

<https://helda.helsinki.fi>

---

## Ympäristövaikutus

### Helenius, Juha Pekka

Ympäristöministeriö

2017-05-31

---

Helenius , J P , Koppelmäki , K , Metsärinne , V , Parviainen , T O , Virkkunen , E & Winqvist , E 2017 , Ympäristövaikutus . julkaisussa J Helenius , K Koppelmäki & E Virkkunen (toim) , Agroekologinen symbioosi ravinne- ja energiaomavaraisessa ruoantuotannossa . Reports of the Ministry of the Environment , Nro 18 , Vuosikerta. 2017 , Ympäristöministeriö , Helsinki , Sivut 41-51 .

---

<http://hdl.handle.net/10138/212585>

---

unspecified

publishedVersion

---

*Downloaded from Helda, University of Helsinki institutional repository.*

*This is an electronic reprint of the original article.*

*This reprint may differ from the original in pagination and typographic detail.*

*Please cite the original version.*

# Agroekologinen symbioosi ravinne- ja energiaomavaraisessa ruoantuotannossa

Juha Helenius, Kari Koppelmäki ja Elina Virkkunen (toim.)





Ympäristöministeriön raportteja 18/2017

## **Agroekologinen symbioosi ravinne- ja energiaomavaraisessa ruoantuotannossa**

Juha Helenius, Kari Koppelmäki ja Elina Virkkunen (toim.)

*Suomi  
Finland*  
**100**

Ympäristöministeriö

ISBN Nid.:978-952-11-4715-9

ISBN PDF:978-952-11-4716-6

Kannen kuva: Tomi Kerminen / Visual GoGo

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto, Marianne Laune

Helsinki 2017



## Kuvailulehti

<b>Julkaisija</b>	Ympäristöministeriö	31.5.2017	
<b>Tekijät</b>	Juha Helenius, Kari Koppelmäki ja Elina Virkkunen (toimittajat)		
<b>Julkaisun nimi</b>	Agroekologinen symbioosi ravinne- ja energiaomavaraisessa ruoantuotannossa		
<b>Julkaisusarjan nimi ja numero</b>	Ympäristöministeriön raportteja 18/2017		
<b>Diaari/hankenumero</b>	YM52/481/2015	<b>Teema</b>	Luonnonvarat
<b>ISBN painettu</b>	978-952-11-4715-9	<b>ISSN painettu</b>	1796-1696
<b>ISBN PDF</b>	978-952-11-4716-6	<b>ISSN PDF</b>	1796-170X
<b>URN-osoite</b>	<a href="http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4716-6">http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4716-6</a>		
<b>Sivumäärä</b>	66	<b>Kieli</b>	suomi
<b>Asiasanat</b>	ravinne, kierrätys, maatalous, ruoka, paikallisuus, lähiruoka, järjestelmä, maaseutu, paikallisuus, bioenergia, biokaasu, teollinen ekologia, agroekologia, biotalous		
<b>Tiivistelmä</b>	<p>Ruokajärjestelmää leimaa ketjumalli, jossa ravinnekierto ei toteudu, ja toiminta on keskittynyttä. Agroekologinen symbioosi (AES) on vaihtoehtoinen malli: ryhmä maatiloja ja elintarvikejalostajia toimii sopimuksenvaraisesti yhdessä, fyysisesti toistensa lähellä paikallista ruokaa tuottaen. Yrittäjille tämä tarjoaa mahdollisuuden ympäristöllisesti ja sosiaalisesti kestävämpään toimintaan sekä aiempaa parempaan kannattavuuteen.</p> <p>Pilottina kehitetyn Palopuron symbioosin ydin on 385 ha:n luomuviljailu, jonka läheisyydessä toimivat luomukanala ja -vihannestila. Symbioosin käynnistyttyä siihen kuuluva luomuleipomo jalostaa tilan viljan leiväksi. Viherlannoitusnurmien sato korjataan ja toimitetaan yhdessä hevosen- ja kananlannan kanssa kuivamädätyslaitokseen, mistä saadaan energiaa maatilalle ja leipomoon sekä biometaanin myyntiin. Mädätysjäätös palautetaan pelloille lannoitteeksi. Vihermassojen kierrätys biokaasutuksen kautta vähentää ravinnehävikkiä. Lisäksi mädänte voidaan lannoitteena kohdentaa viherlannoitusta paremmin, mikä johtaa pienempien ympäristöhaittojen lisäksi parempiin satoihin.</p> <p>Agroekologiset symbioosit ovat ravinne-, energia- ja ilmastotehokas tapa tuottaa ruokaa. Kierrätysravinteiden ansiosta vesistökuormitus ja kaasumaiset päästöt vähenevät. AES on malli paikallisten ja alueellisten, kierto- ja biotalouden tavoitteiden mukaisten ruokajärjestelmien perustaksi.</p>		
<b>Kustantaja</b>	Ympäristöministeriö		
<b>Painopaikka ja vuosi</b>	Lönnerberg Print & Promo, 2017		
<b>Julkaisun myynti/ jakaja</b>	Sähköinen versio: <a href="http://julkaisut.valtioneuvosto.fi">julkaisut.valtioneuvosto.fi</a> Julkaisumyynti: <a href="http://julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi">julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi</a>		

## Presentationsblad

<b>Utgivare</b>	Miljöministeriet	31 Maj 2017	
<b>Författare</b>	Juha Helenius, Kari Koppelmäki och Elina Virkkunen (redigerare)		
<b>Publikationens titel</b>	Agroekologisk symbios i gödselnäring och energi självförsörjande matproduktion		
<b>Publikationsseriens namn och nummer</b>	Miljöministeriets rapporter 18/2017		
<b>Diarie-/ projektnummer</b>	YM52/481/2015	<b>Tema</b>	Luonnonvarat
<b>ISBN tryckt</b>	978-952-11-4715-9	<b>ISSN tryckt</b>	1796-1696
<b>ISBN PDF</b>	978-952-11-4716-6	<b>ISSN PDF</b>	1796-170X
<b>URN-adress</b>	<a href="http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4716-6">http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4716-6</a>		
<b>Sidantal</b>	66	<b>Språk</b>	finska
<b>Nyckelord</b>	näring, återanvändning, lantbruk, mat, lokal, lokal mat, system, lantbygden, bioenergi, biogas, industriell ekologi, agroekologi, bioekonomi		
<b>Referat</b>	<p>Matsystemet präglas av en kedjemodell där näringskretsloppet inte fullbordas och verksamheten är centraliserad. Agroekologisk symbios (AES) är en alternativ modell: en grupp gårdar och livsmedelsförädlare samarbetar enligt ett avtal och producerar lokal mat fysiskt nära varandra. För företagare innebär det här en möjlighet till mer miljövänlig och socialt hållbar verksamhet samt till att uppnå bättre lönsamhet.</p> <p>En 385 hektar stor ekologisk gård som odlar spannmål är kärnan i symbiosen i Palopuro, som har utvecklats som ett pilotprojekt. I närheten finns ett ekologiskt hönseri och ekologisk grönsaksodling. När symbiosen har inletts förädlar ett ekologiskt bageri gårdens spannmål till bröd. Gräs som odlas för gröngödsling skördas och levereras tillsammans med häst- och höns gödsel till en torrötningsanläggning som producerar energi till gården och bageriet samt biometan som säljs. Rötningsresterna sprids ut på åkrarna som gödsel. Genom att återvinna grönmassa som biogas minskar näringsförlusten. Dessutom kan rötresterna som används som gödsel användas effektivare än gröngödsel, vilket innebär mindre miljölägenheter och bättre skördar.</p> <p>Agroekologisk symbios är ett närings-, energi- och klimateffektivt sätt att producera mat. Tack vare att näringsämnen återvinns minskar de gasformiga utsläppen och belastningen på vattendragen. AES är en modell för lokala och regionala matsystem som motsvarar målen för cirkulär ekonomi och bioekonomi.</p>		
<b>Förläggare</b>	Miljöministeriet		
<b>Tryckort och år</b>	Lönberg Print & Promo, 2017		
<b>Beställningar/ distribution</b>	Elektronisk version: <a href="http://julkaisut.valtioneuvosto.fi">julkaisut.valtioneuvosto.fi</a> Beställningar: <a href="http://julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi">julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi</a>		

## Description sheet

<b>Published by</b>	Ministry of the Environment	31 May 2017	
<b>Authors</b>	Juha Helenius, Kari Koppelmäki and Elina Virkkunen (editors)		
<b>Title of publication</b>	Agroecological symbiosis in nutrient and energy self-sufficient food production		
<b>Series and publication number</b>	Reports of the Ministry of the Environment 18/2017		
<b>Register number</b>	YM52/481/2015	<b>Subject</b>	Natural resources
<b>ISBN (printed)</b>	978-952-11-4715-9	<b>ISSN (printed)</b>	1796-1696
<b>ISBN PDF</b>	978-952-11-4716-6	<b>ISSN (PDF)</b>	1796-170X
<b>Website address (URN)</b>	<a href="http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4716-6">http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4716-6</a>		
<b>Pages</b>	66	<b>Language</b>	Finnish
<b>Keywords</b>	plant nutrient, recycling, agriculture, food, local, system, rural, bioenergy, biogas, industrial ecology, agroecology, bioeconomy		
<p><b>Abstract</b></p> <p>The current food system can be characterised as a chain model where nutrients are not being recycled and the operations are highly centralised. Agroecological symbiosis (AES) offers an alternative to this: a group of farms and food processors which are physically located close to each other operate jointly on a contractual basis to produce local food. For entrepreneurs this gives the opportunity to act in a more sustainable way, both environmentally and socially, and to achieve higher profitability.</p> <p>At the heart of the Palopuro Symbiosis built as a pilot is an organic farm of 385 hectares, with an organic egg farm and vegetable farm located nearby. After the symbiosis gets started, there is an organic bakery to make bread from the cereal produced on the farm. The yield of green manure grasses is harvested and, together with horse and hen manure, taken to the dry digestion plant, which produces energy for the farm and bakery and biomethane to be sold. Digestion residue is taken back to the arable land as fertiliser. The recycling of biomass through biogasification reduces the loss of nutrients. As fertiliser digestion residue can be targeted more accurately than green manure, which besides involving less environmental problems improves the yields.</p> <p>AES is a nutrient, energy and climate efficient way to produce food. The use of recycled nutrients reduces both the loading of waters and gaseous emissions. AES serves as a model and foundation for food systems that are in line with the objectives set for the bioeconomy and circular economy.</p>			
<b>Publisher</b>	Ministry of the Environment		
<b>Printed by (place and time)</b>	Lönberg Print & Promo, 2017		
<b>Publication sales/ Distributed by</b>	Distribution by: <a href="http://julkaisut.valtioneuvosto.fi">julkaisut.valtioneuvosto.fi</a> Publication sales: <a href="http://julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi">julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi</a>		





# Sisältö

<b>Tekijät</b> .....	8
<b>Alkusanat ja kiitokset</b> .....	9
<b>1 Johdanto</b> .....	12
<b>2 Mikä on AES, agroekologinen symbioosi</b> .....	16
<b>3 Palopuron AES-pilotti</b> .....	20
3.1 Hankkeen synty .....	20
3.2 Symbioosin kuvaus .....	21
3.3 Ravinneomavaraisuus .....	28
3.4 Energiaomavaraisuus.....	36
3.5 Ympäristövaikutus .....	41
3.6 Investoinnit ja kannattavuus.....	51
3.7 Yhteiskunnallinen ja sosiaalinen vaikutus .....	54
<b>4 Kelpaako malliksi, miten jatketaan?</b> .....	56
<b>Lähteet</b> .....	58
<b>Liite: Lannoitustaulukot ja levitysmäärät orgaanisille lannoitteille</b> .....	64

## TEKIJÄT

### Toimittajat

*Juha Helenius*, professori ([juha.helenius@helsinki.fi](mailto:juha.helenius@helsinki.fi))

*Kari Koppelmäki*, tohtoriopiskelija ([kari.koppelmaki@helsinki.fi](mailto:kari.koppelmaki@helsinki.fi))

Maataloustieteiden laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto

*Elina Virkkunen*, tutkija ([elina.virkkunen@luke.fi](mailto:elina.virkkunen@luke.fi))

Luonnonvarakeskus, Kipinäntie 16, 88600 Sotkamo

### Muut kirjoittajat

*Markus Eerola*, maanviljelijä, Knehtilän tila

*Sophia Hagolani-Albov*, tohtoriopiskelija, Helsingin yliopisto

*Jukka Kivelä*, tohtoriopiskelija, Helsingin yliopisto

*Vilma Metsärinne*, agronomi, MMM

*Oiva Niemeläinen*, erikoistutkija, Luonnonvarakeskus

*Tuure Parviainen*, tohtoriopiskelija, Helsingin yliopisto

*Toni Taavitsainen*, johtava asiantuntija, Envitecpolis Oy

*Erika Winquist*, tutkija, Luonnonvarakeskus

*Peter Zukale*, leipuri, Samsara Oy

### Kumppani- ja yhteistyöyritykset, -laitokset ja -yhteisöt sekä läheiset sidosryhmät

Baltic Sea Action Group BSAG

Envitecpolis Oy, Sonkajärvi

Helsingin yliopisto, Maataloustieteiden laitos, Helsinki

Hevosvoimala / Luomatuotanto Tmi, Hyvinkää

Hostelli Palopuro avoin yhtiö

Hyvinkään kaupunki

Hyvinkään Palojoen Metsästysyhdistys ry

Knehtilän tila, Hyvinkää, Palopuro

Lehtokummun tila, Hyvinkää, Palopuro

Luonnonvarakeskus, Sotkamo, Helsinki & Jokioinen

Maa- ja metsätalousministeriö

Metener Oy, Laukaa

Mäntymäen Luomutila, Hyvinkää

Nivos Oy, Mäntsälä

Osuuskunta Ehta Raha, Helsinki

Palopuron Biokaasu Oy

Palopuron kyläyhdistys ry

Palopuron Luomukaura Oy

Pollesta potkua ry

Salonkiravintola Neilikka

Samsara Oy, Helsinki

Ympäristöministeriö

Ympäristötaidepolku Palas

## ALKUSANAT JA KIITOKSET

Tämä raportti kokoaa tulokset ja kokemukset kehittämishankkeesta *Ravinne- ja energiaomavaraisen lähiruoan tuotanto - Palopuron agroekologinen symbioosi* (15.6.2015–28.2.2017). Hankkeen ensisijainen rahoittaja oli ympäristöministeriö, sen *Ravinteiden kierrätyksen edistäminen ja Saaristomeren ja Selkämeren valuma-alueiden maatalouden vesien suojelelun tehostaminen*- ohjelma (RAKI). Lisäksi hanketta rahoittivat yhteensä 20 % osuudella hankkeen toteuttajat. Hankkeen budjetti oli 149.989 €.

Hankkeen toteuttivat Palopuron agroekologisen symbioosin (Palopuron AES) toimijoista Knehtilän maatila ja leipomo Samsara Oy sekä Helsingin yliopisto ja Luonnonvarakeskus (Luke). Hankkeen päävastuullisena vetäjänä toimi Helsingin yliopiston maataloustieteiden laitos.

Hankkeen tavoitteeksi asetettiin paikallisen, ravinne- ja energiaomavaraisen alkutuotannon ja elintarvikejalostuksen tuotannollisen symbioosin, monistettavan toimintamallin kehittäminen. AES:n idean kehittivät Palopuron toimijat, erityisesti Knehtilän tilan isäntä Markus Eerola, Lehtokummun tilan isäntä Kari Koppelmäki, paikallinen mansikanviljelijä Jukka Kivelä ja Samsara Oy:n Peter Zukale. Hankkeen kehittäminen alkoi Markus Eerolan kirjeestä, jolla hän kutsui koolle 7.1.2015 pidetyn keskustelutilaisuuden, erityisesti kutsuen mukaan maa- ja metsätalousministeriön MTT:ltä (nyt: Luke) tilaaman valtakunnallisen Maatalouden ravinteet hyötykäyttöön-hankkeen (2014-2016) koordinaattorin Tarja Haarasen sekä maa- ja metsätalousministeriön ravinnekierrätyksen ja kestävä maatalouden tavoitteista ja edistämisestä neuvottelevan virkamiehen Marja-Liisa Tapio-Biströmin.

