joitakin tutkimuksia on viime aikoina tehty mädätysjäänöksen lannoitusvaikutusten selvittämiseksi ohralla ja nurmella. Mädätetyn sianlannan on todettu olevan lannoitusarvoltaan parempaa kuin mädättämättömän lietelannan ohralla tehdyissä peltokokeissa (Kapuinen ym. 2008b). Sianlanta poikkeaa lannoitusarvoltaan naudannannasta ja peltomaiden rakenteessa on suurta maantieteellistä vaihtelua, joten näitä tuloksia ei voida suoraan soveltaa Etelä-Savon luomuviljelyyn. Mädätettyä naudannantaa on testattu nurmella ja ohralla, joiden kasvuun mädätysjäänöksellä on havaittu olevan positiivisempi vaikutus kuin mädättämättömällä naudannannalla (Kapuinen ym. 2008a, Partanen 2012). Suomen ilmasto-oloissa testattua ja julkaistua tietoa mädätysjäänösten lannoitusvaikutuksista vehnällä ja rypsilä ei ole saatavilla. Suomen tuotanto-olosuhteissa kerätty tieto mädätysjäänösten lannoitusvaikutuksista on kuitenkin tärkeää, sillä Keski-Euroopan kasvuo-oihin verrattuna, meillä on lyhyempi kasvukausi. Lyhyen kasvukauden vuoksi liukoisen typen hyvää käyttökelpoisuus on merkittävä asia mädätysjäänösten lannoitusarvon kannalta. Tämän vuoksi Keski-Euroopan olosuhteissa kerättyä tietoa ei voida suoraan soveltaa Suomen olosuhteisiin. Uusien orgaanisten lannoitevalmisteiden hyödyntäminen ravinteiden saatavuuden kannalta erityisesti vaatelioiden kasvien tuotannossa on käytännön kannalta tärkeää, jotta voidaan monipuolistaa vaatelioiden kasvien lisälannoitusvaihtoehtoja.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli testata mädätysjäänösten eli mädätteiden lannoitusominaisuuksia vehnän ja rypsin lannoitteena ja verrata niiden lannoitusvaikutuksia markkinoilla saatavilla oleviin potentiaalisiin orgaanisiin lannoitteisiin ja tasalaatuisen kemialliseen väkilannoitukseen.

MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSET VEHNÄN LANNOITTEENA

KOEJÄRJESTELYT

Kesällä 2010 toteutetussa peltokokeessa MTT:n Mikkelin Karilan koeasemalla testattiin kahta erilaista mädätysjäänöstä luomulohkolla, jolla oli kasvanut edellisenä kesänä kaksi kertaa kesässä korjattu apilarehunurmi. Koe toteutettiin satunnaistettujen lohkojen kokeena, jossa toistojen määrä oli neljä ja koeruudun koko oli 18 m². Toinen mädätysjäänös oli peräisin pilot-mittakaavan koereaktorista, jossa syötteenä oli käytetty kananlantaa, naudannantaa ja salaattijätettä (Mädäte K). Toinen oli peräisin maatilamittakaavaisesta biokaasulaitoksesta, jossa raaka-ainesyötteinä oli ollut pääasiassa naudannantaa ja nurmibiomasaa (Mädäte N). Peltokokeessa vertailukäsitteilyinä oli lannoittamaton luomupelto, naudannantaa lietelanta, liha-luujauho (Aitoviljo, Honkajoki Oy) ja NPK-lannoite (Pellon Y3 ja kaksoisuperfosfaatti). Lannoitteet levitettiin peltoon käsin pintalevityksenä ja mullattiin maahan joustopiikkiäkeellä. Kevätvehnä (lajike Mahti) kylvettiin (210 kg/ha) 11.5. ja sato puitiin 17.8. Pellon pintamaan maalaji oli hietamoreeni, multavuusluokka vaihteli koeruudun sijainnista riippuen multavasta runsasmultaiseen (muokkauskerroksen orgaanisen aineksen pitoisuus 3-11,9 %) ja pH 6,0-6,5.

Lannoitteet annosteltiin ennakkoon (2 vk) tehtyjen lanta-analysien perusteella, tavoitellen suurimmillaan 100-110 kg liukoisen typen (ammonium- ja nitraattityppi) lisäystä hehtaarille kevätlevityksessä (myöhemmin lannoitustaso ”Max”). Kullakin lannoitusaineella pienempi annostelu oli 70-84 % e.m. liukoisen typen määrästä (myöhemmin lannoitustaso ”70 %”). Lannoitteiden levityksen yhteydessä otetuista kokoomänäytteistä tehtyjen lanta-analysien perusteella laskettiin kuinka paljon kokonaistyyppiä, liukoista tyyppiä, käyttökelpoista fosforia ja kokonaiskaliumia kasvustoille todella annettiin (Taulukko 1). Nestemäisten lannoitteiden tyyppipitoisuudet olivat muuttuneet varastoinnin aikana. Lannoitteiden levityksessä peltoon lisätty liukoisen typen määrä vaihteli 35-138 kg/ha ja kokonaistypen määrä 48-243 kg/ha lannoitetyypistä riippuen.

Taulukko 1. Lannoitteiden toteutuneet levitysmäärät ja typpi-, fosfori- ja kaliumsisällöt kahdella eri lannoitustasolla. Käyttökelpoinen fosfori laskettiin lantapohjaisille materiaaleille käyttäen viljelysääösten oletusta 85 %:n osuudesta kokonaisfosforista.

Lannoitustaso ja -tyyppi	Tuorelevitys (tn/ha)	Kokonais-N (kg/ha)	Liukoinen N (kg/ha)	Liukoisen N:n osuus (%)	Käyttökelpoinen P (kg/ha)	Kokonais-K (kg/ha)
Taso 1: Max						
Lietelanta	81	243	138	57	41	251
Mädäte N	49	68	54	79	4	44
Mädäte K	37	106	92	87	16	73
Viljo	2,1	160	50	31	3	60
NPK		110	110	100	22	47
Taso 2: 70 %						
Lietelanta	57	171	98	57	29	177
Mädäte N	34	48	38	79	3	31
Mädäte K	31	89	77	87	13	62
Viljo	1,5	113	35	31	2	42
NPK		77	77	100	15	33



Kuva 1. Vehnän kenttäkoe hyvässä kasvussa. Lannoitevaikutuksen eroja voi jo havaita kasvuston värissä.

KENTTÄKOEHAVAINNOT JA MITTAUKSET

MAANÄYTTEET PINTAMAASTA

Kokeelta otettiin pintamaanäytteet 20 cm:n syvyyteen maaperäkairalla (putkikaira) jokaisesta ruudusta kokoomanäytteinä. Keväällä maanäytteet otettiin koealueen paikalleen mittaamisen jälkeen, mutta ennen lannoitevalmisteiden levitystä. Kesällä maanäytteet otettiin ruuduittain tähkimisvaiheessa ja syksyllä heti sadonkorjuun jälkeisenä päivänä. Maanäytteet pakastettiin heti näytteenoton jälkeen ja niistä teetettiin myöhemmin viljavuustutkimus akkreditoitussa laboratoriossa. Maanäytteiden liukoinen N uutettiin 0,1 M kaliumsulfaattiliuoksella. Analysointi tehtiin Kjeldahlmenetelmällä devaridan metalli katalyyttinä. Fosforin (P) määrä analysoitiin uuttamalla maanäyte happamaan ammoniumasetaatti-liuokseen ja määrittämällä ammoniummolybdaatti-kompleksi spektrofotometrisesti. Kaliumin (K) määrittämiseksi tehtiin uutto happamaan ammoniumasetaattiliuokseen ja mitattiin kaliumin määrä ICP:llä.

KASVUSTOHAVAINNOT

Kasvustoa viljeltiin luomumenetelmin ja kasvuston kehitystä havainnoitiin virallisten lajikekokeiden ohjeiden mukaisesti (Kts. esim. Kangas ym. 2010). Orastuminen havainnoitiin ruuduittain, poikkeamat kasvuston tiheydessä ja kylvövirheet merkittiin muistiin ja piirrettiin kenttäkarttaan. Muistiin merkittiin se päivä, jolloin pääosa (50 %) oraista oli näkyvässä. Viljojen tähkimisen alkamispäivämäärä merkittiin muistiin ruuduittain. Viljan korkeus mitattiin ruuduittain kolmesta kohdasta siitä, mihin valtaosa tähkistä ulottuu (mittaus tähkien yläpäästä, vihneitä ei huomioitu). Lakoutuminen arvosteltiin silmämääräisesti: 0= täysin pysty kasvusto, 100= täysin maata myöten lakoutunut. Jos puolet kasvustosta oli pystyssä ja puolet kokonaan laossa tai koko kasvusto puoliksi lakoutunut, on lakoprosentti 50. Havainnot tehtiin kaikista ruuduista vehnän ollessa korjuukelpoista. Keltatuleentumispäivä havainnoitiin ruuduittain, virallisten lajikekokeiden ohjeiden mukaisesti.

Klorofyllin määrän mittausta tehtiin Minolta SPAD 502 -mittarilla. Mittaukset aloitettiin kolmilehtiasteella ja niitä jatkettiin 22.7. saakka. Mittaus tehtiin molempia ruudun pitkiä sivuja systemaattisesti kulkien, jolloin pitkää sivua kohti otettiin viisi säännönmukaisesti valittua mittauspistettä. Mittauspisteessä olevasta kasviyksilöstä valittiin ylin täysin avautunut lehti, jonka lehtilavan puolivälistä tehtiin mittausta. Ruudun tulos oli 10 mittauspisteen keskiarvo.

SADONKORJUU JA KASVINÄYTTEET

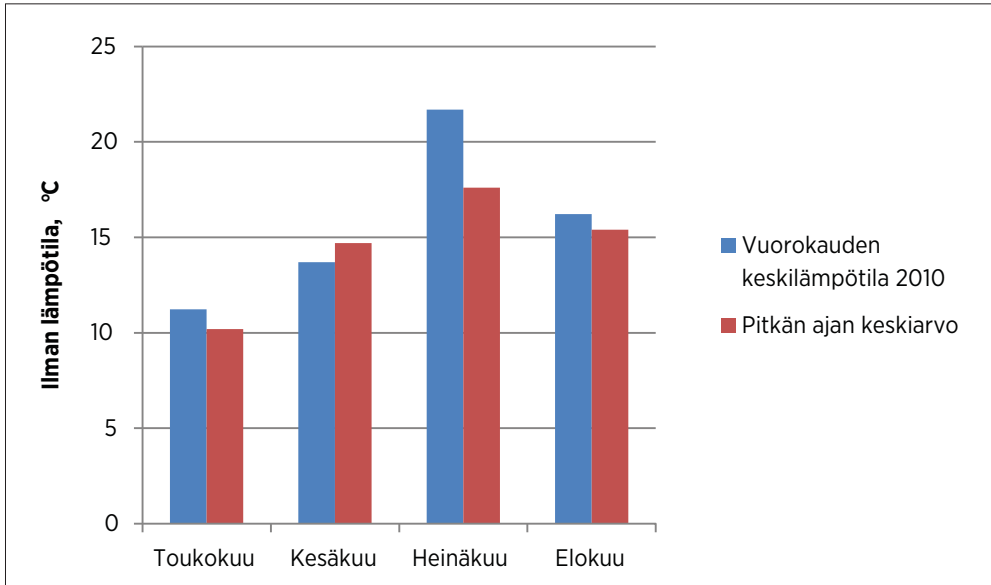
Vehnä puitiin reilu viikko keltatuleentumisen jälkeen. Puinti tehtiin ruuduittain ja ruudun jyvät pussitettiin. Jyvistä määritettiin puintikosteus, ruudun jyväsato kuivattiin lavakuivurilla (max 60 °C) ja rikkakasvin siemenet lajiteltiin pois. Lajittelun jälkeen vehnän jyväsato punnittiin ruuduittain ja otettiin ruudun jyvänäyte (0,5 kg) kemialliseen analyysiin. Lajittelun ja punnituksen jälkeen otettiin puhtaasta jyväsadosta näytteet myös kuiva-aineen määritykseen (2*200 g kuivatus 105 °C yön yli). Sadontuoton (kg/ruutu) lisäksi laskettiin hehtolitrapaino ja tuhannen siemenen paino ruuduittain. Kemialliseen analyysiin menevä näyte säilytettiin paperipusseissa kuivassa huoneen lämpötilassa. Jyvänäytteistä analysoitiin tyyppipitoisuus FINAS:in ISO/IEC 17025 mukaisesti akkreditoimalla menetelmällä.

KASVUKAUDEN 2010 SÄÄOLO

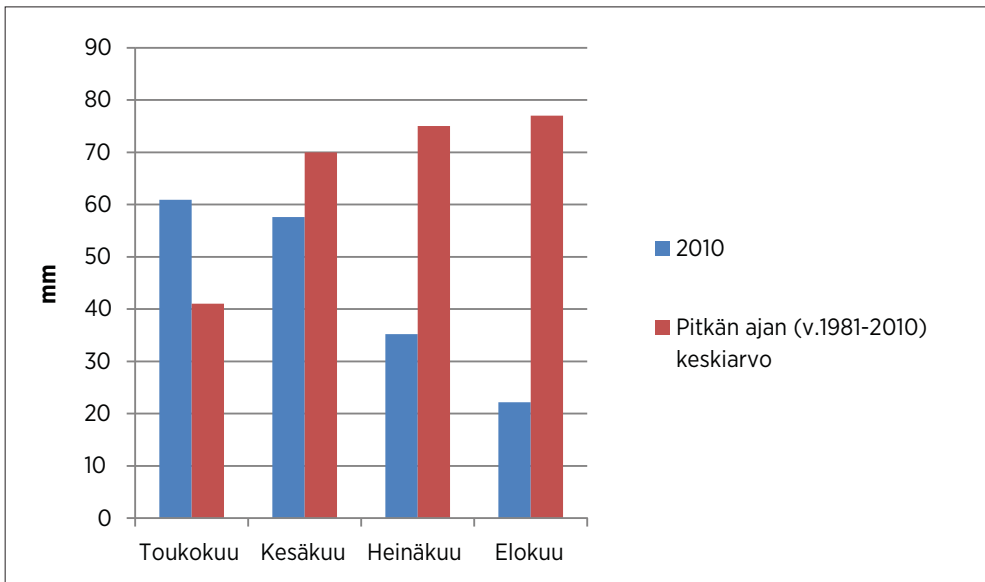
Kasvukaudella 2010 vuorokauden keskilämpötila heinäkuussa Mikkelissä oli selvästi pitkän ajan vertailuarvoa korkeampi (Kuva 2.). Sademäärät kenttäkokeiden toteutuspaikalla Mikkelin Karilassa olivat kesä-elokuussa selvästi alhaisemmat kuin pitkän ajan vertailujaksona (Kuva 3.). Erityisesti heinä- ja elokuussa sademäärät olivat poikkeuksellisen alhaisia.

TILASTOLLINEN TESTAUS

Lannoitusvaikutusta testattiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä ja parittaiset vertailut käsittelyjen välillä tehtiin Tukeyn testillä.



Kuva 2. Kuukausittaiset ilman keskilämpötilat Mikkelin lentokentällä vuonna 2010. Vertailuarvona on käytetty Mikkelin lentokentältä tehtyjä pitkäaikaisia säähavaintoja vuosilta 1981–2010. Lähde: Ilmatieteen laitos.



Kuva 3. Kasvukauden 2010 kuukausittaiset sademäärät ja pitkän ajan kuukausittainen sademäärän keskiarvo Mikkelin Rantakylässä. Lähde: Ilmatieteen laitos.

46 ENERGIAOMAVARAINEN MAATILA

SARI IIVONEN, EERO JÄPPINEN, MIKA LAIHANEN, SAMI LUSTE, ARJA NYKÄNEN, TUIJA RANTA-KORHONEN, SARI SEPPÄLÄINEN, PENTTI SEURI, HANNE SOININEN, TIINA TONTTI JA HANNA-MAIJA VÄISÄNEN



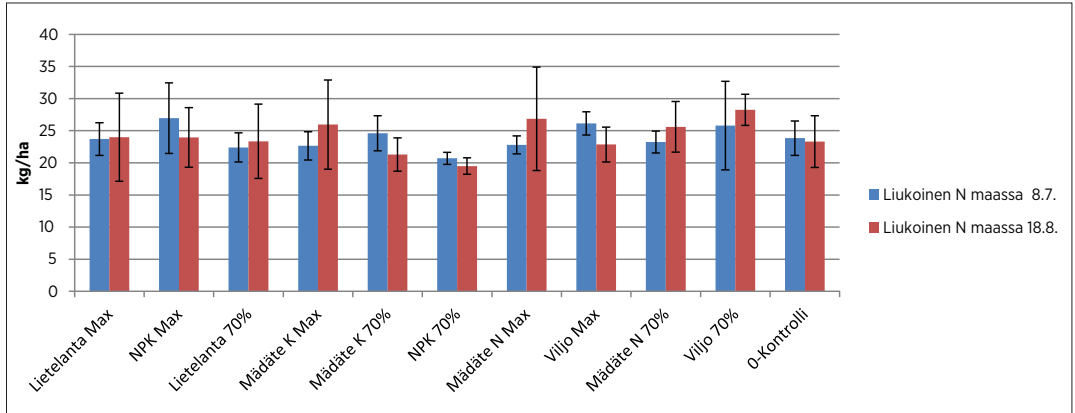
Kuva 4. Vehnä ylhäällä tähkimisvaiheessa ja alakuvassa puintivalmiina. Kuvat: Tiina Tontti.

TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

LIUKOISEN TYPEN MÄÄRÄ MAASSA

Heinäkuun alussa mitattu liukoisen typen (ammonium- ja nitraattityppi) määrä maassa vaihteli

20–30 kg N/ha ja samansuuruisia määriä mitattiin myös sadonkorjuun jälkeen (Kuva 5). Käsittelyjen välillä ei ollut merkitseviä eroja liukoisen typen määrässä kumpanakaan ajankohtana.



Kuva 5. Liukoisen typen määrä muokkauskerroksessa eri lannoituskäsittelyissä 8.7. ja sadonkorjuun jälkeen 18.8. Pylväät kuvaavat neljän koeruodun keskiarvoa ja janat ruutujen välistä keskiahajontaa.

VEHNÄN KEHITYSRYTMİ, SATOTASO JA SADON LAATU

Kasvuston kehitys ja klorofyllin määrä lehdissä

Kaikissa lannoituskäsittelyissä taimelle tulo kylvöstä kesti yhtä kauan eli 17 vuorokautta. Tähtälletuloajankohdassa oli muutaman päivän eroja lannoituskäsittelystä ja ruudusta riippuen siten, että tähtälletulo kesti kylvöpäivästä lähtien 75–78 vrk.

Lehden klorofyllin määrä ennustaa kasvin sadontuottopotentiaalia. Kasveille käyttökelpoisen typen saatavuuden erot eri lannoitusvaihtoehdoissa voivat näkyä kasvin fotosynteesissä ennen kasvussa havaittavia eroja (Iivonen ym. 1999). Vehnän lehtien klorofyllin määrän tiedetään kuvaavan hyvin lehtien sisältämää typen määrää ja tyypillisesti lehden klorofyllin määrä laskee typen saatavuuden ollessa alhainen (Cartelat ym. 2005, Evans 1989). Tässä kokeessa ei vielä 3-lehtiasteella ollut klorofyllin määrässä nähtävissä tilastollisia eroja käsittelyjen välillä. (Taulukko 2). Pensomisvaiheessa Lietelanta Max, NPK Max, Määdäte K Max ja Viljo Max käsittelyissä klorofyllin määrä oli merkitsevästi korkeampi kuin lannoittamattomassa o-kontrolli käsittelyssä, mikä kuvaa hyvää typen saatavuutta näissä lannoitekäsittelyissä. Korrenkasvuvaiheessa klorofyllin määrä oli molemmissa NPK-lannoituskäsittelyissä, Määdäte K Max- käsittelyssä, mo-

lemmissa Viljo lannoituskäsittelyissä ja Määdäte N Max -käsittelyssä merkitsevästi korkeampi kuin o-kontrolli käsittelyssä. Korrenkasvuvaiheesta eteenpäin lietelantakäsittelyt eivät poikenneet o-kontrollista ja klorofyllin määrä oli heinäkuussa lietelantakäsittelyissä merkitsevästi alhaisempi kuin NPK Max käsittelyssä. Määdäte K Max ja Viljo Max -käsittelyissä klorofyllin määrä pysyi samalla tasolla kuin NPK Max ja NPK 70 % käsittelyissä ja oli merkitsevästi korkeampi kuin o-kontrollissa. Vertailtaessa orgaanisia lannoitusvaihtoehtoja toisiinsa havaittiin, että määdätysjäännöksillä, Viljolla ja lietelannalla lannoitettujen kasvustojen klorofyllin määrässä ei ollut merkitseviä eroja.

Tulokset kuvaavat lietelannan typen huonoa käyttökelpoisuutta vehnällä. Määdäte K:n sisältämä typpi oli vehnän käytettävissä NPK-lannoitteen veroisesti silloin kun annostus oli riittävän korkea (Max). Viljossa liukoisen typen osuus kokonaistypistä oli lannoitushetkellä selkeästi heikoin, mutta siitä huolimatta klorofyllin määrä Viljo Max lannoituskäsittelyssä oli korkea. Tämä kuvastaa Viljon typen nopeaa liukenemistä kasvukauden aikana. Tulosta tukee aikaisemmat liha-luujauhon lannoituskokeet kevätvehnällä (Salomonsson 1994), kauralla ja ohralla (Chen ym. 2011), joissa on havaittu liha-luujauhon sisältämän typen hyvä käyttökelpoisuus ja väkilannoitetypen kaltainen lannoitusvaikutus.

48 ENERGIOMAVARAINEN MAATILA

SARI IIIVONEN, EERO JÄPPINEN, MIKA LAIHANEN, SAMI LUSTE, ARJA NYKÄNEN, TUJJA RANTA-KORHONEN, SARI SEPPÄLÄINEN, PENTTI SEURI, HANNE SOININEN, TIINA TONTTI JA HANNA-MAIJA VÄISÄNEN

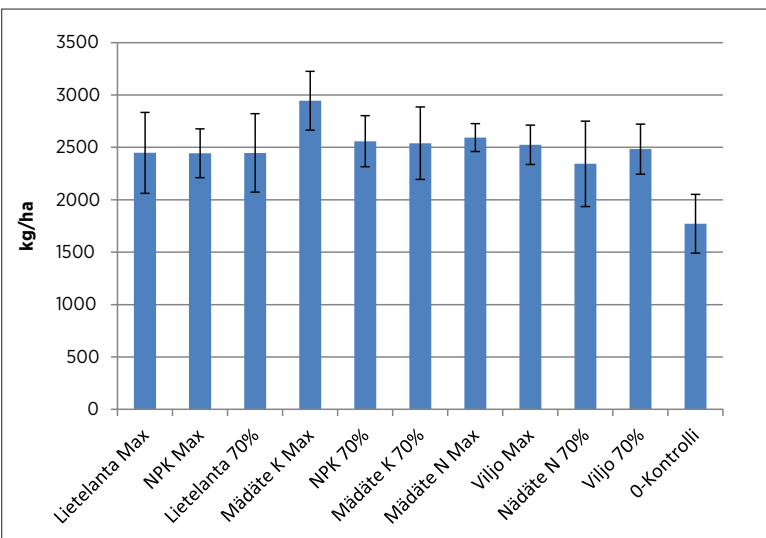
Taulukko 2. Vehnän lehdistä kasvin kehityksen eri vaiheissa mitatut klorofyllin määrät eri tavalla lannoitetuissa käsittelyissä. Taulukkoon on merkitty eri lannoituskäsittelyissä annetun kokonaistypen ja liukaisen typen (lannoitushetkellä) määrät. Klorofyllin määrät on merkitty neljän toiston keskiarvona. Tilastolliset vertailut on tehty erikseen kussakin kehitysvaiheessa yksisuuntaisella varianssianalyysillä ja Tukeyn testillä. Mikäli kahdessa vertailtavassa lannoituskäsittelyissä esiintyy yksikin sama kirjain, ei kyseisten lannoituskäsittelyjen välillä ole tilastollisesti merkitsevää eroa ($p < 0,05$). Esimerkiksi $abd - c$ tai $a - b$ eroavat tilastollisesti merkitsevästi, mutta $abcd-acd$ tai $cd-ad$ eivät.

Lannoitus-käsittely	Annettu kok. N (kg/ha)	Annettu liuk. N (kg/ha)	3.6. 3-lehti vaihe	10.6. Pensomis-vaihe	17.6. Korren kasvu-vaihe	1.7. Tähtkälle-tulovaihe	15.7. Kukinnan alku	22.7.
Lietelanta Max	243	138	40,5 a	35,3 a	35,4 ab	33,7 abcd	34,3 abcd	33,7 ab
NPK Max	110	110	42,2 a	38,3 a	40,6 a	44,1 c	45,3 c	43,9 cd
Lietelanta 70%	171	98	41,8 a	34,0 ab	35,1 ab	31,7 abd	32,0 abd	30,9 ab
Mädäte K Max	106	92	40,4 a	35,5 a	37,4 a	39,9 acd	39,1 acd	36,9 ad
Mädäte K 70 %	89	77	38,3 a	34,7 ab	35,1 ab	36,3 abcd	39,3 acd	34,0 ab
NPK 70 %	77	77	41,3 a	36,7 ab	38,7 a	38,9 acd	36,3 abcd	37,7 acd
Mädäte N Max	68	54	39,8 a	34,0 ab	34,8 ab	37,4 acd	37,8 ac	34,0 ab
Viljo Max	160	50	37,0 a	35,6 a	39,4 a	40,7 acd	43,5 ac	39,1 acd
Mädäte N 70 %	48	38	36,5 a	35,0 ab	36,5 a	33,4 abd	33,8 abc	34,6 ab
Viljo 70%	113	35	37,7 a	34,1 ab	37,8 a	37,5 acd	35,0 abc	36,7 abc
O-Kontrolli	0	0	36,1 a	28,1 b	30,2 b	26,3 b	25,1 b	27,6 b

Vehnän jyväsato ja jyväsadon laatu

Vehnän jyväsato lisälannoittamattomissa luomuruuduissa oli keskimäärin 1771 kg/ha (Kuva 6). Lannoitetuissa ruuduissa satotaso vaihteli 2343–2945 kg/ha. Lisälannoittamattomaan luomuruutuun (o-kontrolli) verrattuina merkitsevästi suuremmat satotasot saatiin koeruuduissa Mädäte

K Max ($p < 0,001$), Mädäte K 70% ($p = 0,028$), NPK 70% ($p = 0,022$), Mädäte N Max ($p = 0,015$) ja Viljo Max ($p = 0,033$) ruuduissa. Kokeen suurin jyväsato (2945 kg/ha) saatiin kananlantapohjaisella mädätysjäännöksellä (Mädäte K Max), mutta lannoitetujen ruutujen jyväsatojen välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa.



Kuva 6.

Jyväsadon määrä (kg/ha) eri lannoituskäsittelyissä. Pylväät kuvaavat neljän koeruudun keskiarvoa ja janat ruutujen välistä keskihajontaa. Annettu liukaisen typen määrä (lannoitushetkellä) laskee x-akselilla vasemmalta oikealle (kts. taulukko 2).

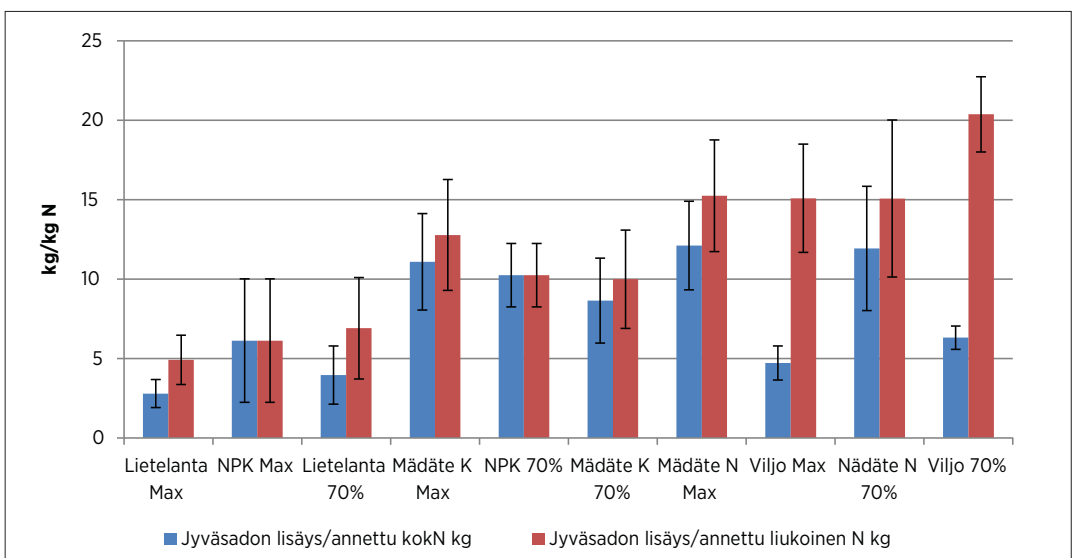
Erisuuruisilla typpipanoksilla saatuja jyväsatoja voidaan verrata toisiinsa laskemalla lannoituksella aikaansaatu jyväsatojen lisäys annettua typpikiloa kohden (Kuva 7). Mädätysjäännöksillä kokonaistyppikilolla aikaansaatu jyväsaton lisäys oli suurempi kuin lietalannalla tai Viljolla tuotettu sadonlisä. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että mädätteiden sisältämästä kokonaistypestä oli suurin osa kasveille käyttökelpoisessa liukoisessa muodossa (79-87%) kun taas lietalannassa ja Viljossa vastaavat lukemat olivat 57 % ja 31 %. Kananlantapohjainen mädäte K antoi vastaavanlaisen sadonlisäyksen annostuksilla (Max ja 70%) kuin nopealiukoinen NPK-lannoituskäsittely 70%. Kananlantapohjaisen mädätysjäännöksen hyvää lannoitusvaikutusta saattaa selittää myös sen korkea P/N -suhde, joka oli lähes yhtä korkea kuin NPK-lannoitteessa ja selkeästi korkeampi kuin naudantapohjaisella mädätteellä.