Markus Eerola 12.12.2014:

*Päämääränä on kehittää itsenäisten toimijoiden muodostama konseptinomaisen kokonaisuus, jossa toteutuisi ekologinen ruoantuotanto ja -jatkojalostus, ravinteiden kierrätys ja energiaomavaraisuus. Yhteistyö tuottajien ja kuluttajien välillä.*

*Keskustelutilaisuuden tavoitteena olisi selvittää yhdessä suunnitelmien toteuttamismahdollisuuksia ja miten asiassa ja missä projekteissa kannattaisi edetä.*

*Hyvinkään Palopurolle on syntynyt luomu- ja lähiruoan tuotannon keskittymä. Toiminta on keskittynyt Knehtilän luomutilan ympärille. Tilalla on järjestetty lähiruokamarkkinoita ja syksyllä 2014 tilalla aukesi vanhaan navettaan kunnostettu maatilamyymälä ja kokoustila. Naapurissa viljellään luomumansikkaa (Jukka Kivelä) ja luomuvihanneksia (Lehtokummun tila). Vuoden 2016 alusta kylällä alkaa luomukananmunantuotanto, jossa rehuntuotanto ja lannantuotanto on integroitu Knehtilän tilan viljelyyn.*

*Lisäksi Knehtilän naapurissa on toimintansa aloittanut tilauspohjalla toimiva Salonkiravintola Neilikka. Alueella on myös usean vuoden ajan toiminut ympäristötaidepolku Palas. Perinteinen Samsaran leipomo on suunnitellut siirtymistä Knehtilän tilalle, jolloin tilalla tuotettu vilja jalostettaisiin leiväksi asti tilalla.*

*Kokonaisuuden yhteyteen on suunniteltu biokaasun tuotantoa, jossa hyödynnettäisiin hevosenlantaa ja muita paikallisia biomassoja. Tämän laitoksen biokaasu voitaisiin jalostaa liikennekäyttöön. Lisäksi kaasun tuotantoa on suunnitteilla hakkeesta kaasutamalla, tämä kaasu poltettaisiin lämmöksi viljankuivaamossa ja leipomo uuneissa. Biokaasulaitosten jätteitä on tarkoitus käyttää kierrätyslannoitteiden ainesosina viljelyksille.*

*Lisäksi Hyvinkään kaupunki on aloittanut osayleiskaavan teon alueelle, johon on mahdollista vaikuttaa ottamalla huomioon ravinteita kierrättävän energiaomavaraisen maatalouden mahdollisuudet.*

*Suunnitelmien toteutuessa syntyisi Suomen mittakaavassa ainutlaatuinen kokonaisuus, joka toimisi esimerkkinä ravinteiden kierrätykseen ja lähiruoan kysyntään vastaavasta maataloudesta.”*

Me toteuttajat kiitämme Tarja Haarasta ja Marja-Liisa Tapio-Biströmiä kannustuksesta lähteä suunnittelemaan hanketta. Tarjaa kiitämme myös nimiehdotuksesta ”agroekologinen symbioosi”, joka mielestämme on osoittautunut erinomaisen kuvaavaksi. Kiitämme lämpimästi hankkeen neuvoa-antavaa ohjausryhmää, johon kuuluivat Anni-Kaisa Karhunen (pj, ympäristöministeriö), Anne Salminen (valvoja, Pöyry Oy), Tarja Haaranen (Luke / ympäristöministeriö), Eija Hagelberg (Baltic Sea Action Group BSAG), Anne Jarva (Hyvinkään kaupunki) sekä Marja-Liisa Tapio-Biström (maa- ja metsätalousministeriö). Osa meistä toteuttajista toimi ”Parasta ruokaa – hyvää elämää”-visioryhmässä (Ruokavisio 2016), joka antoi uskoa hankkeelle. Hankkeesta ohjausryhmän sihteerinä toimi Kari Koppelmäki. Karille me muut hankkeen toteuttajat esitämme suuren kiitoksen suuresta työstä ja erinomaisesta koordinoinnista.

Toivomme että projekti on onnistunut sekä edistämään Palopuron AES-pilotin toteutusta että erityisesti luomaan toimintamallin, joka olisi monistettavissa ja osoittautuisi merkitykselliseksi käännettäessä suomalaista maataloutta ja siihen perustuvaa elintarviketaloutta monitavoitteisesti kestäväälle uralle.

Hyvinkään Palopurolla 10.2.2017

Hankkeen toteuttajat

# 1 Johdanto

*Juha Helenius*

Tässä raportoitava hanke syntyi yhteisestä kokemuksesta, että ”jotain tarttis tehdä” ja että mahdollisuuksien ikkuna on auki. Kysymys on yrityksestä murtautua ulos moniongelmaisesta tilanteesta jossa paitsi maatalous, koko ruoka-ala on niin kotimaassa kuin maailmanlaajuisesti; kysymys on sekä tarpeesta että mahdollisuudesta uudistamiseen.

Globaalissa katsannossa kestävä kehitys edellyttää ruokajärjestelmien muuttamista nykyisistä keskittyneistä, agri-teollista mallia noudattavista, ravinteita haaskaavista, fossiilisiin energialähteisiin tukeutuvista ja ekosysteemipalveluja nakertavista globalisoituvista elintarvikeketjuista paikallisiksi ruokakierroiksi (IPES-Food 2016). Muutostarve ei koske ainoastaan maataloutta, vaikka sen kurimus vaatiikin akuuteimpia toimia, vaan myös jalostavaa teollisuutta, kauppaa ja kansalaisia, joiden oikeus ruokaan tuo mukanaan myös vastuun ruokakansalaisena. Kaiken ylinnä lepää ajoittain painostavanakin tieto siitä, että maailmanlaajuisen ruokaturvan saavuttaminen ja, keillä ruokaturva nyt on, sen säilyttäminen edellyttää ilmastonmuutoksen pysäyttämiseen verrattavia toimia (Godfray ym. 2010, Foley ym. 2011, Wheeler & von Brown 2013, Tilman & Clark 2014, UN 2015). Suomessa maatalous kehittyi ja sitä kehitettiin poliittisella ohjauksella osaksi teollista ketjua tuotannosta kulutukseen. Tämä kehitys toteutui noin puolessa vuosisadassa viime sotien jälkeen vuosituhatvaihteeseen mennessä. Maatalouden rakennekehitystä ja tuotantoa ohjattiin teollis-taloudellisen logiikan mukaisesti; ympäristöön ja luonnonvaroihin liittyviä näkökohtia ei riittävästi tunnettu eikä niitä pidetty painavina. Elintarviketeollisuus keskittyi saman logiikan mukaisesti.

Yhtäältä tunnustettiin luonnonoloista johtuva Suomen heikko kilpailuasema maataloudessa, toisaalta lähdettiin pidäkkeittä kilpailuun samoilla teollis-taloudellisilla kehittämisajatuksilla kuin absoluuttisesti edullisemmissä tuotannon oloissa toimivat maat ovat tehneet. Seurauksena on ollut maatalouden ja samalla maaseudun jyrkkä rakennemuutos, jossa kutistuva joukko maataloustuottajia viljelee yhä kasvavaa pinta-alaa omia ja vuokra-maita yhä velkaantuneempina, voidakseen ansaita yhä kutistuvan (EU 2014) maataloustulonsa. Maaseudulle rakennemuutos on merkinnyt palvelujen heikkenemistä niiden etäännyessä yhä kauemmas maakuntakeskuksiin, maaltamuuttoa ja kyläkuolemia (TUTU 2014).

Elintarviketeollisuus on kehittynyt yhä keskittyneemmäksi. Fossiilitalouden aikakausi on mahdollistanut pitkät kuljetusmatkat suuruuden ekonomiaa noudattaen rakennettuihin laitoksiin, jotka tuottavat suurimman bulkki-osuuden keskittyneen elintarvikekaupan kuluttajille myymästä ruoasta. Ruoan tuottaja- ja kuluttajahinnat ovat etääntyneet yhä kauemmas toisistaan. Sekä elintarviketeollisuuden raaka-ainehankinnat, että elintarvikekauppa toimivat globaalissa kilpailussa, ja samalla tuottavuuskehitys on ollut maataloudessa nopeampaa kuin elintarvikeketjun ylemmillä portailla. Runsaassa kotimaisessa ja globaalissa maataloustuotteiden tarjonnassa hintamarginaali alati kasvaa: yhä pienempi osuus ruoan hinnasta välittyy tuottajalle (Kuosmanen & Niemi 2013, Irz ym. 2017).

Kaupungistuminen on globaali megatrendi, jossa Suomi ei ole poikkeus. Yhä pienemmällä osalla kuluttajista on kansallisen ruokapolitiikan järkevälle tekemiselle riittävää ymmärrystä. Ruoan alkuperä ja ruoan kotimaisuuden merkitys ruokaturvalle on kuluttajille tuntematonta: yhteys maatalouteen tunnetaan yhä heikommin, ja samalla maatalouden ja maaseudun arvostus heikkenee. Keskittyneessä järjestelmässä on vain vähän keinoja ruoan alkuperän konkretisoimiseen, koska ruokatuotteiden alkuperä on maantieteellisesti ja kulttuurisesti epäselvä ja vaikeasti viestittävässä. Ruokaturvan ja huoltovarmuuden tulevaisuuden kannalta suorastaan pelottavia ovat ne ruokasokeuden ilmaukset, joita vaikeimmin vieraantuneiden esittäminä tavan takaa saadaan kuulla. Esimerkiksi tammikuun 2017 lähehtyksessä Ylen A-Studio esitti tallenteen, jossa merkittävimmän suomalaisen julkisen innovaatorahoittajan johtajistoon kuuluva henkilö arvioi, että Postin palveluvalvoite maaseudulle voidaan poistaa, koska ”vuonna 2040 100% suomalaisista asuu kaupungeissa”.

Keskittynyt, agri-teollista mallia noudattava järjestelmä tuottaa merkittäviä ympäristöongelmia maataloustuotannolle välttämättömien, kalliiden lannoiteravinteiden päästöinä vesiin (Ekholm ym. 2015) ja ilmakehään (Regina ym. 2014) sekä biodiversiteetin vähentymisenä (Bengtsson ym. 2005, Kuussaari ym. 2009). Tuotantotavat ovat nakertaneet tuotannon itsensä luonnonvaraperustaa maan multavuuden vähentyessä (Heikkinen ym. 2013) ja tuotannolle välttämättömien ekosysteemipalvelujen heikentyessä (Stoate ym. 2001, Tschardt ym. 2012, EASAC 2015).

Yksipuolisesti taloudellisilla argumenteilla tehty alueellinen rakenneohjaus ei ole ottanut huomioon välttämättömiä, maatalouden ekosysteemiperustasta johtuvia ekologisia reunaehtoja. Rakennekehitys on synnyttänyt yhtäältä viljamonokulttuurisia alueita sekä toisaalta liian tiheitä eläintuotannon keskittymiä (Luostarinen ym. 2011), jotka molemmat ovat ympäristön kannalta ongelmallisia ja korostavat ravinnekuormitusongelmaa. Kansantalouden tasolla maatalous, kuten ruokajärjestelmä kokonaisuudessaan, on ravinteiden nettotuojia (van Dijk ym. 2015, Buckwell & Nadeu 2016). Lannoiteravinteet ovat pääosin neitseellisistä, uusiutumattomista varoista (fosfori) tai kalliilla energiapanoksilla ja fossiilista raaka-aineista tuotettuja (typpi): koska kierrätystä ei ole toteutettu, ravinnetase on jatkuvasti positiivinen (Granstedt ym. 2008, Turtola ja Ylivainio 2009, Ylivainio ym. 2014, Grönman ym. 2016).



Vaikka biotalous-käsitteelle on annettu monia tulkintoja, on selvää että maa-, metsä-, kala- ja riistatalous ovat kaikkein syvällisimmässä merkityksessä biotaloutta. Uusiutuvista energianlähteistä bioenergia on näille aidoille biotalouden sektoreille se ensimmäinen vaihtoehto. Fossiilitalouden aikana maataloudesta on kuitenkin kehittynyt nettoenergian käyttäjä, sen sijaan että se tuottaisi energiaa. Yksi mittari tälle on tuotetun ruoan ja rehun energiasisällön suhde tuotannon suoraan ja epäsuoraan (elinkaariseen) fossiilisen polttoaineen käyttöön. Se vaihtelee maataloustuotteittain ja – jalostusasteesta riippuen – ruoka-tuotteittain, mutta on tyypillisesti alle yhden. Tanskassa ruokajärjestelmä käyttää 221 PJ fossiilista energiaa tuottaakseen, kuljettaakseen ja prosessoidakseen ruokaa määrän, joka energiasisältö on 61 PJ, ja energiasuhde 0,28; maatalouden alkutuotteille ennen jalostusta suhde oli 0,51 (Markussen & Østergård 2013). Merkittävä osa nykymaalouden fossiiliriippuvuudesta muodostuu kemianteollisista typpilannoitteista, jotka vaativat noin kymmenkertaisen energiapanoksen fosfori- ja kaliumlannoitteisiin verrattuna. Typen tarve maatalouden kasvintuotantoon on kiistaton, mutta merkittävä osa teollisesta typensidonnasta on kestävämmiin tuotettavissa biologisella typensidonnalla (Reckling ym. 2016, Crews & Peoples 2004).

Maataloudessa biokaasun tuotantoteknologiat tarjoavat ilmeisimmän mahdollisuuden energiaomavaraisuuden saavuttamiseen ja samanaikaisesti ravinteiden kierrätykseen (esim. Winquist ym. 2015). Jos maatalon typpitalous perustetaan viherlannoitusnurmille – joiden lisäarvo on maan multavuuden ja rakenteen ylläpitämisessä – on mahdollista rakentaa energia- ja typpiomavaraisuus näiden varaan. Tämä onnistuu käyttämällä viherlannoitusbiomassat ensin biokaasulaitoksessa energian talteen ottamiseksi, ja multamalla ne vasta sen jälkeen peltoon (Tuomisto & Helenius 2008). Nurmien potentiaali Suomen oloissa biokaasun tuotantoon on hiljattain selvitty (Seppälä ym. 2014), tosin ei ruoan tuotannon energiaomavaraisuuden näkökulmasta, vaan ajatellen, että maatalousmaata voitaisiin ruoantuotannon sijasta käyttää liikennepolttoaineen tuotantoon. Nyt käsillä olevan hankkeen huoltovarmuutta ja ruokaturvaa tukeva lähtökohta on, että maatalous tuottaa sekä ruoan että bioenergian ruokajärjestelmän tarpeisiin, ja vasta ylijäämä on käytettävissä esim. liikennepolttoaineeksi.

Edellä on laajoin kaarin ja yleisellä tasolla taustoitettu tarvetta ulospääsyyn nykyisen elintarvikeketjumalliin lukkiutuneesta ongelmallisesta tilanteesta. Suomalaisessa maatalous- ja ruokapolitiikassa on parhaillaan kausi, jolloin useat aloitteet ja strategiat tukevat ruokajärjestelmän uudistamista.

Suomen biotalousstrategia (TEM 2014) arvio (s. 16):

*Kokonaan uutta liiketoimintaa ruokajärjestelmässä voi syntyä, kun päästään hyödyntämään suljettujen kiertojen, biojalostamoiden sekä kotieläintuotannon sivuvirtojen ja peltobiomassan tarjoamat mahdollisuudet. Elintarviketeollisuuden sivuvirtoja hyödyntämällä voidaan tuottaa uusia biojalosteita kemianteollisuudelle. Sivuvirtojen energijakeet voidaan hyödyntää energian tuotannossa.*

*Alueellisia resurssivahvuuksia hyödyntävä paikallisen ruoan tuotanto on osa vihreän talouden kasvua, joka vastaa myös yhä suurenevaan kuluttajakysyntään. Pienteollisuuden ja maatalouden omavaraisuus paranee, kun sivuvirtoja hyödynnetään ravinteiden kierrätyksessä ja paikallisen bioenergian tuotannossa. Hyödyntämällä hajautettuja, alueiden oloihin sovellettuja malleja saadaan resurssiviisaan lähiruokatuotannon avulla lisättyä myös alueiden elinvoimaisuutta alueen tuotannon ja työllisyyden vahvistumisen kautta.*

*Sipilän hallituksen ohjelmassa (Anon. 2015b) yhdeksi kärkihankkeeksi biotalouden alalla asetetaan ravinteiden kierrätys: "Vesistöihin huuhtoutuvien ravinteiden ja humuksen määrää vähennetään ja samalla lisätään maatalouden ravinne- ja energiaomavaraisuutta." (Anon 2015 b, s. 24). Edellisen hallituksen ohjelmassa muotoiltiin lähiruokaa koskevia tavoitteita (VN 2013), jotka täydentävät edellisiä korostaessaan lähiruoan ja lyhyiden jakeluketjujen merkitystä paikallistaloudelle, työllisyydelle ja ruokakulttuurille. Alkuvuodesta 2017 Eduskunnan käsittelemä ruokapoliittinen selonteko visioi: "Vuonna 2030 suomalaiset kuluttajat syövät kestävästi ja eettisesti tuotettua kotimaista, maukasta, terveellistä ja turvallista ruokaa" (MMM 2017). Selonteko ehdottaa useita toimenpiteitä, joiden keskiössä on paikallistaminen ja hajautetut järjestelmät. Esimerkiksi "kannustetaan tuottajia uusiin yhteistyömuotoihin tuottavuuden ja resurssitehokkuuden lisäämiseksi, kiinteämmän tuottaja-kuluttajayhteistyön luomiseksi ja siten markkinoiden kehittämiseksi" ja "määritellään tutkimustiedon pohjalta, miten maatalouden rakennekehitys ja maataloustuotanto voivat taata, että maaseutu voi hyvin ja että kuluttajat saavat kestävästi ja vastuullisesti tuotettua, turvallista ja monipuolista ruokaa" (s. 14), ja "kehitetään alueellisia ja paikallisia ruokajärjestelmiä sekä monimuotoisia jakelukanavia" (s. 19).*

## 2 Mikä on AES, agroekologinen symbioosi

*Juha Helenius, Kari Koppelmäki, Sophia Hagolani-Albov, Elina Virkkunen*

Hanke käyttää käsitettä ”agroekologinen symbioosi” (AES) kuvaamaan siinä kehitettyä toimintamallia (Koppelmäki ym. 2016, Virkkunen ym. 2016).

Agroekologia tarkoittaa eri yhteyksissään joko tieteellistä tutkimusala, jonka kohteena on maatalouden ja ruokajärjestelmien kestävyys (kts. Francis ym. 2003, IPES-Food 2016), maataloutta ja ruokajärjestelmiä uudistavaa yhteiskunnallista liikettä, maatalous- ja ruokapolitiikkaa (esim. Anon. 2015a), tai tuotantotapaa, joka nojaa ekologisiin menetelmiin (Wezel ym. 2009). Hankkeessa on sisältöjä kaikista näistä tulkinnoista.

Ekologisen symbioosin termi juontuu teollisen ekologian käsitteistä. Teollisen ekologian vision esittivät ja käsitteen ehdottivat Frosch ja Gallopolous (1989), teorian kirjoittivat Graedel (1996) sekä Graedel ja Allenby (1995). Sen perusta on, että ollakseen ympäristöllisesti ja luonnonvarojen käytön kannalta kestävä, teollisen järjestelmän on kierrätettävä materiaalit mahdollisimman suljetussa kierrossa, ja käytettävä kaikki energia mahdollisimman tehokkaasti. Teollisen ekologian periaatteella toimivassa teollisen tuotannon kokonaisuudessa yhden toimijan ”jäte” on toisen toimijan raaka-aine, ja yhden toimijan ”hukkalämpö” on toisen toimijan energianlähde. Mallina teolliselle ekologiselle on luonnon ekosysteemien toiminta.

Chertow (2000) kiinnitti huomiota siihen, että teollisen ekologian toimintatapa onnistuu parhaiten, jos ao. yritykset ovat fyysisesti lähekkäin. Hän arvioi, että tällöin paikallinen yhteiskehittäminen (*localized co-evolution*) mahdollistuu, ja yhteistyöstä saadaan toimijoille ja ympäristölle suurin hyöty. Paikallisesti yhdessä teollisen ekologian mukaisesti toimivia tuotantolaitosten yhteenliittymiä hän ehdotti kutsuttavan teolliseksi symbioosiksi (*industrial symbiosis*). Symbioosi on alun perin biologinen, eliöiden yhteiseloa tarkoittava termi, jolla useimmiten viitataan juuri kaikkia symbioosin osapuolia hyödyttävään yhteiselon muotoon.

Hanke yhdisti teollisten symbioosien idean agroekologiaan: agroekologinen symbioosi viittaa toimintatapaan, jonka ideaalimallissa ruoan alkutuotanto (maatilat ja puutarhat), elintarvikkeita jalostavat yritykset, elintarvikekauppa ja kuluttajat toimivat symbioottisena ruokajärjestelmänä. Agroekologinen symbioosi on paikallinen siten, että siinä tapahtuva ravinteiden kierrätys ja tuotetun bioenergian käyttö ovat mahdollisia kaikille sen osakkaille.

Maatalouteen ja ruoan tuotantoon liittyvinä kotimaisena esimerkkinä hankkeelle toimi ”Honkajoki Oy:n agroekologinen malli” (Honkajoki Oy 2017), jossa teurastamojen renderointilaitos tuottaa teurasjätteistä rehuproteiineja sekä kierrätyslannoitteita, ja jossa laitoksen ”hukkalämmön” hyödyntää joukko sen ympärille ryhmittyneitä kasvihuoneita. Honkajoki Oy määrittelee, että ”agroekologialla tarkoitetaan teollisuusekologian muotoa, joka keskittyy lähinnä maa- ja elintarvikesektorien yhteistoimintaan ja niiden väliin kierrätykseen” (Honkajoki Oy 2017). Toinen kotimainen malliesimerkki on Sybimar Oy, jonka ”suljetun kierron konseptissa” paikallisuuden lähtökohdista rakennettu vesiviljelyyn nojaava järjestelmä toimii siten, että ”ravinteet, vesi, hukkalämpö ja hiilidioksidi kierrätetään takaisin ruoan- ja energiantuotantoon” (Sybimar Oy 2017, Salminen 2013). Kolmas esimerkki on Juvan Bioson Oy, alkutuottajien omistama biokaasulaitos, joka tuottaa bioenergiaa ja kierrättää osakkaiden liete- ja kananlannat sekä vastaanottamansa vihannesjätteen ravinteet (Juvan Bioson Oy 2017, Mäkinen ym. 2012).

Ruoka on primaarisesti ekosysteemituote, siis biologisen ekosysteemin biologista tuotantoa. Ruoka-aineita ei ole mahdollista valmistaa tehtaassa niistä lähtöaineista, mistä tuotantoekosysteemin eliöstö – viljelykasvit ekosysteemipalveluja tuottavan eliöstön tuella ja viljelijän ohjauksessa – ne valmistavat. Elintarviketeollisuus on ruoka-aineiden muokkausta elintarvikkeiksi, ja riippuvaista ruoka-aineiden virrasta ekosysteemeistä teollisiin laitoksiinsa. Tämä ekosysteemisyyden edellyttää niiden kasvinravinteiden kierrätyksen takaisin pelloille ja puutarhoihin, jotka eliöstö biologisessa tuotannossa alun perin pelloilta sitoi. Mitä keskittyneempiä, suurempia ja pidempien kuljetusmatkojen takana elintarviketeollisuuden laitokset ovat, sitä vaikeampaa on huolehtia kierrätyksestä, joka kuitenkin on yksi ekologiselle kestäväydelle välttämätön ehto. Elintarvikeketjujen globalistuminen kärjistä ongelmaksi: syntyy kokonaisia maita ja maanosia (yl. vauraassa pohjoisessa, esim. Eurooppa, Suomi), joiden ravinnetaseet ovat kroonisesti positiivisia, ja toisaalta maita ja maanosia (yl. köyhässä etelässä), joiden ravinnetaseet ovat kroonisesti negatiivisia (kts. Buckwell & Nadeu 2016). Missä taseet ovat positiivisia, siellä ravinteista syntyy ympäristökuormitusta, ja missä taseet ovat negatiivisia, eletään ”ryöstöviljelyssä”, jossa sadot alati heikkenevät ravinteiden puutteessa.

Koska ruoan tuotanto on ekosysteemien aitoa tuotantoa, eli fotosynteesiin perustuvaa auringon energian sidontaa, tuotanto synnyttää bioenergiaksi soveltuvia biomassoja. Suurin osa pelloilla ja puutarhoissa tapahtuvasta ekosysteemisestä tuotannosta jää näihin. Esimerkiksi viljoja on määrätietoisesti jalostettu siten, että jyväsadoksi saatava osuus

(satoindeksi) maanpäällisestä kasvusta on mahdollisimman suuri; silti se on "vain" noin 50 %. Olkiin jää noin 50 GJ/ha (14 MWh/ha) energiaa. Viherlannoitusnurmissa lähes koko maanpäällinen sato, noin 100 GJ/ha (28 MWh/ha), on potentiaalisesti käytettävissä bioenergiaksi (Tuomisto & Helenius 2008). Lisäksi elintarvikevalmistuksessa, kaupassa ja koti- ja laitostalouksissa syntyvä biojäte on käytettävissä energiantuotantoon. On mitä ilmeisintä, että ruoan alkutuotanto ja valmistus on mahdollista muuttaa bioenergialla energiaomavaraiseksi, jopa siten, että sektori tuottaa energian myös kuljetuksiinsa.

Koska kestävä ruoan tuotanto edellyttää ravinteiden kierrätystä, on bioenergia tuotettava tavalla, joka mahdollisimman hyvin mahdollistaa ravinteiden palauttamisen pelloille ja puutarhoihin: biokaasu näyttää soveltuvan tähän parhaiten (Luostarinen & Pyykkönen 2013). Energiantuotannon ei tule myöskään kilpailla viljelylata ruoantuotannon kanssa, vaan sen tulee perustua maa- ja elintarviketalouden sivuvirtojen hyödyntämiseen. Agroekologinen symbioosi kierrättää ravinteet ja toimii ruoantuotannon ohella itse tuottamiseen biomassosta saatavalla uusiutuvalla energialla. Biofysikaalisena mallina agroekologiset symbioosit näyttävät siis tarjoavan kestävä kehityksen polun.

## Yhteiskunnallinen ulottuvuus

Agroekologisen symbioosin toimintatavalla voidaan tavoitella ekologisen kestävyuden lisäksi myös sosiokulttuurista kestävyyttä. Symbioosit ovat määritelmällisesti ja ekologisesta välttämättömyydestä paikallisia. Tästä seuraa, että agroekologisen symbioosin malli soveltuu erinomaisesti ruoan tuotannon ja kulutuksen paikallistamisen perustaksi. Agroekologisiin symbiooseihin perustuva tuotanto konkretisoi ruoan paikallisuuden ja mahdollistaa ruokakulttuurisen monimuotoistumisen. Siinä missä keskittynyt elintarvikeketju tuottaa kaikkialta – ja ei mistään erityisesti – peräisin olevaa yhtenäistä tarjontaa (Kloppenburger ym. 1996), siinä paikalliset tuotannon ja kulutuksen järjestelmät tuottavat kotiseutunsa asukkaille omaksi tunnettua, omaleimasta tarjontaa.

Kaupungistumisen myötä ruoan ja samalla ruokaturvan taju hämärtyy: kuvitelma ruokaturvasta ja laadukkaasta ruoasta tuontiruoan varassa edustaa kollektiivista kognitiivista dissonanssia. Yhteiskunnalla on olemassa tieto ruokaturvan perusteista, mutta sitä ei sovelleta ruokapolitiikassa. Maaseutu koetaan eksoottiseksi alueeksi, jolla ei ole toiminnallista eikä siis sosiaalista merkitystä kaupungeille. Tämän ilmiön ennakoivat jo Karl Marx (1867) kuvatessaan miten teollistuminen, ihmisten muuttaessa maatalousyhteisöistä kaupunkiin työvoimaksi, johtaa yhteiskunnan ja muun luonnon metabolisen vuorovaikutuksen häiriytymiseen. Ilmiöön kohdistunut tutkimus oli aluksi ensisijaisesti yhteiskunnallista, ja tarkasteli maaseudun rakenteiden rapautumista ja maaseudun periferioitumista. Nykyinen yhteiskunnallinen, yhteiskuntamaantieteellinen ja maaseutututkimus käyttää metabolisen repeämän (*metabolic rift*) käsitettä sekä biofysisessä (aine- ja energivirtaan liittyvässä) että yhteiskunnallisessa merkityksessä (Foster 1999). Moore (2000),

tarkastellessaan systeemistä agro-ekologista muutosta (*systemic cycles of agro-ecological transformation*), kuvaa metabolisen repeämän ruokajärjestelmän ravinnekierron maailmanekologiseksi (*world ecology*) häiriöksi maan ja kaupungin välillä (*between the country and the city*). Samoin McClintock (2010) kuvaa, että metabolinen repeämä ”kaivaa biofyysikaalisen repeämän luonnon järjestelmään (kuten ravinnekiertoihin), mikä johtaa luonnonvaran heikentymiseen tuotannon päässä ja kuormitukseen kulutuksen päässä”. Siten agroekologinen symbioosi tarjoaa mallin paitsi maaseudun elinkeinojen ja maaseutuyhteisöjen vahvistamiseen, myös kaupunkien ruoka-alue sekä kaupunkien alueellinen ruoka (*city region food*) -aloitteiden (FAO & RUAF Foundation 2015) kehittämiseen yhteiskunnallis-kulttuuris-ekologisina ratkaisuina.

## 3 Palopuron AES-pilotti

### 3.1 Hankkeen synty

*Kari Koppelmäki, Elina Virkkunen, Peter Zukale, Markus Eerola*

Palopuron agroekologinen symbioosi -hanke on saanut alkunsa paikallisten toimijoiden ideoinnista. Tavoitteena on ollut kehittää luomuviljelyä ja elintarvikkeiden tuotantoa paikallisesti lisäämällä eri toimijoiden välistä yhteistyötä. Ajatus ravinne- ja energiaomavaraisesta tuotantomallista ei syntynyt hetkessä, vaan ajatukset jalostuivat vuosien varrella.

Ravinneomavaraisuuden ja ravinteiden käytön tehostaminen tuli ajankohtaiseksi Knehtilän tilan liittyttyä luomuviljelyyn vuonna 2010. Karjattomana luomutilana lannoitus perustui viherlannoitusnurmien viljelyyn, mikä kasvatti niiden viljelyalan yli 100 hehtaariin. Lisäksi tilalla kompostoitii hevosenlantaa, ja täydennyslannoitteena käytettiin pienellä alalla lihaluujauhoa. Täydennyslannoitteiden käyttöä rajoitti kuitenkin niiden korkea hinta. Toisaalta viherlannoitusnurmien tehokkaammassa hyödyntämisessä nähtiin potentiaalia. Ajatus viherlannoitusnurmien hyödyntämisestä biokaasun tuotannossa oli houkutteleva.

Knehtilän tila on ollut kiinnostunut biokaasuntuotannosta pitkään, ja konkreettisia suunnitelmia oli tehty jo tavanomaisen maatalouden aikana. Aiemmat biokaasuntuotantosuunnitelmat eivät olleet edenneet huonon kannattavuuden ja maatalon näkökulmasta liian suurten riskien vuoksi. Uusituvan energian tuottaminen paikallisista biomassoista nähtiin kuitenkin oleellisena osana uutta ravinne- ja energiaomavaraista tuotantomallia, josta hyötyisivät kaikki osapuolet.