Jyväsaton lisäys liukoista typpikiloa kohti oli suurin Viljolla ja mädätteellä N (Kuva 7), mikä osaltaan saattaa selittyä näiden lannoitteiden matalammilla liukoisen typen lannoitusmäärillä. Mädäte K (Max ja 70%) tuotti vähintään samantasoisien jyväsaton lisäyksen liukoisella typpilannoitekilolla kuin NPK 70%-lannoitus. Vähenevän rajatuoton säännön mukaan liukoisen typen käytön kasvaessa sadonlisäys pieneni, mutta mädätteellä K Max lannoitetuissa ruuduissa liukoisella typpikilolla aikaansaatu jyväsaton lisäys poikkesi hieman tästä säännöstä ylöspäin.

Jyvien hehtolitrainoon lannoituskäsittelyllä ei ollut merkitsevää vaikutusta hehtolitrainoon

vaihdellessa 79,2-81,3 kg. Myöskään tuhanneen jyvän paino ei eronnut merkitsevästi lannoituskäsittelyjen tai o-kontrollin välillä vaihdellen 29,2-31,7 g (15%:n kosteus).

Tarkkaa mädätyksen vaikutuksesta syntyvää sadonlisäystä ei pystytä tämän tutkimuksen perusteella arvioimaan, mikä johtuu liian suuresta hajonnasta käytetyn lietalannan ja mädätysjäännösten typpiannoksissa. Suomessa tehdyssä tutkimuksessa ohralla saatu sadonlisäys mädätetyllä sian lietalannalla oli 2,5 -17, 4% riippuen lannan levitysmenetelmästä (Kapuinen ym. 2008b). Kolmivuotisessa kokeessa naudantapohjainen mädätysjäännös oli hieman (keskimäärin 300 kg/ha), mutta ei kuitenkaan tilastollisesti merkitsevästi parempi lannoite ohralle kuin mädättämätön raakalanta (Partanen 2012). Partasen (2012) mukaan mädätteen raaka-ainepohjalla ja kasvukauden sääoloilla on merkittävä vaikutus satotasoon. Kananlantapohjaisesta mädätysjäännöksestä ei ole saatavilla tutkimustietoa. Kananlantapohjaisen mädätysjäännöksen etuna on typen ja fosforin tasapainoisempi suhde verrattuna naudantapohjaiseen mädätysjäännökseen. Joissain tapauksissa ympäristötukiehdot voivat kuitenkin rajoittaa paljon fosforia sisältävän lannoitteen levitysmääriä, jolloin separoimattomana mädätysjäännöksen liukoista tyypeäkään ei voida maksimaalisesti hyödyntää. On tärkeää myös arvioida lannoitus-
hyötyjä sadontuotossa suhteessa lannoitteiden sisältämään ravinteiden arvoon sekä niiden kuljetuksesta ja levityksestä syntyviin kustannuksiin.



Kuva 7. Lannoituksella aikaansaatu jyväsaton lisäys lannoitteiden sisältämään kokonaistypen ja liukoisen typen määrään suhteutettuna ($\text{Jyväsaton lisäys} = (\text{Lannoitettu} - \text{Lannoittamaton}) / \text{Lannoituksen N-kilogrammi}$). Pylväät kuvaavat neljän koeruudun keskiarvoa ja janat ruutujen välistä keskihajontaa. Annettu liukoisen typen määrä (lannoitushetkellä) laskee x-akselilla vasemmalta oikealle (kts. taulukko 2).

RYPYSIN LANNOITUSKOKEIDEN TULOKSIA

KOEJÄRJESTELYT

Kesällä 2010 toteutetussa peltokokeessa MTT:n Mikkelin Karilan koeasemalla testattiin kahta erilaista mädätysjäännöstä luomulohkolla, jolloin oli kasvanut edellisenä kesänä kaksi kertaa kesässä korjattu apilarehunurmi. Koe toteutettiin satunnaistettujen lohkojen kokeena, jossa toistojen määrä oli neljä ja koeruudun koko oli 18 m². Toinen mädätysjäännös oli peräisin pilot-mittakaavan koereaktorista, jossa syötteenä oli käytetty kananlantaa, naudanlietelantaa ja salaattijätettä (Mädäte K). Toinen oli peräisin maatilamittakaavaisesta biokaasulaitoksesta, jossa raaka-ainesyötteinä oli ollut pääasiassa naudanlietelantaa ja nurmibiomasaa (Mädäte N). Peltokokeessa vertailukäsittelyinä oli lisälannoittamaton luomupelto, naudan lietelanta, liha-luu jauho (Aitoviljo, Honkajoki Oy) ja NPK-lannoite (Pellon Y3, kaksoissuperfosfaatti ja kaliumsulfaatti). Lannoitteet levitettiin peltoon käsin pintalevityksenä ja mullattiin maahan joustopiikkiäkeellä. Kevätrypsi (lajike Apollo) kylvettiin (kylvötiheys 300–350 itävää siementä/m²)

3.6. Pellon pintamaan maalaji oli hiekkainen kar-

kea hieta (hkKht) ja multavuusluokka runsasmultainen (muokkauskerroksen orgaanisen aineksen pitoisuus 6–11,9 %). Keväällä ennen lannoitteiden levitystä tehtyjen maa-analyyysien mukaan maan pH oli 6,0–6,5 (hyvä–korkea), kalsium välttävä, fosfori välttävä, kalium huononlainen, magnesium tyydyttävä ja rikki välttävä.

Eloperäiset lannoitteet annosteltiin ennakoon (2 vk) tehtyjen lanta-analyyysien perusteella. Lannoitevalmisteet annosteltiin rypsilä säätämällä suurimmalla lannoitustasolla lannoitusaineesta saatavan kokonaistypen määräksi 100 kg kokN/ha (Max). Pienempi käyttömäärä säädettiin maksimitasojen perusteella, annostellen pienempi lannoitustaso 75 %:ksi (75%) edellä kuvatulla tavalla määritellystä maksimilannoituksesta.

Lannoitteiden levityksen yhteydessä otetuista kokoomanäytteistä tehtyjen lanta-analyyysien perusteella laskettiin kuinka paljon kokonaistyppeä, liukoista typpeä, käyttökelpoista fosforia ja kokonaiskaliumia kasvustoille todella annettiin (Taulukko 3). Nestemäisten lannoitteiden typpi- ja fosforipitoisuudet olivat muuttuneet varastoinnin aikana. Lannoitteiden levityksessä peltoon lisätty kokonaistypen määrä vaihteli välillä 57–110 kg/ha ja liukoisen typen määrä vaihteli 22–79 kg/ha lannoitetyypistä riippuen.

Taulukko 3. Lannoitteiden levitysmäärät ja typpi-, fosfori- ja kaliumsisällöt kahdella eri lannoitustasolla.

Lannoitustaso ja -tyyppi	Tuorelevitys (tn/ha)	Kokonais-N (kg/ha)	Liukoinen N (kg/ha)	Liukoisen N:n osuus (%)	Käyttökelpoisen* P (kg/ha)	Kokonais-K (kg/ha)
Taso 1: Max						
Lietelanta	47,6	76	57	75	24	148
Mädäte N	28,6	106	60	57	2	26
Mädäte K	25,6	110	79	72	11	51
Viljo*	1,25	94	29	31	2	35
NPK		100	100	100	25	50
Taso 2: 75 %						
Lietelanta	35,7	57	43	75	18	111
Mädäte N	21,4	79	45	57	2	19
Mädäte K	19,2	83	60	72	8	38
Viljo	0,94	71	22	31	1	26
NPK (70%)		70	70	100	18	35

*Lannan kokonaisfosforista huomioidaan ympäristötouessa 85%. Sitä osuutta tarkoitetaan käyttökelpoisella fosforilla.

KENTTÄKOEHAVAINNOT JA MITTAUKSET

MAANÄYTTEET PINTAMAASTA

Kokeelta otettiin pintamaanäytteet 20 cm:n syvyyteen maaperäkairalla (putkikaira) jokaisesta ruudusta kokoomanäytteinä. Keväällä maanäytteet otettiin koealueen paikalleen mittaamisen jälkeen 2.6., mutta ennen lannoitevalmisteiden levitystä. Kesällä maanäytteet otettiin ruuduittain tähkimisvaiheessa (7.7.) ja syksyllä heti sadonkorjuun jälkeisenä päivänä (1.9.). Maanäytteet pakastettiin heti näytteenoton jälkeen ja niistä teetettiin myöhemmin viljavuustutkimus akkreditoitussa laboratoriossa. Viljavuustutkimuksessa maanäytteen liukoinen N uutettiin 0,1 M kaliumsulfatiliuoksella. Analysointi tehtiin Kjeldahl-menetelmällä devardan metalli katalyyttinä. Fosforin (P) määrä analysoitiin uuttamalla maanäyte happamaan ammoniumasetaatti-liuokseen ja määrittämällä ammoniummolybdaatti-kompleksi spektrofotometrisesti. Kaliumin (K), magnesiumin (Mg) ja rikin (S) määrittämiseksi tehtiin uutto happamaan ammoniumasetaatti-liuokseen ja mitattiin kaliumin, magnesiumin ja rikin määrä ICP:llä.

KASVUSTOHAVAINNOT

Orastuminen havainnoitiin ruuduittain, poikkeamat kasvuston tiheydessä ja kylvövirheet merkittiin muistiin ja piirrettiin kenttäkarttaan. Muistiin merkittiin se päivä, jolloin pääosa (50 %) oraista oli näkyvissä. Rypsin kukinnan alkaminen merkittiin ruuduittain. Kukkuminen todettiin alkaneeksi, kun keskimäärin yksi yksilö/m² kukkii. Rypsin korkeus mitattiin ruuduittain kolmesta kohdasta, täyskukintavaiheessa ja suoristetusta kasvustosta. Rypsin keltatuleentumispäivä havainnoitiin ruuduittain (kts. esim. Kangas ym. 2010). Rypsi on tuleentunut kun kasvustosta on hävinnyt vihreä väri varren alaosaa lukuun ottamatta ja siemenet ovat punaruskeita tai mustia. Klorofyllin määrän mitaus tehtiin 22.6., 30.6. ja 14.7. Minolta SPAD 502 -mittarilla. Mittaus tehtiin molempia ruudun pitkiä sivuja systemaattisesti kulkien, jolloin pitkää sivua kohti otettiin viisi valittua mittauspistettä. Mittauspisteessä olevasta kasviyksilöstä valittiin ylin täysin avautunut lehti, jonka lehtilavan puolivälistä tehtiin mitaus. Ruudun tulos oli 10 mittauspisteen keskiarvo.

SADONKORJUU JA KASVINÄYTTEET

Rypsi puitiin reilu viikko keltatuleentumisen jälkeen. Puinti tehtiin ruuduittain ja siemensa-

to pussitettiin. Rypsisadon kuivapaino mitattiin ruuduittain ja rikkakasvien siemenet lajiteltiin pois. Lajittelun jälkeen ruudun rypsin siemensato punnittiin ja otettiin ruudun siemennäyte (0,5 kg) kemialliseen analyysiin. Lajittelun ja punnituksen jälkeen otettiin näytteet myös kuiva-aineen määritykseen (2*200 g kuivatus 105 °C yön yli). Sadontuoton (kg/hehtaari) lisäksi laskettiin hehtolitrapaino ja tuhannen siemenen paino ruuduittain. Kemialliseen analyysiin menevä näyte säilytettiin paperipusseissa kuivassa huoneen lämpötilassa. Jyvänäytteistä analysoitiin typpipitoisuus FINAS:in ISO/IEC 17025 mukaisesti akkreditoimalla menetelmällä.

TILASTOLLINEN TESTAUS

Lannoitusvaikutusta testattiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä ja parittaiset vertailut käsittelyjen välillä tehtiin Tukeyn testillä.

RYPSIKOEEN TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

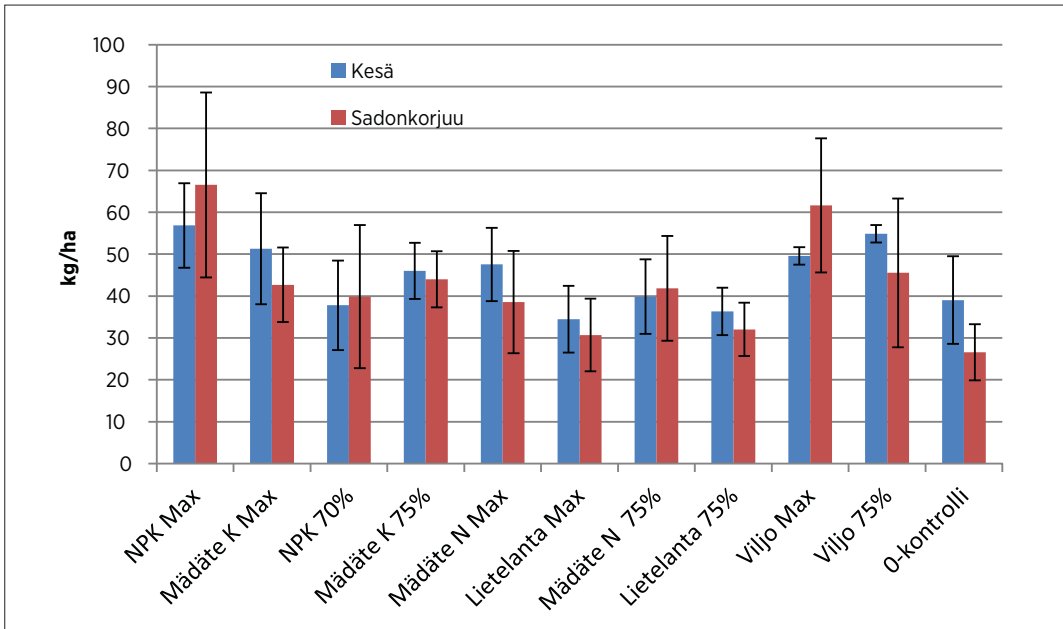
RAVINTEIDEN MÄÄRÄT MAASSA KASVUKAUDEN AIKANA

Liukaisen typen määrää mitattiin maasta kesällä ja heti sadonkorjuun jälkeen (Kuva 8). Lannoituskäsitelyllä oli merkitsevä vaikutus liukaisen typen määrään maassa kesällä ($p=0,009$) ja sadonkorjuun jälkeen ($p=0,004$). Kesällä NPK Max-käsitelyssä oli merkitsevästi korkeampi liukaisen typen määrä kuin Lietelanta Max käsitelyssä. Muut käsittelyt eivät eronneet kesällä toisistaan. Sadonkorjuun aikana NPK Max ja Viljo Max käsitelyissä liukaisen typen määrät olivat korkeampia kuin 0-kontrollissa ($p=0,006$ ja $p=0,025$). Näissä käsittelyissä kokonaistyyppä annosteltiin kokeen alussa suurimmat määrät, mikä selittää typen hyvää saatavuutta maasta vielä kasvukauden lopussa. NPK Max käsitelyssä liukaisen typen määrä maassa oli sadonkorjuun hetkellä myös merkitsevästi korkeampi kuin Lietelanta Max ($p=0,021$) ja Lietelanta 75 % ($p=0,029$) käsitelyissä. Mädätysjäännökset eivät eronneet merkitsevästi muista lannoituskäsitelyistä tai 0-kontrollista kumpanakaan mitta-usajankohtana.

Öljykasvit vaativat tasapainoisen lannoituksen ja typen saatavuuden lisäksi täytyy kiinnittää huomiota erityisesti fosforin, kaliumin, rikin, magnesiumin ja boorin riittävyyteen. Tässä kokeessa kaliumin määrä maassa oli tasolla huononlainen-

52 ENERGIAOMAVARAINEN MAATILA

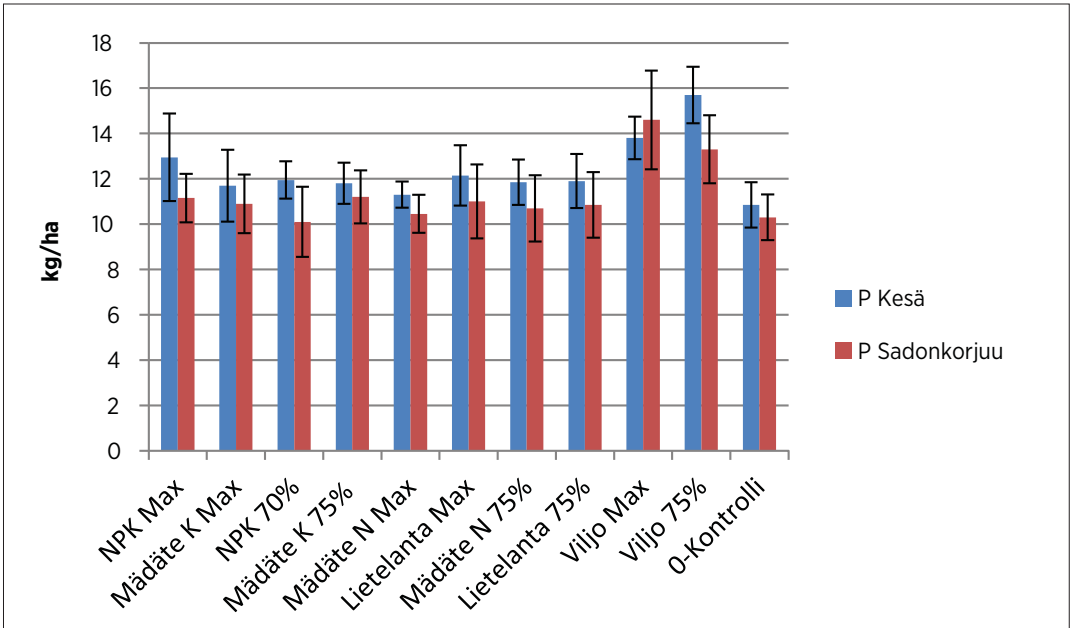
SARI IIIVONEN, EERO JÄPPINEN, MIKA LAIHANEN, SAMI LUSTE, ARJA NYKÄNEN, TUJJA RANTA-KORHONEN, SARI SEPPÄLÄINEN, PENTTI SEURI, HANNE SOININEN, TIINA TONTTI JA HANNA-MAIJA VÄISÄNEN



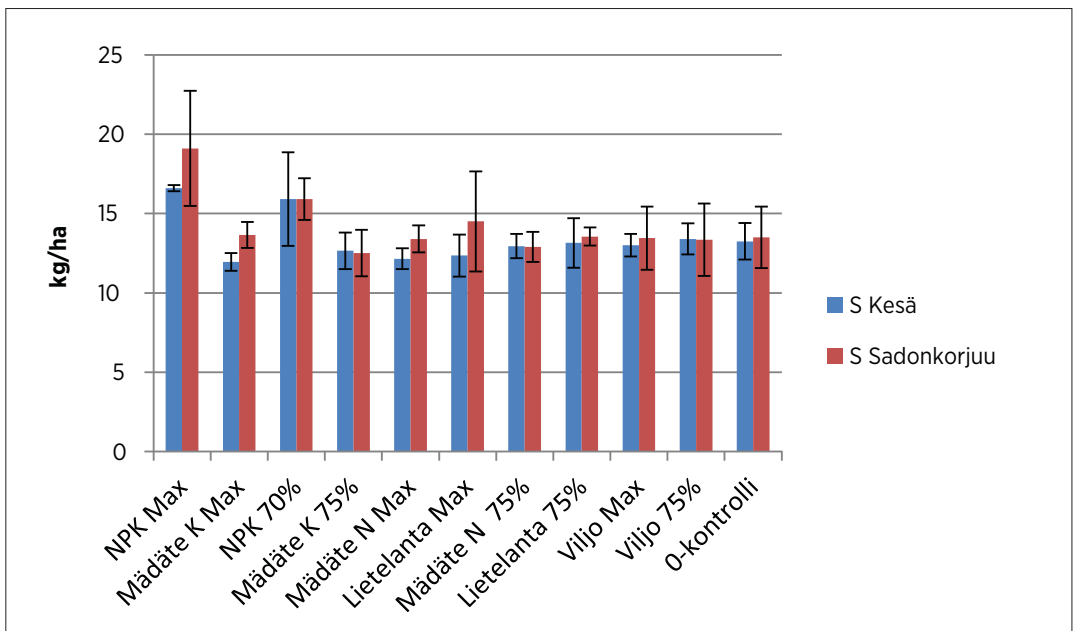
Kuva 8. Liukoisien typen määrä muokauskerroksessa kesällä 7.7. ja heti sadonkorjuun jälkeen 1.9. Pylväät kuvaavat neljän ruudun keskiarvoa ja janat keskiarvon keskihajontaa. Käsittelyt on piirretty kuvaan siten, että lannoitteen annettu liukoisien typen määrä (lannoitushetkellä määritetty) laskee x-akselilla vasemmalta oikealle (kts taulukko 4).

välttävä kaikissa käsittelyissä ja kaliumin määrässä ei maa-analyyysien perusteella ollut merkittäviä eroja lannoituskäsittelyjen välillä kesällä tai sadonkorjuun aikana. Lannoituskäsittelyillä ei ollut merkittävä vaikutusta myöskään magnesiumin määrään maassa. Magnesiumin tasot olivat kaikissa käsittelyissä luokkaa tyydyttävä-hyvä. Sen sijaan kesällä ($p < 0,001$) ja sadonkorjuun jälkeen ($p = 0,002$) mitattuun fosforin määrään maassa lannoituskäsittelyllä oli vaikutusta (Kuva 9). Kesällä fosforin määrä oli tasolla välttävä ja merkittävästi korkeampi Viljo 75% käsittelyssä kuin lietelannoilla (Lietelanta Max $p = 0,011$; 75% $p = 0,005$). Fosforin määrä oli Viljo 75% käsittelyssä myös merkittävästi korkeampi kuin kananlantapohjaisilla mädätysjäännöksillä (Määdäte K Max

$p = 0,003$; Määdäte K 75% $p = 0,004$) ja naudanlantapohjaisilla mädätysjäännöksillä (Määdäte N Max $p = 0,001$; Määdäte N 75% $p = 0,004$). Rikin määrä oli maassa huononlainen-välttävä kaikissa käsittelyissä. Rikkiä oli kuitenkin kesällä saatavilla NPK-lannoitetuissa ruuduissa (NPK Max) merkittävästi enemmän kuin käsittelyissä Lietelanta Max ($p = 0,017$), Lietelanta 75% ($p = 0,015$), Määdäte N Max ($p = 0,003$), Määdäte N 75% ($p = 0,011$), Määdäte K Max ($p = 0,002$), Määdäte K 75% ($p = 0,007$), Viljo Max ($p = 0,012$), Viljo 75% ($p = 0,021$) ja O-kontrolli ($p = 0,017$) (Kuva 10). NPK 70% käsittelyssä rikin määrä maassa ei eronnut merkittävästi muista käsittelyistä. Myös sadonkorjuun aikaan lannoituskäsittelyllä oli merkittävä vaikutus rikin määrään maassa ($p = 0,003$).



Kuva 9. Fosforin määrä muokkauskerroksessa kesällä 7.7. ja heti sadonkorjuun jälkeen 1.9. Pylväät kuvaavat neljän ruudun keskiarvoa ja janat keskiarvon keskihajontaa. Käsittelyt on piirretty kuvaan siten, että lannoitteessa annettu liukaisen typen määrä (lannoitushetkellä määritetty) laskee x-akselilla vasemmalta oikealle.



Kuva 10. Rikin määrä muokkauskerroksessa kesällä 7.7. ja heti sadonkorjuun jälkeen 1.9. Pylväät kuvaavat neljän ruudun keskiarvoa ja janat keskiarvon keskihajontaa. Käsittelyt on piirretty kuvaan siten, että lannoitteessa annettu liukaisen typen määrä (lannoitushetkellä määritetty) laskee x-akselilla vasemmalta oikealle.

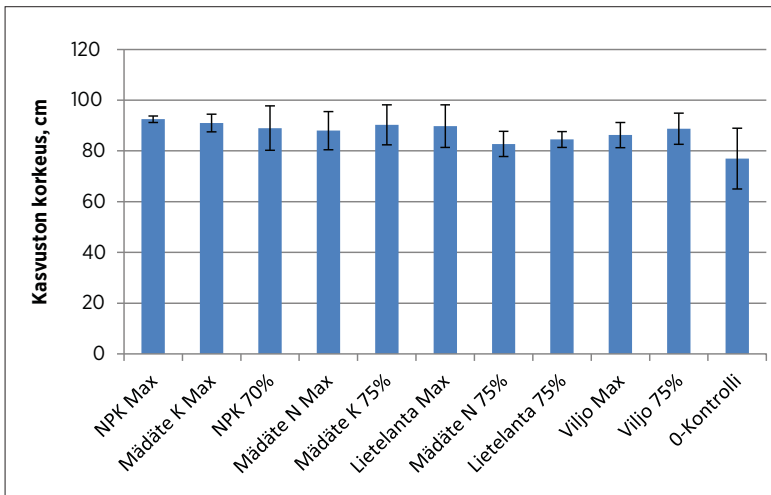
RYPsin KEHITYSRYTMi, SATOTASO JA SADON LAATU

Kasvuston kehitys ja klorofyllin määrä lehdissä

Rypsi kylvettiin 3.6. ja kaikissa käsittelyissä taimelle tulopäiväksi kirjattiin 5.6. Rypsin kukkimispäiväksi kirjattiin 6.7. kaikissa käsittelyissä. Sadonkorjuuvaiheessa kasvuston korkeus oli 77-92,5 cm ollen matalin 0-kontrollissa ja korkein NPK-Max käsittelyssä (Kuva 11). Merkitseviä eroja korkean (Max) ja matalan (70%-75%) typpitason lannoitusvaihtoehdoilla ei ollut havaittavissa.

Lannoitetyypillä ei ollut siis vaikutusta kasvuston pituuskasvuun tai kasvuvaiheiden ajoittumiseen.

Rypsin lehdistä mitattuihin klorofyllin määriin lannoitusvaihtoehdolla oli merkitsevä vaikutus ($p=0,014$) ainoastaan ensimmäisenä mittausajankohtana, joka ajoittui pääverson pituuskasvun vaiheeseen (Taulukko 4). Tässä kehitysvaiheessa klorofyllin määrä NPK Max käsittelyssä oli merkittävästi korkeampi kuin Lietelanta 75 % -käsittelyssä, mikä kuvaa hyvää typen saatavuutta NPK Max-käsittelyssä. Kukinnon muodostumisen vaiheessa ja täyskukkimisen vaiheessa lannoituskäsittelyillä ei ollut merkitsevää vaikutusta klorofyllin määrään.



Kuva 11. Rypsikasvuston korkeus sadon-korjuuvaiheessa eri lannoitus-käsittelyissä. Pylväs kuvaa neljän ruudun keskiarvoa ja jana keskiarvon keskihajontaa. Käsittelyt on piirretty kuvaan siten, että lannoitteessa annettu liukoisien typen määrä (lannoitushetkellä määritetty) laskee x-akselilla vasemmalta oikealle.

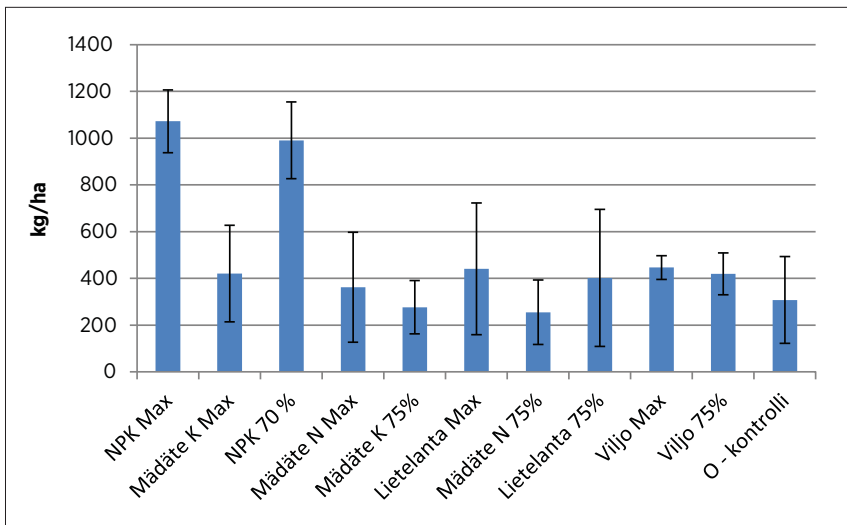
Taulukko 4. Rypsin lehdistä kasvin kehityksen eri vaiheissa mitatut klorofyllin määrät eri tavalla lannoitetuissa käsittelyissä. Eri kirjain lannoituskäsittelyjen välillä merkitsee lannoituskäsittelyjen välillä olevaa tilastollisesti merkitsevää eroa ($p < 0,05$). Lannoitekäsittelyjä on verrattu yksisuuntaisella varianssianalysillä ja parittaiset vertailut tehty Tukeyn testillä.