Maatalouden heikko kannattavuus on pakottanut Knehtilän tilan etsimään uusia ratkaisuja alkutuotannon kannattavuuden parantamiseksi. Yksi mahdollisuus oli raaka-aineen jalostaminen pidemmälle, mutta suuren tilan tuotannon jalostaminen ja markkinointi omin voimin olisi ollut haastavaa. Idea viljan jalostamiseksi leiväksi asti maatilalla syntyi maatilamarkkinoilla, joille Samsara Oy:n leipomoa oli pyydetty mukaan myymään leipää.

Leipomon näkökulmasta maatilán yhteyteen siirtyminen oli uudenlainen mahdollisuus uudistaa tuotantoa ja vahvistaa sen kestävyyttä.

Leipomon sijoittumisesta maatilán yhteyteen ja uusituvan energian tuottamisesta paikallisista biomassoista tehtiin suunnitelmia, jotka eivät kuitenkaan edenneet rahoituksen puutteen johdosta. Vuoden 2015 alussa Knehtilán tilalla kokoonnuttiin laajalla joukolla miettimään, miten suunnitelmia voitaisiin edistää. Rahoitusta päätettiin hakea ympäristöministeriön ravinteiden kierrätysohjelmasta (RAKI). Hanke suunniteltiin paikallisten toimijoiden, Helsingin yliopiston ja Luonnonvarakeskuksen kesken. Syntyi idea Palopuron agroekologisesta symbioosista, joka nitoi suunnitelmat ravinne- ja energiaomavaraisen paikallisen sekä tässä tapauksessa samalla luomuruoan tuotantomalliksi. Helsingin yliopiston maataloustieteiden laitoksen hallinnoimalle hankkeelle haettiin rahoitusta keväällä 2015, ja hanke pääsi alkamaan loppukesästä.

Hankkeen tavoitteena oli luoda ravinne- ja energiaomavarainen toimintamalli, jossa yrittäjät toimivat suunnitelmallisesti yhteistyössä. Tarvittavia investointeja varten suunniteltiin yhteistyömuotoja ja niille luotiin edellytyksiä teknologisten selvitysten ja talouslaskelmien avulla. Myös uuden toimintamallin ympäristövaikutuksia arvioitiin.

## 3.2 Symbioosin kuvaus

*Kari Koppelmäki, Markus Eerola, Peter Zukale, Jukka Kivelä, Elina Virkkunen, Juha Helenius*

Hyvinkään Palopurolle on syntynyt viimeisen kymmenen vuoden aikana usean eri toimijan yhteistyöverkosto Knehtilán luomutilán ympärille. Hankkeen aikana luotiin symbioosissa mukana oleville yrityksille toimintamalli, jonka tavoitteena on tuottaa paikalliseksi määrittyvää ruokaa, kierrättää ravinteita, saada energiaa maatilán sivuvirroista sekä parantaa toiminnan kannattavuutta (kuvio 1). Jatkossa pelloilla kasvava vilja tullaan jauhaamaan tilán myllyssä jauhoksi, joka jalostetaan leiväksi asti tilalle siirtyvässä [Samsara Oy:n](#) luomuleipomossa. Viljan kuivaukseen ja leipomiseen käytetään paikallista biokaasua, jota saadaan viljelykierrossa viljeltävien viherlannoitusnurmien biomassasta yhdessä hevosen- ja kananlannan kanssa. Ylimääräinen kaasu jalostetaan liikennepolttoaineeksi autoille ja maatilán työkoneille. Biokaasutuksen mädätysjännös hyödynnetään maanparannusaineena ja lannoitteena alueen tilojen pelloilla.





**Kuvio 1.** Palopuron agroekologisen symbioosin ravinne- ja energiavirrat kaaviona  
 (Lähde: Eerola ym. (2015), muokattu. Graafinen toteutus: Sari Kaija, Mainostoimisto Kuke.)

## Maatilat

Palopuron symbioosin viljelymaan käyttö on kuvattu taulukossa 1.

**Taulukko 1.** Palopuron agroekologisen symbioosin maa- ja puutarhatalojen pellonkäytön suunnitelma vuodelle 2017. Sato-odotuksina on esitetty arvot, joita on käytetty laskelmien perustana.

Nimi / yksikkö	Viljelyala (ha)	Sato-odotus (kg/ha)	Kokonais-sato (tonnia)
Ruis	18	1900	35
Syysvehnä	10	2500	25
Syysrypsi	9	1200	10
Kaura	40	2100	84
Tattari	40	900	36
Ohra	40	2300	92
Kevätvehnä	40	2100	84
Herne	40	900	36
Herne-kaura	30	1000	30
Säilörehu	93	20000	1860
Luonnonhoitopellot	13	20000	260
Suojavyöhykkeet	10		
Puutarha	1.0		
Mansikka	0.5		
Muu	1.5		
<b>Yhteensä</b>	<b>385</b>		

Knehtilä tuottaa vilja- ja öljykasveja sekä valkuaiskasveja lähes 400 ha alalla. Tila on siirtynyt luomutuotantoon vuonna 2010. Se on laajentanut toimintaansa vuokraamalla runsaasti peltomaata 2000- luvulta lähtien. Tila on aktiivisesti yhteistyössä muiden alan toimijoiden kanssa kehittämässä uusia viljelymenetelmiä ja -teknologioita. Täsmäviljelytekniikkaa otettiin käyttöön tilalla jo 1990- luvun lopulla. Käytännönläheistä yhteistyötä on tehty Helsingin yliopiston kanssa muun muassa biohiilen maaparannuskäytön kokeessa ja erilaisissa luomulannoitekokeissa. Tila on ollut kehittämässä hevosenlannan tuubikompostointimenetelmää, joka on edelleen toiminnassa. Knehtilän tila valittiin Itämeren ympäristöystävällisimmäksi tilaksi vuonna 2015.

Jo ennen luomuviljelyä Knehtilän tilalla on myyty pienimuotoisesti tuotteita suoraan kuluttajille. Oman tilan jauhoja ja sisustustekstiilejä myyvä tilapuoti aloitti 2000-luvun alkupuolella. Tilan siirryttyä luomuun järjestettiin ensimmäiset maatalan markkinat yhdessä naapuritalan kanssa. Paikallisten toimijoiden kanssa yhteistyössä järjestetyistä markkinoista on muodostunut suosittuja luomu- ja lähiruokatapahtumia, jotka kokoavat lähiseudun tuottajia, käsityöläisiä ja kuluttajia yhteen. Parhaimmillaan markkinoilla käy

päivän aikana yli 1 000 henkeä. Knehtilän tilan toiminta laajeni vuonna 2014, kun vanha navetta kunnostettiin kokous- ja juhlatilaksi. Tällä hetkellä tilalle rakennetaan kauran jatkojalostuslinjastoa.

Noin kahden kilometrin päässä Knehtilän tilasta sijaitsee Mäntymäen Luomutila, jossa on tuotettu luomukananmunia vuodesta 2016 alkaen. Tilalla on noin 5 500 kanaa, joilla on ympärivuotinen mahdollisuus ulkoiluun. Kanamunat pakataan tilalla ja myydään pääkaupunkiseudun kauppoihin ja suoraan kuluttajille REKO-ruokarinkien kautta. REKO (Rejäl konsumtion - Reilua kuluttamista) on lähiruoan myynti- ja jakelumalli, jossa kuluttajat tilaavat ruokaa suoraan tuottajilta ilman välikäsiä. Tilalla toimii myös maatilamyymälä.

Knehtilän naapuri, Lehtokummun tila on tuottanut luomuvihanneksia ja hunajaa vuodesta 2008 alkaen. Tilalla tuotetaan monipuolisesti vihanneksia avomaalla ja kausihuoneessa. Tuotteet myydään pääasiassa suoraan kuluttajille REKO-ruokarinkien kautta ja eri lähiruokatapahtumissa. Palopurolla toimi luomumansikkatila vuosina 2012-2015. Mansikanviljelyn jatkoa suunnitellaan Knehtilän tilan yhteyteen.

### Viljan jatkojalostus leiväksi

Leipomon siirtyminen osaksi maatilan toimintaa muuttaa sekä tilan ja leipomon toimintaa. Viljan jalostus leiväksi asti vaatii myös viljan jauhamisen tilalla. Toimintamalli, jossa koko tuotantoketju tapahtuu läheisessä yhteistyössä, lisää tuotannon kannattavuutta molemmille osapuolille ja tuo uusia mahdollisuuksia toiminnan kehittämiseksi.

Knehtilän tilan yhteyteen siirtyvä Samsara Oy:n leipomo on Suomen ensimmäisiä luomuleipomoja. Vuonna 1977 perustettu leipomo tuottaa lisäaineetonta ja vähäsuolaista kotimaisesta luomuviljasta tuotettua leipää. Nykyinen tuotanto on noin 400 t/a leipää. Tähän leipomo käyttää noin 80 t ruista ja noin 50 t vehnää graham-jauhona. Symbioosissa rukiin tuottaa ja jauhaa, ja graham-vehnän ostaa sekä jauhaa Knehtilän tila. Lisäksi Samsara käyttää vuosittain noin 50 t valkoista vehnäjauhoa, jonka se myös symbioosin osana ostaa ulkopuolelta. Pääosa tuotteista myydään pääkaupunkiseudun kaupoissa. Leipomo työllistää 4-6 henkilöä koko- ja osa-aikaisesti. Kuluttajat voivat ostaa leipää pääkaupunkiseudun ja Keski-Uudenmaan kaupoista. Leipää toimitetaan myös kouluille ja REKO-ringeille. Leipomo haluaa kehittää toimintaansa osana kiertotaloutta. Samsarassa se tarkoittaa Knehtilän luomutilan viljan käyttämistä leivän raaka-aineena sekä uunien lämmittämistä tilalta saatavalla biokaasulla.

## Maatalouden sivuvirroista biokaasua

Biokaasulaitokset eivät ole yleistyneet maataloilla, sillä laitos on kertainvestointina suuri investointi ja erityisesti kasvinviljelytiloille sopivaa teknologiaa ei ole ollut saatavilla. Palopuron agroekologisen symbioosin lähtökohtana oli kehittää malli, joka perustuu paikallisesti saatavilla olevien maatalouden sivuvirtojen hyödyntämiseen. Lisäksi mallin tuli olla taloudellisesti toteutettava ja monistettavissa muille tiloille ja alueille.

Palopurolla biokaasun tuotantoa varten perustettiin Palopuron Biokaasu Oy. Sen osakkeenomistajina on Nivos Oy (ent. Mäntsälän Sähkö Oy), symbioosin yrityksiä ja laitetoimittaja Metener Oy. Yrityksen suurin omistaja on Nivos Oy, joka on sekä halukas investoimaan Palopuron biokaasulaitokseen että monistamaan konseptia alueellaan. Biokaasuyritys vastaa laitoksen toiminnasta ja markkinoi energian symbioosin osakkaille sekä symbioosin ulkopuolisille kuluttajille.

Hankkeessa kehitetyssä biokaasun tuotantomallissa Knehtilän maatila vastaa riittävästä nurmien määrästä ja niiden kylvöstä viljelykierron. Biokaasuyhtiö teettää urakoitsijalla säilörehun korjuun viherlannoitusnurmilta, eikä nurmesta makseta maatilayritykselle. Rehu säilötään aumoihin odottamaan laitokseen syöttöä.

Maatila saa biokaasulaitoksesta energian lisäksi lannoitehyödyn. Viherlannoitusnurmien niitetään ja murskataan tällä hetkellä peltoon. Jatkossa bioenergia-lannoitteen kierrätetään biokaasuttamosta. Massan lannoitearvo paranee, kun se mädätetään. Lisäksi käsittelyjännös, mädäte voidaan levittää sellaisille pelloille, joilla lannoitetta sillä hetkellä tarvitaan. Näin korvataan kalliita ostolannoitteita, esimerkiksi lihaluujauhoa. Biokaasuprosessi tuottaa rikkakasvinsiemeniä, joka sekin on merkittävä hyöty erityisesti luomutilalla. Tila saa mädätteen maksutta ja levittää sen omalla kustannuksellaan.

Hankkeen aikana verrattiin kotimaisia kuivamädätyslaitoksia. Parhaiten soveltuvaksi ja hinnaltaan kilpailukykyiseksi valikoitui Metener Oy:n kehittämä panostoinen kuivämädätyslaitos. Panosmenetelmän työntarve on kohtuullinen, ja laitos sitoo työvoimaa lähinnä tyhjennyksen ja täytön aikana.

Laitosratkaisu perustuu panostoihin laakasiiloihin rakennettuihin reaktoreihin, jotka peitetään kaasuhupulla. Reaktoreissa kierrätetään perkolaationestettä, joka tehostaa kaasuntuotantoa ja prosessia. Reaktoritekniikasta käytetään myös nimeä suotopetireaktori, jossa kuivaa syöttömateriaalia huuhdellaan nesteellä, johon hajoamistuotteet liukenevat (Luostarinen 2015). Laitos sisältää kaksi kaasuhupulla peitettyä 800 m<sup>3</sup> kokoista siilomaista reaktoria, perkolaationestesäiliön kaasuhuppuineen, kaasun puhdistus- ja paineistusyksikön sekä tankkausaseman (kuvio 2). Reaktorit täytetään vuorotellen, ja kummassakin mädätetään 3-4 panosta vuodessa. Palopurolla laitoksen siilot sijoitetaan muutaman sadan metrin päähän Knehtilän tilan talouskeskuksesta. Kaasu johdetaan

putkea pitkin tilakeskuksen läheisyyteen sijoitettavalle puhdistusyksikölle ja tankkausasemalle. Biometaani on tarkoitus myydä tilalta, mutta alkuvaiheessa on varauduttu ylimääräisen kaasun kuljettamiseen pullopattereissa jo olemassa olevalle tankkausasteelle.



**Kuvio 2.** Havainnekuva Metener Oy:n kehittämästä, tuottamasta ja markkinoimasta kuivämädätyslaitoksesta, jossa kokonaisuus muodostuu kahdesta silosta, perkolaationestesäiliöstä, kaasun puhdistus- ja paineistusyksiköstä sekä tankkausasemasta. Kuva: Metener Oy.

### Konseptin uutuusarvo:

Palopuron Biokaasu Oy:n toimintakonseptilla ja teknologialla ei ole aiemmin toteutettu kaupallisia laitosinvestointeja. Toimintamalli perustuu eri sektoreiden ja yritysten väliseen yhteistyöhön, ja mahdollistaa pientenkin sivuvirtojen hyödyntämisen biokaasuntuotannossa. Erityisesti energiayhtiön osallistuminen pelkästään maatalan syötteisiin pohjautuvaan biokaasuntuotantoon on uudenlaista ajattelua Suomessa. Liikennekaasun tuotanto hajautetussa toimintaympäristössä on vielä harvinaista.

### Konseptin riskit:

Laitoksen käyttö- ja ylläpitokustannuksista ei ole varmaa tietoa, koska panostoisesta kuivämädätysmenetelmästä ei ole Suomessa kokemuksia kaupallisessa mittakaavassa. Samoin massojen varastointi ja siirto sekä laitoksen operointi ja pullopatteripohjaisen jakelumenetelmän toimivuus on arvioitu oletusten perusteella. Laitoksen toimiessa varmistuvat syötteiden todelliset kaasuntuotantopotentiaalit sekä laitoksen käyttö- ja ylläpitokustannukset.

## Muut toimijat

Knehtilän tilan yhteydessä on toiminut vuoden 2016 syksystä lähtien *Green Care* –yhdistys Pollesta potkua ry. Yhdistys tarjoaa kursseja, ratsastusta ja elämyksiä hevosten kanssa. Yhteisöllinen ja eläinavusteinen *Green Care* -toiminta sopii täydentämään Palopuron symbioosia.

Knehtilän tilan naapurissa on juhla- ja kokousravintolana toimiva Salonkiravintola Neilikka. Kylän länsipuolella vanhan kyläkoulun tiloissa toimii Hostelli Palopuro, joka tarjoaa lounasruokaa, majoitusta ja vuokraa tiloja juhlaikäyttöön.

Palopurolla toimii aktiivinen kyläyhdistys, joka osallistuu tapahtumien järjestämiseen Knehtilän tilalla. Maatilamarkkinat ja muut tapahtumat ovat muodostuneet tärkeäksi osaksi kylän sosiaalista elämää. Kyläyhdistyksen lisäksi paikallinen metsästysseura on myös mukana tapahtumissa. Tilan lähistöllä sijaitsee ympäristötaidepolku Palas, jota ylläpitää hyvinkääläinen taiteilijaryhmä.

## Kokemuksia julkisesta hallinnosta hankkeessa

Symbioosin toteutuminen vaatii leipomo- ja biokaasulaitosinvestoinnit. Molemmat investoinnit ovat toimintamallinsa osalta uudenlaisia. Leipomoja ei ole aiemmin rakennettu tässä mittakaavassa mautilojen yhteyteen ja biokaasun tuotantomallikin perustuu uudellaiseen yhteistyöhön.

Lukuun ottamatta mautilojen itse tekemää jatkojalostusta, elintarvikkeiden jatkojalostus tapahtuu teollisessa mittakaavassa mautilojen ulkopuolella. Elintarvikkeiden jalostuksen uudelleensuunnittelu maatilan yhteyteen saattaa olla uudenlainen tilanne myös kunnan hallinnolle. Esimerkiksi kaavoituksessa on saatettu ajatella, että elintarvikkeiden jatkojalostuksen tulee lähtökohtaisesti toimia senkaltaiselle toiminnalle varatuilla teollisuusalueilla. Palopuron hankkeen leipomolle jouduttiin hakemaan suunnittelutarverkaisua, joka myönnettiin leipomon rakentamiselle.

Maaseudun kehittämissuunnitelmassa alkutuotanto ja elintarvikkeiden jatkojalostus katsotaan erillisiksi toiminnoiksi. Investointitukien suuruus riippuu siitä, onko hakijana viljelijä vai leipomo ja suuntautuuko investointi alkutuotantoon (Palopuron tapauksessa investointi viljelyyn) vai jatkojalostukseen (investointi leipomoon).

Biokaasun tuotantomalli perustuu maatilan ja pk-yritystä suuremman yrityksen yhteistyöhön. Maaseutuohjelmassa biokaasulaitoksille myönnettävä investointituki on tarkoitettu joko maatilan omaan energiakäyttöön tai pk-yritysten ja mautilojen yhteisinvestointeihin. Työ- ja elinkeinoministeriön energiatukea ei taas ole tarkoitettu maatilakäyttöön investointeihin. Tämän tyyppinen toimintamalli on vaarassa joutua ”väliinputojaksi” uusiutuvan energiantuotannon tukijärjestelmissä.

Investointituet ovat oleellisen tärkeitä toteutettaessa uudenlaisia toimintamalleja tai investointeja, jotka perustuvat teknologioihin, joista ei ole vielä laajaa kokemusta. Hankkeelle myönnetyn RAKI-ohjelman rahoituksen avulla pystyttiin löytämään ratkaisuja esille tulleisiin ongelmiin. Onnistuneen lopputuloksen saavuttamiseksi avoin ja hyvissä ajoissa aloitettu yhteistyö viranomaisten kanssa on tärkeää.

### 3.3 Ravinneomavaraisuus

*Tuure Parviainen, Jukka Kivelä, Kari Koppelmäki, Elina Virkkunen, Erika Winqvist*

Palopuron agroekologisessa symbioosissa kasvinviljelyyn tarvittavien ravinteiden riittävyys perustuu ravinteiden kierrätykseen ja biologiseen typensidontaan. Ravinnetalouden kannalta biokaasulaitos on kierrätyslaitos.

Ravinteiden kierron tehostuminen Palopuron symbioosissa perustuu kolmeen osatekijään:

1. viherlannoitusnurmien sadonkorjuuseen vähintään kaksi kertaa kasvukauden aikana
2. vaikeasti hyödynnettävien massojen (vihermassa, kananlanta ja hevoselanta) kuivabiokaasutukseen
3. mädätteen tehokkaampaan lannoituskäyttöön kasvukaudella

Näillä menetelmillä ravinteiden kierrätys tehostuu ja satomäärät kasvavat, kun samalla vastaavasti ympäristörasitus pienenee verrattuna viherlannoitusnurmien käyttöön.

Palopuron agroekologisessa symbioosissa sekä bioenergian että ravinteiden saanti perustuu biokaasulaitokseen. Suurin ravinnevirta kiertää viherlannoitusnurmien tapaan viljellyistä bioenergia-lannoitenuurmista, joiden satoa ei kynneta maahan, vaan käytetään biokaasun raaka-aineena. Lisäksi ravinteita symbioosiin saadaan biokaasutukseen nurmen ohessa syötettävistä hevosenlannasta sekä kananlannasta (kuvio 3). Näin voidaan muuten vaikeasti hyödynnettävät lannat sisällyttää ravinnekierrätykseen sekä parantaa näiden typen käyttökelpoisuutta kasveille. Lisäksi käsittelyjäännöksen ravinteet voidaan kohdentaa peltoviljelyssä muille lohkoille kuin mistä nurmisato tuotettiin.

Paras mahdollinen lannoitehyöty ja mahdollisimman pienet ravinnevalumat saavutetaan, kun käsittelyjäännös varastoidaan ja levitetään oikealla tavalla. Biokaasuprosessin aikana typen kokonaismäärä pysyy samana, mutta liukoisen typen määrä kasvaa. Tällöin typpi on kasville heti käyttökelpoisessa muodossa. Kuivabiokaasutuksessa typen liukoistuskertoimeksi on arvioitu lannalle 1,2 sekä kasvibiomassalle 1,5 (Luostarinen 2013). Typpihäviöitä syntyy pääosin levityksessä. Oikea levitysaika on kasvukauden aikana ja levitys joko juuri

ennen kylvöä tai kasvustoon. Jos käsittelyjäännös levitetään vasta kasvukauden jälkeen, eivät kasvit enää ehdi käyttää typpeä kasvuunsa, jolloin osa siitä huuhtoutuu pellolta sadeveden mukana. Jäännös tulee sijoittaa peltoon, kuitenkin mahdollisimman lähelle maan pintaa multaamalla mädätysjäännös.

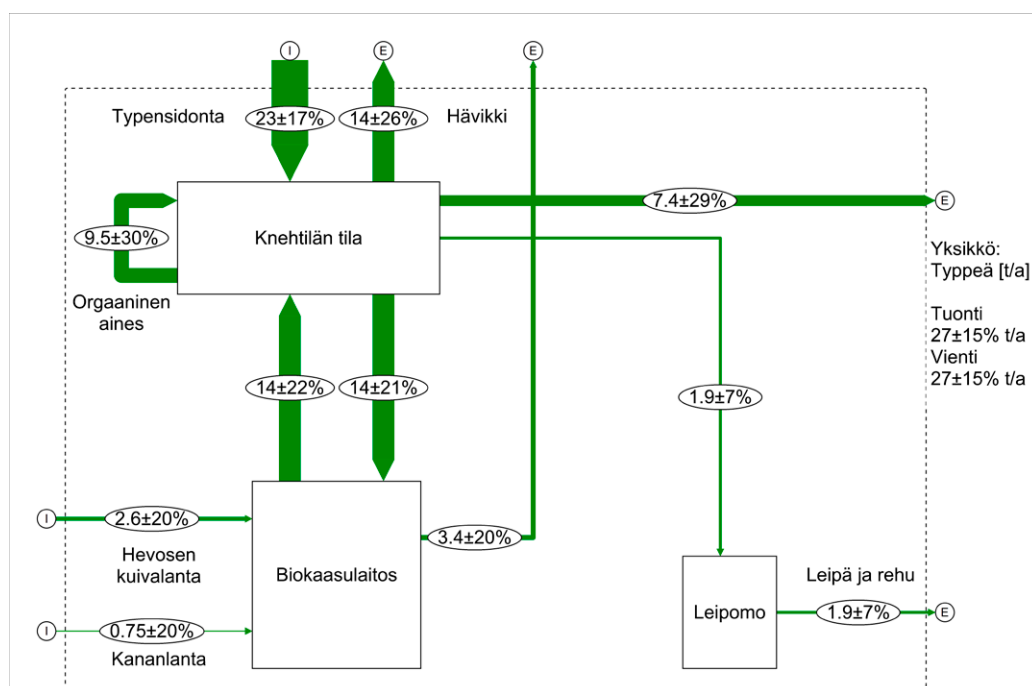
Biokaasulaitoksen siilot täytetään ja tyhjennetään kolmen kuukauden välein. Koska siilot täytetään limittäin, tämä tarkoittaa kahdeksaa täyttöä ja tyhjennystä vuoden aikana. Lannanlevityskaudella (tukiehtojen mukaan huhtikuun alusta lokakuun loppuun) mädätysjäännös voidaan levittää suoraan peltoon, kun taas lannanlevityskauden ulkopuolella mädätysjäännös joko varastoidaan biokaasulaitoksen yhteydessä olevalla varastointilaitalla tai patteroidaan nitraattiasetuksen ohjeiden mukaisesti pellolle odottamaan keväistä levitystä. Mädätysjäännös on suunniteltu levitettäväksi kuivalannan levityskalustolla keväällä ennen kevätiljojen kylvöä ja loppukesällä ennen syysviljojen tai -öljykasvien kylvöä. Tarvittaessa mädätysjäännös voidaan levittää myös syksyllä, mutta silloin riskinä on typen huuhtoutuminen ennen kevättä. Myös keväällä kasvustoon levittäminen on mahdollista, mutta silloin on riskinä typen haihtuminen ammoniakkina levityksen jälkeen.

Liukoisen typen määrän nousu asettaa myös erityisvaatimuksia käsittelyjäännöksen varastoinnille. Liukoinen tyyppi haihtuu ilmakehään ammoniakkina helpommin kuin liukene-maton tyyppi. Sekä allas- että aumavarastoinnissa käsittelyjäännös tulee peittää. Varastoinnin ja levityksen aikaista typpihävikkiä voi pienentää myös alentamalla pH:ta (Ervasti ym. 2015). Esimerkiksi laskemalla pH alle 6,5 on lietelannalla saavutettu jopa 70 % ammo-niakkipäästöjen vähenemä. Lopullisen mädätteen pH vaikuttaa siis näin ollen merkittä-västi levityksen typpihäviöihin. Ammoniakin haihtuminen vaihtelee lannan eri jakeilla noin 1-7 kg/ha välillä, joka antaa viitteitä mädätteiden ammoniakkitappioiden suuruusluokasta (Salo ym. 2015).

Palkonurmikasveja sisältäviä viherlannoitusnurmia viljelemällä voidaan sitoa ilmasta typpeä. Viherlannoitusnurmien maanpäällinen kasvusto voi kasvukauden lopussa sisältää typpeä jopa yli 200 kg/ha (Dahlin & Stenberg 2010a, Riesinger & Herzon 2010). Typen-sitojakasvien teho kuitenkin vaihtelee merkittävästi ja se on voimakkaasti riippuvainen sadon määrästä. Ilmakehästä peräisin olevaa typpeä apilanurmi voi sitoa noin 33-201 kg/ha (Anglade ym. 2015). Taulukossa 2 on eritelty palkokasvien arvioitu typensidonta tilalla. Viherlannoitustekniikassa nurmi kynnetään syksyllä, jolloin etenkin talviaikaisen ravinnehävikin (ja siihen liittyvän kuormituksen) vuoksi vain osa kasvustoon sidotusta tuestä päätyy seuraavan viljelykasvin käyttöön. Ravinteiden vapautuminen lopetetta-vasta kasvustosta riippuu monesta eri tekijästä kuten viherlannoitusnurmen kasvilajeista, kasvuston iästä, pellon ominaisuuksista sekä säästä nurmen lopettamisen jälkeen. Erityi-sesti pitkinä lämpiminä syksyinä ja sateisina talvina kasvaa riski typen huuhtoutumiselle kasvustosta. Kylmänä keväänä kasvustotähteestä ei taas ehdi vapautua tarpeeksi typpeä



kasvin käyttöön. Karjattomilla luomukasvinviljelytiloilla liukoisen typen puute aikaisin keväällä on tärkeä satoa rajoittava tekijä.



**Kuvio 3.** Keskeisimmät typpivirrat Palopuron symbiosissa ainevirta-analyysin (STAN 2.5.1302) mukaisesti. Valtaosa myydyistä viljasta päätyy kalan rehuksi; kalasta lanta tuodaan takaisin tilalle. Laskelmassa ei ole huomioitu mahdollista satojen kasvua, vaan satoarvot perustuvat Uudenmaan luomusatotilastojen keskiarvoihin vuosilta 2014–2016 (Luke, Luomusatotilasto 2016). Laskelma perustuu vuoden 2017 viljelysuunnitelmaan. Typpilaskeumaa ei ole huomioitu. Hävikiksi on laskettu kaikki satoon päättymätön typpi, vaikka osa tuestä sitoutuu maan orgaaniseen ainekseen.

Typen kiertäessä biologinen sidonta ilmakehästä on välttämätöntä, koska – toisin kuin esimerkiksi fosforia – typpeä menetetään eri vaiheissa, jokaisessa prosessissa, niin mädätysjäätännöksestä kuin pellolla. Kierto on kuitenkin huomattavasti suljetumpi kuin perinteisessä lannoitettiin perustuvassa kasvintuotannossa, jossa typpi tuodaan kokonaisuudessaan ulkopuolisena tuotantopanoksena. Esimerkiksi tavanomaisessa kasvintuotannossa 100 yksiköstä typpeä noin 65 jää syötävään satoon ja 35 yksikköä jää tuotantohäviöksi (Leach ym. 2012). Turtolan ym. (2017) arvioissa typenkäytön tehokkuus oli samaa luokkaa: perustuen yli 220 000 lohkon aineistoon Suomessa, ympäristökorvauksen enimmäislannoitusmäärät kivennäismailla johtavat kevätiljoilla 16–45 kg/ha typpitaseisiin. Pellon kasvukunto ja orgaanisen aineksen määrä vaikuttavat myös ylijäämän suuruuteen – hyvällä satotasolla typpitase voi olla pieni korkealla lannoitustasolla, kun taas matalalla satotasolla tase muodostui erityisen suureksi.

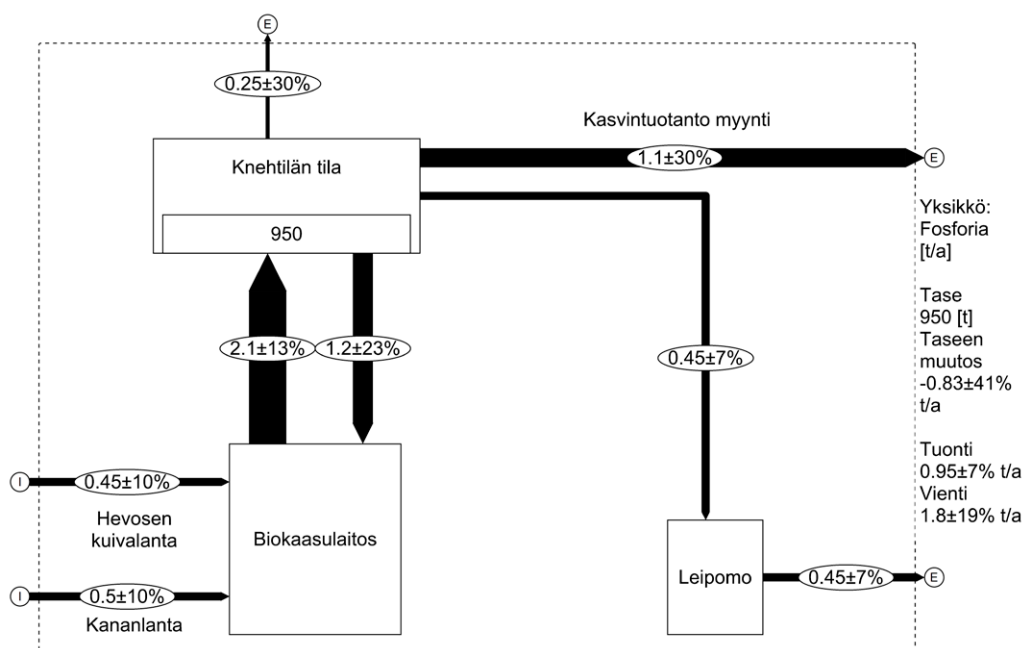
Biokaasun tuotanto mahdollistaa viherlannoitusnurmien biologisen typensidonnan tehokkaamman hyödyntämisen. Tavallisesti viherlannoitusnurmet murskataan 2-3 kertaa kasvukauden aikana rikkakasvien torjumiseksi ja typensidonnan ylläpitämiseksi. Murskattu kasvusto on myös helpompi muokata maahan, ja ravinteiden vapautuminen nopeutuu. Pellon pinnassa hajotustoiminnan myötä vapautunut typpi päätyy maaperään tai vapautuu kaasumaisina yhdisteinä ilmakehään. Kun viherlannoitusnurmi korjataan biokaasutuksen raaka-aineeksi, pienenee hävikki oleellisesti. Nurmen poiskorjaaminen voi lisätä biologista typensidontaa. Hatchin ym. (2007) tutkimassa tapauksessa apila-nurmen korjuu lisäsi biologisen typensidonnan määrää 9-61 kg/ha verrattuna siihen, että niitos jätettiin poistamatta. Joissain tapauksissa korjuulla ei ole havaittu olevan vaikutusta (Dahlin & Stenberg 2010b). Dahlinin ym. (2011) mukaan murskaamisen jälkeen noin 15 % kasvustotähteen tuestä kiertää takaisin kasvavaan nurmikasvustoon. Käytännössä biokaasutuksella voitaisiin vähentää viherlannoituksen typpihäviöitä.