Lannoitus-käsittely	Annettu kok. N (kg/ha)	Annettu liuk. N (kg/ha)	22.6. Pääverson pituuskasvu	30.6. Kukinnon muodostumisen alku	14.7. Täyskukkiminen
NPK Max	100	100	34,2 ± 1,2 a	36,9 ± 1,3	42,8 ± 1,3
Mädäte K Max	110	79	32,1 ± 0,2	32,9 ± 1,0	40,1 ± 1,9
NPK 70 %	70	70	32,8 ± 1,5	36,6 ± 1,4	42,7 ± 3,3
Mädäte N Max	106	60	32,4 ± 1,3	33,6 ± 1,0	40,0 ± 1,7
Mädäte K 75 %	83	60	33,0 ± 1,1	32,7 ± 2,6	41,7 ± 2,9
Lietelanta Max	76	57	31,4 ± 0,7	33,5 ± 1,6	38,7 ± 2,3
Mädäte N 75 %	79	45	32,2 ± 0,3	33,8 ± 2,3	40,5 ± 2,6
Lietelanta 75 %	57	43	31,2 ± 0,9 b	35,0 ± 1,4	38,6 ± 1,5
Viljo Max	94	29	34,3 ± 1,3	35,7 ± 1,8	41,5 ± 1,3
Viljo 75 %	71	22	33,1 ± 2,5	36,6 ± 1,0	40,2 ± 2,4
O-Kontrolli	0	0	32,1 ± 0,7	35,5 ± 2,4	39,1 ± 1,7

Rypsin siemensato ja sadon laatu

Lannoituskäsittelyllä oli merkitsevä vaikutus rypsin siemensatoon ($p < 0,001$). Rypsin siemensato oli

orgaanisilla lannoituskäsittelyillä ja lisälannoittamattomassa o-kontrollissa merkitsevästi pienempi kuin NPK-lannoituskäsittelyssä. (Kuva 12).



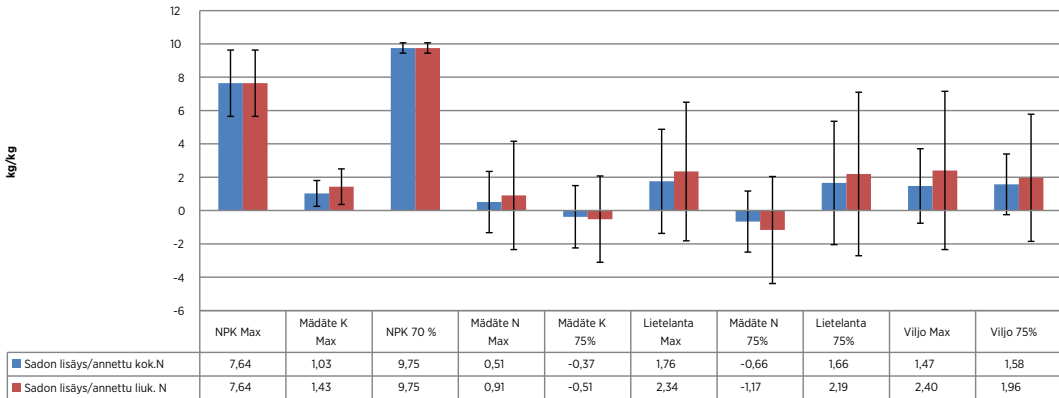
Kuva 12. Siemensadon määrä kg/ha eri lannoituskäsittelyissä. Pylväät kuvaavat neljän koerudun keskiarvoa ja janat ruutujen välistä keskiahjontaa. Käsittelyt on piirretty kuvaan siten, että lannoitteessa annettu liukoisen typen määrä (lannoitusohjelmalla määritetty) laskee x-akselilla vasemmalta oikealle.

56 ENERGIAOMAVARAINEN MAATILA

SARI IIVONEN, EERO JÄPPINEN, MIKA LAIHANEN, SAMI LUSTE, ARJA NYKÄNEN, TUIJA RANTA-KORHONEN, SARI SEPPÄLÄINEN, PENTTI SEURI, HANNE SOININEN, TIINA TONTTI JA HANNA-MAIJA VÄISÄNEN

Siemensatoa tarkasteltiin suhteessa annettuihin typpilannoituspanoksiin sekä kokonaistypen että liukaisen typen suhteen (Kuva 13). Lannoituskäsitteilyllä oli merkitsevä vaikutus siemensadon lisäykseen suhteessa annettuun kokonaistyppiki-

loon ($p < 0,001$) ja vastaavasti suhteessa annettuun liukoiseen typpikiloon ($p = 0,001$). Orgaanisilla lannoitteilla saatu lannoitushyöty oli olematon ja joissakin tapauksissa jopa negatiivinen. Merkitsevästi muita käsittelyjä suuremmat sadonlisäykset saavutettiin NPK-lannoitteilla.



Kuva 13. Lannoituksella aikaansaatu siemensadon lisäys lannoitteiden sisältämään kokonaistypen ja liukaisen typen määrään suhteutettuna (Siemensadon lisäys = (Lannoitettu - Lannoittamaton) / Lannoituksen N-kg). X-akselilla on kerrottu lannoiteteraaka-aine ja keskiarvot. Pylväät kuvaavat neljän koeruudun keskiarvoa ja janat ruutujen välistä keskihajontaa. Käsittelyt on piirretty kuvaan siten, että lannoitteessa annettu liukaisen typen määrä (lannoitushetkellä määritetty) laskee x-akselilla vasemmalta oikealle.

Kevättrypsi on hyvin haastava kasvi viljellä ja sen satotasoissa voi olla suurta vaihtelua peltolohkojen ja vuosien välillä. Vuosi 2010 oli kevättrypsin kannalta keskimääräistä heikompi vuosi satotasojen jäätyä yleisesti ottaen alhaiseksi (Kangas ym. 2010). Keskimääräinen satotaso oli 70 kilon typpiannostuksella noin 1200 kg/ha Kotkaniemen tutkimusasemalla (Yara Suomi). Vastaavalla typpilannoituksella (NPK 70%) tässä kokeessa saatu satotaso oli noin 1000 kg/ha. Kevättrypsi ottaa suurimman osan ravinteistaan varrenkasvun aikana 4-lehtiasteen ja kukinnan välillä. Veden tarve on suurimmillaan varrenkasvun ja kukinnan aikana, jolloin tavallisesti on myös kuivinta. Kukinnan alussa mitattu maan liukaisen typen pitoisuus ei ollut merkitsevästi korkeampi NPK-käsittelyissä kuin mädätysjäännöksillä lannoitettaessa, joten heikko typen saatavuus ei yksin selitä heikkoa siemensatoa mädätysjäännöksillä lannoitettaessa. Myöskään klorofyllin määrä ei eronnut mädätysjäännöksillä ja NPK-lannoitetuilla kasveilla. Selitys heikkoon siemensatoon orgaanisilla lannoitteilla lannoitettaessa löytyy todennäköisimmin rikin puutoksesta. Rikinpuitos heikentää öljykasvien kukkimista vaikuttaen litujen ja siementen määrää vähentävästi (MacGrath & Zhao 1996). Myös siementen koko voi pienentyä jos rikiä on puutetta. Tässä kokeessa siementen koko ei selitä pienempää

satomäärää kuin Viljo-käsittelyissä, joissa tuhannen siemenen paino oli merkitsevästi pienempi kuin NPK-käsittelyssä (Taulukko 5).

Taulukko 5. Rypsin tuhannen siemenen painot ilmoitettuna 15 %:n kosteudessa. Luku kuvaa neljän ruudun keskiarvoa ± keskiarvon keskihajontaa. Eri kirjain lannoituskäsitteilyjen välillä merkitsee lannoituskäsitteilyjen välillä olevaa tilastollisesti merkitsevää eroa ($p < 0,05$). Lannoitekäsitteilyjä on verrattu yksisuuntaisella varianssianalyysillä ja parittaiset vertailut tehty Tukeyn testillä.

Lannoituskäsitteily	Tuhatsiemenpaino, g 15 %:n kosteudessa
Lietelanta Max	1,67 ± 0,15
Lietelanta 75%	1,71 ± 0,12
Mädate N Max	1,68 ± 0,11
Mädate N 75%	1,66 ± 0,12
Mädate K Max	1,70 ± 0,12
Mädate K 75%	1,69 ± 0,14
NPK Max	1,83 ± 0,06
NPK 70 %	1,87 ± 0,12 a
Viljo Max	1,57 ± 0,06 b
Viljo 75%	1,58 ± 0,08 b
O-Kontrolli	1,70 ± 0,09

Rikki on maaperässä sitoutunut orgaaniseen ainekseen, josta se maaperäbakteerien hajotustoiminnan tuloksena vapautuu kasveille käyttökelpoisena epäorgaanisena sulfaattirikkinä. Kuivana kesänä mikrobitoiminta on tavallisesti hidasta, mikä hidastaa orgaaniseen ainekseen varastoituneiden ravinnereservien mineralisoitumista kasveille käyttökelpoiseen muotoon. Epätasapaino rikin ja typen saatavuudessa heikentää rypsin typen käytön tehokkuutta (Ceccotti 1996, Fismes ym. 2000, Joshi ym. 1998). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että rypsikasvusto pystyy hyödyntämään heikosti mädätysjännösten sisältämää helposti

hyödynnettävissä oleva liukoista typpeä, mikäli rikin saatavuus ei ole riittävällä tasolla. Myös boorilla on suuri vaikutus kukinnan onnistumiselle ja tasaiselle tuleentumiselle ja boorin heikko saatavuus voi heikentää siemen- ja öljysatoa. Boorin saatavuus maasta yleensä heikkenee maan pH:n noustessa, jolloin boorin otto vaikeutuu.

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että mädätysjännökset eivät sellaisenaan sovi kevätrypsin lannoitteeksi vaan niiden ravintesuhteita on tarkasteltava ja tarvittaessa täydennettävä lisäravinteilla tasapainoisen ravintesuhteen saavuttamiseksi.



Kuva 14. Rypsi kukkii koekentällä. Kuva: Sari Iivonen

JOHTOPÄÄTÖKSET

Mädätysjäännökset voivat sisältää paljon liukoista tyyppiä levitysvaiheessa. Ne soveltuvatkin hyvin kasveille, jotka tarvitsevat paljon tyyppiä aikaisessa kasvuvaiheessa. Kevätvehnän tuotannossa biokaasulaitosten mädätysjäännökset näyttävät yhden kesän kokemusten perusteella lupaavilta lannoitteilta. Erityisesti kananlantaa sisältävällä mädätysjäännöksellä saadut tulokset viittaavat siihen, että satotulos voi olla parempi kuin vastaavan liukoisen tyypimäärän lietelantalannoituksessa. Kevätrypsillä saadut tulokset osoittivat, että mädätysjäännösten hyvää lannoitusvaikutusta ei voida yleistää kaikille kasveille, vaan tarkastelua on tehtävä kasvulajikohtaisesti. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että mädätysjäännökset eivät sellaisenaan sovi kevätrypsin lannoitteeksi vaan niiden ravinnesuhteita on tarkasteltava ja tarvittaessa täydennettävä lisäravinteilla tasapainoisen S/N-suhteen saavuttamiseksi. Esbio-hankkeessa toteutettiin mädätysjäännösten testausta luomujäävuorisalaatin lisälannoitteena. Kokeita toteutettiin kahtena peräkkäisenä kasvukautena 2010-2011 ja mädätysjäännösten lannoitusvaikutuksia verrattiin vaihtoehtoihin kaupallisiin luomuhyväksytyihin lannoitteisiin, liha-luujauhoon ja kompostoituu kananlantarakeseen (Iivonen ym. 2012). Tulosten perusteella mädätysjäännökset ovat jäävuorisalaatin lannoitteena samanveroisia kuin kompostoituu kananlantarae ja rakeistettu liha-luujauho.

Tässä tutkimuksessa kaikki lannoitteet levitettiin ennen kylvöä käsin pintalevityksenä ja mullattiin 3-4 tunnin kuluttua lannoituksesta. On hyvin todennäköistä, että ennen maahan muokkausta menetettiin osa lannoitevalmisteiden sisältämästä liukoisesta tyypestä ilmaan haihtuneena ammoniakkinä, eikä kaikki taulukoissa 1 ja 3 ilmoitettu liukoinen tyyppi todellisuudessa ollut kasvuston käytettävissä. Korkean pH:n vuoksi mädätysjäännösten sisältämä liukoinen tyyppi on lietelannan tai rakeistettujen orgaanisten lannoitteiden sisältämää liukoista tyyppiä alttiimpi haihtumaan. Aiemmissä tutkimuksissa onkin arvioitu, että pintalevitystekniikka sopii mädätysjäännösten levitystekniikaksi selkeästi huonommin kuin sijoitustekniikka (Kapuinen ym. 2008b). Kasvukaudella 2010 heinäkuu oli Suomessa poikkeuksellisen lämmin ja kuiva, mikä todennäköisesti hidasti orgaanisten lannoitteiden sisältämän tyypin mineralisaatiota ja paransi mineraalityypen lannoitusvaikutusta suhteessa orgaanisiin lannoitteisiin. Tämän kokeen tulokset kuvaavatkin mädätysjäännösten ravinteiden käyttökelpoisuutta vaativissa olosuhteissa ja epäedullisella levitystekniikalla.

LÄHTEET

- Cartelat, A., Gerovic, Z.G., Goulas, Y., Mayer, S., Le-large, C., Prioul, J.-L., Barbottin, A., Jeuffroy, M.-H., Gate, P., Agati, G. & Moya, I. 2005. Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Research* 91: 35-49.
- Ceccotti, S.P. 1996. Plant nutrient sulphur. A review of nutrient balance, environment impact and fertilizers. *Fertilizer Research* 43: 117-125.
- Chen, L., Kivelä, J., Helenius, J. & Kangas, A. 2011. Meat bone meal as fertiliser for barley and oat. *Agricultural and Food Science* 20: 235-244.
- Evans, J.R. 1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia* 78: 9-19.
- Fismes, J., Vong, P.C., Guckert, A. & Frossard, E. 2000. Influence of sulfur on apparent N-use efficiency, yield and quality of oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown on a calcareous soil. *European Journal of Agronomy* 12: 127-141.
- Iivonen, S., Rikala, R., Ryyppö, A. & Vapaavuori, E. 1999. Responses of Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings grown in different nutrient regimes to changing root zone temperature in spring. *Tree Physiology* 19: 951-958.
- Iivonen, S., Tontti, T. & Avikainen, H. 2012. Kierrätyslannoitteet luomujäävuorisalaatin tuotannossa. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisuja 28. 7 s.
- Joshi, N.I., Mali, P.C. & Saxena, A. 1998. Effect of nitrogen and sulphur application on yield and fatty acid composition of mustard (*Brassica juncea* L.) oil. *Agronomy and Crop Science* 180: 59-63.
- Kangas, A., Laine, A., Niskanen, M., Salo, Y., Vuorinen, M., Jauhainen, L. & Nikander, H. 2010. Virallisten lajikekokeiden tulokset 2003-2010 : Results of official variety trials 2003-2010. *MTT Kasvu* 13: 174 s.
- Kapuinen, P., Perälä, P. & Regina, K. 2008a. Mädätyksen vaikutus naudan lietelannan lannoitusominaisuuksiin nurmella. Teoksessa Leena Rantamäki-Lahtinen (toim.). Maataloustieteen Päivät 2008 10.-11.1.2008, Viikki, Helsinki: esitelmä- ja posteritivistelmät. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 24: p. 65.
- Kapuinen, P., Perälä, P. & Regina, K. 2008b. Mädätyksen vaikutus sian lietelannan lannoitusominaisuuksiin ohralla. Teoksessa Leena Rantamäki-Lahtinen (toim.). Maataloustieteen Päivät 2008 10.-11.1.2008, Viikki, Helsinki:

- esitelmä- ja posteritiivistelmät. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 24: p. 243.
- Kapuinen, P., Salo, T. & Paavola, T. 2012. Orgaaniset lannoitevalmisteet ohran typenlähteenä. Teoksessa: Maataloustieteen päivät 2012, 10.–11.1.2012 Viikki, Helsinki: esitelmä- ja posteritiivistelmät. Nina Schulman (toim.) Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 29: p. 41.
- MacGrath, S.P. & Zhao, F.J. 1996. Sulphur uptake, yield responses and the interactions between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (*Brassica napus*). *Journal of Agricultural Science* 126: 53–62.
- Partanen, T. 2012. Biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen käyttö ohran lannoitteena. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. 35 s.
- Pirinen, P., Simola, H., Aalto, J., Kaukoranta, J.-P., Karlsson, P. & Ruuhela, R. 2012. Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010. Ilmatieteen laitoksen raportteja 2012:1.
- Salomonsson, L., Jonsson, A., Salomonsson, A. & Nilsson, G. 1994. Effects of organic fertilisers and urea when applied to spring wheat. *Acta agriculturae Scandinavica. Section B, Soil and Plant Science* 44: 170.
- Tontti, T., Nykänen, A. & Kuisma, M. 2009. Waste composts as nitrogen fertilizers for forage leys. *Agricultural and Food Science* 18: 57–75.

5 MÄDÄTYSJÄÄNNÖSTEN HYÖDYNTÄMISEEN LIITTYVÄT RISKIT KASVINVILJELYSSÄ

SARI IIVONEN JA HANNA-MAIJA VÄISÄNEN,
HELSINGIN YLIOPISTO, RURALIA-INSTITUUTTI

JOHDANTO

Tässä kirjallisuustarkastelussa on käsitelty yleisellä tasolla mädätysjäännösten hygieenisyysovaatimuksia ja siihen liittyviä riskitekijöitä sekä elintarviketurvallisuuden ja kasvinsuojelun näkökulmasta. Erityisesti syvennytään sellaisiin mädätysjäännöksiin, joiden panosraaka-aineet tulevat maatalouden lannoista ja kasvintuotannon sivuvirroista ja joita hyödynnettäisiin maatalouden ravinnekierrossa lannoitteena. Lannoitekäytön kasvinsuojelullisia riskejä on arvioitu erityisesti siitä näkökulmasta katsoen, että biokaasuprosessissa käsiteltäisiin vihannestuotannosta peräisin olevia kasviomassoja ja syntyviä mädätysjäännöksiä hyödynnettäisiin myöhemmin vihannesten tuotannossa.

MÄDÄTYSJÄÄNNÖSTEN HYGIENIALLE ASETETUT VAATIMUKSET LAINSÄÄDÄNNÖSSÄ

Suomalaisen kasvintuotannon lähtökohtana on tuottaa puhdasta ja turvallista raaka-ainetta ihmisten ja eläinten ravinnoksi. Kasvisten alkutuotannossa käytettävän vedellä, lannoitteilla, tuotantoympäristöllä, korjuun toteuttamistavoilla ja varastointiolosuhteilla on vaikutusta sadon hygieniaan. Biokaasulaitoksen mädätysjäännösten käyttö lannoitteena ei saa vaarantaa alkutuotannon tuotteiden elintarviketurvallisuutta. Alkutuotannon elintarvikehygieniaa koskevia vaatimuksia on käsitelty yleisessä elintarvikehygieniaasetuksessa (EY N:o 852/2004) ja ns. alkutuotantoasetuksessa eli maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa elintarvikkeiden alkutuotannon elintarvikehygieniaasta (1368/2011). Edellisten lisäksi alkutuotantoa koskee elintarvikealan yhteinen

EU:n ja kansallinen lainsäädäntö, joita ovat yleinen elintarvikeasetus (EU N:o 178/2002), asetus elintarvikkeiden mikrobiologisista vaatimuksista N:o 2073/2005 ja elintarvikelaki 23/2006. Ns. alkutuotantoasetuksessa todetaan, että alkutuotannon toimijan on omavalvonnan toteuttamiseksi laadittava kirjallinen kuvaus alkutuotantopaikalla käytettävistä keskeisistä menettelyistä, jotka liittyvät hygieniavaatimusten täyttämiseen. Omavalvonta koskee:

1. toimenpiteitä, joilla valvotaan ilman, maaperän, veden, rehujen, lannoitteiden, eläinlääkkeiden, kasvinsuojeluaineiden ja biosidien sekä jätteiden varastoinnin, käsittelyn ja hävittämisen aiheuttamaa saastumista ja
2. toimenpiteitä, jotka koskevat eläinten terveyttä ja hyvinvointia sekä kasvien terveyttä ja joilla on vaikutusta ihmisten terveyteen.

Tuottajat voivat käyttää omavalvonnan kuvauksessa hyväkseen yleisen elintarvikehygieniaasetuksen 8. artiklan mukaisia kansallisia hyvän käytännön ohjeita. Alkutuotannon osalta kansallinen hyvän käytännön ohje on Puutarhaliiton toimesta valmisteilla ja on jätetty Eviralle arvioitavaksi. Kyseinen kansallinen hyvän käytännön ohjeistus pohjautuu Laatutarha-ohjeistoon. Elintarviketeollisuuden HACCP-pohjainen omavalvontaohje kasvisteollisuudelle (versio 5/2006) arvioi avomaalla kasvatettavien vihannesten ja juuresten sisältävien mikrobiologisten riskien olevan kohtalainen ja mikrobiologisiksi vaaratekijöiksi on yksilöity *Listeria*, *Yersinia*, *Bacillukset*, *Clostridium perfringens* (klostridit), *Clostridium botulinum*, EHEC ja kasteluvien mukana tulevat virukset ja muut patogeenit. Listatuista mikrobeista osa on maabakteereita, joita on yleisesti kaikkialla maassa.

Biokaasulaitoksen mädätysjäännöksiä on mahdollista käyttää lannoitteena sekä tavanomaisessa,

että luomutuotannossa. Lannoitusikäytön riskit elintarviketurvallisuudelle syntyvät mädätysjäännösten sisältämistä ihmisten ja eläinten terveydelle haitallisista patogeeneista.

Lannoitevalmistelaki 539/2006 (<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060539>) säätelee lannoitevalmisteiden valmistusta ja markkinointia sekä edellyttää toimijoilta omavalvonnan järjestämistä ja orgaanisia lannoitevalmisteita valmistavilta laitoksilta laitoshyväksyntää. Lain tavoitteena on turvata markkinoille saatettavien lannoitevalmisteiden puhtaus ja turvallisuus. Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa lannoitevalmisteista 24/11 (<http://www.finlex.fi/data/normit/37638-11024fi.pdf>) säädetään lannoitevalmisteiden tyypeistä, tyyppinimiyhdistä ja niihin liittyvistä vaatimuksista.

Biokaasulaitosten toimintaan merkittävästi vaikuttava säädös on ns. sivutuoteasetus. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus N:o 1069/2009 eli ns. sivutuoteasetus asettaa vaatimuksia sellaisille eläinperäisille sivutuotteille, joita ei käytetä suoraan ihmisravintona. Näitä ovat mm. eläinperäiset orgaaniset lannoitteet. Sivutuoteasetus jakaa sivutuotteet kolmeen luokkaan, joilla on erilaiset käsittelyvaatimukset.

Lanta luokitellaan asetuksessa luokkaan 2 kuuluvaksi eläimistä saatavaksi sivutuotteeksi. Lanta, joka on käsitelty sivutuoteasetuksen vaatimusten mukaisesti teknisessä laitoksessa tai muunnettu asetuksen vaatimusten mukaisesti biokaasulai-

toksessa on *käsiteltyä lantaa*. *Käsitlemätöntä lantaa* on raakalanta ja lanta, joka on käsitelty muulla kuin sivutuoteasetuksen mukaisella menetelmällä. Sivutuoteasetuksen ulkopuolella jääviä vaihtoehtoja voivat olla oman tilan lannan käsittelevät biokaasulaitokset ja usean tilan keskitetyt laitokset lannan käsittelyssä. Sivutuoteasetuksen tavoitteena on turvata riittävä hygieniataso tautivaarallisten mikrobin leviämisen ehkäisemiseksi. Mädätysjäännöksiä koskevassa lainsäädännössä seurattaviksi indikaattorimikrobeiksi on Euroopan komission asetuksessa (N:o 142/2011) valittu *Echerichia coli*-bakteeri tai *Enterococcaceae* bakteerit ja *Salmonella*. Lainsäädännön mukaan biokaasulaitoksessa muuntamisen aikana tai välittömästi sen jälkeen mädätysjäännöksestä käsittelyn valvomiseksi otettujen edustavien näytteiden on täytettävä seuraavat vaatimukset ollakseen hyväksyttävii: Käsitellyssä lannassa ja lantatuotteissa on seurattavaksi valitun indikaattorimikrobin (*E. coli* tai *Enterococcaceae*) määrän oltava aina alle 1000 pmy/g (*Escherichia coli*-bakteeria tai *Enterococcaceae*-bakteereja <1000 pmy/g neljässä näytteessä ja < 5000 pmy/g yhdessä näytteessä). Lisäksi raakalannassa olevien sulfittia pelkistävien klostridien määrän on vähennyttävä käsittelyn aikana merkittävästi (esimerkiksi 1/1000). Tuotteen varastoinnin aikana tai varastosta luovutuksen yhteydessä otetussa näytteessä ei saa olla salmonellaa (ei todettu 25 grammassa näytettä).

Taulukko 1. Eläinperäisten sivutuotteiden luokittelu ja käsittelyvaatimukset biokaasulaitoksissa.

	Luokka 1	Luokka 2	Luokka 3
Materiaali	Sivutuotteet, joissa on TSE-taudin riski, tuntematon riski tai ne sisältävät kiellettyjen aineiden tai ympäristömyrkköjen jäämiä.	Sivutuotteet, joissa on muiden eläintautien kuin TSE-tautien riski tai eläinlääkejäämien riski.	Sivutuotteet, jotka on saatu ihmisravinnoksi hyväksytyistä eläimistä, joita ei kuitenkaan enää käytetä elintarvikkeissa.
Käsittelyvaatimukset	Ei saa käyttää biokaasulaitoksessa raaka-aineena.	Sterilisointi: 133 °C, 3 bar, 20 min, partikkelikoko <50 mm	Hygienisointi: 70 °C, 60 min, partikkelikoko <12 mm
Esimerkkimateriaaleja	Kansainvälisen liikenteen EU:n ulkopuolelta oleva ruokajäte.	Lanta, kuolleet tai teurastetut siat ja siipikarja	Entiset elintarvikkeet, ruokajäte

HYGIENIAVAATIMUKSET KÄYTETTÄESSÄ MAATILAN OMIA SYÖTTEITÄ

Maatilanmittakaavan biokaasulaitoksilla käsitellään tyypillisesti vain tilan omaa tai sopimustilojen lantaa sekä kasvibiomassoja. Sivutuoteasetuksen käsittelyvaatimuksia ei tarvitse noudattaa maatilalla tai maatilojen välisessä lannan yhteiskäsittelyssä seuraavissa tapauksissa (MMM Lannan käsittely ja käyttö maatiloilla, Soveltamisopas III, Päivitetty 12.1.2005):

1. Silloin kun tilan omaa lantaa, raakamaitoa ja maitohuoneen pesuvesiä mädätetään noudattaen nitraattiasetuksen ja ympäristötukiehtojen vaatimuksia. Syntynyttä lopputuotetta pidetään käsittelemättömänä lantana ja sitä voidaan käyttää omalla tilalla tai luovuttaa/myydä toiselle tilalle tai yksityiselle henkilölle joko luovutussopimuksen puitteissa tai alle 100 m³ vuodessa. Lannan luovuttamisen/myymisen edellytyksenä on, ettei tilalla esiinny tautteja kuten *Salmonellaa*, EHECiä tai *Yersinia*.
2. Lantaa käsitellään joko tilojen yhteisessä biokaasulaitoksessa tai joillakin tiloista. Tällöin tilojen väliseen sopimukseen on kirjattava,

miten toimitaan, kun tiloilla esiintyy vakavia eläintauteja. Lopputuote on käsittelemätöntä lantaa ja sen myynti tai luovutus lannaluovutussopimusten ulkopuolisille käyttäjille ei ole sallittua. Lannan luovuttamisen edellytyksenä yhteiskäsittelyyn on, ettei tilalla esiinny tautteja kuten *Salmonellaa*, EHECiä tai *Yersinia*.

Mikäli maatilalla biokaasuprosessiin otetaan tilan tai sopimustilojen syötteiden lisäksi jokin seuraavista syötteistä: asumajätevesilietettä, ruokajätettä, tilan ulkopuolista syötettä (paitsi lantaa), teollisuuden lietettä, tautiriskejä sisältäviä syötteitä, niin tästä seuraa lisäehtoja ja vaatimuksia toiminnalle ja lopputuotteelle.

MÄDÄTYSJÄÄNNÖSTEN HYGIENIARISKIT

Eläinten lantoja ja kasvibiomassoja käsittelevästä biokaasulaitoksesta saatavan lopputuotteen hygieenisyyteen vaikuttaa useat tekijät, kuten syötteiden sisältämät patogeenit, prosessin lämpötila ja viipymäaika, prosessityyppi, hygienisointiyksikön käyttö ja muut prosessiolosuhteet.



Kuva 1. Biokaasulaitoksen separoimatonta mädätysjäännöstä. Kuva: Sari Iivonen.

Mädätysjäännöksen hygieenisuysriskiä voidaan arvioida biokaasulaitokseen tulevien syötteiden perusteella. Eläinten lanta voi sisältää patogeenisiä bakteereja, jotka voivat aiheuttaa ihmisen sairastumisen. Erilaisten lantojen kautta voivat levitä mm. salmonellat, kampylobakteerit, *E. coli*-kannat, yersiniat, listeria ja *Clostridium perfringens*. *E. coli*-bakteeria esiintyy yleisesti naudan lannassa (myös EHEC kannat). Myös *Listeriaa*, kampylobakteereja ja jonkin verran *Salmonellaa* esiintyy naudan lannassa (Nicholson ym. 2000). Sian lannassa esiintyy yleisesti *E. coli* O157:H7 kantaa (FiBL 2011). Kananlannassa *Salmonella* ja kampylobakteerit ovat yleisin kontaminaatoriski (FiBL 2011). *Listeria* ja *Cl. perfringens* ovat myös yleisiä maabakteereja.