**Taulukko 2.** Arvio typensidonnan määrästä Palopuron agroekologisessa symbioosissa. Typensidonta on laskettu Anglade ym. (2015) mukaisesti. Typpisato tarkoittaa korjatun sadon typpisisältöä perustuen sadon proteiinipitoisuudesta johdettuun typpimäärään.

Nimi / yksikkö	Viljelyala (ha)	Typpisato (kg/ha)	Kokonais-typensidonta* (kg/ha)	Juuriston osuus (kg/ha)	Kokonais-typensidonta (t)
Säilörehu	93	130	205	84	19
Luonnonhoitopellot	13	96	0	0	0
Suojavyöhykkeet	10	48	0	0	0
Herne	40	57	71	16	3
Herne-kaura** seoskasvusto	30	44	50	7	1
Muut kasvit	199				0
<b>Yhteensä</b>	<b>385</b>				<b>23</b>

\*Kokonaistypensidonta tarkoittaa kasvin sitomaa typen määrää. Yhteenlaskettu typpisato ja juuriston osuus ovat suurempia kuin kokonaistypensidonta, sillä osa tuestä on peräisin maaperästä.

\*\*Herne-kauran lukuarvot ovat suuntaa-antavia.



**Kuvio 4.** Ainevirta-analyysi (STAN 2.5.1302) Palopuron symbioosin keskeisimmistä fosforivirroista. Merkittävä osa fosforista kiertää kananlannassa biokaasutuksen kautta pelloille. Fosforilaskeumaa ei ole huomioitu.

## Fosforin kierto

Luomutilojen fosforilannoitus perustuu tiloilla kiertävän fosforin mahdollisimman tarkkaan hyödyntämiseen sekä maaperän rapautumisesta vapautuvaan varastofosforiin. Fosforia tuodaan luomukasvinviljelytiloille lähinnä lähialueen karjatilojen tuottamassa lannassa tai kaupallisissa luomuun soveltuvissa lannoitteissa. Palopuron symbioosissa (kuvio 4) mukana oleva kanala käyttää rehuna symbioosissa tuotettavaa rehuviljaa. Kananlanta viedään biokaasutukseen, jonka jälkeen lannan fosfori levitetään mädätteessä takaisin pelloille. Myös hevosenlannan mukana tulee fosforia symbioosin ulkopuolelta. Fosforin määrä ei vähene biokaasuprosessissa. Ravinteiden käyttöä tehostaa mahdollisuus kohdentaa käsittelyjäännöksen ravinteet peltoviljelyssä muille lohkoille kuin mistä nurmisato tuotettiin.

Palopuron symbioosin fosforitase on lievästi negatiivinen (kuvio 4, taulukko 3). Negatiivinen tase (n. -0.85 tn/tila eli -2.1 kg/ha vuodessa) viittaa symbioosin toiminnan perustuvan maahan varastoituneen fosforin käyttöön, jolloin viljelyn fosforikuormitus jää pieneksi.

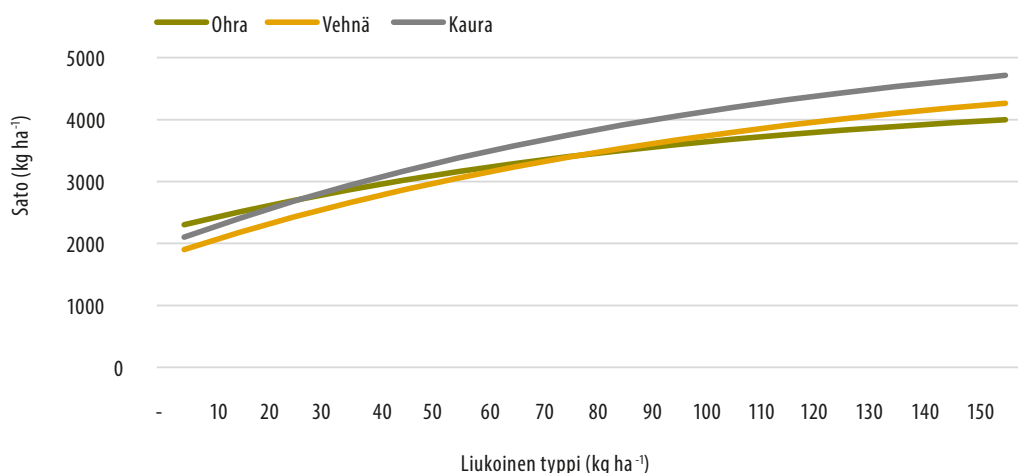
**Taulukko 3. Typen ja fosforin tasearviot. Vertailun Suomen lukuarvona keskimääräisille tasolle on käytetty lähdeä Gross Nutrient Balance, Finland (Eurostat 2014).**

Palopuron agroekologinen symbioosi, kg/ha	Suomen keskiarvot, kg/ha		
	sisään	ulos	tase
Typpivirrat	102	63	38
Fosforivirrat	2.5	4.6	-2.1

Ruoan osuus asukaskohtaisesta ravinnejalanjäljestä vaihtelee 70 – 90 % välillä. Sen arvioidaan olevan Kiinassa 32 kg, Yhdysvalloissa 27 kg, Iso-Britanniassa 23 kg ja Alankomaissa 21 kg sekä Saksassa 20 kg typpeä asukasta kohti (N-Print project: [www.n-print.org](http://www.n-print.org), Leach ym. 2012, Gu ym. 2013, Stevens ym. 2014). Suomessa ravinnejalanjälkiä on selvitetty lähinnä tuotekohtaisesti ja laskentamenetelmän kehittämislähtökohdista NUTS-hankkeessa (Ypyä ym. 2015). Eri tuotantojärjestelmillä ja kulutustottumuksilla on huomattava vaikutus ravinteiden hyötykäyttöasteeseen ja vastaavasti ravinnejalanjälkiin (Oita ym. 2016). Oitan ym. (2016) mukaan Suomen ravinnejalanjälki on noin 50 kg typpeä henkilöä kohti, joka on 33. suurin vertailtujen 188 maan joukossa. Palopuron symbioosille arvioidut tilakohtaiset typpi- ja fosforitaseet ovat pienempiä kuin Suomen keskimääräiset taseet (Taulukko 3). AES-toimintatapa tarjoaa siis mahdollisuuden parantaa ravinnekäytön tehokkuutta.

### Lannoitusvaikutusten arviointi

Mädätteen lannoitusvaikutusten arviointiin liittyy merkittäviä epävarmuuksia, mutta halusimme karkeasti esittää vaikutuksia käytännön viljelyyn. Mädätteessä on kaikkia makroravinteita, kuten typpeä, fosforia ja kaliumia sekä hieman mikroravinteita. Lannoitusvaikutusta on yksinkertaisinta arvioida lannoitteen liukoisen typen perusteella. Symbioosin biokaasulaitos on vasta rakenteilla, joten mädätteen liukoisen typen pitoisuudesta ei ole mittaustuloksia. Arvioinnin epävarmuuksista huolimatta pitoisuusarvio oli tarpeen, sillä liukoisen typen määrällä on myös suuri satovaikutus. Typpimäärä johdettiin pääasiallisen syötteen, säilörehunurmen proteiinipitoisuudesta sekä muiden syötteiden (kirjallisuudesta saatavilla olevien) typen liukoistuskertoimia käyttäen. Typpipitoisuuden katsottiin vastaavan kaupallisten mädätepohjaisten lannoitevalmisteiden pitoisuuksia Suomessa perustuen julkisiin tietoihin ja katsaukseen, jonka Möller ja Müller (2012) ovat julkaisseet. Näin arvioiden liukoisen typen määränä lannoitusvaikutuksen arvioinnissa käytettiin 1,5 – 3 kiloa liukoista typpeä kiloa levitettävän mädätteen tuorepainoa tonnia kohti, joka tarkoittaa noin 5 – 10 kilon pitoisuutta kuiva-aine tonnia kohti. Korkeimmat typpipitoisuudet ovat biokaasulaitosten keskimääräisten arvojen ylärajalla, mutta toisaalta tämän laitoksen syötteiden typpipitoisuus on myös korkea, mikä johtuu pääosin apilanurmen suhteellisen suuresta typpipitoisuudesta.



**Kuvio 5.** Jyväsadon odotettu vaste lannoituksella lisätyn liukoisen typen määrään ohralla, vehnällä ja kauralla. Vastekuvaajat on laskettu perustuen satokertoimella korjattuun Mitscherlich-satovastefunktioon ( $y = a(1 - e^{-bx})$ ), jonka parametriarvot ovat laskeneet Valkama ym. (2013b: taulukko 3). Käytetyt parametrit on valittu perustuen arvioituihin alkusatomääriin: Ohra:  $a = 95$ ,  $b = 0.01$ , Vehnä:  $a = 168$ ,  $b = 0.009$ , Kaura:  $a = 133$ ,  $b = 0.01$ .

Valkama ym. (2013a, 2013b) ovat julkaisseet typpilannoituksen vastefunktiot (kuvio 5): mädätteen liukoisen typen lannoitusvaikutus laskettiin näitä käyttäen. Käyttämällä edellä mainittua arviota 1,5 – 3 kg N liuk./kg tuorepainoa saatiin mädätteen levitysalaksi nykyisen ympäristötuen ehdoilla noin 75 - 150 hehtaaria. Ympäristötuen kokonaistyyppi ja -fosforirajat rajoittavat levitysmääriä riippuen orgaanisen lannoitteen ravinnepitoisuuksista (Tätä on konkretisoitu liitetaulukoissa, joihin on laskettu eri ravinnemäärät eri ravinnepitoisuuksille ja levitysmäärille: Liite 1). Mädätteen levityksestä tehtiin skenaariotarkastelu, jossa oli 15 erilaista vaihtoehtoa. Skenaariot erosivat niin levitysalan, viljelykasvin, typpivasteen, liukoisen typen määrän sekä viljan hinnan perusteella, jotta voitiin tarkastella eri parametrien vaikutusta lopputulokseen. Esimerkiksi käyttämällä 134 ha levitysalaa, viljelykasvina vehnää, yllä esitettyä vehnän satovastefunktiota, liukoisen typen pitoisuutena 2,65 kg/tonni tuorepainoa, 340 €/tonni luomurehuvehnän hintaa, sekä 2,75 €/tonni lannoituskustannusta saatiin lopputulokseksi tälle alalle:

- Lannoitusvaikutuksen nettohyöty oli noin 45 000 € (0 % alv.)
- Satomäärä kasvoi noin 1400 kg/ha
- Kokonaissato oli noin 190 tonnia suurempi eli 75 % korkeampi

Eri skenaarioiden tulokset vaihtelivat huomattavasti; tärkeimmät tekijät olivat satovastefunktio, liukoisen typen pitoisuus sekä sadon hinta. Esimerkiksi 10 % viljan myyntihinnan muutos vaikutti kokonaistuottoon lähes 5000 €. Tämä johtuu siitä, että mallissa levityskustannus on sama riippumatta viljan myyntihinnasta. Huonoimmassakin skenaariossa vaikutus oli positiivinen.

Tämän jälkeen tarkasteltiin optimaalista levitysalan suuruutta ja levitysmäärää. Nämä ovat oleellisia kysymyksiä käytännössä. Kannattaako kaikki lannoitus keskittää pienelle alalle ja saada maksimituotos? Vai levittää käytettävissä oleva lannoitus mahdollisimman laajalle? Tarkoitusta varten laadittiin aikaisempien oletusten pohjalle rajoitettu epälineaarinen optimointimalli, jossa optimoitiin viljelijän saamaa kokonaistuloa, ja parametreina oli levitysala sekä käytetty lannoituspanos. Tämän lisäksi varioitiin lannoituskustannusta ja arvioitiin sen vaikutusta lopputulokseen. Kun tilan kokonaispinta-ala on noin 385 ha, josta käytettävissä levitykseen oli 197 ha, vaihteli optimi levitysalan suuruus välillä 134 – 197 ha. Pelkästään 2,75 €/tn levityskustannusta käyttämällä optimilevitysala oli koko käytettävissä oleva levitysala. Tämä johtuu siitä, että satovastefunktion mukaisesti saatu sadonlisä typpiysikköä kohti on suurimmillaan, kun typpilisa on pieni. Käytännössä tämä ei ole realistista, joten levityskustannusta muutettiin paremmin vastaamaan tilannetta. Lisäämällä alkuperäiseen 2,75 €/tn levityskustannukseen levityshehtaaria kohtainen lisäkustannus (10-50 €/ha jokaista saman levitettävän tonnimäärän levitysalan lisähehtaaria kohden), jossa otetaan huomioon levityskustannuksen kasvu pinta-alan kasvaessa, alkoi optimi levitysala pienetä, kunnes ympäristötuen ehdot alkavat rajoittaa levitysmäärää. Käytännössä kuitenkin ennemmin kannattaa levittää suuremmalle alalle kuin ympäristötuen määrittämä pienin mahdollinen ala. Tätä yritettiin varmistaa arvioimalla levityskustannus (50 €/ha + 2.75 €/tonni) niin yläkanttiin, että tulosten perusteella käytännössä optimi asettuu jonnekin minimialaa suuremmalle levitysalalle. Tosin levityskalustoa ei ole vielä tiedossa, joten kustannukset perustuvat urakointihintoihin. Myöskin lohkojen sijainti sekä muuttuvat kustannukset vaikuttavat käytännön levitykseen. Luomuviljelyssä liukoisen typen saatavuuden lisäksi myös rikkakasvien aiheuttama kilpailu on usein satoa rajoittava tekijä, jolloin niiden hallinta vaikuttaa osaltaan kuinka hyvin lisääntynyt liukoinen typpi hyödynnetään sadonmuodostuksessa. Tätä ei kuitenkaan ole huomioitu analyysissä.

Yhteenvedon voidaan sanoa, että siirtyminen viherlannoituksesta ensisijaisena lannoituksen keinona käyttämään mädätettä lannoitteena antaa todennäköisesti tilan tuotantomäärän ja tulon kannalta positiivisen tuloksen. Levitys kannattaa tehdä mahdollisimman suurelle alalle, jolloin siitä saadaan parhain katetuotto, ellei levityskustannus ole korkea esimerkiksi peltolohkojen etäisyyden takia. Huomattava on kuitenkin merkittävät epävarmuudet, jotka liittyvät oletuksiin joita arvioinnissa on käytetty. Esimerkiksi jälkilannoitusvaikutusta eikä muiden ravinteiden vaikutuksia ole huomioitu. Tarkastelun oletusten muuttaminen vaikuttaa merkittävästi lopputulokseen. Esimerkiksi kun analyysi perustuu pääosin liukoiseen tyyppiin, typpipitoisuus vaikuttaa paljon tuloksiin, sillä se vaikuttaa tuottoon sekä kustannuksiin. Samoin valittu satokasvi sekä hinta vaikuttavat levityksen kannattavuuteen ja sitä kautta levitysalan. Tätä kirjoitettaessa vallitsevin markkinahinnoin luomusatokasvit vaikuttavat kannattavilta.