Patogeeniä löytyy etenkin käsittelemättömästä ja kohtalaisen tuoreesta lannasta. Käsittelemättömästä lannastakin patogeenit yleensä häviävät ajan myötä. Tuhoutumiseen vaikuttavat lämpötila, kuivuminen, jäätyminen-sulamisjaksot, lannan kemialliset muutokset, happipitoisuus, kiintoaineksen määrä (lietteellä), laimentaminen (lietteellä), muu mikrobisto sekä itse bakteerin määrä ja kanta. Eräät patogeenit voivat kuitenkin sopivissa olosuhteissa säilyä hengissä lannassa hyvinkin pitkään.

Seuraavissa kappaleissa on tarkasteltu esimerkiksi lainsäädännössä seurattaviksi indikaattorimikrobeiksi määriteltyjen *E. coli* ja *Salmonellan* elinvoimaisuuteen vaikuttavia tekijöitä.

ESCHERICHIA COLI

Enterobakteereihin kuuluva *E. coli* on ihmisen ja eläimen normaaliflooraan bakteeri, mutta eräät sen serotyypit aiheuttavat infektioita, kuten suo- listo- ja virtsatietulehduksia (Vuorela 1997). Suolistotulehduksia aiheuttavat seuraavat kannat: enterotoksiset (ETEC), enterohemorrhagiset (EHEC), enteropatogeeniset, enteroinvasiiviset (EIEC) ja enteroaggregatiiviset (EaggEC) *E. coli*-bakteerit. (Vaara ym. 1996). Ihmiselle merkityksellisimpiä *E. coli*-patogeeniä ovat STEC -kannat, jotka pystyvät tuottamaan shigatoksiinia. *E. coli* esiintyminen elintarvikkeissa tai vedessä on yleensä osoitus ulosteperäisestä saastumisesta.

E. coli kannat pystyvät kasvamaan lämpötila-alueella 7,5 – 49 °C. Optimi kasvulämpötila on 35 – 40 °C. Patogeeniset *E. coli* selviävät yleensä hyvin jääkaappilämpötiloissa. Happamuuden sietokykyyn vaikuttaa happamuuden aiheuttava aine. Optimi happamuus kasvulle on pH 6 – 7, minimin ollessa 4,4 ja maksimin 9,0. *E. coli* viihtyvät melko kosteissa olosuhteissa; optimi veden aktiivisuus on 0,995. (ICMSF 1996) *E. coli* inak-

tivoitumiseen lannassa vaikuttavat monet seikat kuten mm. kosteuspitoisuus, kuuman jakson kesto ja kompostimateriaali. Kompostoinnissa yli +50 °C asteen lämpötiloja pidetään riittävinä *E. coli* tuhoutumiselle. Sian lietteestä *E. coli* voidaan tuhota ilmastuksella, jos lämpötila nousee 50 asteeseen vähintään kolmeksi tunniksi (Herold ym. 1999). Mitä korkeampi lämpötila lannan käsittelyssä on sitä nopeammin hygienisoituminen voidaan saavuttaa. Mesofiilillä lämpötila-alueella kompostointi ei todennäköisesti tuhoa koliformeja ja patogeeniä (Turner 2002). Poikkeuksellisesti on saatu myös koetuloksia, joissa *E. coli* on säilynyt jopa 59 vrk +60 °C asteen kompostoinnissa. Toisaalta Skjelhaugenin ja Donantonin (1998) kokeiden mukaan ilmanastuksella voidaan kohtalaisen lyhyessä ajassa (7 vrk) ja alhaisessa lämpötilassa (+5 – 15 °C) saavuttaa lämpökestoisten koliformien suhteen hygieenistä lietettä (alle 102 pmy/g). Seisotettaessa lietettä säiliössä *E. coli* voi säilyä elossa 35 vuorokaudesta yli 77 vuorokautteen (Burrows & Rankin 1970).

EHEC

Enterohemorrhaginen *Escherichia coli* (EHEC) -bakteeri kuuluu verotoksiineja tuottavien kolibakteerien ryhmään. Eläimille EHEC ei yleensä aiheuta tautia, vaan ne ovat bakteerin oireettomia kantajia. EHEC-bakteeriryhmä käsittää useita *E. coli* -bakteerin alatyyppejä, joista tunnetuin ja ihmisille merkittävin epidemioiden aiheuttaja on O157. Ihmisillä EHEC-infektion tyypillisä oireita ovat verinen, kuumeeton ripuli ja vatsakrampit. EHEC:in levittäjänä on pidetty nautakarjaa, mutta myös muilta märehäntäjiltä, siipikarjasta ja koirista on löydetty patogeenisiä serotyyppejä. Myös osa lintukannasta, kuten lokit, on todettu kantajiksi (Wallace ym. 1997). Aikuiselle nautakarjalle serotyyppi O157:H7 ei ole patogeeninen, joten karja voi toimia oireettomana bakteerin kantajana. (Hancock ym. 1997). EHEC-bakteerin on todettu erittyvän ulosteeseen. Ulostoiden saastuttamat elintarvikkeet, vesi sekä kontaktit taudinkantajia eläimiin tai ihmisiin ovatkin olleet ihmisillä tartuntalähteinä. EHEC:in erittymisen lantaan on todettu vaihtelevan vuodenaikojen mukaan. Yleisintä esiintyminen on kesäkaudena ja huiput ovat yleensä keväällä ja loppukesällä. Ulkomaisten lypsykarjojen lannan EHEC-pitoisuudet vaihtelevat < 10² - 10⁵ pmy/g (Zhao ym. 1995). Jo pienikin bakteerimäärä, 10-50 pmy, pystyy aiheuttamaan ihmiselle infektion. Suomessa EHEC-bakteeria esiintyy vuosittain 0-5 %:lla tutkituista teurasnau-doista (EHEC-valvontaohjelma).

E. coli O157:n on todettu sopeutuvan hyvin erilaisiin olosuhteisiin. Sen lisääntymiseen, hengissä pysymiseen ja tuhoutumiseen vaikuttavat lämpötila, happamuus, kilpaileva mikrobifloora, vedenaktiivisuus, ravinteiden saatavuus, antibakteerisia ominaisuuksia omaavat aineet (kuten säilöntäaineet) ja näiden kaikkien yhdistelmät (Ryu & Beuchat 1999, Buchanan & Edelson 1999, Duffy ym. 1999, Venkitanarayanan ym. 1999, Buncic & Avery 1998, Kauppi ym. 1998, Buchanan & Bagi 1997).

Ehdottomien kasvulämpötilarajojen esittäminen *E. coli* bakteereille on hankalaa, koska mini- ja maksimilämpötiloihin vaikuttaa kasvualusta. Kauppi ym. (1998) osoittivat, että verotoksiinia tuottavien *E. coli*en minimikasvulämpötila vaihtelee + 6,5 – 9,5 °C:een riippuen kasvualustan koostumuksesta. Jatkotarkastelussa (Kauppi ym. 1998) todettiin, että kasvu on mahdollista + 6,5 °C:ssa niukissakin ravinto-olosuhteissa, jos saatavilla on orgaanista tyyppiä (hiili ja energia lähde) ja sokeita. *E. coli* O157 tuhoutuu pastöroinnissa (15 sekuntia +72 °C).

EHECin happamuuden sietokykyyn vaikuttavat kasvuvaihe ja kasvuvaiheen happamuus. Mitä korkeampi pH on kasvuvaiheessa, sitä huonommin EHEC sietää happamia olosuhteita ja päinvastoin (matala pH kasvuvaiheessa -> parempi sietokyky happamuudelle). Eräiden EHEC kantojen on todettu kestävän hyvinkin happamia olosuhteita useita tunteja (pH 2,5/5 h) (Benjamin & Datta 1995). Tutkittaessa erilaisten ympäristötekijöiden yhdysvaikutusta *E. coli* O157:H7:aan on havaittu muun muassa, että pitkään vähäravinteisessa matalassa lämpötilassa (+ 4 °C) ja happamissa olosuhteissa olleet *E. coli* O157:H7 solut ja toksiiniin tuottavuus ovat lisääntyneet huomattavasti siirrettäessä ne +37 °C:een (Buncic & Avery 1998).

Kilpaileva mikrobisto voi vaikuttaa estävästi *E. coli* O157:n kasvuun. Etenkin suolistoperäisten bakteerien on havaittu kilpailevan elintilastaan tuhoamalla toisia sukuja tai lajeja. Kilpailevan mikrobiston läsnäolo voi myös suojata patogeeneja muita stressitekijöitä, kuten lämpötilaa, vastaan. (Duffy ym. 1995)

E. coli O157:H7 on patogeeni, joka voi säilyä pitkäänkin lannassa. Ilmastamattomalla lampaan ja nautaeläinten lannalla tehdyssä tutkimuksissa *E. coli* O157:H7 pystyi säilymään lannassa jopa yli vuoden. Korkeimmat pitoisuudet havaittiin vuoden lämpimimpinä kuukausina. Samanlaisessa ilmastetussa lannassa tämä bakteeri säilyi 1 – 4 kuukautta, riippuen lannasta (lampaan ja nautaeläimen lanta). Eroihin arveltiin vaikuttavan lannan kuivuminen, koska bakteeri pystyttiin määrittämään vain kasojen kosteista kohdista, mutta ei kuivista. (Kudva ym. 1998)

Laboratorio-olosuhteissa (Kudva ym. 1998) tehdyssä kokeissa tarkkailtiin *E. coli* O157 säilymistä erilaisissa naudan lantajakeissa (kiinteä lanta, ilmastettu ja ilmastamaton liete) ja eri lämpötiloissa (-20, +4, +23, +37, +45 ja +70 °C) 28 vuorokauden ajan. Ilmastamattomassa kiinteässä naudan lannassa *E. coli* O157 säilyi kauemmin (15-28 vrk) -20, +4 ja +23 °C:ssa. Käsittelemättömässä ja käsitellyssä (ilmastettu) naudan lietteessä patogeeni ei ollut enää määritettävissä 5 vuorokauden jälkeen +23, +37, +45 ja +70 °C:ssa. Kaiken kaikkiaan voitiin todeta, että *E. coli* O157 säilyi parhaiten ilmastamattomassa ulosteessa, jossa oli korkea kiintoainespitoisuus ja joka pidettiin alle +23 °C:ssa. Myös kuivan lannan (10 % kosteuspitoisuus) altistaminen ammoniakkiakaasulle vähentää *E. coli* O157:H:n määrää (Himathongkham & Riemann 1999). *E. coli* O157 kuoleminen lietelannassa voi johtua lietelannan kemiallisista muutoksista, kuten ammoniumtyypen ja orgaanisten happojen kerääntymisestä sekä hapen ja käytettävissä olevan hiilen vähentymisestä. Lisäksi suuri kiintoaineksen määrä lietteessä on eduksi bakteerin kasvuille. Patogeeneja voidaan merkittävästi vähentää lietteen ilmastuksella, sillä happea sietävät mikrobit saalistavat patogeeneja (Sipilä & Pehkonen 1998, Kudva ym. 1998).

SALMONELLA

Salmonella on fakultatiivisesti anaerobi, itiöitä muodostamaton bakteeri, joka kuuluu enterobakteerien heimoon. Yleisimmät suolistoinfektioita aiheuttavat lajit ovat *S. typhimurium* ja *S. enteritidis*. Suvusta löytyy useita serotyyppejä (yli 2400), joiden isäntäorganismit ja taudinkuvat vaihtelevat. *Salmonella* voi tarttua ihmisten välillä tai eläin- ja muista ympäristölähteistä ihmiseen. Yleisin tartuntalähde on siipikarja ja siitä tehdyt tuotteet. Liha ja maito kontaminoituvat yleensä käsittelyvaiheessa; ne itsessään eivät ole saastuneita. Salmonelloosin oireita ovat ripuli, pahoinvointi, vatsakivut ja kuumeilu. Infektioon tarvittava määrä voi vaihdella alle sadasta miljoonasta pmy/g riippuen lajista ja siitä kuinka suuri osuus pääsee vatsan läpi suolistoon asti.

Salmonella-lajit tuottavat sytotoksiinia tai enterotoksiinia. Lajien virulenssiin vaikuttavat muun muassa itse laji, kasvuvaihe, pH, lämpötila ja happiolosuhteet. Sen lisääntyminen hidastuu alle 15 °C asteessa ja yleensä alle 7 °C:ssa kasvu on estynyt. *Salmonella* on kohtalaisen herkkä kuumentamiselle. Maksimi kasvulämpötila *Salmonellalle* on 49,5 °C astetta, joten se tuhoutuu tätä korkeammassa kuumennuskäsittelyssä. Eri *Salmonellan* serotyyppien lämpökestävyyttä lisäävät esikäsitte-

ly korkeimmissa lämpötiloissa, emäksisissä tai vähäravinteisissa olosuhteissa (Humphrey ym. 1993, IMCSF 1996).

Salmonellan on todettu muiden patogeenien lailla myös sopeutuvan ulkoisiin stressitekijöihin. Esimerkiksi happamiin olosuhteisiin adaptoitunut *S. typhimurium* voi kestää hyvin kuumentamista ja osmoottista painetta (Leyer & Johnson 1993). Happamuuden sietokykyä voidaan lisätä altistamalla ensin vähemmän happamiin olosuhteisiin tai siirtämällä ensin korkeampaan lämpötilaan (Foster & Hall 1990). Optimi pH-alue salmonellalle on noin 7–7,5. Raportoiduista kokeista alhaisin pH luku, jossa *Salmonella* voi kasvaa on 3,8 (IMCSF 1996). Vedenaktiivisuudella on suuri vaikutus *Salmonellan* kasvuun. Alaraja lisääntymiselle on 0,94 aw. *Salmonella* voi kuitenkin säilyä vuosia alhaisen aw:n omaavissa tuotteissa.

Vaikka *Salmonellojen* tartuntalähteinä ovat yleensä eläinperäiset tuotteet, on niitä tavattu myös kasviksista (Heisick ym. 1989). Kokeissa on todettu *Salmonellojen* pystyvän kasvamaan kasvien pinnalla, mm. leikatuissa/pilkotuissa tomaateissa 22 °C ja 30 °C:n lämpötiloissa (Asplund & Nurmi 1991).

SALMONELLAN SÄILYMINEN ERILAISSA LANNOISSA JA LANNANKÄSITTELYSSÄ

Lannan kompostoinnissa *Salmonella* tuhoutuu pääasiassa lämpötilan vaikutuksesta. Myös mikrobien kilpailulla ravinteista ja mikrobien tuottamilla aineilla on osuutensa tuhoutumiseen. *Salmonellan* tuhoutumiseksi kompostin lämpötilan tulisi kohota kauttaaltaan + 50–60 °C:een yli 10 päiväksi. Mikäli kompostissa on viileitä kohtia, kuten pinnalle ja pohjaan voi muodostua, *Salmonellan* tuhoutuminen on epävarmaa. (Pereira-Neto ym. 1986, Makawi 1973).

Plym-Forsshell ja Ekesbo (1993) selvittivät *Salmonellan* säilymistä kompostoidussa ja kompostoitamattomassa lannassa. *S. dublin*, *S. senftenberg* ja *S. typhimurium* säilyivät kompostoidussa nautalannassa, jonka lämpötila oli välillä 55–60 °C, enintään 7 päivää. Kompostoidussa sianlannassa edellä mainitut patogeenit säilyivät 7–14 päivää (lämpötila oli 12 ensimmäisenä päivänä + 54–64 °C). Myös alhaisemmissa lämpötiloissa *Salmonellan* on havaittu häviävän kompostoinnissa. *S. typhi* on saatu häviämään 13 vuorokaudessa + 20–22 °C:ssa, mutta *S. cairon* tuhoamiseen vastaava lämpötila ei riittänyt (Makawi 1973). Kylmässä karjanlannassa (lämpötilavaihtelu säilytyksen aikana + 1–16 °C) *S. typhimurium* on pystytty mää-

rittämään vielä 204 päivän jälkeen (Plym-Forsshell & Ekesbo 1993).

Himathongkham ym. (1999) totesivat, että kiinteässä nautan lannassa *S. typhimurium* säilyy pisimpään (noin 3,5 viikkoa) pintakerroksessa (+20 °C:ssa) ja lyhyimmän aikaa lannan sisällä (2 vrk, +37 °C:ssa). Myös Strauchin & Müllerin (1968) mukaan *S. typhimurium*, *S. anatum* ja *S. manchester* säilyivät tuoreessa siipikarjan lannassa kauemmin + 5–8,9 °C:ssa (12–25 päivää) kuin +19 °C:ssa (alle 6 päivää).

Salmonellan säilymiseen lietelannassa vaikuttavat lämpötila, kiintoaineen määrä, lietteen mikrobisto, *Salmonellan* määrä ja kanta. Lietelannan varastoinnin aikainen pH:n lasku ei suoranaisesti vaikuta tuhoavasti salmonellaan, vaan se kertoo joidenkin orgaanisten happojen syntymisestä, jotka ovat toksisia *Salmonellalle*. Näyttäisi siltä, että *Salmonella* ei tämän ja kilpailevan mikrobiston vuoksi pysty lisääntymään lietelannassa (Jones ym. 1977). Monista eri olosuhdetekijöistä ja *Salmonella*-lajien erilaisesta herkkyydestä johtuen, *Salmonellan* kestävydestä lietteessä on olemassa vaihtelevia tutkimustuloksia. On esitetty, että *Salmonella* (*S. dublin*, *S. typhimurium*) säilyisi lietteessä 10–33 viikkoa (Burrows & Rankin 1970, Tannock & Smith 1971). Ilmastamattomassa tuoreessa nautan lietteessä +37 °C:ssa lämpötilassa bakteerin tuhoutumisen on havaittu tapahtuvan 19 vuorokaudessa (Himathongkham ym. 1999).

Salmonellan voidaan tuhota lietelannasta Heimonen-Tanski ym. (1998) mukaan ilmastuksella alhaisissakin lämpötiloissa (+ 19–40 °C). Laboratorio-olosuhteissa huoneenlämmössä ilmastetusta lietteestä ei pystytty enää 21 vuorokauden jälkeen määrittämään *Salmonellaa*. Myös tilakokeissa saatiin samanlaisia tuloksia. Tuhoutumismekanismiin vaikuttavat ilmeisesti useat tekijät; pH:n nousu (mikrobien hajottaessa lietettä), ammoniakkin muodostuminen sekä kamppailu ravinnosta muun mikrobiston kanssa muuttuvissa olosuhteissa, joihin salmonella ei pysty sopeutumaan. Korkeissa lämpötiloissa ilmastamalla *Salmonellan* tuhoutuminen voi olla hyvinkin nopeaa. Sian lietteestä *S. typhimurium* tuhoutui ilmastuksessa, kun lämpötila nousi +50 °C asteeseen vähintään kolmeksi tunniksi (Herold ym. 1999).

S. typhimuriumin tuhoutuminen nautakarjan lietelannan hapettomassa hajoamisessa on riippuvainen lämpötilasta; tuhoutumisen on todettu olevan nopeampaa +17 °C:ssa kuin +4 °C:ssa. Panoksittain tehtävässä mädätyksessä (0,7–0,9 vrk), patogeenit tuhoutuvat nopeammin kuin puolijatkuvassa (1,1–2,5 vrk). (Kearney ym. 1993a)

BIOKAASUPROSESSIN VAIKUTUS MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN HYGIEENISYYTEEN

Biokaasuprosessi perustuu mikrobin kykyyn hajottaa orgaanista materiaalia anaerobisissa olosuhteissa. Biokaasuprosessi voi perustua märkä- tai kuivamädätykseen. Biokaasulaitoksen tekniikasta ja mikrobipopulaatiosta riippuen prosessi on termofiilinen tai mesofiilinen. Termofiilisessä prosessissa syötteiden lämpötila kohoaa 55 asteeseen, kun taas mesofiilisessä prosessissa saavutetaan tavallisesti 35 asteen lämpötila.

Lämpötilalla on tärkeä rooli patogeenisten bakteerien tuhoutumiseen mädätysprosessissa. Pääsääntöisesti korkeampaa lämpötilaa käytettäessä tarvitaan vähemmän aikaa bakteerien inaktivoimiseen. Näin ollen termofiilisessä mädätysprosessissa (lämpötila 50–55 °C) voidaan hygieniatavoitteet saavuttaa lyhyemmässä ajassa kuin mesofiilisessä mädätysprosessissa (30–35 °C). Olsen ja Larsen (1987) ovat kokeissaan todenneet usean patogeenin (mm. *S. aureus*, *S. faecalis*, *B. cereus*, *C. perfringens*) inaktivoituvan termofiilisessä mädätyksessä 24 tunnissa, kun vastaavasti mesofiilisessä bakteerien inaktivoitumiseen meni aikaa viikoista kuukausiin. Tutkijat totesivat, että jo viiden asteen lämpötilan nosto lyhentää tuhoutumisaikaa. Naudan lietelannan mesofiilisessä mädätysprosessikoissa todettiin, että *S. typhimurium* tuhoutui 10 päivän päästä lämpötilan ollessa prosessissa 37 °C (Gadre ym. 1986). Godfree & Farrel (2005) raportoivat *E. colin* määrän vähenevän lähes log 3,8 mesofiilisessä prosessissa 12 vuorokauden viipymäajalla. Hygienisoitumista tehostaa myös jälkimädätys, joka tapahtuu varsinaisen mesofiilisen mädätysprosessin jälkeen (Godfree & Farrell 2005).

Toistaiseksi Suomen kaikki maatilakohtaiset ja keskitetyt biokaasulaitokset perustuvat märkäprosessiteknologiaan ja käytännön syistä jatkuvatoiminen reaktorityyppi on suosituimpi. Maailmalla tehtyjen tutkimustulosten mukaan, panosprosessissa voidaan varmemmin hallita patogeenisten bakteerien tuhoutumista. Esimerkiksi Kearney ym. (1993a) totesi tutkimuksensa perusteella *E. colin*, *S. typhimuriumin*, *Listeria monocytogeneksen* ja *Y. enterocolitian* tuhoutuvan merkittävästi paremmin panos- kuin jatkuvatoimisessa prosessissa. Lisäksi jatkuvatoimisessa prosessissa tarvitaan yleensä pidempi aika patogeenien tuhoutumiseen.

Mikäli laitoksessa käsitellään korkean riskin materiaalia, vaaditaan syötteiden hygienisoimista ns. hygienisoimisyksikössä ennen varsinaista anaerobista biokaasuprosessia (sivutuoteasetus). Hygienisoimiskäsittelyssä riittävän hienojakoisek-

si jauhattujen (partikkelikoko ≤ 12 mm) syötteiden lämpötila nousee 70 asteen lämpötilaan tunnin ajaksi, minkä on todettu heikentävän riittävästi useimpia patogeenisia taudinaiheuttajia (EPPO 2008). Maatilan oma ja yhteislantaloiden lanta ja kasvijäte voidaan käsitellä tilan tai yhteislantalalan biokaasulaitoksessa ilman esikäsitteilyä siis myös ilman hygienisoimista. Lopputuotetta pidetään tällöin kuitenkin edelleen käsittelemättömänä lantana ja siihen sovelletaan mm. raakalannalle annettuja käyttösuosituksia ja sopimusmenettelyjä. Tämä koskee tilojen biokaasulaitoksia, kun käsittelyjäännös levitetään tilojen pelloille eikä lannassa tai lisätyissä kasvijätteissä ole tautiriskiä. Maatilamittakaavan biokaasulaitoksessa ei kustannussyistä välttämättä investoida erilliseen hygienisoimisyksikköön. Tällöin on tarkasteltava anaerobisen prosessin ja käsittelyjäännöksen jälkikäsitteilyn vaikutusta käsittelyjäännöksen sisältämiin riskeihin. Osa anaerobisessa prosessissa tapahtuvaa taudinaiheuttajien heikkenemistä voi johtua myös muista tekijöistä kuin pelkästään lämpötila-altistuksesta. Näitä muita tekijöitä ovat orgaanisen aineksen hajotuksessa syntyvät haihtuvat orgaaniset yhdisteet.

Mikäli vain kasveja ja lietettä käsittelevän laitoksen käsittelyjäännöstä toimitetaan markkinoille, vaadittava hygieniataso voidaan saavuttaa myös termisellä kuivauksella tai kompostoinnilla. Termofiilinen prosessi täyttää hygienisoituvuuden tapauksissa, joissa laitoksella käsitellään ainoastaan ruokajätettä, puhdistamolietettä tai lantaa taikka näiden seosta. Tällöin hygienisoituminen tulee kuitenkin osoittaa lopputuotteesta mikrobiologisin analyysin.

MÄDÄTYSJÄÄNNÖSTEN SISÄLTÄMÄT KASVITAUTIRISKIT

LAINSÄÄDÄNNÖN ASETTAMAT RAJARVOT

Biokaasulaitoksissa hyödynnetään lantojen lisäksi kasvibiomassoja, jotka voivat olla kasvatettuja energiantuotantoa varten tai erilaisista kasvien jatkojalostusprosesseista, kuten kuorimoista tai pakkaamoista peräisin olevia kasvijätteitä. Kasvibiomassat voivat sisältää kasvilajista riippuen erilaisia kasvin-tautien aiheuttajia ja jatkojalostamattomien kasvibiomassojen tapauksessa myös siemenrikkakasveja. Nämä aiheuttavat kasvinsuojelullisten riskien kasvun, mikäli taudinaiheuttajat ja rikkakasvit säilyttävät elinvoimaisuutensa biokaasuprosessissa

ja käsittelyjäännöstä hyödynnetään lannoitteena. Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa lannoitusvalmisteista todetaan, *että lannoitevalmisteissa ei saa esiintyä kasvinterveyden suojelemisesta annetussa laissa (702/2003) tai sen nojalla annetuissa asetuksissa mainittuja kasvintuhoojia*. Vaatimusten täyttymistä on seurattava omavalvonnalla erityisesti taulukossa 1 mainittujen perunan ja juurikkaan kasvintuhoojien osalta. Eri-tyisen tarkkoja on oltava peruna-, juurikas- ja juuresteollisuuden, -kuorimoiden ja -pakkaamoiden sivutuotteiden ja jätteiden käytön suhteen siinä tapauksessa, että raaka-aineessa on ennen käyttöä havaittu tai jätteet on peräisin sellaisilta tiloilta, joilla on tavattu edellisen viiden vuoden aikana taulukossa 2 mainittuja kasvintuhoojia. Vaarallisten kasvintuhoojien leviämisen ennaltaehkäise-

miseksi peruna-, juurikas- ja juuresteollisuuden, -kuorimoiden ja -pakkaamoiden sivutuotteet ja jätteet tulee käsitellä joko kompostoimalla (kompostoitavan massan tulee saavuttaa vähintään 55°C:n lämpötilan vähintään 40 %:n kosteudessa vähintään 2 viikon ajan) tai lämpökäsittämällä kosteana 70°C:ssa yhden tunnin ajan (partikkelikoko alle 12 mm) tai muulla kasvinsuojeluviranomaisen hyväksymällä menetelmällä.

Rikkakasvin siemeniä ei lannoitteissa ja kalitusaineissa saa esiintyä ollenkaan. Pakatuissa maanparannusaineissa ja kasvualustoissa saa esiintyä enintään 2 itänyttä siementä litraa kohden ja vastaavasti pakkaamattomissa maanparannusaineissa ja kasvualustoissa 5 itänyttä siementä litraa kohden tai maininta tuotteen sisältämistä rikkakasvin siemenistä.

Taulukko 2. Kasvipärisistä raaka-aineista tai niiden mukana tulevista multajakeista valmistettujen lannoitusvalmisteiden vaatimukset tiettyjen kasvitaudin aiheuttajien suhteen (MMM Asetus 24/11).

Kasvintuhooja	Enimmäismäärä
Juuripoltesieni (mm. <i>Fusarium</i> ; todettu viljelytestillä)	Ei todettavissa taimituotannossa käytetyissä kasvualustoissa
Keltaperuna-ankeroinen (<i>Globodera rostochiensis</i>)	Ei todettavissa juures-, juurikas- ja perunaraaka-aineesta tai näiden mukana tehtaalle tai kuorimoon tulevista multajakeista valmistetuissa lannoitevalmisteissa.
Valkoperuna-ankeroinen (<i>Globodera pallida</i>)	
Perunan vaalea rengasmätä (<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>sepedonicus</i>)	
Perunan tumma rengasmätä (<i>Ralstonia solanacearum</i>)	
Perunasyöpä (<i>Synchytrium endobioticum</i>)	
Juurikkaan nekroottinen keltasuonivirus ('Ritsomania')	
Juuriäkämäankeroinen (<i>Meloidogyne</i> spp.)	
Muut kasvitauteja aiheuttavat karanteenituhoojat	Ei todettavissa kasvihuonetuotannon kasvijätteestä tai kasvualustoista valmistetuissa lannoitevalmisteissa.

SYÖTTEIDEN SISÄLTÄMÄT RISKIT

Kasvitautien aiheuttajat, patogeenisenienet, bakteerit tai virukset voivat aiheuttaa satotappioita yhdelle tai useammalle isäntäkasvikasvilajille. Jotkin kasvilajit toimivat vain tautia ylläpitävinä taudinaiheuttajien väli-isäntinä. Infektoituneiden kasvien mukana taudinaiheuttajat voivat päätyä prosessiin. Kasvitauteja aiheuttajat patogeenisenienet tuottavat kasvisolukkaan kasvullista rihmastoa, mutta ne pystyvät tuottamaan myös erilaisia kuumuutta ja kuivuutta paremmin sietäviä kasvullisia kestoasteita, kuten kystia, rihmastopahkoja ja kestoitiöitä. Suvulliset itiöt voivat levitä ilmaitse ja niitä on vaikea havaita ennen selvien oireiden ilmestymistä. Osa kasvitaudeista ilmenee aiheuttaen oireita vasta pidemmän varastointiajan jälkeen. Kasvitautien aiheuttajien elinkierrat ovat vaihtelevia. Osa kasvitautien aiheuttajista selviää pitkiä aikoja maassa ja osa selviää elinvoimaisena vain kasvisolukossa tai hajoavassa kasvijätteessä. Elinkiertojen vaihtelevuus vaikuttaa myös torjuntakeinojen valikoimaan.