### 3.4 Energiaomavaraisuus

*Elina Virkkunen, Tuure Parviainen, Toni Taavitsainen, Erika Winqvist, Oiva Niemeläinen, Juha Helenius*

Suomen kansantaloudessa suurimmat energiankuluttajat ovat teollisuus 46 % osuudella, sen jälkeen rakennusten lämmitys ja liikenne. Liikenteen energiankulutus v. 2015 oli 53 000 GWh. Muiden sektoreiden osuus on 14 % kokonaiskulutuksesta (Tilastokeskus 2017). Maatalous- ja puutarhatuotannossa kului vuonna 2013 suoraa energiaa yhteensä 10 030 GWh, joka on esim. liikenteen kulutukseen suhteutettuna vain noin viidesosa. Energiamääräisesti eniten kului moottoripolttoöljyä (2 304 GWh), puuhaketta (3 061 GWh) ja sähköä (1 509 GWh) (Maa- ja puutarhatalouden energiankulutus 2014).

Elintarvikkeen tuotannon elinkaarisesta energiantarpeesta alkutuotannon osuus vaihtelee huomattavasti sen mukaan, miten elintarvike on jalostettu. Esimerkiksi purkki-maidon tuotanto vaatii Grönroosin ym. (2006) analyysin mukaan tavanomaisena 1,8 MWh ja luomuna 1,2 MWh/1000 litraa maitoa pakattuna litran purkkeihin, josta alkutuotannon osuus on 65 % (tavanomainen) ja 48 % (luomu).

Ahokkaan (2013) mukaan tavanomaisessa ohranviljelyssä kuluu energiaa 3,9 MWh hehtaaria kohti. Kemikaalien osuus tavanomaiseen ohranviljelyyn kuluva energiasta on noin puolet. Luomuviljelyssä kemikaaleja ei käytetä, jolloin energiantarve vähenee selvästi. Grönroosin ym. (2006) elinkaarianalyysin tuloksista laskien (olettaen että kg ruisleipää vaatii 0,7 kg jyviä) ja panosteollisuuden energiankäyttö mukaan lukien tavanomaisen rukiin viljely vaatii 4,4 MWh ja luomurukiin viljely 32 % tästä, 1,4 MWh/ha. He ottivat huomioon luomun viherlannoituksen vaatiman viljelypinta-alan, ja ollettivat luomurukiille 2 200 kg/ha sadon, joka oli 73 % heidän 3000 kg/ha tavanomaisen rukiin sados-taan. Energiansäästö luomurukiin eduksi muodostui tuotantopanosteollisuudessa; maatilalla luomuviljely vaatii 1,2 kertaa sen energiapanoksen minkä tavanomainen viljely tarvitsi.

Palopuron agroekologinen symbioosi tuottaa leipää. Koska leipä vaatii paiston, leivän tuotannon elinkaarisesta energiapanoksesta suurin osa kuluu leipomossa. Grönroos ym. (2006) arvioivat leipomolle saman energiankulutuksen riippumatta rukiin tuotantotavasta, 3,1 MWh/1000 kg leipää. Koko elinkaari yhteen laskien, edellisiin vielä kuljetusten osuus lisäten, tavanomainen ruisleipä vaatii 4,2 MWh ja luomuruisleipä 3,7 MWh/1000 kg leipää (Grönroos ym. 2006). Erityisesti luomussa alkutuotannon osuus energiapanoksesta on pieni, vain 12 %. Tavanomaiselle ruisleivälle Grönroos ym. (2006) laskivat alkutuotannon osuudeksi 23 % leivän elinkaarisesta energiankulutuksesta.

Palopuron symbioosissa on tavoitteena tuottaa uusiutuvalla energialla leipomon ja kuivurin tarvitsema lämpöenergia (Kuva 6). Energiantuotantomuodoksi valikoitui biokaasu, sillä tilalla on käytettävissä raaka-aineeksi soveltuvaa biomassaa viherlannoitusnurmilta, luonnonhoitopelloilta ja suojavyöhykkeiltä (116 ha vuonna 2017) sekä lähitilan kanalantaa. Lisäksi ulkopuolisina syötteenä saadaan hevosenlantaa. Biokaasun tuotantoa puoltaa leipomon energian tarve, sillä uunit tarvitsevat energian nimenomaan kaasuna. Kuivurin nykyinen öljylämmitys voidaan korvata helposti kaasulla.

Biokaasulaitos on mitoitettu siten, että se tuottaa energiaa kaikkiaan 2500 MWh/a (kuvio 6).

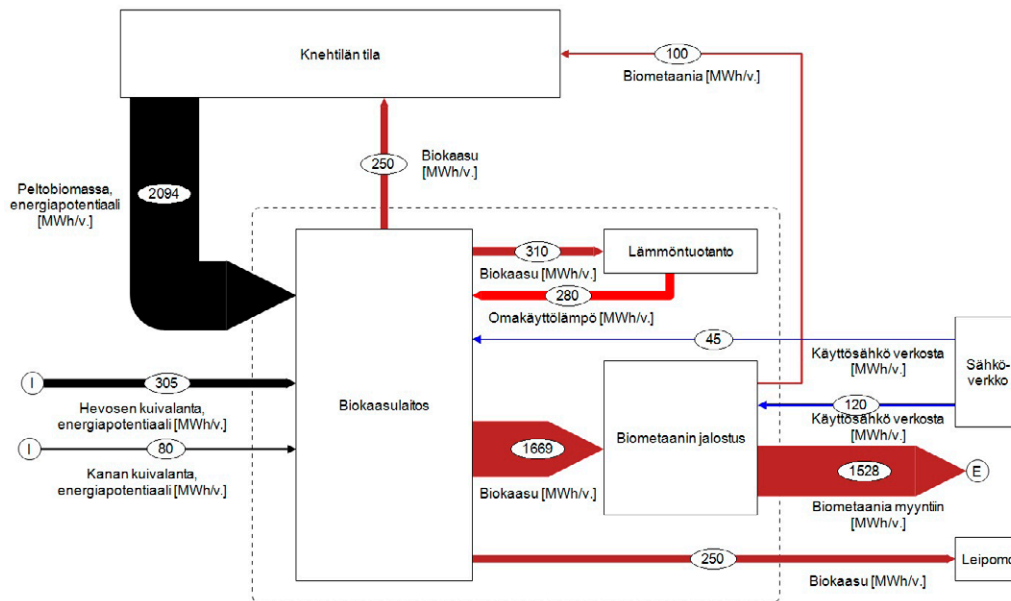
Knehtilässä traktorit tarvitsevat 20 000 litraa kevyttä polttoöljyä vuodessa, maatila-auto 2 000 diesel-polttoainetta ja kaksi henkilöautoa yhteensä 7 000 litraa bensiiniä. Energiaa tämä on yhteensä 300 MWh. Knehtilän tilan lämmitysenergia on tuotettu maalämmöllä vuodesta 1985 lähtien. Lisänä käytetään ilmalämpöpumppuja. (Maalämpöpumpun teho on 11 kW, ja se toimii talviaikana 100 % teholla. Lisänä käytetään ilmalämpöpumppuja, joiden teho on 9 kW + 35 kW.) Vuonna 2016 sähkönkulutus oli noin 150 MWh/v. Kuivurin lämpökattiloissa (2 x 40 kW) on kulunut polttoöljyä noin 25 000 litraa vuodessa (n. 250 MWh). Lisänä navettatilan lämmityksessä on pellettitakka ja leivinuuni.

Sähkön tarve lisääntyy tulevaisuudessa jonkin verran leipomon toiminnan käynnistyttyä. Jos leipomon sähkötarve arvioidaan puoleksi siitä mikä Knehtilän tilan kulutus, se olisi 75 MWh/v. Leivonnassa uunien lämmitys nykyisellä tuotantomäärällä, joka vastaa Grönroosin ym. (2006) ruisleipäesimerkin mukaan noin 68 000 kg leipää, on vaatinut polttoöljyä noin 25 000 litraa vuodessa, noin 250 MWh/a. Tämä korvautuu symbioosissa biokaasulla. Lisäksi leipomon jakeluauto kuluttaa noin 10 MWh/a vastaavan määrän moottoripolttoainetta.

Kun biokaasulaitoksen tuotannosta (2479 MWh) vähennetään symbioosin ostama sähkö (viljatilan ja leipomon sähkönkulutus, yhteensä noin 225 MWh/a), tilan ja leipomon ostama moottoripolttoaine (yhteensä noin 200 MWh/a), biokaasulaitoksen tarvitsema sähköenergia (165 MWh/a) sekä symbioosin käyttämä kaasu (100 MWh moottoripolttoaineisiin, 250 MWh kuivuriin, 250 MWh/v leipomon uuneihin) on symbioosin energian nettotuotanto biokaasuna noin 1300 MWh energiaa vuodessa.

Sähkön tuotantoa biokaasulla ei katsottu kannattavaksi tämänhetkisellä sähkön hinnalla. Kuivuri ja leipomo kuluttavat biokaasulla tuotettavasta energiasta 20 %, ja itse biokaasulaitos 12,5 %. (kuva 6). Suurin osa kaasusta puhdistetaan ja paineistaan liikennepolttoaineeksi. Näin saadaan uusiutuvaa energiaa myyntiin, mutta myös symbioosin yritysten ajoneuvoihin sekä työkoneisiin sitä mukaa, kun niitä vaihdetaan biokaasutoimiksi.





**Kuvio 6.** Palopuron symbioosin biokaasulaitoksen energiavirrat. Kuvasta puuttuvat leipomon ja maatilan sähkön ja polttoaineiden ostot systeemin ulkopuolelta: kts. lisätiedot tekstissä. (kuvio: Envitecpolis Oy, STAN 2.5.1202 software)

### Nurmiraaka-aineen saatavuus ja merkitys biokaasuntuotannossa

Nurmi on erinomainen biokaasun raaka-aine. Sillä on korkea metaanintuottopotentiaali (314 m<sup>3</sup>/t ka, Seppälä ym. 2014) ja alhainen ligniinipitoisuus, mistä johtuen se hajoaa varsin helposti mädätysprosessissa. Nurmea viljellään Suomessa lähinnä säilörehuksi ja heinäksi ja käytetään rehuna nautakarjalle ja hevosille. Lisäksi nurmea kasvaa erityyppisillä kesantopelloilla. Pelloilta korjatun nurmisadon määrän on arvioitu olevan 3 000 – 5 000 kg ka/ha. Se on vaatimaton siihen verrattuna mikä on lajikekokeissa saatu sato (11 000 kg ka/ha) (Laine ym. 2015). Syitä isoon satoeroon on monia. Yksi syy lienee se, että nurmista halutaan varmistaa riittävä rehusato karjalle myös heikkoina satovuosina.

Nykyisillä nurmipelloilla satotasoa voitaisiinkin nostaa jopa 60 % ja lisäksi korjata osa kesantopeltojen biomassasta, jos sille olisi käyttöä (Taulukko 4).

**Taulukko 4. Nurmen viljely ja sadonlisäyspotentiali Suomessa 2014 (Luke 20165).**

	Viljelyala (ha)	Toteutunut (ka kg/ha)	Mahdollinen (ka kg/ha)	Sadon lisäys (ka kg/ha)	Sadon lisäys (ka t)	Viite
Säilörehu	471 600	5 000	8 000	3 000	1 414 800	Luke 2016
Heinä	94 100	3 000	5 000	2 000	188 200	Luke 2016
Korjuuseen sopiva kesanto	105 000	ei korjata	5 000	5 000	525 000	Niemeläinen ym. 2014
Viherlannoitus- nurmi	49 000	ei korjata	5 000	5 000	245 000	Luke 2016
<b>Yhteensä</b>	<b>719 700</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2 373 000</b>	<b>-</b>

Korjuuseen sopivaksi kesannoksi arvioitiin pinta-alaltaan yli 2 ha lohkot luokista viherkesanto ja vähintään 2 vuoden ikäiset luonnonhoitonurmet (Niemeläinen ym. 2014). Arvio on varovainen, koska kesantopinta-ala kokonaisuudessaan on lähes kolminkertainen tähän verrattuna, ja esim. viherlannoitusnurmet voisi ensin käyttää biokaasulaitoksen raaka-aineena, ja levittää vasta käsittelyjäännökset pelloille lannoitteeksi Palopuron AES-mallin mukaisesti. Viherlannoitusnurmet otettiinkin tässä tarkastelussa mukaan laskentaan. Tavanomaisina satovuosina nurmen tuotantoa voitaisiin lisätä Taulukon 4 mukaisesti vähintään 2 373 000 t ilman että nykyinen ruuan- tai rehuntuotanto vaarantuisi. Biometaanina tämä vastaisi n. 745 milj. m<sup>3</sup> ja energiana 7450 GWh. Pelkästään ruoantuotannon ulkopuolisen nurmialan biokaasutuksella katettaisiin noin 75 % koko maa- ja puutarhatalouden kokonaisenergiankulutuksesta.

Aluskasvi- ja suojavyöhykenurmet puuttuvat valtakunnallisesta taulukosta 4 (mutta katso esimerkkiä taulukossa 5). Niidenkin sato voitaisiin kerätä ja hyödyntää biokaasuraaka-aineena (Winqvist ym. 2016). Aluskasvinurmi kylvetään keväällä samaan aikaan viljan kanssa, mutta se lähtee kunnolla kasvuun vasta viljan puinnin jälkeen. Syksyllä nurmi sitoo kasvukaudelta jääneet liukoiset ravinteet kasvuunsa ja estää näin tehokkaasti ravinnevalumia vesistöihin. Vastaavasti nurmea voidaan käyttää ravinteiden sitomiseen vesistöihin rajoittuvilla suojavyöhykkeillä. Suojavyöhykkeet ovat pinta-alaltaan pieniä ja hajanaisia, mutta paikallisesti niistä voisi saada merkittävän lisän syötemateriaaliksi.

### Esimerkilaskelma mahdollisuudesta monistaa Palopuron mallia sen lähialueella

Palopuron symbioosin energiayhtiöosakas on yritys, jonka pääomistaja on Mäntsälän kunta, Palopuron kotikunnan Hyvinkään naapuri. Seuraavassa laskemassa arvioidaan, mikä olisi bioenergia-lannoitusnurmien potentiaali Mäntsälän ja lähikuntien alueella.

Taulukkoon 5 on kerätty tiedot Luken tilastoista (kts. Niemeläinen ym. 2014) Mäntsälän ja lähikuntien kesantopelloista. Mukaan on otettu viherkesanto sekä Manner-Suomen maaseutuohjelman mukaiset vähintään kaksivuotiset luonnonhoitopelto eli LHP-nurmet, LHP-maisemapellot, LHP-niityt, suojavyyhykenurmet sekä viherlannoitusnurmet. "HVP-biokaasuksi"-hankkeessa arvioitiin korjuuseen sopivaksi kesannoksi n. 40 % kaikista kesantopelloista. Korjuukelpoisuuden kriteeriksi valittiin yli 2 ha lohkot luokista viherkesanto ja vähintään 2 vuoden ikäiset luonnonhoitonurmet (Niemeläinen ym. 2014). Lisäksi viherlannoitusnurmiemien sadon voisi korjata, käyttää biokaasulaitoksen raaka-aineena ja levittää vasta käsittelyjäännöksen pelloille lannoitteeksi.