Etelä-Savossa merkittävimpiä taudinaiheuttajia jäävuorisalaatilla ja muilla vähäisemmissä määrin viljeltävillä avomaan erikoissalaateilla on pahkahomelajit, *Sclerotinia sclerotiorum* ja *Sclerotinia subarctica* nom. prov., harmaahome (*Botrytis cinerea*), seittimätä (*Rhizoctonia solani*) sekä salaatin piilomätää aiheuttava *Pseudomonas cichorii* (Tuomola ym. 2012a). Kiinankaalilla satotappioita kasvukaudella ja varastoinnin aikana aiheuttaa bakteerimätätauti. Keräkaalilla satotappioita aiheuttavat etupäässä möhöjuuri (*Plasmiodiophora brassicae*) ja pahkahome. Parsakaalilla kukinnon laatua alentaa bakteeritauti-infektiot ja muutoin kasvutappiota aiheuttavat pahkahome, harmaahome ja möhöjuuri (Avikainen & Hintikainen 2010).

Pahkahome, bakteerin aiheuttama piilomätä ja möhöjuuri ovat taloudellisesti merkittävimmät jäävuorisalaatilla ja kaalikasveilla satotappioita aiheuttavat taudit Etelä-Savossa. Pahkahometta esiintyy myös porkkanalla (Anon 2002). *Sclerotinia*-suvun muita Suomessa yleisesti esiintyviä taudinaiheuttajia ovat apilamätää aiheuttava *S. trifoliorum* ja nurmikasveja vahingoittava pohjanpahkasieni *S. borealis*. Salaatilla esiintyvät pahkahomelajit muodostavat olosuhteita hyvin kestäviä rihmastopahkoja (sklerootiot), jotka voivat säilyä maassa 4–5 vuotta infektiokykyisinä (Anon 2002). Olosuhteiden suosiessa pahkat tuottavat pieniä maljamaisia itiöemiä, joista vapautuvat suvulliset kotelotiöt leviävät pitkiä matkoja ilmavirtausten mukana muiden kasvien pinnoille. Maassa kasvava pahka voi levitä myös maassa kasvullisen

sienirihmaston avulla, mikäli sopiva isäntäkasvi on lähellä. Etelä-Savossa vihannesten pahkahometta aiheuttavat *S. sclerotiorum* ja *S. subarctica* muistuttavat morfologialtaan hyvin paljon toisistaan, mutta niiden muodostamien pahkojen koossa on havaittavissa eroja (Li 2011, Tuomola 2012a). *S. sclerotiorum* muodostaa kooltaan pienempiä pahkoja lukumääräisesti enemmän kun taas *S. subarctica* pahkat ovat kooltaan suurempia ja niitä syntyy vähemmän. Käytännön kannalta merkittävää tietoa *S. subarctica* isäntäkasveista ei ole vielä saatavilla. Viljelyhygienian kehittämisen kannalta olisi hyvin tärkeä tietää ylläpitääkö esim. apila- tai nurmikasvusto *S. subarctica* -populaatiota ja säilyykö populaatio infektiokykyisenä salaatti- ja kaalikasveilla.

Bakteeritaudit ovat lisääntyneet vihannesviljelmässä lämpimien kesien myötä. Salaatinbakteerimädän (*Pseudomonas cichorii*) voi tunnistaa jäävuorisalaatin kerän sisälehdille ilmestyvinä pieninä tummina laikkuina, jotka myöhemmin mädäntyvät. Ongelmalliseksi taudin tunnistamisen kuitenkin tekee se, että usein mädäntynyt alue jää kerän sisälle ja ulkoapäin tarkasteltaessa kerä näyttää terveeltä. Tauti havaitaan usein vasta salaatin halkaisun yhteydessä, jolloin se on ehtinyt jo kuluttajalle saakka Bakteeritautien leviämiskeinot voivat olla moninaisia. Niitä voi päätyä kasvustoon kasteluveden, hyönteisten, siementen tai sateiden mukana. Bakteeritauti säilyy yli talven maahan muokkaamattomassa maatumattomassa kasvijätteessä. (Tuomola ym. 2012a, 2012b)

Kaalikasveilla esiintyy vaikeasti torjuttavaa möhöjuurta (*Plasmiodiophora brassicae*), joka voi säilyä maassa kestoitiöinä yli 10 vuotta. Möhöjuuri leviää maassa parveilutiöiden avulla ja infektoi kaalikasvien juuria. Möhöjuuri infektoi myös ristikkaisiin lukeutuvia öljykasveja ja sinappia.

Etelä-Savossa on laajamittaista luomuporkkanan ja sipulin tuotantoa. Porkkanalla tärkeimpiä varastotappioita on porkkanan mustamätä (*Mycocentrospora acerina*), joka säilyy lepoitiöinä maassa ja vioittaa porkkanoita noston yhteydessä. Mustamädän aiheuttaja säilyy satojätteissä maahan leviävien lepoitiöiden avulla ja porkkanat saavat tartunnan kasvukaudella maanalaisten kasvinosiensa kautta. Sipulilla suuria satotappioita voivat aiheuttaa sipulimätä eli sipulinfusarioosi (*Fusarium oxysporum*) ja sipulin pahkamätä (*S. cepivorum*).

Paikallisesti tuotettujen vihannesjätteiden kasvinsuojelulliset riskit on helpompi arvioida ajan tasalla olevan kasvitautitilanteen kartoituksen perusteella. Vihanneksia ympärivuotisesti kaupakunnostavissa ja jatkojalostavissa tuotantolai-

toksissa käsitellään kuitenkin talvikausina pääosin ulkomaalaista alkuperää olevia vihanneksia. Ulkomaalaisten vihannesten osalta kasvitautiriskien arviointi onkin jo huomattavasti monimutkaisempaa. Jotta riskejä pystyisi arvioimaan, täytyisi olla käytettävissä tietoa viljelyalueiden kasvitautitilanteesta. Salaatit ja kaalikasvit pakataan ja tuodaan jatkojalostaviin laitoksiin kauppakunnostettuina, jolloin niistä on poistettu jo pellolla noston yhteydessä uloimmat lehdet. Myöskään selvästi sairaita vihanneksia ei nosteta. Ulkolehtien poistaminen vähentää jonkin verran nostettavien vihannesten sisältämän tautiaineksen leviämiskäskyä. Harmaahometta ja laikkutautia esiintyy enimmäkseen salaatin alalehdillä, jotka poistetaan kauppakunnostuksessa. Pahkahome ja seittimät muodostavat maan pinnan kanssa kontaktissa oleville lehdille rihmastopahkoja, mutta pahkoja muodostuu myös ilmaväyhtäisten itiöiden saastuttamille lehdille rihmaston kehittymisen jälkeen. Leviämistä terveisiin salaatti- ja kaalikasveihin voi tapahtua sadonkorjuussa käytettävien työvälineiden, kuten leikkuveitsen välityksellä. Tämän takia kaikki kerät, jotka ovat saaneet jonkinasteisen tartunnan, olisi jätettävä korjaamatta. Kasvitaudit voivat kulkeutua sadon mukana varastoon, joissa tautioireet tulevat vasta myöhemmin näkyviin. Varastotautien leviämistä voidaan ehkäistä tasaisilla varastointioilla, hyvällä ilmanvaihdolla ja välttämällä vihannesten kolhimista.

BIOKAASUPROSESSIN VAIKUTUS KASVITAUTIEN AIHEUTTAJIIN

Biokaasuprosessissakin tapahtuu lämpötilasta ja syötteiden viipymäajasta riippuen eriasteista kasvintuhoojien ja rikkakasvien siementen heikentymistä. Tärkeää olisi pystyä arvioimaan syötteiden mukana prosessiin päätyvien kasvijätteiden sisältämät riskit, prosessilämpötilan ja viipymän vaikutus riskeihin sekä jälkimädätyksen tai aerobisen kompostoinnin vaikutus riskeihin.

Lämpötilojen ja lämpötilalle altistusajan vaikutuksesta kasvintuhoojien elinvoimaisuuteen ja rikkakasvien siementen itävyyteen on tehty tutkimusta liittyen lähinnä kompostointiin tai kasvien tuotannossa ja käsittelyssä vaadittavien välineiden puhdistamiseen. Tätä tietoa voidaan osittain soveltaa biokaasuprosessiin, mutta tärkeää on myös kerätä tietoa anaerobisen biokaasuprosessin vaikutuksesta kasvitautiriskeihin (Philipp ym. 2005). Vaikka lämpötilalla on suurin merkitys kasvipatogeenien heikentymiselle, tiedetään prosessin kosteusoloilla ja prosessissa vapautuvilla orgaanisilla yhdisteillä olen yhdysvaikutusta lämpötilan kans-

sa. Tämän takia jokainen prosessi on yksilöllinen ja sen olosuhdeparametrit ja niiden hallinta ovat keskeisellä sijalla saavutettavan lopputuloksen kannalta. Tiedetään, että jotkin kasvitauhteja aiheuttavat virukset ja patogeeniset ovat hyvin kuumuutta kestäviä ja voivat säilyä elinkykyisiä jopa hygienisoimiskäsittelyn jälkeen. Kasvitauhteja aiheuttajat patogeeniset tuottavat kasvisolukkaan kasvullista rihmastoja, mutta ne pystyvät tuottamaan myös erilaisia kestoasteita, kuten itiöitä ja rihmastopahkoja, joiden lämpötilan kestävyys täytyy tarkastella lajikohtaisesti. Kestoasteet kestävät tyypillisesti pidempiä aikoja korkeissa lämpötiloissa kuin kasvullinen rihmasto (Iivonen ym. 1996) ja joidenkin sienilajien kestoasteet voivat olla hyvinkin kuumuutta kestäviä. Jos tiedetään kasvibiomassan sisältävän hyvin kuumuutta kestäviä kasvitautien aiheuttajia, suosituksena on käyttää korkeampia hygienisoimislämpötiloja (74–90 °C) ja pidempiä viipymäaikoja hygienisoinnissa (EPPO 2008).

Tarkasteltaessa Etelä-Savossa yleisesti esiintyviä vihanneksille tautia aiheuttavien kasvipatogeenien kuumuudensietoa anaerobisessa prosessissa olemassa olevan tutkimustiedon avulla, voidaan havaita tiedossa olevan paljon aukkoja. Anaerobisen prosessin vaikutuksesta salaatin piilomattaa aiheuttavan *Pseudomonas cichorii* elinvoimaisuuteen ei ole tietojemme mukaan saatavissa julkaistua tietoa (Taulukko 3). Mikkelsenin ym. (2006) mukaan perunan tummaa rengas-mattaa aiheuttava *Ralstonia solanacearum* (syn. *Pseudomonas solanacearum*) bakteeri tuhoutui mesofiilissä anaerobisessa prosessissa, jossa prosessilämpötila oli 37° C ja viipymäaika kaksi vuorokautta. Myös Termorshuizen ym. (2003) osoittivat *Ralstonia solanacearum* olevan häviöissä mesofiilissä prosessissa.

Rihmastopahkoja muodostavat *Sclerotinia* –lajit kestävät kuumuutta todennäköisesti paremmin kuin bakteerilajit. Pahkahometta aiheuttavan *S.sclerotiorum* rihmastopahkojen kuumuuden kestävydestä on saatavilla tietoa kompostioista, joissa pahkat menettivät elinkykynsä altistettaessa niitä viikon verran 52–57 °C:n lämpötiloille (Bollen ym. 1989, Noble ym. 2009). Siitä kuinka pahkat reagoivat mesofiilissä prosessissa valitsemiin selvästi alhaisempiin lämpötiloihin ei ole saatavilla tietoa. Termorshuizenin ym. (2003) mukaan sipulin pahkamattaa aiheuttava *S. cepivorum* kestää elinvoimaisena mesofiilissä biokaasuprosessissa, minkä vuoksi tautia sairastaneiden sipulin kasvijätteiden käyttö biokaasuprosessissa on merkittävä kasvinsuojeluriski. Toisaalta Noble ym. (2009) osoittivat, että *S. cepivorum* menettää

70 ENERGIAOMAVARAINEN MAATILA

SARI IIVONEN, EERO JÄPPINEN, MIKA LAIHANEN, SAMI LUSTE, ARJA NYKÄNEN, TUIJA RANTA-KORHONEN, SARI SEPPÄLÄINEN, PENTTI SEURI, HANNE SOININEN, TIINA TONTTI JA HANNA-MAIJA VÄISÄNEN

infektiokykynsä anaerobisessa prosessissa 40 asteen lämpötilassa 21 päivän viipymäajalla. Etelä-Savossa yleisen *S. subtractan* lämpötilan siedosta ei ole saatavilla tietoa. Möhöjuurta aiheuttavaa *P.brassicae*-lajia käytetään indikaattoripatogeenina biokaasuprosessin hygieenisyyden osoittami-

nessa (EPP0 2008). Sen on todettu menettävän infektiokykynsä hygienisoimiskäsittelyssä (70 °C, 1h) ja termofiilisessä prosessissa, jossa saavutetaan 55 °C:n lämpötila (Böhm 2004). Mesofiilisessä prosessissa möhöjuuri heikentyi, mutta säilyi infektiokykyisenä (Termorshuizen ym. 2003).

Taulukko 3. Eräiden kasvitautinaiheuttajien elinkyvyn heikkeneminen riippuen aerobisen tai anaerobisen prosessin lämpöolosuhteista ja viipymästä.

Taudinaiheuttaja	Olomuoto	Saavutettu lämpötila ja prosessityyppi	Viipymäaika	Taudinaiheuttajan supressio, %	Viite
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	rihmastopahka	komposti 55–57 °C	5–12 päivää	100	Bollen ym. 1989
	rihmastopahka	komposti 52 °C	7 päivää	100	Noble ym. 2009
<i>Sclerotinia subarctica</i> nom. prov		-	-	-	-
<i>Sclerotinia cepivorum</i>	rihmastopahka	35–37 °C, mesofiilinen anaerobinen	21 päivää	0	Termorshuizen ym. 2003
		40 °C, anaerobinen	21 päivää	100	Noble ym. 2009
		44 °C, vesihaude	36 h	100	Idelmann 2005
<i>Rhizoctonia solani</i>	rihmasto	40–50 °C, komposti	1–7 vrk	100	Noble ym. 2004
<i>Pseudomonas cichorii</i>	-	-	-	-	-
<i>Plasmodiophora brassicae</i>	parveilutiön saastuttama sairastunut kasvinosa	55 °C, termofiilinen anaerobinen	23 h	100	Böhm 2004
		70 °C	1 h	100	Böhm 2004 Ryckeboer ym. 2002
		55–60, komposti	21	ei täyttä tuhoutumista	Elphinstone 2005
		60–65, komposti	21 päivää	ei täyttä tuhoutumista	Ylimäki ym. 1983
		35–37 °C, mesofiilinen anaerobinen	21 päivää	93	Termorshuizen ym. 2003
<i>Fusarium oxysporum</i> sp. asparagi	klamydospori (suvuton lepoitiö)	35–37 °C, mesofiilinen	2 h–21 päivää	100	Termorshuizen ym. 2003
<i>Ralstonia solanacearum</i>	pala bakteerin saattamaa perunan mukulaa	35–37°C, mesofiilinen	2h–21 päivää	100	Termorshuizen ym. 2003

KASVINSUOJELURISKIEN ARVIOINTI JA BIOKAASUPROSESSIN VALIDOINTI

Kasvintuhoojariskien arvioinnissa ja prosessin validoinnissa onkin huomioitava kasviraaka-aineen laatu ja alkuperä, sen sisältämät kasvilajikohtaiset kasvitautiriskit, raaka-aineen jalostusketjussa tehtävät raaka-aineeseen kohdistuvat toimenpiteet, biokaasuprosessin olosuhteet ja syötteiden viipymä prosessissa, mädätysjäännöksen jälkikäsitteily, levitysaika ja lannoitteiden käyttökohde.

Validoinnissa puhutaan suorasta tai epäsuorasta validoinnista (Noble ym. 2009). Suoralla validoinnilla tarkoitetaan indikaattoriorganismien hyödyntämistä prosessin hygienisoivan ja rikkakasvien siementen elinvoimaisuuden heikentävän vaikutuksen todentamisessa (EPPO 2008). Indikaattoritaudinaiheuttajina käytetään yleisesti korkeita lämpötiloja kestäväää, kaalikasveilla möhöjuurta aiheuttavaa *Plasmodiophora brassicae*-sientä tai tupakan mosaiikkivirusta (TMV). Itävyytsteissä testikasvina käytetään tavallisesti tomaatin siemeniä (EPPO 2008). Suoran validoinnin haasteena on se, että toimintatavat ja käytettävissä olevien sieni – ja viruskantojen erot lämpötoleranssissa voivat vaikuttaa lopputulokseen (Noble ym. 2009), minkä vuoksi nämä tekijät olisi kyettävä vakioimaan.

Lähtökohtaisesti olisi varmistuttava jo aikaisemmissa vaiheissa siitä, että mädätysjäännös ei sisällä lannoitettavalle kasvustolle vaarallisia kasvintuhoojia. Käsittelyjäännöksen validointiohjeet (EPPO 2008) koskevat käsittelyjäännösten rikkakasvien siementen itävyyden ja infektoimiskykyisten kasvintautien aiheuttajien esiintymisen arviointia mädätysjäännöksessä. Ohjeiden mukaan käsittelyjäännös on analysoitava joka 3. (kapasiteetti yli 3000 t/v) tai joka 6. kuukausi (kapasiteetti \leq 3000 t/v) prosessi- ja jälkivarastointivaiheen päätyttyä ennen peltoon levittämistä.

Prosessiolosuhteiden valvonta on epäsuoraa validointia ja se perustuu olemassa olevaan tietoon lämpötilan vaikutuksesta eri taudinaiheuttajien infektointikykyyn. Ongelmalliseksi validoinnin tekee olemassa olevan tiedon vähäisyys biokaasuprosessin lämpötilan vaikutuksesta eri taudinaiheuttajiin ja niiden kantoihin. Erityisesti tietoa kasvipatogeenien elinvoimaisuuden heikkenemisestä suhteessa altistusaikaan tarvittaisiin lisää tietoa. (Noble ym. 2009). EPPO:n (2008) ohjeiden mukaan prosessilämpötilaa on seurattava vähintäänkin säännöllisin väliajoin ja mittauksin on varmistuttava siitä, että koko syötemateriaali saavuttaa tavoiteltavan lämpötilan. Mahdollisen hygienisoimiskäsittelyn aikana on lämpötilaa mitattava jatkuvatoimisesti.

LÄHTEET

- Anon. 2002. Avomaanvihannesten taudit ja tuholaiset kasvukaudella. Kasvinsuojeluseura. 47 s.
- Asplund, K. & Nurmi, E. 1991. The growth of *salmonellae* in tomatoes. International Journal of Food Microbiology 13: 177–182.
- Avikainen, H. & Hintikainen, V. 2010. Vihannesten tauteja tarkkaillaan Etelä-Savossa. Puutarha & kauppa 9: 24–25.
- Avikainen, H. & Tuomola, J. 2011. Bakteritaudit viihtyvät helteessä. Puutarha & kauppa 6: 21.
- Benjamin, M.M. & Datta, A.R. 1995. Acid tolerance of enterohemorrhagic *Escherichia coli*. Applied and Environmental Microbiology 4: 1669–1672.
- Bollen, G.J., Volker, D. & Wijnen, A.P. 1989. Inactivation of soil-borne pathogens during small-scale composting of crop residues. Netherlands Journal of Plant Pathology 95: 19–30.
- Böhm, R. 2004. Investigations on microbial indicators and/or test-organisms in supervision of hygienic safety in co-digestation of animal slurry, biowastes and/or animal by-products. International Society for Animal Hygiene. Saint-Malo. s. 283–284.
- Buchanan R.L & Bagi, L.K. 1997. Effect of water activity and humectant identity on the growth kinetics of *Escherichia coli* O157:H7. Food Microbiology 14: 413–423.
- Buchanan, R.L. & Edelson, S.G. 1999. Effect of pH-dependent, stationary phase acid resistance on the thermal tolerance of *Escherichia coli* O157:H7. Food Microbiology 16: 447–458.
- Buncic, S. & Avery, M. 1998. Effects of cold storage and heat-acid shocks on growth and verotoxin 2 production of *Escherichia coli* O157:H7. Food Microbiology 15: 319–328.
- Burrows, M.R. & Rankin, J.D. 1970. A further examination of the survival of pathogenic bacteria in cattle slurry. British Veterinary Journal 136: 32–34.
- Duffy, G., Ellison, A., Anderson, W., Cole, M. & Stewart, G.S.A.B. 1995. The use of bioluminescence to model the thermal inactivation of *Salmonella typhimurium* in the presence of a competitive microflora. Applied Environmental Microbiology 61:3463–3465.
- Duffy, G., Whiting, R.C. & Sheridan, J.J. 1999. The effect of a competitive microflora, pH and temperature on the growth kinetics of *Escherichia coli* O157:H7. Food Microbiology 16: 299–307.
- EHEC-valvontaohjelma. http://www.zoonoosikeskus.fi/portal/fi/zoonoosit/bakteerien_aiheuttamat_taudit/ehec/. Viitattu 10.12.2012.
- Elphinstone, J. 2005. Scoping study on sanitation of biowaste to control pathogens and pest on plant health concern. Report to Defra Plant Health Division, York.
- EPPO 2008. Guidelines for the management of plant health risks of biowaste of plant origin. European and Mediterranean Plant Protection Organization. EPPO Bulletin 38, 4–9.
- Fayolle, L., Noble, R., Coventry, E., Aime, S. & Alabouvette, C. 2006. Eradication of *Plasmodiophora brassicae* during composting of waste. Plant Pathology 55: 553–558
- FiBL. 2011. Manure for vegetables. Farm practice recommendations for minimizing human pathogenic bacteria contamination in vegetable production. Technical guide 1562.
- Foster, J.W. & Hall, H.K. 1990. Adaptive acidification tolerance response of *Salmonella typhimurium*. Journal of Bacteriology 172:771–778.
- Gadre, R.V., Ranade, D.R. & Godbole, S.H., 1986. A note on survival of *Salmonellas* during anaerobic digestion of cattle dung. J. Appl. Bacteriol. 60, 93–96.
- Godfree, A. & Farrell, J. 2005. Processes for managing pathogens. J. Environ. Qual. 34: 105–113.
- Hancock, D.D., Besser T.E., Rice D.H. & Carpenter L.V. 1997. Effects of farm manure-handling practices on *Escherichia coli* O157 prevalence in cattle. J. Food Protection. 60:363–366.
- Heinonen-Tanski, H., Niskanen, E.M., Salmela, P. & Lanki, E. 1998. *Salmonella* in animal slurry can be destroyed by aeration at low temperatures. Journal of Applied Microbiology 85: 277–281.
- Heisick, J.E., Wagner, D.E., Nierman, M.L & Peeler, J.T. 1989. *Listeria* spp. found on fresh market produce. Applied Environmental Microbiology 55: 1925–1927.
- Herold, T, Kliche, R. & Hensel, A. 1999. Einfluss der aeroben Fermentation auf die Überlebensfähigkeit von *Salmonella typhimurium* (DT 104) und *Escherichia coli* in Schweinevollgülle. Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 112:448–453.
- Himathongkham, S. Bahari, S., Riemann, H. & Cliver, D. 1999. Survival of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella typhimurium* in cow manure and cow manure slurry. FEMS Microbiology Letters 178: 251–257.
- Himathongkham, S. & Riemann, H. 1999. Destruction of *Salmonella typhimurium*, *Escherichia*

- coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in chicken manure by drying and/or gassing with ammonia. *FEMS Microbiology Letters* 171(2): 179–182.
- Humphrey, T.J., Richardson, N.P., Statton, K.M., Rowbury, R.J. 1993. Effects of temperature shift on acid and heat tolerance in *Salmonella enteritidis* phage type 4. *Applied and Environmental Microbiology* 59(9): 3120–3122.
- ICMSF. 1996. Micro-organisms in foods 5. Characteristics of microbial pathogens. Blackie Academic & Professional, London. ISBN 0-412-47350 X.
- Iivonen S., Lilja A. & Tervo L. 1996. Juurilahoaiheuttavan yksitumaisen *Rhizoctonia*-sienen torjunta kuumavesikäsitteilyllä. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 1996 (1): 52–55.
- Jones, P.W., Smith, G.S. & Bew. J. 1977. The effect of the microflora in cattle slurry on the survival of *Salmonella dublin*. *Br. veterinary journal* 133 (1): 133–138.
- Kauppi, K.L., O’Sullivan, D.J. & Tatini S.R. 1998. Influence of nitrogen source on low temperature growth of verotoxigenic *Escherichia coli*. *Food Microbiology* 15: 355–364.
- Kearney, T.E., Larkin, M.J & Levett, P.N. 1993a. The effect of slurry storage and anaerobic digestion on survival of pathogenic bacteria. *Journal of Applied Bacteriology* 74(1): 86–93.
- Kearney, T.E., Larkin, M.J, Frost, J.P. & Levett, P.N. 1993b. Survival of pathogenic bacteria during mesophilic anaerobic digestion of animal waste. *Journal of Applied Bacteriology* 75(3): 215–219.
- Kudva, I.T., Blanc, K. & Hovde, C.J. 1998. Analysis of *Escherichia coli* O157:H7 survival in ovine or bovine manure and manure slurry. *Applied and Environmental Microbiology* 64, 3166–3174.
- Leyer, G.J. & Johnson, E.A. 1993. Acid adaptation induces cross-protection against environmental stresses in *Salmonella typhimurium*. *Applied Environmental Microbiology* 59: 1842–1847.
- Li, H.-X. 2011. Identification on *Sclerotinia* species infecting vegetables in Etelä-Savo region, Finland. department of Agricultural Sciences, University of Helsinki, MSc-PPS/Plant Pathology Master’s thesis. 47 s.
- Makawi, A.A.M. 1973. The survival of *Salmonellae* in compost prepared with straw of different plants and sewage sludge. *Zentralblatt Bakteriologie, Parasiten und Infektionskrankheiten und Hygiene Abt. II* 128(3): 203–208.
- Mikkelsen, L., Elphinstone, J. & Funck Jensen, D. 2006. Literature review on detection and eradication of plant pathogens in sludge, soils and treated biowaste.
- Nicholson, F.A., Hutchison, M.L., Smith, K. A., Keevil, C. W. 2000. A study of farm manure applications to agricultural land and an assessment of the risks of pathogen transfer into the food chain. Report to MAFF.
- Noble, R., Elphinstone, J.G., Sansford, C.E., Budge, G.E. & Henry, C.M. 2009. Management of plant health risks associated with processing of plant-based wastes: A review. *Bioresource Technology* 100: 3431–3446.
- Olsen, J.E., & Larsen, H.E. 1987. Bacterial decimation times in anaerobic digestions of animal slurries. *Biol. Wastes* 21, 153–168
- Pereira-Neto, R.J., Stentiford, E.J., & Smith, D.V. 1986. Survival of faecal indicator micro-organisms in refuse / sludge composting using the aerated static pile system. *Waste Management & Research* 4: 397–406.
- Philipp, W., Ade-Kappelmann, K., Drca, M., Lorenz, H. & Böhm, R. 2005. New hygiene rules for biogas plants – revising German biowaste ordinance. ISAH 2005, Warsaw, Poland Vol. 2:234–237.
- Plym-Forshell, L. & Ekesbo, I. 1993. Survival of *Salmonellas* in composted and not composted solid animal manures. *Journal of Veterinary Medicine B* 40: 654–658.
- Ryckeboer, J., Cops, S. & Coosemans, J. 2002. The fate of plant pathogens and seeds during anaerobic digestion and aerobic composting of source separated household wastes. *Compost Science and Utilization* 10: 204–216.
- Ryu, J.-H. & Beuchat, L.R. 1999. Changes in heat tolerance of *Escherichia coli* O157:H7 after exposure to acidic environments. *Food Microbiology* 16: 317–324.
- Sipilä, I. & Pehkonen, A. (toim.). 1998. Karjanlannan tehokas ja ympäristöystävällinen käyttö. MMM:n karjanlannantutkimusohjelman 1995–97 loppuraportti. MTTL:n julkaisuja 87/1998.
- Skjelhaugen, O. & Donantoni, L. 1998. Combined aerobic and electrolytic treatment of cattle slurry. *J. Agricult. Engin. Res* 70:209–219.
- Strauch, D. & Muller, W. 1968. Studies on the viability of pathogens in animal fecal wastes. 2. The viability of salmonellae in chicken manure from automatic laying batteries. *Berl. Munch Tierarztl. Wochenschr.* 1: 81(23):468–71.

- Tannock, G.W. & Smith J.M. 1971. Studies on the survival of *Salmonella typhimurium* and *Salmonella bovis* on pasture and in water. *Aust Vet J.* 47(11):557–9.
- Termorshuizen, A.J., Volker, D., Blok, W.J., ten Brummeler, E., Hartog, B.J., Janse, J.D., Knol, W. & Wenneker, M. 2003. Survival of human and plant pathogens during anaerobic digestion of vegetable, fruit and garden waste. *European Journal of Soil Biology* 39 (3): 165–171.
- Tuomola, J., Avikainen, H., Iivonen, S., Kivijärvi, P., Hao-Xi, L., Piirainen, A. & Pirhonen, M. 2012a. Vihannesviljelyn taloudellisen kannattavuuden kehittäminen tautien ja lannoituksen hallinnalla. Helsingin yliopiston Ruralia-instituutin Raportteja 80. ISBN 978-952-10-6501-9.
- Tuomola, J., Avikainen, H., Piirainen, A. & Pirhonen, M. 2012b. *Pseudomonas*-bakteerit ongelmina avomaavihanneksilla. *Puutarha & kauppa* 2:16–17.
- Turner, C. 2002. The thermal inactivation of *E. coli* in straw and pig manure. *Biosource Technology* 84:57–61.
- Vaara M., Jahkola M. & Siitonen A. 1996. Lääketieteellinen mikrobiologia. Vammala.
- Venkitanarayanan, K.S., Zhao, T. & Doyle, M.P. 1999. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 by combinations of GRAS chemicals and temperature. *Food Microbiology* 16: 75–82.
- Vuorela, P. (toim.). Farmaseuttinen mikrobiologia. Suomen farmaseuttinen yhdistys ry. 1997. Helsinki. ISBN 951-97538-0-X
- Wallace J.S., Cheasty T. & Jones K. 1997. Isolation of Verocytotoxin-Producing *Escherichia coli* O157 from Wild Birds. *J. Appl. Microbiol.* 82: 399–404.
- Ylimäki, A., Toiviainen, A., Kallio, H. & Tikanmäki, E. 1983. Survival of some plant pathogens during industrial-scale composting of wastes from a food processing plant. *Annales Agriculturae Fenniae* 22: 77–85.
- Zhao, T., Doyle, M.P., Shere, J & Garber, L. 1995. Prevalence of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in a survey of dairy herds. *Applied Environmental Microbiology* 61: 1290–1293.

6 MAATILAMITTAKAAVAN BIODIESELIN TUOTANNON KASVIHUONEKAASU- JA ENERGIATASEET

MIKA LAIHANEN JA EERO JÄPPINEN

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO,

LUT SAVO/BIOENERGIATEKNOLOGIA

TIIVISTELMÄ

Rypsin siemenistä puristetusta rypsiöljystä voidaan tuottaa rypsimetyyliesteriä (RME) maatilamittakaavan tuotannolla. RME:n, eli rypsi biodieselin, käyttökohteita maatilalla ovat työkoneet ja kuivuri sekä rakennusten lämmitys. Rypsin puristuksen yhteydessä sivutuotteena syntyy rypsipuristetta, joka voidaan hyödyntää eläinten ruokinnassa. Tutkimuksessa selvitettiin elinkaarimallinnuksen (LCA) avulla Etelä-Savon paikallisia lähtötietoja hyödyntäen RME:n tuotannon kasvihuonekaasutase ja energiatase tavanomaisen ja luomuviljelyn osalta. Tutkimuksen tulosten perusteella paikallisella maatilamittakaavan RME:n tuotannolla saavutettavat kasvihuonekaasupäästöjen vähenemät fossiiliseen dieselpolttoaineeseen verrattuna olivat tavanomaisessa viljelyssä 14–44 % ja luomuviljelyssä 6–19 % eri satotasoilla. Tulevaisuudessa kiristyviä kestävyyskriteerejä tuskin tullaan saavuttamaan maatilakokoluokan RME:n valmistuksessa. Energiataseiden osalta kaikissa skenaarioissa tuotteiden energiasisältö oli suurempi kuin tuotantoprosessissa kulutetun energian määrä. RME:n tuotannolla on paikallista maatalakohtaista merkitystä, jolla voidaan nostaa maatalan energia- ja valkuaisrehumavaraisuutta. Kasvihuonekaasu- ja energiataseet eivät huomioi tätä hyötyä.

JOHDANTO

Nestemäisten polttoaineiden asema yhteiskunnassa on kasvanut viime vuosisadalta lähtien ja ajoneuvojen sekä työkoneiden polttoaineet ovat perustuneet lähinnä öljypohjaiseen bensiiniin ja dieseliin. Polttoaineiden aiheuttamien ympäristövaikutusten lisäksi kulutuksen kasvu on aiheuttanut huolen öljypohjaisten polttoaineiden saatavuudesta ja riittävydestä myös tulevaisuudessa.

Biomassapohjaisista raaka-aineista voidaan tuottaa myös polttoaineita ajoneuvoihin ja työkoneisiin. Valmistus on ollut yleisesti ottaen vähäistä, mikä on johtunut korkeammista valmistuskustannuksista raakaöljypohjaisiin liikennepolttoaineisiin verrattuna. Raakaöljyn hinnan nousu, erilaiset kansainväliset ja kansalliset tavoitteet sekä velvoitteet lisätä biopolttoaineiden käyttöä ovat lisänneet biomassapohjaisten polttonesteiden valmistusta. Lisäksi kansallisesti joissakin maissa on myönnetty etuuksia ja helpotuksia biomassapohjaisten liikennepolttoaineiden tuotannolle ja käytölle ja/tai vaihtoehtoisesti tutkimus- ja tuotekehitysrahaa biopolttonesteitä valmistavien tuotantoprosessien kehitystyöhön, jotta liiketoiminta on saatu käynnistettyä.

Biomassapohjaiset liikennepolttoaineet voidaan jakaa tuotantomenetelmien ja raaka-aineiden suhteen ensimmäisen ja toisen sukupolven biopolttoaineisiin. Perinteistä diesel polttoainetta korvaavia ensimmäisen sukupolven polttoaineita on mm. rypsimetyyliesteri (RME) diesel ja toisen sukupolven polttoaineita ovat Fischer-Tropsch (FT) diesel ja Neste Oil Oyj:n kehittämä NExBTL-diesel. Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden valmistus on perinteisesti ollut pienempää kokoluokkaa kuin toisen sukupolven biopolttoaineiden valmistus, joka on tehdasmittakaavan tuotantoa.

Biomassapohjaisten liikennepolttoaineiden olisi sovelluttava nykyisiin jakelu- ja käyttötieteologioihin ilman merkittäviä muutoksia. Esim. kaasumaisten polttoaineiden (biokaasu ja maakaasu) kohdalla tarvitaan kokonaan uusi jakelujärjestelmä ja käyttöön soveltuva ajoneuvokalusto.

Biopohjaisten liikennepolttoaineiden käyttö ja erityisesti niiden raaka-ainepohjan monipuolisuus tarjoaa uusia mahdollisuuksia myös öljyesiintymien ulkopuolelle. Polttoaineita voidaan tuottaa myös

varsin pienessä mittakaavassa, jolloin alueelliset ja paikalliset resurssit saadaan hyödynnettyä tehokkaasti. Nykyisten ja osittain uusien teknologioiden kehittäminen ja kaupallistaminen voi avata uusia liiketoimintamahdollisuuksia maaseudulle.

TUTKIMUKSEN TAVOITE

Hankkeen tavoitteena oli selvittää Etelä-Savon paikallisissa olosuhteissa tavanomaisesti viljellyn ja luonnonmukaisesti (luomu) viljellyn rypsin ja sen jatkojalostuksessa tuotettujen tuotteiden energia- ja kasvihuonekaasutaseet maatilamittakaavan tuotannossa. Tutkimuksessa päätuotteena oli rypsiöljystä valmistettu rypsimetyyliesteri (RME), eli rypsi biodiesel, ja sivutuotteena oli mm. siementen puristuksen yhteydessä syntyvä valkuaisrouhe. Kasvihuonekaasu- ja energiataseet laadittiin elinkaarimallinnuksen avulla. Tuloksina saatiin eri tuotantovaiheiden aiheuttamat päästöt ja niiden perusteella voidaan suunnata nykyisiä toimintamalleja sekä tutkimus- ja kehitystoimintaa päästöjen vähentämiseksi ja tuotannon kannattavuuden parantamiseksi.

Luomutuotannossa satotasot jäänevät tavanomaisesti viljelyllä saavutettavia satotasoja alhaisemmaksi, mutta tuotannossa käytetään myös vähemmän fossiilisia panoksia mm. lannoituksen osalta. Luomutuotannon tuotantomenetelmiä voidaan hyödyntää myös tavanomaisessa viljelyssä, joten tutkimuksessa esitetyt tuotantomenetelmät voivat vaihdella tapauskohtaisesti. Kirjoittajien tiedossa ei ollut vastaavia tutkimuksia luomurypsin osalta.

RME BIODIESELIN RAAKA-AINEET, OMINAISUUDET JA KÄYTTÖ-KOHTTEET

RAAKA-AINEET

Öljykasvien kasviöljyt eivät sellaisenaan sovellu ajoneuvoihin polttoaineeksi, mutta niistä voidaan vaihtoesteröidä dieselekäyttöön soveltuvaa polttoainetta. Yleisesti käytetyn raaka-aineen perusteella biodieselistä käytetään nimitystä RME tai FAME (Fatty Acid Methyl Ester). RME:n molekyylikaava on $C_{21}H_{38}O_2$ (Malkki 2006).

Biodieselin raaka-aineeksi Suomessa soveltuvat lähinnä rypsin ja rapsin siemenet sekä ruuanvalmistuksessa käytetyt kasviöljyt. Lyhyemmästä kasvuajasta johtuen rypsi soveltuu Suomen olosuhteisiin rapsia paremmin. Rapsin etuna on vil-

jelyn onnistuessa suuremmat satotasot. Suomessa rypsiä on aiemmin viljelty lähinnä rannikkoseuduilla, mutta viime vuosien aikana viljelyä on ollut myös sisämaassa.

Rypsi on vuoroviljelykasvi, jota voidaan viljellä samalla peltolohkolla neljän-viiden vuoden välein kasvitauririskien johdosta. Rypsin satotasoiissa on ollut suuria vuosittaisia vaihteluita, kun satotasot ovat olleet 1000–2000 kg/ha.

Rypsin viljelyssä viljelyn eri työvaiheet ovat kyntö/sänkimuokkaus, kylvömuokkaus, kylvö ja lannoitus, jyrsäys, rikkakasvien ja tuholaisten torjunta, puinti, sadon kuljetus kuivuriin ja sadon kuivaus ja varastointi. Lisäksi pellot kalkitaan noin kymmenen vuoden välein. Tavanomaisessa viljelyssä käytetään lannoitteena väkilannoitteita ja luomuviljelyssä esim. lehmän lietelantaa. Eri työvaiheista kasvihuonekaasutaseiden ja energiataseiden määrittämisessä käytetyt alkuarvot on esitetty liitteessä 1.

Rypsin siementen öljypitoisuus on n. 40 % ja biodieselin valmistuksessa puinnin jälkeen kuivatut siemenet puristetaan mekaanisesti kylmänä tai kuumana, jolloin kasviöljyä saadaan noin 30–35 %. Öljysaantoa voidaan lisätä liuotinuutolla (esim. heksaani), mutta tämä ei ole yleensä käytössä maatilamittakaavan tuotannossa, eikä sitä ole otettu huomioon tässä tarkastelussa. Puristuksen yhteydessä syntyvä kiinteä jäännös voidaan hyödyntää valkuaispitoisena eläinrehuna (rypsirouhe) tai energian tuotannon polttoaineena. Usein valkuaispitoisen eläinrehun omavaraisuuden nostaminen on ollut tärkeä rypsin viljelyn kannustin, varsinkin jos eläinrehu on voitu hyödyntää omalla tilalla.

Etelä-Savon maakunnan peltoala on noin 70 000 ha, josta rypsin viljelyn peltoala on ollut viime vuosina reilut 1 000 ha/v. Ensisijaisesti rypsi kannattaa hyödyntää elintarviketeollisuudessa, mutta yksittäisten pienten tilakohtaisten satomäärien ja sadon laadun johdosta sato voidaan hyödyntää paikallisesti RME:n tuotannossa. Jos rypsin viljelykierrossa olisi puolet Etelä-Savon peltoalasta, jolloin rypsin potentiaalinen vuotuinen viljelyala olisi noin 9 000 ha. Täältä viljelyalalta voitaisiin tuottaa 1 500 kg/ha satotasolla RME:tä noin 2 600 tonnia eli vajaa 3 milj. litraa. Tällöin sivutuotteena syntyisi valkuaisrouhetta vajaat 10 000 tonnia. Käytännössä toteutuneet rypsin viljelyalat ovat olleet selvästi pienemmät ja sen johdosta RME:n ja valkuaisrouheen tuotannolla on ollut vähäistä paikallista merkitystä, joskin yksittäisen tilan kohdalla merkitys voi olla suurempi. Vuonna 2006 Etelä-Savon maakunnassa myytiin dieselpolttoainetta 62 400 tonnia, jolloin RME:n potentiaalinen tuotantomäärä olisi noin 4 % kulutuksesta (Pohjolainen 2007).

OMINAISUUDET JA KÄYTTÖKOHEET

RME:tä voidaan sekoittaa fossiiliseen dieselpolttoaineeseen ja eri seossuhteilla voidaan parantaa polttoaineen käytettävyyttä talviolosuhteissa. RME:n pakkaskestävyys vaihtelee käytetystä raaka-aineesta riippuen muutamasta pakkasasteesta aina -15 °C:een. Myös perinteisellä dieselpolttoaineella on kesä- ja talvilaatunsa, joilla varmistetaan toimivuus talviolosuhteissa. RME:n soveltuvuus moottoripolttoaineeksi on varmistettava tapauskohtaisesti esim. käyttökohteen ohjekirjasta, koska biodiesel voi liuottaa esim. polttoainejärjestelmän kumiosia. RME ei sovellu varmuusvarastointiin, koska RME:n ominaisuudet voivat muuttua varastoinnissa. Taulukossa 1 on esitelty eri dieselpolttoaineiden ominaisuuksia. Taulukossa on esitetty

myös toisen sukupolven NExBTL dieselpolttoaineen ominaisuudet.

RME:n lämpöarvo on perinteistä dieselpolttoainetta alhaisempi, jonka johdosta polttoaineen kulutus nousee 5–10 %. Dieselautojen lisäksi RME:n muita käyttökohteita ovat mm. maatilojen työkoneet ja kuivurit sekä lämmityskäyttö, jossa biodieselillä voidaan korvata polttoöljyn käyttöä. Lämmityskäytössä polttimen palopää ja suutin on vaihdettava ja lisäksi suositellaan sisäsäiliötä. Ajoneuvoissa käytettäessä suositellaan suodattimien vaihtovälin puolittamista. Lisäksi RME:ä voidaan käyttää esim. veneiden polttoaineena, jossa ympäristöllisenä etuna on estereiden biologinen hajotus luonnossa.

Taulukko 1. Eri dieselpolttoainevaihtoehtojen tuoteominaisuuksia (Mäkinen ym. 2005).

Ominaisuus	NExBTL	GTL Fischer-Tropsch diesel	FAME (RME)	Diesel (kesälaatu)
Tiheys (kg/m ³)	780–785	770–785	~ 885	~ 835
Viskositeetti (mm ² /S)	3,0–3,5	~ 3,2–4,5	~ 4,5	~ 3,5
Setaaniluku	98–99	~73-81	Yli 51	~ 53
10% tislattuna (°C)	~ 260–270	~ 260	~ 340	~ 200
90% tislattuna (°C)	295–300	325–330	~ 355	~ 350
Samepiste (°C)	-30...-5	~ 0... +3	~ 0...-5	~ -5
Lämpöarvo (MJ/kg)	~ 44	~ 43	~ 38	~ 43
Lämpöarvo (MJ/l)	~ 34,5	~ 33,8	~ 34	~ 36
Aromaattipitoisuus (til-%)	~ 0	~ 0	~ 0	~ 4
Happipitoisuus (til-%)	~ 0	~ 0	~ 11	~ 0
Rikkipitoisuus (mg/kg)	<10	<10	<10	<10

RME BIODIESELIN TUOTANTOPROSESSI MAATILAMITTAKAAVASSA

RME:n tuotannon työvaiheita ovat rypsiöljyn puristus siemenistä ja rypsiöljyn esteröinti. Kuvassa 1 on esitetty esimerkki maatilamittakaavan RME:n tuotannon valmistusprosessista. Saantoprosentit voivat vaihdella eri tapauksissa, johtuen mm. käytettävistä laitteistoista ja raaka-aineen laadusta.

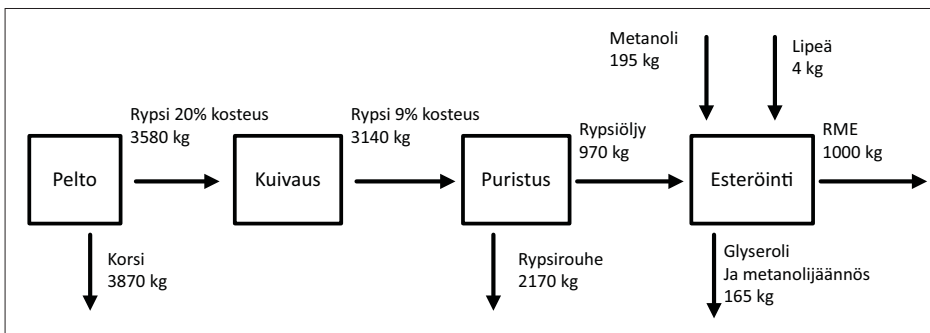
RME biodieselin tuotannossa ensin rypsin siemenistä puristetaan rypsiöljy, joka vaihtoesteröidään metanolin avulla biodieseliksi. Esteröinnissä kasviöljyjen sisältämä glyseriini erotetaan öljystä, jolloin glyseriini korvataan alkoholilla. Kemiallisessa reaktiossa käytetään katalyyttinä yleensä lipeää (NaOH). Esteröinnin sivutuotteena syntyy glyserolia, joka on hyödynnetty energian tuotannon polttoaineena. Kuvassa 2 on esitetty vaihtoesteröinnin kokonaisreaktio.

Maatilamittakaavan tuotannossa esteröitävän erän rypsiöljyn vapaiden rasvahappojen määrä selvitetään titrauksella, jonka avulla saadaan tarvittavat metanolin ja lipeän määrät, jotka voivat vaihdella tuotantoerittäin raaka-aineen laadunvaihteluiden johdosta (Laitinen 2008). Muita

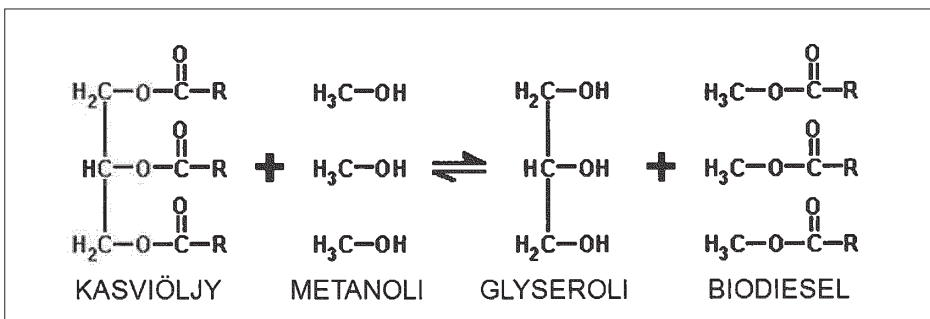
RME:n valmistuksen työvaiheita vaihtoesteröinnin jälkeen ovat glyserolin erottaminen, mahdollinen metanolin haihduttaminen/kierrätys, vesipesu, kuivaus ja suodatus. Vesipesulla ja kuivauksella poistetaan mahdolliset metanoli- ja lipeäjäämät RME:stä.

RME:n valmistuksen suurimmat edut liittyvät valmistuksen kokoluokkaan, kun vuorokausikohtainen tuotantomäärä voidaan mitoittaa saatavan raaka-aineen ja esim. oman tilan polttoaineen tarpeen mukaan aina 150 l/vrk ylöspäin. Myös maatilakokoluokan suhteellisen pieni investointikustannus mataloittaa aloituskynnystä ja lisäksi valmistus voidaan toteuttaa muun toiminnan ohessa olemassa olevia tuotantotiloja hyödyntäen.

Maatilamittakaavan tuotannon suurimpana ongelmana on tuotannon laadunvarmistus varsinkin, jos tuotetta aiotaan myydä tilan ulkopuolisille kuluttajille. Vastuullisella ja huolellisella toiminnalla voidaan tuottaa moottorikäyttöön soveltuvaa EN 14214 -normin mukaista biodieselpolttoainetta. Polttoaineen testauksen ja laadunvarmistuksen ongelmana ovat pienet eräkoot ja testauksen korkea kustannus. Yleensä tuottajat valvovat tuotteen laatua omavalvontamenetelmällä ja hyödyntävät tuotteensa omalla tilalla.



Kuva 1. Esimerkki RME:n maatilamittakaavan tuotantokaaviosta.



Kuva 2. Vaihtoesteröinnin kokonaisreaktioyhtälö (Tuukkanen 2007).

KASVIHUONEKAASU- JA ENERGIA-TASEIDEN MÄÄRITTÄMINEN

RME:n kasvihuonekaasu- ja energiataseet on määritetty elinkaariarviointimenetelmällä. Elinkaariarviointi määritellään ISO 14040 standardissa tuotejärjestelmän elinkaaren aikaisten syötteiden ja tuotosten sekä potentiaalisten ympäristövaikutusten koostamiseksi ja arvioinniksi (ISO -2006). Elinkaariarvioinnista käytetään yleisesti myös Suomessa lyhennettä LCA (lyhennys englanninkielisestä termistä life cycle assessment). Elinkaariarvioinnissa huomioidaan itse lopputuotteen valmistuksessa tai palvelun käytössä syntyvien päästöjen lisäksi myös epäsuorat päästöt, joita syntyy esim. raaka-aineiden tuotannossa ja kuljetuksissa. Lisäksi elinkaariarvioinnissa voidaan tapauskohtaisesti arvioida niitä päästöjä, jotka jäävät syntymättä, kun tuote tai palvelu korvaa jonkun muun vastaavan tuotteen tai palvelun.

Elinkaariarviointi sisälsi seuraavat neljä vaihetta: 1) tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, 2) inventaarioanalyysi, 3) vaikutusarviointi ja 4) tulosten tulkinta. Tässä tutkimuksessa maatalamittakaavassa valmistetulle RME:lle tehdyn elinkaariarvioinnin neljä päävaihetta ovat kuvattu seuraavaksi.

TAVOITTEIDEN JA SOVELTAMISALAN MÄÄRITTELY

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää a) maatilalla omaan käyttöön valmistetun RME:n kasvihuonekaasutase ja energiatase ja b) maatilalla ulkopuolelle myytävän RME:n tuotannossa syntyvät kasvihuonekaasupäästöt ja tuotannon energiatase, kun RME:n raaka-aineena käytetään tavanomaisesti viljeltyä tai luomuviljeltyä rypsiä. Maatilalla omassa käytössä RME:llä korvataan fossiilista dieselpolttoainetta. Rypsin viljelyn vaiheet (raaka-aineen tuotanto) on lueteltu kappaleessa 3 ja RME:n tuotantoprosessi on lueteltu kappaleessa 4. RME:n kasvihuonekaasutaseen ja energiataseen laskennassa käytetyt lähtötiedot on ilmoitettu liitteessä 1.

Omaan käyttöön tulevan RME:n ja tilan ulkopuolelle myytävän RME:n tarkasteluissa on erona tuotannossa syntyvien sivutuotteiden tarkasteluperiaate. Oman käytön osalta tarkastellaan sivutuotteiden (rypsin olki ja rypsiöljyn esteröinnissä syntyvä glyseroli- ja metanoli-jäännös) energiakäytön osalta niiden todennäköisempiä käyttövaihtoehtoja maatilalla tai sen välittömässä läheisyydessä. Niiden käyttö ja korvattavat energiantuotantoprosessit huomioidaan päästöjen laskennassa. Esimerkiksi, kun sivutuotteilla korva-

taan maatilalla lämmöntuotannossa käytettävää pienpuuhaketta, vähennetään hakkeen tuotantoketjussa syntyvät päästöt RME:n tuotantoketjun päästöistä korvattavan määrän osalta. Vastaavasti korvattaessa sivutuotteilla turvepolttoainetta, vähennetään RME:n tuotantoketjun kokonaispäästöistä se päästö, joka jää syntymättä, kun sivutuotteilla korvataan fossiilista turvetta energiantuotannossa. Maatilalla ulkopuolelle myytävän RME:n päästöjen osalta kaikki tuotantoketjun aikana syntyneet päästöt kohdennetaan RME:lle EU:n RES direktiivin ohjeiden mukaisesti (Euroopan komissio 2009).

Tarkastelun maantieteellinen kohdealue oli Juva (Etelä-Savon maakunta, Suomi), jossa sijaitsevalta maatilalta on saatu tyypilliset maatalan prosessin tiedot (Immonen ja Ronkanen 2011). Maatilalla sijainti vaikuttaa keskimääräisen sato-tason lisäksi myös mm. lannoitteiden ja muiden maatilalla ulkopuolelta tulevien panosten kuljetus-ettäisyyksiin. Maatilalla rypsin viljelyalana oli 5 ha ja peltojen keskimääräisenä etäisyytenä maatilalta oli 2 km. Kasvihuonekaasu- ja energiataseet määritettiin kolmella eri sätatasolla.

Tarkastelun toiminnallinen yksikkö oli yksi megajoule (MJ) valmistettu RME biodieseliä maatilalla. Toiminnallinen yksikkö on se tuote tai toiminto, jonka tuottamisesta aiheutuvat päästöt on huomioitu selvityksessä. Tarkastelussa huomioidaan päästöjen osalta vain kasvihuonekaasupäästöt (ks. kohta Vaikuttavuusarviointi).

Valmistusprosessiin tulevien syötteiden ja sekä prosessista lähtevien tuotosten avulla korvattavien tuotteiden osalta on mallinnusmenetelmänä käytetty systeemilaajennusta. Tässä tarkastelussa tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi rypsiöljyn puristuksessa sivutuotteena syntyvän ja eläinrehuna käytettävän puristusjäännöksen osalta huomioidaan vastaavan ravintosisällön sisältävän tuotteen (soijarouhe) tuotantoketjussa syntyvät päästöt vältettyinä päästöinä.

INVENTAARIOANALYYSI

Inventaarioanalyysi tarkoittaa tuotantoketjelmän kaikissa eri yksikköprosesseissa syntyvien päästöjen selvittämistä riittävällä tarkkuudella huomioiden tutkimuksen tavoite ja sen soveltamisala. Tässä tutkimuksessa ei ole määrittely rajaa, jota pienemmän osuuden aiheuttavat päästölähteet tai prosessit rajattaisiin tarkastelusta ulos, vaan kaikki prosessit on pyritty ottamaan kokonaisuudessaan huomioon.

Tässä tutkimuksessa on käytetty useita eri tietolähteitä. Etelä-Savon rypsin viljelijöiltä on

kerätty maatilalan prosesseja kuvaavat tiedot liittyen viljelyn eri vaiheisiin. Tutkimuksen lähtötiedot on esitetty liitteessä 1. Näin tutkimuksen tulokset kuvaavat mahdollisimman tarkasti Etelä-Savon todellista tilannetta. Lannoitteen valmistuksen osalta on tiedot saatu lannoitteen valmistajalta. LCA-tietokantoja on käytetty kuljetusten, sähkön-tuotannon ja fossiilisten polttoaineiden valmistuksen päästöjen mallinnuksessa. Pääpaino kirjallisuudesta saaduilla lähtöarvoilla on referoiduissa tieteellisissä artikkeleissa ja soveltuvin osin myös muissa julkisissa tutkimusraporteissa ja julkaisuissa. Kirjallisuusarvoja on käytetty torjunta-aineiden valmistuksen, metanolin (CH₃OH) valmistuksen, lipeän (NaOH) valmistuksen, soijarehun tuotannon, turpeen ja hakkeen tuotannon osalta. Lisäksi kirjallisuusarvoja on käytetty mallinnettua sivutuotteiden tai korvattavien tuotteiden energiakäytöstä syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä. Kaikkien prosessien osalta on lähteet ilmoitettu kohdassa Lähteet.

VAIKUTTAVUUSARVIOINTI

Tarkastelussa huomioidaan päästöjen osalta vain kasvihuonekaasupäästöt (khk-päästöt). Huomioitavat kaasut ovat hiilidioksidi, metaani ja typpioksiduuli (CO₂, CH₄ ja N₂O). Kasvihuonekaasupäästöt on tuloksissa muunnettu hiilidioksidiekvivalen-teiksi (CO₂ ekv) ja niiden ilmastonmuutosvaikutusta tarkastellaan 100 vuoden aikaperspektiivissä käyttäen kansainvälisen ilmastonmuutospaneelin (IPCC) määrittämiä päästövaikutuskertoimia (CO₂:1, CH₄:21 ja N₂O:310 (IPCC 2007)).

TULOSTEN TULKINTA

Tässä tutkimuksessa on tuloksia tulkittu kahdesta eri näkökulmasta. Ensin tulkitaan onko tarkasteltu RME:n tuotanto ja käyttö khk-päästöjen ja energiataseen suhteen kokonaisuutena perusteltu kummallakaan menetelmällä viljeltyä (tavanomaisesti ja luomuviljely), eli tuottaako RME:n valmistus koko tuotantoketju huomioiden enemmän khk-päästöjä kuin mitä säästetään korvaamalla sillä fossiilista dieselpolttoainetta. Toiseksi pyritään tunnistamaan ne seikat, joilla on kokonaispäästöjen ja energiankulutuksen kannalta eniten merkitystä ja joihin voidaan vaikuttaa maatilalan omilla toimenpiteillä kokonaispäästöjen vähentämiseksi.

ELINKAARIMALLINNUKSEN TOTEUTUS

Elinkaarimallinnuksen toteutuksessa on huomioitu eri vaihtoehtoja RME:n tuotannon sivutuotteiden hyödyntämiseen ja näiden vaihtoehtojen eri yhdistelmistä muodostuu kokonaisskenaarioita, joille khk-päästöt on laskettu. Kaikissa skenaarioissa RME:llä korvataan fossiilista dieselpolttoainetta ja puristuksen sivutuotteena syntynyt rypsi-rouhe hyödynnetään eläinten ruokinnassa.

Eri skenaarioissa tarkastellut satotasot tavanomaisesti viljellyllä rypsilä olivat 1300, 1500 ja 2000 kg/ha. Vastaavasti luomurypsin satotasot olivat 1000, 1500 ja 2000 kg/ha. Skenaarioissa käytetyt lähtötiedot on ilmoitettu liitteessä 1.

Omakäyttöskenaariossa tuotannon sivutuotteet hyödynnetään maatilalla. Kaikissa tapauksissa tuotannon sivutuotteita ovat esterönnin yhteydessä syntyvät glyseroli ja metanoli jäännös. Rypsin puinnin yhteydessä syntyy sivutuotteena rypsin korsi, joka skenaarioissa hyödynnetään korjaamalla talteen tai ei hyödynnetä, jolloin se jätetään pellolle. Hake -skenaariossa sivutuotteilla korvataan pienpuuhaketta maatilalla tai sen läheisyydessä. Vastaavasti -turve -skenaariossa sivutuotteilla korvataan jyrshinturvetta maatilalla tai sen läheisyydessä. Sivutuotteet syntyvät käyttöpaikan yhteydessä ja sivutuotteiden kuljetusta käyttöpaikalle ei huomioitu.

Maatilalan ulkopuolinen käyttö -skenaariossa tuotetaan RME:tä maatilalan ulkopuoliseen käyttöön, jolloin tuotannon sivutuotteiden energia-käyttöä ei ole huomioitu. Kaikki tuotantoketjussa syntyvät päästöt on tällöin kohdennettu RME:lle EU RES direktiivissä (Euroopan komissio 2009) annettujen ohjeiden mukaisesti, jonka mukaan oljen ja jalostamattoman glyserolin ei katsota aiheuttavan elinkaarenaikaisia kasvihuonekaasupäästöjä ennen kyseisten materiaalien keräämistä. Päästöjen laskennassa tulee EU RES direktiivin mukaan huomioida seuraavat osat:

$$E = Eec + El + Ep + Etd + Eu - Esca - Eccs - Eccr - Eee, \text{ jossa}$$

E = polttoaineen käytöstä aiheutuvat kokonais-päästöt

Eec = raaka-aineiden tuotannosta tai viljelystä aiheutuvat päästöt

El = maankäytön muutoksista johtuvista hiilivara-rantojen muutoksista aiheutuvat annualisoidut päästöt

Ep = jalostuksesta aiheutuvat päästöt

Etd = kuljetuksesta ja jakelusta aiheutuvat päästöt

Eu = käytössä olevasta polttoaineesta aiheutuvat päästöt

Esca = paremmista maatalouskäytännöistä johtuvasta maaperän hiilikertymästä saatavat vähennykset päästöissä

Eccs = hiilidioksidin talteenotosta ja geologisesta varastoinnista saatavat vähennykset päästöissä

Eccr = hiilidioksidin talteenotosta ja korvaamisesta saatavat vähennykset päästöissä

Eee = sähkön ja lämmön yhteistuotannosta saatavasta ylimääräisestä sähköstä saatavat vähennykset päästöissä.

Tässä tutkimuksessa saavat em. kaavan summa-
muuttujat *El*, *Eu*, *Esca*, *Eccs*, *Eccr* ja *Eee* arvon 0.
Näin ollen kaava saa muodon:

$$E = E_{ec} + E_p + E_{td}$$

Tällöin kokonaispäästöt ovat raaka-aineiden tuotannon ja viljelyn päästöt + jalostuksesta aiheutuvat päästöt + kuljetuksesta ja jakelusta aiheutuvat päästöt. Mahdollinen päästövähenemä fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna taas lasketaan kaavalla:

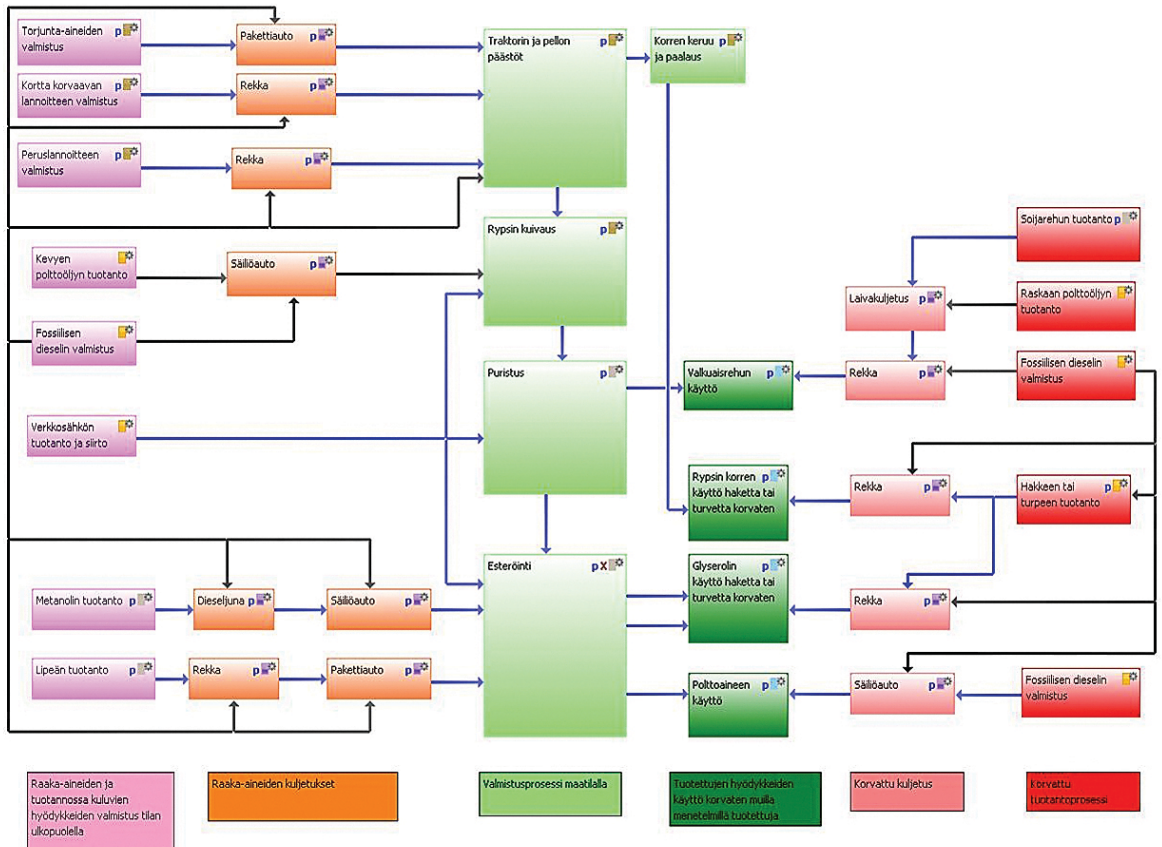
$VÄHENNYS = (EF - EB)/EF$, jossa

EB = biopolttoaineesta tai bionesteestä aiheutuvat kokonaispäästöt

EF = fossiilisesta vertailukohtasta aiheutuvat kokonaispäästöt

EF:n (fossiilinen dieselpolttoaine) vertailuarvo on 83,8 gCO₂ ekv/MJ (Euroopan komissio 2009).

Kuvassa 3 on esitetty elinkaarimallinnuksen toteutus. Violetit laatikot kuvaavat raaka-aineiden ja tuotannossa kuluvien hyödykkeiden valmistusta maatilalla ulkopuolella. Oranssit laatikot kuvaavat raaka-aineiden kuljetusta maatilalle. Vaaleanvihreät laatikot kuvaavat valmistusprosesseja maatilalla. Tummanvihreät laatikot kuvaavat tuotettujen hyödykkeiden käyttöä korvaten muilla menetelmillä tuotettuja hyödykkeitä. Vaaleanpunaiset ja punaiset laatikot kuvaavat korvattuja kuljetuksia ja tuotantoprosesseja.



Kuva 3. Elinkaarimallinnuksen toteutus.

82 ENERGIAOMAVARAINEN MAATILA

SARI IIVONEN, EERO JÄPPINEN, MIKA LAIHANEN, SAMI LUSTE, ARJA NYKÄNEN, TUIJA RANTA-KORHONEN, SARI SEPPÄLÄINEN, PENTTI SEURI, HANNE SOININEN, TIINA TONTTI JA HANNA-MAIJA VÄISÄNEN

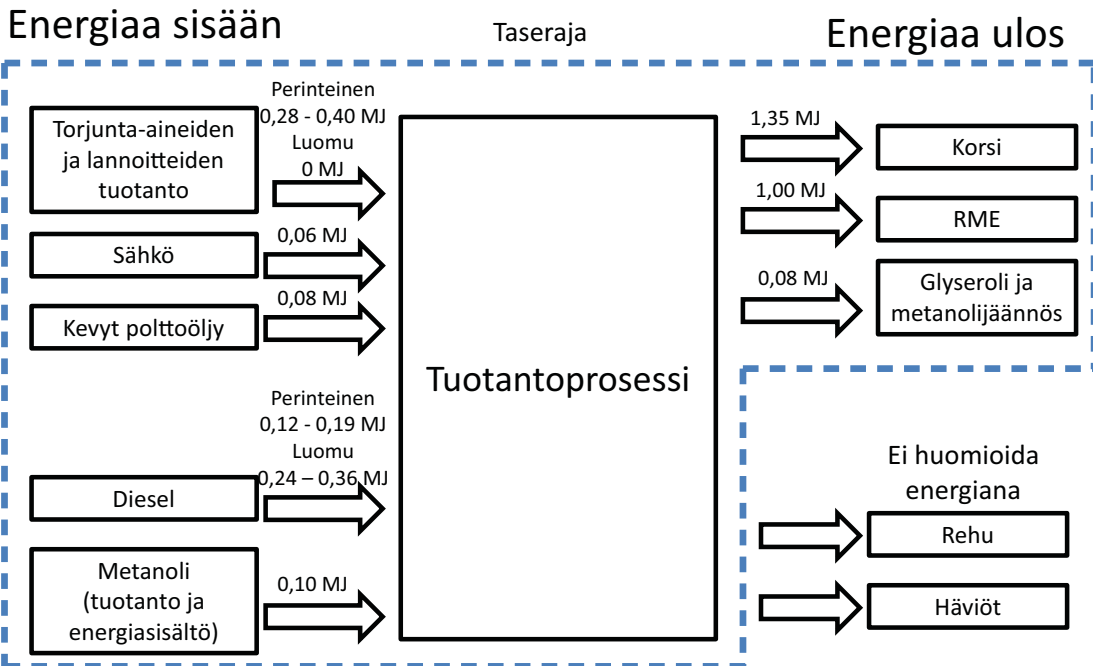
ENERGIATASEET

Kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi on tutkimuksessa selvitetty eri tuotantovaihtoehdoille energiataseet. Energiatase tarkoittaa tuotantoprosessiin käytettävän nettoenergian ja prosessista ulos saatavien energiakäyttöön tulevien tuotteiden energiasisällön suhdetta. Energiataseiden määrittämisessä ei ole huomioitu puristusjäähdytystä tuotoksena, koska rypsirouhe hyödynnetään eläinten ruokinnassa eikä energiantuotannossa.

Energiatasetta tarkasteltaessa on huomioitava, että laskenta perustuu syötteiden ja tuotosten energiasisältöön. Tämä johtaa siihen, että tuotannossa käytetty sähköenergia lasketaan samanar-

voiseksi, kuin polttoaineiden alempi lämpöarvo. Näin laskettaessa ei oteta huomioon sitä, että sähköenergia on exergiakäsitteen mukaan polttoaineen lämpösisältöä paremmin muunnettavissa käyttökelpoiseen muotoon, kuten mekaaniseksi liike-energiaksi. Lisäksi rypsiin sitoutunut aurinkoenergia on jätetty taselaskennan ulkopuolelle, koska sillä ei ole oletettu olevan vaihtoehtoista käyttöarvoa. Käytännössä energiatase kuvaa siis ihmisen toiminnan tuloksena rypsin viljelyyn ja RME:n valmistukseen käytetyn ja siitä saatavan energian suhdetta.

Kuvassa 4 on esitetty energiataseen laskennassa huomioitavat syötteet ja tuotokset.



Kuva 4. Energiataselaskennassa huomioitavat syötteet ja tuotokset.

KASVIHUONEKAASU- JA ENERGIA-TASEIDEN TULOKSET

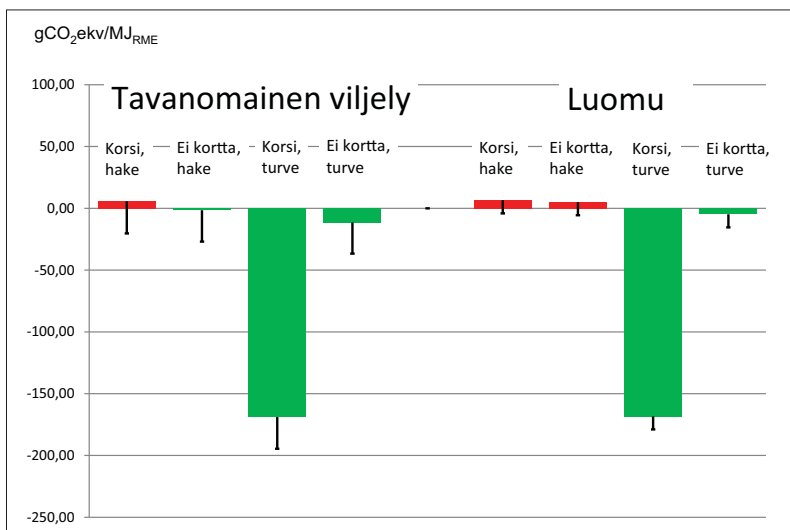
KASVIHUONEKAASUTASEET

Etelä-Savossa Juvalla maatilamittakaavassa omaan käyttöön rypsiä tuotetun RME:n aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt eri skenaarioissa on esitetty taulukossa 2 ja kuvassa 5. Skenaarioiden perustapauksessa omassa käytössä RME:llä

korvataan maatilalla fossiilista dieselpolttoainetta ja glyserolilla pienpuuhaketta, mutta rypsin kortta ei hyödynnetä. Perustapauksessa omassa käytössä sivutuotteena syntyvällä rypsirouheella korvataan soijarouhetta eläinten ruokinnassa. Lisäksi muissa skenaarioissa glyserolilla on korvattu turvepolttoainetta sekä on tarkasteltu korren hyödyntämisen vaihtoehtoja. Korrella korvattaisiin pienpuuhaketta tai turvepolttoainetta. Kuvassa 5 mustat virhepalkit kuvaavat rypsin eri satotasoja.

Taulukko 2. Omaan käyttöön tuotetun RME:n kasvihuonekaasupäästöt eri skenaarioissa.

Skenaarioiden nimi	Korsi	Sivutuotteiden energiakäyttö	Viljelytapa	khk-päästö [gCO ₂ ekv/MJ _{RME}]			
				Satotaso [kg/ha/v]			
				1000	1300	1500	2000
Hake_Korsi_Tavanomainen	Kerätään	Korvataan haketta	Tavanomainen	-	5,7	-3,9	-20,3
Hake_Ei kortta_Tavanomainen	Ei kerätä	Korvataan haketta	Tavanomainen	-	-1,56	-11,2	-26,9
Turve_Korsi_Tavanomainen	Kerätään	Korvataan turvetta	Tavanomainen	-	-168,9	-178,8	-194,6
Turve_Ei kortta_Tavanomainen	Ei kerätä	Korvataan turvetta	Tavanomainen	-	-11,4	-21,0	-36,7
Hake_Korsi_Luomu	Kerätään	Korvataan haketta	Luomu	6,5	-	-1,0	-4,1
Hake_Ei kortta_Luomu	Ei kerätä	Korvataan haketta	Luomu	5,0	-	-2,3	-5,6
Turve_Korsi_Luomu	Kerätään	Korvataan turvetta	Luomu	-168,4	-	-176,1	-178,9
Turve_Ei kortta_Luomu	Ei kerätä	Korvataan turvetta	Luomu	-4,8	-	-12,1	-15,4



Kuva 5. Omaan käyttöön tuotetun RME:n kasvihuonekaasupäästöt eri skenaarioissa.

84 ENERGIAOMAVARAINEN MAATILA

SARI IIIVONEN, EERO JÄPPINEN, MIKA LAIHANEN, SAMI LUSTE, ARJA NYKÄNEN, TUIJA RANTA-KORHONEN, SARI SEPPÄLÄINEN, PENTTI SEURI, HANNE SOININEN, TIINA TONTTI JA HANNA-MAIJA VÄISÄNEN

Jos tavanomaisesti viljellystä rypsiä tuotetaan RME:tä ja puinnin yhteydessä talteenotetulla korrella korvataan pienpuuhaketta maatilalla niin tuotannon aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt lisääntyvät hiukan 1300 kg/ha satotasolla (5,7 gCO₂ekv/MJ_{RME}). Tämä johtuu siitä, että uusiutuvalla korrella ja fossiilista raaka-ainetta sisältävällä glyseroli-metanoliseoksella korvataan uusiutuvaa pienpuuhaketta. Lisäksi korren keruu aiheuttaa hieman kasvihuonekaasupäästöjä. Mahdollinen satotason nousu laskee khk-päästöt tasolle -4 ja -20 gCO₂ekv/MJ_{RME}. Jos korsi jätetään keräämättä niin RME:n tuotannon khk-päästöt laskevat tasolle -2, -11 ja -27 gCO₂ekv/MJ_{RME} eri satotasolla.

Jos tavanomaisesti viljellystä rypsiä tuotetaan RME:tä ja puinnin yhteydessä talteenotetulla korrella korvataan turvepolttoainetta maatilalla niin koko tarkastellun järjestelmän kokonaispäästöt laskevat tasolle -169 - -195 gCO₂ekv/MJ_{RME} eri satotasolla. Suurempi kasvihuonekaasupäästöjen väheneminen johtuu turvepolttoaineen korvaamisesta. Jos vain sivutuotteena syntyvällä glyseroli-metanoliseoksella korvataan turvepolttoainetta, niin kasvihuonekaasupäästö vähenemä jää pienemmäksi.

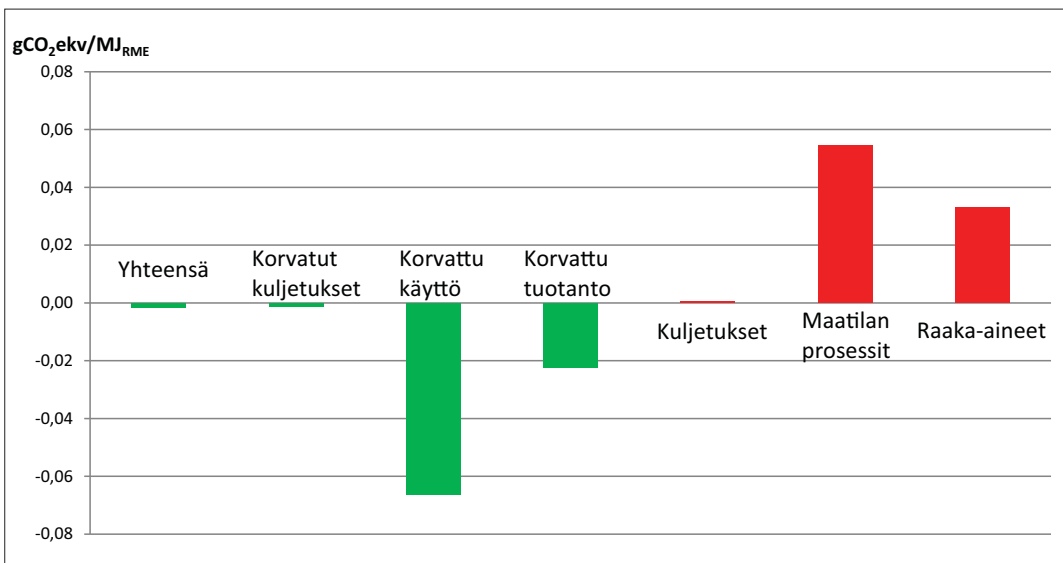
Verrattaessa tavanomaisesti viljellystä ja luomuviljellystä rypsiä tuotetun RME:n tuotannon aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä niin pääs-

tövähennykset jäävät luomuviljelyssä alhaisemmiksi. Luomuviljelyssä suurimmat päästövähenemät saavutetaan kun puinnin yhteydessä talteensaadulla korrella korvataan turvepolttoainetta (-168 - -179 gCO₂ekv/MJ_{RME}).

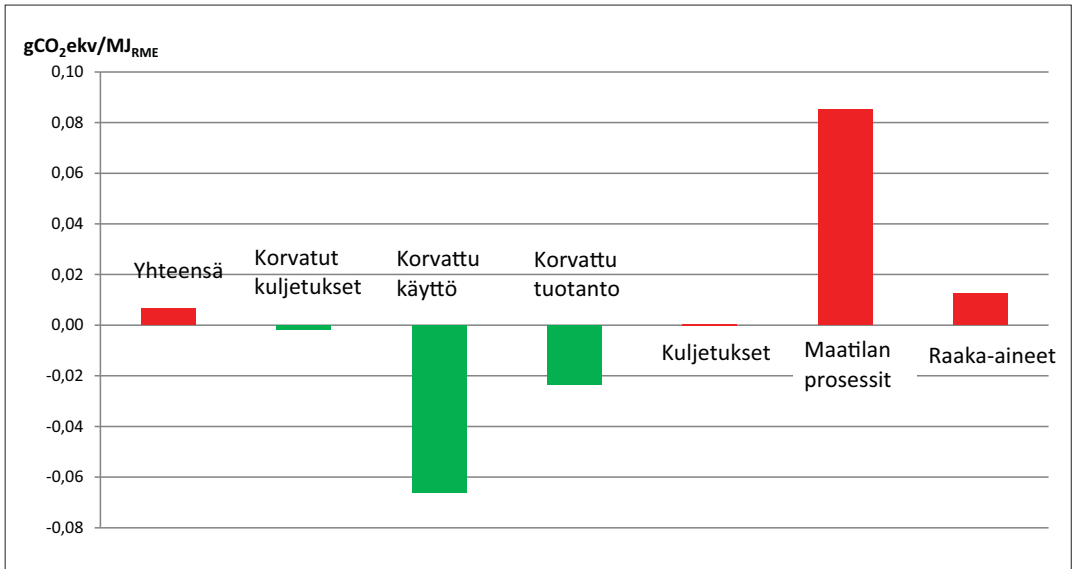
Kuvassa 6 on esitetty khk-päästöjen lähteet omaan käyttöön tuotetun RME:n osalta, kun tavanomaisesti viljelyn rypsin satotaso on 1300 kg/ha. Omassa käytössä tuotannon sivutuotteilla korvataan valkuaisrehua ja pienpuuhaketta, mutta kortta ei ole kerätty.

Kaikkissa tapauksissa RME:n tuotannon kasvihuonekaasutaseen merkittävimmät päästöjen aiheuttajat ovat maatilalla prosessit ja raaka-aineiden käyttö. Omassa käytössä maatilalla prosessien päästöistä aiheutuu 66 % lannoitteen käytön N₂O-päästöistä, 23 % traktorin päästöistä ja 11 % rypsin kuivauksen päästöistä, kun tavanomaisesti viljelyn rypsin satotaso on 1300 kg/ha. Vastaavasti raaka-aineiden valmistuksen päästöistä lannoitteiden valmistuksen osuus on 64 %, verkkosähkön 15 % ja metanolin 12 %.

Kuvassa 7 on esitetty khk-päästöjen lähteet omaan käyttöön tuotetun RME:n osalta, kun luomuviljelyn rypsin satotaso on 1000 kg/ha. Omassa käytössä tuotannon sivutuotteilla korvataan valkuaisrehua ja pienpuuhaketta, mutta kortta ei ole kerätty.



Kuva 6. Omaan käyttöön tuotetun RME:n khk-päästöt tavanomaisen viljelyn rypsin 1300 kg/ha satotasolla.



Kuva 7. Omaan käyttöön tuotetun RME:n khk-päästöt luomuviljelyn rypsin 1000 kg/ha satotasolla.

Luomuviljelyssä maatilan prosessien päästöistä aiheutuu 64 % lannan käytön N₂O-päästöstä, 29 % traktorin päästöistä ja 7 % rypsin kuivauksen päästöistä, kun luomuviljelyn rypsin satotaso on 1000 kg/ha. Tutkimuksessa lannan on oletettu tulevan ko. maatilalta ja lannasta on huomioitu vain käytön, levityksen ja kuljetuksen khk-päästöt. Luomuviljelyssä raaka-aineiden valmistuksen päästöistä verkkosähköön osuus on 40 %, metanolin 32 % ja fossiilisen dieselpolttoaineen 20 %.

Suurin osa lannoitteena (väkilannoite tai lanta) maahan lisättävästä typestä sitoutuu kasvaviin kasveihin ja poistuu systeemistä sadonkorjuun yhteydessä. Osa siitä typeistä, jota kasvit eivät pysty hyödyntämään, voi karata maasta ilmakehään erilaisina yhdisteinä kuten N₂O. Kaasujen tuotantoon ja niiden määrään vaikuttavat useat maaperän fyysiset, kemialliset ja biologiset tekijät (Pihlatie 2001). Tässä tutkimuksessa tavanomaisesti viljelyn rypsin lannoitteen aiheuttaman N₂O-päästönä on käytetty 5,6 kg CO₂-ekvivalenttia lannoitteen

sisältämää typpikiloa kohti (YARA 2010). Vastavasti luomuviljelyssä käytetyn lietalannan N₂O-päästönä on käytetty 1,25 % kokonaistypestä (Pipatti ym. 2000).

Omassa käytössä RME:n tuotannon kasvihuonekaasutaseen merkittävimmät päästöhyödyt saavutetaan korvaamalla fossiilista dieselpolttoainetta. Korvatusta tuotannosta soijarehun osuus on 68 % ja dieselin valmistuksen osuus 32 % tavanomaisesti viljellyllä rypsilä 1300 kg/ha satotasolla.

Taulukoissa 3 on esitetty maatilan ulkopuoliseen käyttöön tuotetun RME:n tuotannon aiheuttamat khk-päästöt. Päästöjä laskettaessa ei ole huomioitu korvattavia prosesseja, eli taseraja on siinä, kun tuotteet poistuvat tuotantoprosessista. Näin voidaan RME:n tuotannon ja käytön päästöjä verrata muihin polttoaineisiin.

Taulukossa 4 on esitetty RME:llä saavutettavat päästövähennykset fossiiliseen dieseliin verrattuna maatilan ulkopuolisessa käytössä.

Taulukko 3. Maatilan ulkopuoliseen käyttöön tuotetun RME:n kasvihuonekaasupäästöt eri skenaarioissa.

Skenaarion nimi	Viljelytapa	khk-päästö [gCO ₂ ekv/MJ _{RME}]			
		Satotaso [kg/ha/v]			
		1000	1300	1500	2000
Tavanomainen, myyntiin	Tavanomainen	-	72,1	62,5	46,8
Luomu, myyntiin	Luomu	78,7	-	71,4	68,1

Taulukko 4. RME:llä saavutettavat päästövähennykset fossiiliseen dieseliin verrattuna.

Skenaarion nimi	Viljelytapa	khk-päästö [gCO ₂ ekv/MJ _{RME}]			
		Satotaso [kg/ha/v]			
		1000	1300	1500	2000
Tavanomainen, myyntiin	Tavanomainen	-	14%	25%	44%
Luomu, myyntiin	Luomu	6%	-	15%	19%

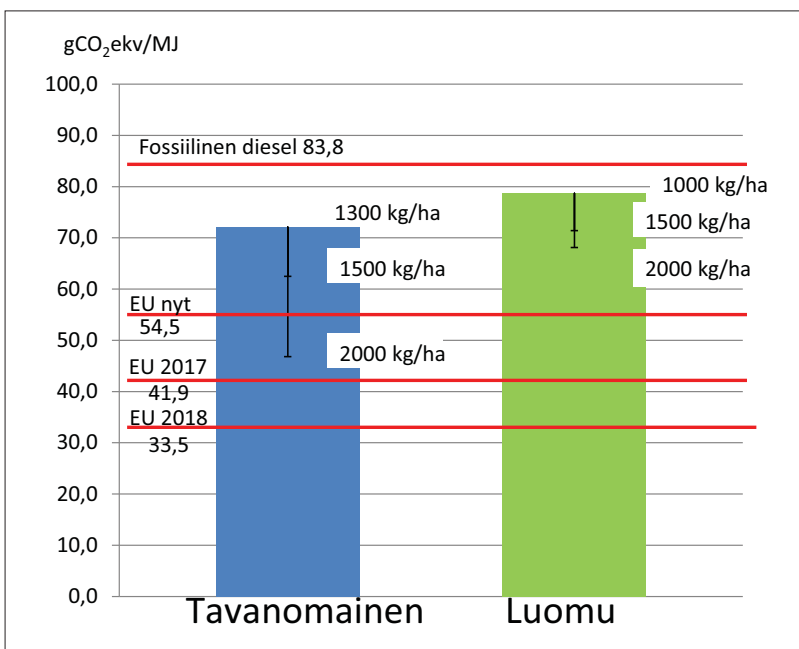
Kuvassa 8 on esitetty RME:n tuotannon aiheuttamat khk-päästöt verrattuna fossiiliseen dieselpolttoaineeseen eri satotasoilla tavanomaisessa ja luomuviljelyssä. Kuvassa katkoviivalla on kuvattu fossiilisen dieselpolttoaineen vertailuarvo sekä EU RES direktiivin mukaiset kestävyyskriteerit nestemäisille biopolttoaineille (Euroopan komissio 2009).

EU RES direktiivissä määritellään biopolttoaineiden kestävyyskriteerit, joiden mukaan nykyisin tulee biopolttoaineilla saavuttaa 35 % vähemmän kasvihuonekaasupäästöissä fossiiliseen vertailupolttoaineeseen verrattuna. Vuoden 2017 alusta alkaen on vähennyksen oltava 50 % ja vuoden 2018 alusta alkaen 60 % vuoden 2017 alun jälkeen rakennetuissa laitoksissa. Tämän tutkimuksen mukaan vain yksi skenaario (tavanomainen viljely, sato 2000kg/ha/v), jossa RME myytäisiin ul-

kopuoliseen käyttöön, täyttää EU RES direktiivin tämän hetkiset vaatimukset. Yksikään skenaario ei täytä vaatimuksia vuoden 2017 alun jälkeen.

Suomessa EU RES direktiivin vaatimukset saatetaan osaksi kansallista lainsäädäntöä lailla biopolttoaineiden ja -nesteiden kestävydestä, eli ns. kestävyyskriteerilailla. Lain on tarkoitus tulla voimaan vuoden 2013 alkupuolella ja se veloitaa toiminnanharjoittajan laatimaan kestävyysjärjestelmän, joka tulee hyväksyttävä valvovalla viranomaisella (Energiamarkkinavirastolla). Tämän jälkeen voi toiminnanharjoittaja (esim. polttoaineen tuottaja) antaa biopolttoaine-eristä kestävyystodistuksen, josta mahdollinen kriteerien täytyminen tulee ilmi (EMV 2012).

Kestävyyskriteerien täyttymisen lisäksi on syytä huomioida mahdolliset tulevat lainsäädän-



Kuva 8. Maatilan ulkopuoliseen käyttöön tuotetun RME:n kasvihuonekaasupäästöt eri satotasoilla, fossiilisen dieselin vertailuarvo sekä EU RES direktiivin mukaiset vertailuarvot.

nön muutokset, jotka voivat jatkossa vaikuttaa tuotteen hyväksyttävyyteen lainsäädännön näkökulmasta ja siten mahdollisiin taloudellisiin tukiin. Tämä koskee erityisesti ns. ensimmäisen sukupolven biopolttoaineita, kuten RME:tä, joihin liittyy epäsuorasta maankäytön muutoksesta aiheutuvien päästöjen riski. Vuoden 2012 lokakuussa annettussa direktiiviehdotuksessa Euroopan komissio toteaa, että vuoden 2020 jälkeen tukea ei tulisi antaa biopolttoaineille, jotka eivät johda merkittäviin kasvihuonekaasusäästöihin (kun epäsuorasta maankäytön muutoksesta aiheutuvat päästöt ote-

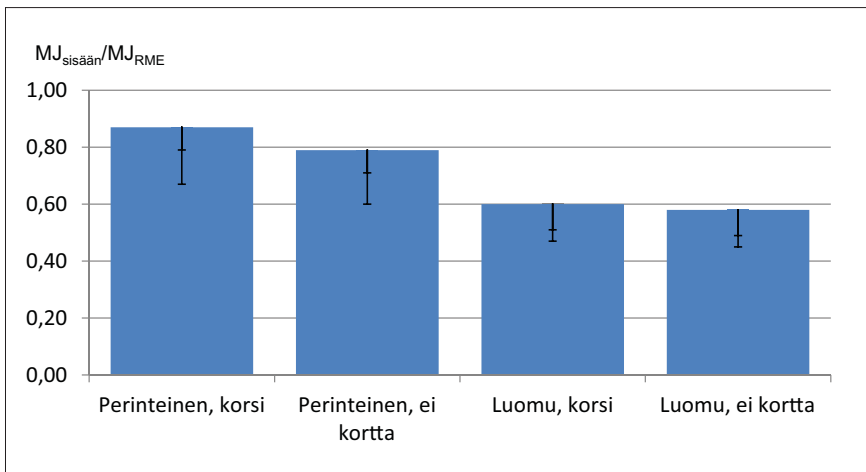
taan huomioon) ja jotka tuotetaan ravinto- ja rehu- kasveista (Euroopan komissio 2012). Näin ollen on mahdollista, että rypsi biodiesel ei olisi oikeutettu uusiutuville polttoaineille tarkoitettuun taloudelliseen tukeen vuoden 2020 jälkeen.

ENERGIATASEET

Etelä-Savossa Juvalla maatilamittakaavassa omaan käyttöön rypsiä tuotetun RME:n energiatase on esitetty taulukossa 5 ja kuvassa 9.

Taulukko 5. RME:n tuotantoprosessiin sisään syötetyt ja ulos saadut energiamäärät.

Viljelytapa	Korsi	Satotaso [kg/ha/v]	Energiaa sisään [MJ/MJ _{RME}]	Energiaa ulos [MJ/MJ _{RME}]
Tavanomainen	Kerätään	1300	0,87	2,43
Tavanomainen	Kerätään	1500	0,79	2,43
Tavanomainen	Kerätään	2000	0,67	2,43
Tavanomainen	Ei kerätä	1300	0,79	1,08
Tavanomainen	Ei kerätä	1500	0,71	1,08
Tavanomainen	Ei kerätä	2000	0,60	1,08
Luomu	Kerätään	1000	0,60	2,43
Luomu	Kerätään	1500	0,51	2,43
Luomu	Kerätään	2000	0,47	2,43
Luomu	Ei kerätä	1000	0,58	1,08
Luomu	Ei kerätä	1500	0,49	1,08
Luomu	Ei kerätä	2000	0,45	1,08



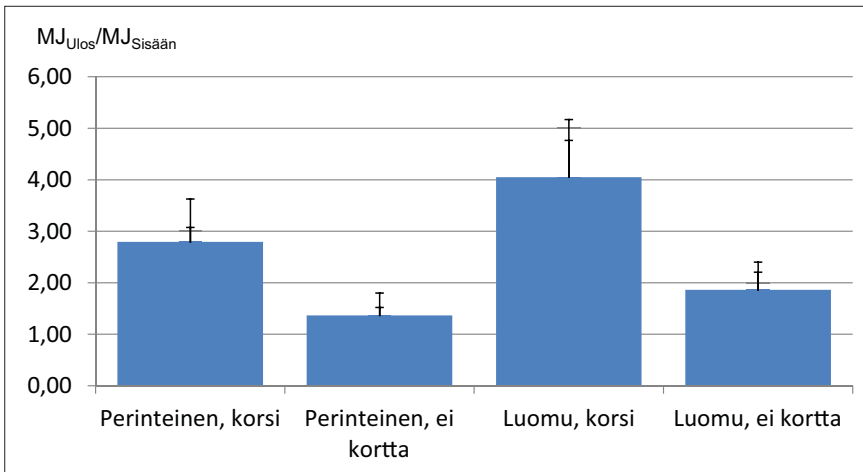
Kuva 9. RME:n tuotantoprosessin energiatase. Virhepalkit kuvaavat eri satotasoja.

88 ENERGIAOMAVARAINEN MAATILA

SARI IIVONEN, EERO JÄPPINEN, MIKA LAIHANEN, SAMI LUSTE, ARJA NYKÄNEN, TUIJA RANTA-KORHONEN, SARI SEPPÄLÄINEN, PENTTI SEURI, HANNE SOININEN, TIINA TONTTI JA HANNA-MAIJA VÄISÄNEN

Kaikissa eri laskentaskenaarioissa tuotantoprosessiin sisään syötetty energiamäärä oli pienempi kuin tuotantoprosessista ulos saatu energiamäärä sekä tavanomaisesti viljellyllä että luomuviljellyllä rypsiä. Kuvissa 9 ja 10 perinteisesti viljellyn rypsin satotaso oli 1300 kg/ha perustapauksessa ja virhepalkit kuvaavat satotasoja 1500 ja 2000 kg/ha. Vastaavasti luomurypsin satotaso on 1000 kg/ha ja virhepalkkien kuvaavat satotasot olivat 1500 ja 2000 kg/ha. Jos rypsin puinnin yhteydessä korsi

kerätään talteen, se lisää prosessista ulos saatavan energian määrää huomattavasti. Kuvassa 10 on esitetty tuotantoprosessin tuotos/panos -suhde, joka huomioi myös tuotantoprosessista saatavat ja energiakäyttöön tulevat sivutuotteet. Luomuviljelyn parempi tuotos/panos -suhde johtuu lähinnä siitä, että rypsin viljelyssä ei ole käytetty kemiallisia lannoitteita, jolloin niiden valmistukseen ei ole kulunut energiaa.



Kuva 10. RME:n tuotantoprosessin tuotos/panos-suhde.

YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Rypsin viljely onnistuu Etelä-Savossa, mutta viljely on vähäistä. Ensisijaisesti rypsi kannattaa hyödyntää elintarviketeollisuuden raaka-aineena, jos rypsin siemenistä saa riittävän tuoton. Rypsin siemenistä puristetusta rypsiöljystä voidaan valmistaa RME:tä maatilalla. Maatilamittakaavan tuotanto tarjoaa vaihtoehtoisen hyödyntämistavan erityisesti pienille satomäärille, kun viljeltävät tilakohtaiset rypsialat ovat pieniä. RME:n tuotanto maatilalla on sivulinkeinoa muun toiminnan ohessa. Maatilalla RME:llä voidaan korvata fossiilisen dieselpolttoaineen käyttöä työkoneissa ja rakennusten lämmityksessä.

Rypsin puristuksen yhteydessä sivutuotteena syntyy rypsipuristetta, joka voidaan hyödyntää eläinten ruokinnassa. Omalla rypsipuristeella voidaan nostaa valkuaisrehumavaraisuutta ja sillä voidaan korvata esim. ulkomailta tuotua soijarouhetta. Jossain tapauksissa rypsipuristetta on pidetty jopa päätuotteena ja rypsiöljyä sivutuotteena. Esteröintiprosessin yhteydessä syntyy sivutuotteena glyserolia, joka hyödynnetään yleensä puuhakkeeseen sekoitettuna maatalan lämmityksessä. Glyserolia käytetään kemianteollisuudessa, mutta pienten eräkokojen ja epäpuhtauksien johdosta glyseroli on yleensä hyödynnetty maatilalla. Glyserolia voidaan hyödyntää myös biokaasureaktoreissa, mutta tästä on vielä vähän kokemuksia. Glyserolin biokaasun tuottoa biokaasureaktorissa tutkittiin Esbio-hankkeen yhteydessä Mikkelin ammattikorkeakoulun toimesta. Rypsin puinnin yhteydessä sivutuotteena syntyvä olki voitaisiin hyödyntää maatalan lämmöntuotannon polttoaineena. Taloudellisista syistä olkea ei yleensä hyödynnetä, vaan se silputaan ja jätetään peltoon, jolloin myös ravinteita jää maaperään.

Tutkimuksessa selvitettiin Etelä-Savon paikallisia lähtötietoja hyödyntäen RME:n tuotannon kasvihuonekaasutase ja energiatase tavanomaisen ja luomuviljelyn osalta. Tutkimuksen tulosten perusteella paikallisella maatilamittakaavan RME:n tuotannolla saavutettavat kasvihuonekaasupäästöjen vähenemät fossiiliseen dieselpolttoaineeseen verrattuna olivat tavanomaisessa viljelyssä 14 – 44 % ja luomuviljelyssä 6 – 19 % eri satotasolla. EU RES direktiivin mukaisen kestävyyskriteerit nestemäisille biopolttoaineille ovat nykyisin -35 %, vuonna 2017 -50 % ja vuonna 2018 -60 %. Tulevaisuudessa kiristyviä kestävyyskriteerejä tuskin tullaan saavuttamaan ensimmäisen sukupolven maatilakokoluokan RME:n valmistuksessa.

Kasvihuonekaasupäästöjen kannalta suurimmat hyödyt saavutetaan fossiilisen dieselpolttoaineen ja soijarehun korvaamisesta. Suurimmat päästölähteet maatilalla ovat lannoitteen päästö pellolla, traktorilla ajo ja rypsin kuivauksen aiheuttamat päästöt. Tuottajilla on mahdollisuudet vaikuttaa näihin päästöihin mm. eri työmenetelmien käytöllä sekä pellon ravinneanalyysillä. Ravinneanalyysillä määritetään optimaalinen lannoituksen tarve. Luonnollisesti saatavalla satotasolla on myös vaikutusta päästöihin, koska tietyt toimenpiteet tehdään joka tapauksessa. Traktorin aiheuttamia päästöjä voidaan vähentää taloudellisella ajotavalla sekä yhteensopivalla traktorin ja työkoneen mitoituksella. Rypsin kuivauksen osalta energiatehokkuutta voidaan parantaa kunnossapidon avulla, jolloin on parannettu ilmankiertoa ja vähennetty vuotoja. Kuivauksessa, puristuksessa ja esteröinnissä sähkön kulutuksesta aiheutuvia päästöjä voidaan vähentää hankkimalla kokonaan uusiutuvalla energialla tuotettua CO₂-neutraalia sähköä. RME:n tuotantoprosessissa käytettävien raaka-aineiden osalta suurimmat päästöt syntyvät lannoitteiden valmistuksesta, sähkön tuotannosta sekä metanolin ja dieselin valmistuksesta.

Energiataseiden osalta kaikissa skenaarioissa tuotteiden energiasisältö on suurempi kuin tuotantoprosessissa kulutetun energian määrä. Erityisesti, jos hyödynnetään rypsin korsi energian tuotannon polttoaineena niin se lisää saatavan energian määrää.

Tutkimuksessa käytetyistä lähtötiedoista suurimmat epävarmuudet liittyvät N₂O-päästöihin, joita syntyy pellolla lannoitteiden ja lannan käytöstä. Rypsin viljelyn osalta tarkastelun tulisi kattaa useamman vuoden ajanjakso, jolloin tarkastelu kattaisi koko viljelykierron. Tällöin tulisi huomioida myös mahdollinen biologinen typensidonta ja siten typen tuoja kasvien käytön vaikutukset kasvihuonekaasu- ja energiataseisiin useamman vuoden ajalta. Näistä on odotettavissa tulevaisuudessa lisää tutkimustuloksia erityisesti luomuviljelyn osalta.

Nykyisillä tuotantomäärillä RME:n maatilamittakaavan tuotannolla ei ole merkitystä esim. nestemäisten polttoaineiden huoltovarmuuteen. Tuotannolla on paikallisesti maatalakohtaista merkitystä, jolla voidaan nostaa maatalan energia- ja valkuaisrehumavaraisuutta. Kasvihuonekaasuja energiataseet eivät huomioi tätä hyötyä.

LÄHTEET

- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 2045. Espoo 2000.
- Bernesson, S., Nilsson, D. & Hansson, P.-A. 2004. A Limited LCA comparing large- and small-scale production of rape methyl este (RME) under Swedish conditions, *Biomass and Bioenergy* 26 (545-559)
- Dalgaard R., Schmidt J., Halberg, N., Christensen, P., Thrane, M. & Pengue, WA. 2008. LCA of Soybean Meal. *Int J LCA* 13 (3) 240–254
- Elsayed, M.A., Matthews, R. & Mortimer, N.D. 2003. Carbon and Energy Balances for a Range of Biofuel Options, Final Report, Resources Research Unit, Sheffield Hallam University, England, 2003.
- EMV tiedottaa 3/2012, Kestävyysskriteerilaki astuu voimaan 2013, Energiamarkkinavirasto, Helsinki 2012.
- Euroopan komissio (2009) Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/28/EY, 23.4.2009, uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä sekä direktiivien 2001/77/EY ja 2003/30/EY muuttamisesta ja myöhemmin kumoamisesta.
- Euroopan komissio (2012) COM(2012). 595 final 2012/0288 (COD) Ehdotus EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI bensiniin ja dieselpolttoaineiden laadusta annetun direktiivin 98/70/EY ja uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä annetun direktiivin 2009/28/EY muuttamisesta). Bryssel 17.10.2012.
- GaBi Databases (2012), PE International.
- Immonen, V. & Ronkanen, A. 2011. Paikalliset rypsin viljelytiedot. Henkilökohtainen tiedonanto. 19.4.2011.
- IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. (2006) [Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. & Tanabe, K. (eds)]. Japan: IGES. 2006. DEFAULT EMISSION FACTORS FOR STATIONARY COMBUSTION IN THE RESIDENTIAL AND AGRICULTURE/FORESTRY/FISHING/FISHING FARMS CATEGORIES (kg of greenhouse gas per TJ on a Net Calorific Basis)
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- ISO 14040 (2006) Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. Suomen Standardisoimisliitto, Helsinki. 2006.
- Jäppinen, E., Korpinen, O.J. & Ranta, T. 2012. The effects of local biomass availability and possibilities for truck and train transportation on the greenhouse gas emissions of a small diameter energy wood supply chain, *Bioenergy Research*, DOI: 10.1007/s12155-012-9244-9, published online 18 August 2012.
- Karttunen, K., Föhr, J., Ranta, T., Palojärvi, K. & Korpilahti, A. 2012. Puupolttoaineiden ja polttoturpeen kuljetuskalusto 2010, Metsätalon tuloskalvosarja 2/2012, Metsäteho Oy.
- Kirkinen, J., Minkkinen, K., Penttilä, T., Kojola, S., Sievänen, R., Alm, J., Saarnio, S., Silvan, N., Laine, J. & Savolainen, I. 2007. Greenhouse impact due to different peat fuel utilisation-chains in Finland — a life-cycle approach. *Bo-real Env. Res.* 12: 211–223.
- Laitinen, A. 2008. Maatilayrittäjän RME-biodieselin laadunhallinta. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Luonnonvarainstituutti. 2008.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2010. Vehnän ja rapsin kasvihuonekaasupäästöt viljeltäessä niitä biopolttoaineiden raaka-aineeksi Suomessa. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/28/EY mukainen laskenta. Artikla 19(2). MMM 2010.
- Malkki, L. 2006. Rypsiöljyn metyyliesterin paikallinen valmistus ja käyttö, Pro gradu –tutkielma, Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos. 2006.
- Mortimer, N.D., Cormack, P., Elsayed, M.A. & Horne, R.E. 2003. Evaluation of the Comparative Energy, Global Warming and Socio-Economic Costs and Benefits of Biodiesel, Final Report 20/1, School of Environment and Development, Sheffield Hallam University, England, 2003.
- Motiva. 2012. Biopolttoaineiden lämpöarvoja. Saatavilla: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/biopolttoaineiden_lampoarvoja. Viitattu 15.9.2012.
- Mäkinen, T., Sipilä, K., Nylund, N. 2005. Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Suomessa. Taustaselvitys. VTT Tiedotteita 2288. Espoo 2005.

- Mäkinen, T., Soimakallio, S., Paappanen, T., Pahkala, K. & Mikkola, H. 2006. Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit [Greenhouse gas balances and new business opportunities for biomass-based transportation fuels and agrobiomass in Finland]. Espoo 2006. VTT Tiedotteita . Research Notes 2357.
- Pahkala, K., Hakala, K., Kontturi, M. & Niemeläinen, O. 2009. Peltobiomassat globaalina energianlähteenä. Maa- ja elintarviketalous 137. Jokioinen 2009. Saatavilla: <http://www.mtt.fi/met/pdf/met137.pdf>. Viitattu 18.9.2012.
- Pihlatie, M. 2001. Maatalousmaiden dityppioksidin ja typpimonoksidipäästöt. Ympäristönsuojelutieteen Pro gradu. Limnologian- ja ympäristönsuojelun laitos. Helsingin yliopisto. 2001.
- Pipatti, R., Tuhkanen, S., Mälkiä, P. & Pietilä, R. 2000. Maatalouden kasvihuonekaasupäästöt sekä päästöjen vähentämisen mahdollisuudet ja kustannustehokkuus. VTT Julkaisuja 841. Espoo 2000.
- Pohjolainen, J. 2007. Öljy- ja kaasualan keskusliitto. Henkilökohtainen tiedonanto. 4.9.2007.
- Rinne, S. 2010. The costs of wood fuel chipping and crushing. Master's thesis, Lappeenranta University of Technology.
- Seuri, P. 2012. Naudan lietalannan määrä rypsin luomuviljelyssä. Henkilökohtainen tiedonanto. 31.8.2012.
- Tuukkanen, S. 2007. Rypsimetyyliesterin tuotantopotentiaali, energiataseet ja kannattavuuslaskelma maatilamittakaavaiselle valmistukselle. Pro gradu-tutkielma. Jyväskylän yliopisto. Jyväskylä. 2007
- Vihma, A., Aro-Heinilä, E. & Sinkkonen, M. 2006. Rypsi biodieselin (RME) maatilatuotannon kannattavuus. MTT:n selvityksiä 115. Helsinki. 2006.
- Virtanen, Y., Usva, K., Silvenius, F., Sinkko, T., Nurmi, P., Kauppinen, T. & Nousiainen, J. 2011. Pelloenergian tuotantojärjestelmien ympäristövaikutukset. MTT, Biotekniikka- ja elintarviketutkimus. 2011. Saatavilla: http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/ muutjulkaisut/5J12waBUc/Peltobioenergia_raportti.pdf. Viitattu 18.9.2012.
- Wicke, B., Dornburg, V., Junginger, M. & Faaij, A. 2008. Different palm oil production systems for energy purposes and their greenhouse gas implications, Biomass and Bioenergy, Volume 32, Issue 12, December 2008, Pages 1322–1337
- Yara Finland (2012), Stedt, G. GRI report saatavilla: http://www.yara.com/sustainability/reporting/gri_reporting/environmental_performance/environmental_indicator_points/index.aspx. Viitattu 23.11.2012.
- Yara International. 2010. Hiilijalanjälki - Lannoituksen ilmastovaikutusten parantaminen. Saatavissa: http://www.yara.fi/doc/31441_Carbon%20footprint_Fi_web.pdf. Viitattu 9.3.2012.

LIITE 1. RME:n kasvihuonekaasutaseiden ja energiataseiden määrittämisessä on käytetty seuraavia lähtöarvoja ja kirjallisuuslähteitä.

Prosessi	Kuvaus ja/tai käytetyt parametrit	Lähde
Raaka-aineiden valmistus		
Torjunta-aineiden valmistus (tavanomainen viljely)	Energiankulutus: 0,377 MJ/kg CO ₂ päästöt: 5,39 kgCO ₂ /kg	Mortimer ym. 2003 MMM 2010
Lannoitteen valmistus (kortta korvaava)	YaraMila Pellon Y6 Energiankulutus:13,8 GJ/t CO ₂ päästöt: 0,8124 kgCO ₂ /kg	Yara 2012
Lannoitteen valmistus (peruslannoitus)	YaraMila Pellon Y2 Energiankulutus: 13,8 GJ/t CO ₂ päästöt: 0,8124 kgCO ₂ /kg	Yara 2012
Kevyen polttoöljyn tuotanto (rypsin kuivaukseen)	Light fuel oil at refinery, EU-27	GaBi databases 2012
Fossiilisen dieselin valmistus (raaka-aineiden kuljetus ja traktori)	Diesel mix at refinery, EU-27, 5,75% bio-components	GaBi databases 2012
Verkkosähkön tuotanto ja siirto (kuivaukseen, puristukseen ja esteröintiin)	Electricity grid mix, average, Finland CO ₂ päästöt: 82 gCO ₂ ekv/MJ	GaBi databases 2012
Metanolin tuotanto (maakaasusta)	CO ₂ päästöt: 0,786 kgCO ₂ /kg Energiankulutus: 38,08 MJ/kg	Wicke ym. 2008 Elsayed ym. 2003
Lipeän tuotanto	CO ₂ päästöt: 1,2 kgCO ₂ /kg Energiankulutus: 19,87 MJ/kg	Wicke ym. 2008 Elsayed ym. 2003
Raaka-aineiden kuljetus	Kuljetuksissa meno täydellä kuormalla ja paluu ilman kuormaa	
Torjunta-aineiden kuljetus	Kuorma-auto, Euro 4, diesel, 5 t hyötykuorma, 200 km	GaBi databases 2012
Lannoitteiden kuljetus	Rekka, Euro 4, diesel, 27 t hyötykuorma, 100 km	GaBi databases 2012
Kevyen polttoöljyn kuljetus	Rekka, Euro 4, diesel, 40 t hyötykuorma, 250 km	GaBi databases 2012
Metanolin kuljetus	Juna: diesel, 726 t hyötykuorma, 3000 km Kuorma-auto: Euro 4, diesel, 27 t hyötykuorma, 250 km	GaBi databases 2012
Lipeän kuljetus	Kuorma-auto: Euro 4, diesel, 22 t hyötykuorma, 200 km Kuorma-auto: Euro 4, diesel, 5 t hyötykuorma, 50 km	GaBi databases 2012

Korvatut kuljetukset	Maantiekuljetuksissa meno täydellä kuormalla ja paluu ilman kuormaa	
Soijarehun kuljetus	Laiva (Hollanti-Suomi): Bulk commodity carrier, average, ocean going, 3000 km, DWT 160000 Rekka: Euro 4, diesel, 40 t hyötykuorma, 250 km	GaBi databases 2012
Hakkeen kuljetus	Rekka: 27,7 t hyötykuorma, 50 km	GaBi databases 2012 Karttunen ym. 2012 Jäppinen ym. 2012
Turpeen kuljetus	Rekka: Euro 4, 40 t hyötykuorma, 100 km	GaBi databases 2012
Fossiilisen dieselin kuljetus	Säiliöauto: Euro 4, 40 t hyötykuorma, 250 km	GaBi databases 2012
Korvatut tuotantoprosessit		
Soijarehu	CO ₂ päästöt: 0,344 kgCO ₂ /kg sis. kuljetuksen Hollantiin. Arvo perustuu oletukseen, että soijarehun tuotannossa syntyvällä soijaöljyllä korvataan rypsiöljyä	Dalgaard ym. 2008
Raskas polttoöljy (laivan polttoaine)	Heavy fuel oil at refinery, EU-27	GaBi databases 2012
Fossiilinen diesel	Diesel mix at refinery, EU-27, 5,75% bio-components	GaBi databases 2012
Pienpuuhake (sis. vain haketus)	CO ₂ päästöt: 0,91 gCO ₂ ekv/MJ Lämpöarvo: 11,6 MJ/kg	Rinne 2010 Jäppinen ym. 2012
Turve	CO ₂ päästöt, tuotanto: 9,32 gCO ₂ /MJ Lämpöarvo: 9,7 MJ/kg	Kirkinen ym. 2007 Motiva 2012
Maatilan prosessit		
Rypsin viljely ja kuivaus	Keskimääräinen peltoala 5 ha ja etäisyys maatilalta 2 km	Immonen ja Ronkanen 2011
Kyntö/sänkimuokkaus	Traktori, 0,7 ha/h, 15 l/h	Immonen ja Ronkanen 2011
Kalkitus, kerran kymmenessä vuodessa	Traktori, 3,0 ha/h, 15 l/h, 6000 kg/ha	Immonen ja Ronkanen 2011
Lietelannan levitys luomuviljelyssä	Traktori, 0,8 ha/h, 15 l/h, 30 m ³ /ha, Kokonaistyppeä 170 kg/ha, N ₂ O päästöt: 1,25 % kokonaistypestä	Immonen ja Ronkanen 2011 Seuri 2012 Pipatti ym. 2000
Kylvömuokkaus	Traktori, 2,0 ha/h, 15 l/h	Immonen ja Ronkanen 2011
Kylvö ja lannoitus	Traktori, 2,0 ha/h, 15 l/h, siemeniä 8 kg/ha, lannoite 417 kg/ha. YaraMila Pellon Y2. Luomussa lietelantaa.	Immonen ja Ronkanen 2011

94 ENERGIAOMAVARAINEN MAATILA

SARI IIVONEN, EERO JÄPPINEN, MIKA LAIHANEN, SAMI LUSTE, ARJA NYKÄNEN, TUIJA RANTA-KORHONEN, SARI SEPPÄLÄINEN, PENTTI SEURI, HANNE SOININEN, TIINA TONTTI JA HANNA-MAIJA VÄISÄNEN

Jyräys	Traktori, 3,0 ha/h, 15 l/h	Immonen ja Ronkanen 2011
Rikkakasvien ja tuholaiten torjunta	Traktori, 5,0 ha/h, 15 l/h, 2 kg/ha. Luomussa ei.	Immonen ja Ronkanen 2011
Puinti	Puimuri, 0,9 ha/h, 18 l/h	Immonen ja Ronkanen 2011
Kuljetus kuivuriin	Traktori, 0,65 l/ha	Immonen ja Ronkanen 2011
Kuivaus 20 % kosteudesta 9 % kosteuteen	Kuivuri, polttoöljyä 0,167 l/haihdutettu vesikilo, hyötysuhde 90 %, sähkö 16 kW	Tuukkanen 2007
Siirtymät	Traktori, 30 km/h, 10 l/h	Immonen ja Ronkanen 2011
Korren paalaus ja keruu	Traktori, Satoindeksi 0,35 Peltoon jäävä osuus 27 % Tehollinen lämpöarvo 18,5 MJ/kg _{ka}	Pahkala 2009 Virtanen ym. 2011 Alakangas 2000
Rypsin puristus	Puristin, öljysaanto 31 %, 100 kg/h, sähkö 7,5 kW	Immonen ja Ronkanen 2011
Rypsiöljyn esteröinti RME:ksi	Esteröintilaitteisto, 200 l/erä, sähkö 10 kWh/erä metanoli 20% esteröitävän öljyn määrästä (kg) lipeä 3,5 g/l _{öljy}	Immonen ja Ronkanen 2011 Immonen ja Ronkanen 2011 Vihma ym. 2006 Vihma ym. 2006
Tuotteiden käyttö		
Rypsipuriste	Korvataan soijarehua, korvaavuuskerroin 0,77	Mäkinen ym. 2006
Rypsin korsi	Korvataan pienpuuhaketta Korvataan turvetta, CO ₂ päästöt, käyttö: 113 gCO ₂ /MJ	IPCC 2006
Glyseroli	Korvataan pienpuuhaketta Korvataan turvetta, CO ₂ päästöt, käyttö: 113 gCO ₂ /MJ Glyserolin lämpöarvo 17,1 MJ/kg	IPCC 2006 Bernesson ym. 2004

WWW.HELSINKI.FI/RURALIA



HELSINGIN YLIOPISTO
RURALIA-INSTITUUTTI