Jos kesantoalasta arvioidaan olevan 40 % korjuuseen sopivaa kesantoa ja viherlannoitusnurmi lasketaan mukaan kokonaisuudessaan, saadaan korjuukelpoiseksi alaksi Mäntsälässä ja lähialueella yht. 7 526 ha. Näiltä pelloilta kerätyllä nurmella on mahdollista tuottaa vuosittain biokaasua energiasisällöltään 120 000 MWh vastaava määrä, kun kesantopeltojen sadontuottopotentialiksi arvioidaan 5 000 kg ka/ha (Niemeläinen ym. 2014) ja metaanintuottopotentialiksi 314 m<sup>3</sup>/t ka (Seppälä ym. 2014). Tämän laskelman mukaan Mäntsälän ja naapurikuntien alueella voisi toimia 48 Palopuron symbioosin kaltaista, biokaasun tuotantoon energiataloutensa rakentavaa agroekologista symbioosia.

**Taulukko 5.** Bioenergia- ja lannoitenurmiksi soveltuvat kesantopellot ja viherlannoitusnurmet Mäntsälässä ja lähikunnissa 2014. (LHP = luonnonhoitopelto. Tilaston lähde: Niemeläinen ym. 2014)

Kunta	Viherkesanto, LHP-nurmi väh. 2 v., LHP-maisema, LHP-niitty, suojavyyhykenurmi (ha)	Viherlannoitusnurmi (ha)	Yhteensä (ha)
Mäntsälä	1 320	533	1 853
Järvenpää	54	43	97
Tuusula	562	406	968
Nurmijärvi	1 267	296	1 563
Hyvinkää	605	244	849
Hausjärvi	948	406	1 354
Kärkölä	671	171	842
Yhteensä	5427	2099	7 526

### 3.5 Ympäristövaikutus

*Juha Helenius, Kari Koppelmäki, Vilma Metsärinne, Tuure Parviainen, Elina Virkkunen, Erika Winquist*

Palopuron agroekologisen symbioosin ympäristövaikutusten tarkastelu perustuu tieteellisestä kirjallisuudesta saatavilla olevan tiedon tarkasteluun tämän AES-pilotin yhteydessä.

**Taulukko 6.** Palopuron agroekologisen symbioosin odotettavissa olevat (laskennalliset ja/tai tutkimuskirjallisuudesta päätellyt) ympäristövaikutukset verrattuna tilanteeseen, jossa symbioosia ei ole ja peltoalueet viljellään tavanomaisesti. Ympäristölle suotuisa vaikutus on osoitettu plus- ja kielteinen miinusmerkillä. Vaikutuksen suuruus on kuvattu merkkien lukumäärällä (yksi merkki: pieni; kolme merkkiä: suuri). Arvion luotettavuus on kuvailtu sanallisesti. (Tarkemmat perustelut tekstissä.)

		Laskentatapa	Vaikutuksen suuruus	Arvion luotettavuus
Vesistökuormitus	Typpikuormitus	kg/ha	++	suuri
		kg/kg ruokaa	+/-	epävarma
	Fosforikuormitus	kg/ha	+	kohtalainen
		kg/kg ruokaa	+/-	epävarma
	Kiintoaines	kg/ha	+	kohtalainen
		kg/kg ruokaa	+/-	epävarma
Biodiversiteetti	Elinympäristöt		+	suuri
	Lajit		++	suuri
Khk-päästöt, CO <sub>2</sub> -ekv.	Energapanokset	kg/ha	+++	suuri
		kg/kg ruokaa	++	suuri
	Typpilannoitteet	kg/ha	+++	suuri
		kg/kg ruokaa	+++	suuri
	Peltomaat	kg/ha	+	kohtalainen
		kg/kg ruokaa	+/-	epävarma
Maaperä	Multavuus	org. aineen osuus	+++	suuri
	Pellon hiilivarasto	kg/ha	++	suuri

Positiiviset vaikutukset viljelyekosysteemissä ovat myönteisiä tai hyvin myönteisiä (Taulukko 6). Vaikutukset laskettuna tuotettua ruokakiloa, ruoan energiasisältöä tai proteiinien sisältöä kohden riippuvat ekotehokkuudesta, jolla symbioosi käyttää luonnonvaroja. Teknis-kemiallisen viljelyn tuottavuudessa käytetään tavallisesti vain yhtä luonnonvaratehokkuuden mittaria, tuotetun sadon kilomäärää tuotantoon käytettyä peltopinta-alaa kohden. Tämän tunnusluvun osalta teknis-kemiallinen viljely näyttää tehokkaalta, mutta vähenevän lisätuotoksen biologisesta laista johtuen lannoiteintensiivinen viljely on kasviraivinteiden käytössään tehottomampaa kuin viljelyssä, joka käyttää vähemmän lannoiteravinteita peltohehtaaria kohden: lannoitepanoksen kasvaessa saatava hehtaarisadon lisäys vähenee jokaista lannoitekilon lisäystä kohden. Ravinnetehokas viljely puolestaan tähtää siihen, että mahdollisimman suuri osa lannoitteissa annetuista ravinteista sitoutuu

satoon, jolloin optimaalinen käytön määrä on pienempi kuin sadon maksimointiin tähtäävä määrä. Sekä liian ekstensiivinen (edellä kuvattuun optimiin nähden liian vähän lannoiteravinteita käyttävä) että liian intensiivinen (liikaa lannoiteravinteita käyttävä) viljelytapa on ympäristön kannalta tehotonta.

Ympäristöllisesti, ekosysteemipalvelujen sekä biosfäärin kannalta on tärkeää, että maatalouden intensiteetti osataan sovittaa oikein. Tuotetun ruoan määrä maatalousmaan pinta-alayksikköä kohti ei siksi ole ainoa eikä yksin riittävä mittari maatalouden ekologiselle kestävyydelle. Tästä seuraa, ettei myöskään riitä, että ympäristövaikutuksia mitataan vain tuotetun ruoan määrää kohden (Taulukko 6).

## Ravinnekuormitus

Symbioosin sisäisessä kierrossa alkutuotannon kasvinravinteet ovat kierrätysravinteita. Siltä osin kun biokaasureaktorin syötteisiin lisätään symbioosin ulkopuolelta tuotavia biomassoja, ravinteet voivat myös olla primääriravinteita (kts. Ypyä ym. 2015), eli ruoan tuotannon ja kulutuksen järjestelmän ulkopuolelta väkilannoitteissa lisättyjä.

Symbioosi ottaa biokaasutukseen lähialueen hevostilojen lantaa, joiden fosforin oletetaan olevan peräisin väkilannoitteilla tuotetuista rehuista. Tämä laskee symbioosin fosforiomavaruutta, joka on noin 65 %. Fosforitase on 2,1 kg/ha negatiivinen. Siihen sisältyy eroosion mukana menetetty fosfori, 1,4 kg/ha. Hyvin pitkällä suunnittelujaksolla fosforitasetta ei voi jättää negatiiviseksi, jotta fosforia riittää viljelykasvien hyvään kasvuun. Peltomaiden hyvän fosforitilan vuoksi negatiivinen tase on toistaiseksi kestävä (Valkama ym. 2011), ja negatiivisen taseen voi arvioida tuovan ympäristöhyötyä vesistökuormituspotentiaalinvähentymisen vuoksi. Sikäli kun kansallisella tasolla vallitseva fosforin 4 kg/ha/a ylijäämäinen ravinnetase (arvio vuodelta 2014: Eurostat 2017) on osoitus vuotuisesta ravinnekuormituspotentiaalista (kuten se näyttää olevan, koska maatalouden järjestelmä on jo piripintaan "täynnä" fosforia, kts. Ylivainio ym. 2014), merkitsee kierrättävien symbioosien toimintatapaan siirtyminen kuormituspotentiaalinvähentymistä samassa suhteessa kuin kansallinen tase pienenee.

Granstedt ym. (2008) tarkastelivat ekologisen kierrätysmaatalouden ERA-mallin (*ecological recycling agriculture*) mukaisen tuotantotavan vaikutusta ravinnetaseisiin Suomessa ja Ruotsissa; symbioosissa ERA-mallin nautakarjan roolin kierrättäjänä korvaa "peltilehmä", biokaasureaktori, ja rinnastus ERA-malliin käy päinsä. Fosforin tase oli keskimäärin noin 1 kg/ha negatiivinen (Granstedt ym. 2008). Peltomaiden suuren fosforikertymän vuoksi negatiivisilla fosforitaseilla on useissa tapauksissa mahdollista tai jopa suositeltavaa viljellä, kunnes fosforin lisäyksestä jälleen voi odottaa sadonlisäystä (Valkama ym. 2011, Ylivainio ym. 2014).

Ekholm ym. (2005) mallinsivat fosforitaseisiin perustuvan vertailutuloksen. Siinä maan viljavuusfosfori ja viljelytapa pysyivät luomu-lypsykarjatilalla kymmenen vuoden ajan samana. Lähtötilanteessa vesistöissä levien kasvulle käyttökelpoisen fosforin kuormitus peltohehtaaria kohti oli 34 % pienempi ja kymmen vuoden viljelyn jälkeen 43 % pienempi kuin tavanomaisen maitokarjatilalla kuormitus.

Toisaalta katsauksessa Euroopassa tehtyihin muihin tutkimuksiin ei havaittu systemaattisia eroja fosforikuormituksessa tavanomaisen ja luomutuotantotavan välillä (Tuomisto ym. 2012a). Näistä kirjallisuustiedoista lähtien voidaan arvioida, että symbioosin luomutuotantotapa ei ainakaan lisää fosforikuormitusta, mutta mahdollisesti vähentää sitä jopa kolmannekseen.

Luomutuotantotavan lisäksi symbioosin ravinnekuormitukseen vaikuttaa se, että viherlannoitusnurmia ei muokata maahan, vaan korjataan mädätykseen, ja ravinteet palautetaan vasta mädätteen muodossa. Viherlannoitusnurmen korjaaminen, sen sijaan että kasvusto murskattaisi peltoon, vähentää typen ja fosforin huuhtoutumisriskiä. Jokioisilla pitkäaikaisessa suojavyöhykkeiden hoitokokeessa selvitettiin nurmimassan poiskorjuun vaikutusta fosforin huuhtoutumiseen (Uusi-Kämpö 2012). Nurmimassan jättäminen pellon pintaan luonnonkasvikaistalla lisäsi liukoisien fosforin huuhtoutumista 60 % verrattuna nurmen poiskorjuuseen. Tulosta selitettiin sillä, että kasvukauden ulkopuolella pellon pintaan jätetyistä kasvustotähteistä vapautuu liukoista fosforia jäätymis- ja sulamisprosessien yhteydessä.

Biologisen sidonnan avulla ilmakehän kautta kierrätettävän typen suuren osuuden ansiosta typpiomavaraisuus on 92 %.

Typen hallinnan kannalta merkityksellinen tieto on, että viherlannoitusnurmen typpi tulee varsin heikosti seuraavan sadon käyttöön. Ruotsissa tehdyssä kokeessa vain noin 14 prosenttia pellon pintaan murskatusta viherlannoitusnurmen tyypestä päätyi takaisin nurmen kasvuun (Dahlin ym. 2011). Jos mädätteen mukana palautettava typpi saadaan viherlannoitusta tarkemmin kasvien käyttöön, typpikuormitus vähentyy. Kasvukauden aikana typen hävikki tapahtui pääasiassa kaasumaisina yhdisteinä (Dahlin ym. 2011).

Symbioosi nojaa kiertotalouden mukaiseen typen biologiseen sidontaan teollisen, ulkoisia energiapanoksia sekä fossiilista metaania raaka-aineena käyttävän teollisen sidonnan sijaan. Typpikuormitus vesistöihin ei riipu typpiyhdisteessä, esimerkiksi huuhtoutumisherkässä nitraatissa olevan typen alkuperästä, joten teollisen lannoitetypen korvaaminen palkokasvien sitomalla typellä ei välttämättä johda ravinnekuormituksen pienentymiseen. Kuitenkin kotimaisessa pitkäaikaisessa huuhtoutumiskenttätutkimuksessa kokonaistyppihuuhtouma hehtaaria kohden oli 27 % pienempi luomukotieläin- ja 28 % pienempi luomukasvinviljelytilan kierrossa kuin vastaavissa väkilannoitteiden käyttöön perustuvissa

kierroissa (Lemola ym. 2010). Tämä peltohehtaaria kohden laskettu typpihuuhtouman vähentyminen luomutuotannossa tavanomaiseen verrattuna on Euroopassa tehdyissä tutkimuksissa ollut keskimäärin 31 % (Tuomisto ym. 2012a). Edellisten lukujen perusteella voidaan arvioida, että symbioosin tuotantotapa vähentää typpikuormituksen ao. peltoalalta noin viidenneksestä kolmannekseen verrattuna lähtötilanteeseen, jossa sen käytössä oleva peltoala on tavanomaisessa kasvintuotannossa.

Symbioosin ravinteet kiertävät mädättämön kautta. Mädätyksessä reaktorin mikrobisto hajottaa helposti sulavan ja energiapitoisen osan orgaanisesta syötteestä, tuottaa vaikeammin hajoavia metaboliatuotteita ja jättää jäljelle hitaasti hajoavia tai hajoamattomia orgaanisia molekyylejä (Tambone ym. 2009, Bachmann ym. 2011). Biokaasuprosessiin menevästä hiilestä noin 25 % jää mädätteeseen, kun noin 45 % otetaan talteen metaanina. Ellei hiilidioksidia käytetä lisämetaanin tuotantoon (kts. Burkhardt & Busch 2013, Alitalo ym. 2015), noin 30 % hiilestä menetetään hiilidioksidina (Christensen 2011). Tämä merkitsee, että lannoitteena ja maanparannusaineena mädäte on erilaista kuin esimerkiksi viherlannoitusnurmesta maahan kynnettävä vihermassa. On esitetty, että viherlannoitukseen verrattuna maaperän mikrobimassa saattaa jäädä pienemmäksi, koska mikrobeille tarjoillaan vähemmän helposti hajoavia orgaanisia yhdisteitä, joka pitäisivät yllä suurta mikrobiyhteisöä (Stevenson ja Cole 1999).

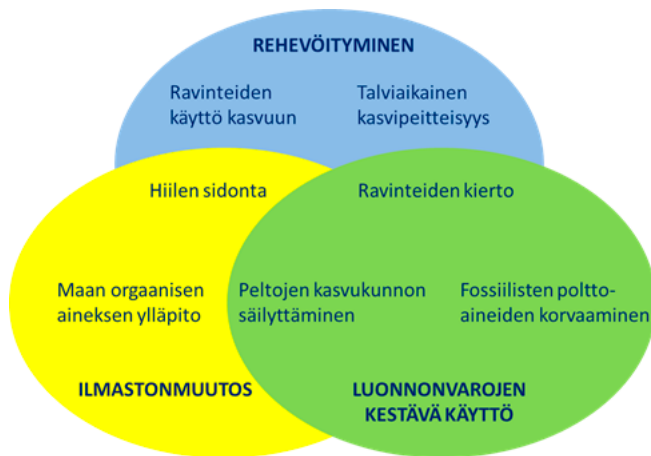
Saksassa vertailtiin maaperävaikutuksia savipitoisissa mineraalimaissa luomutiloilla, jotka olivat 25 vuoden ajan joko käyttäneet karjanlanta tai karjanlannasta, satotähteistä ja vihermassoista saatua tilan oman biokaasulaitoksen mädätettä (Wentzel ym. 2015). Verrattuna karjanlanta-lannoitukseen, mädätteen käyttö ei johtanut muutoksiin maan orgaanisen hiilen (SOC) määrässä, typen kokonaismäärässä ( $N_{tot}$ ) eikä hiili-typpi-suhteessa (C/N). Kirjoittajat arvelivat maaperän korkean savipitoisuuden ja mädätteen ammoniumpitoisuuden vaikuttaneen tuloksiin siten, että ammonium edisti kasvien kasvua, jolloin hiilen määrä kasveissa kasvoi, ja kasveista siirtyi paljon hiiltä juurien ja kasviaineen mukana maahan (Wentzel ym. 2015). Toisaalla Ernst ym. (2008) raportoivat, että karjanlantaan verrattuna mädätteen käyttö laski peltomaan C/N-suhdetta sekä mikrobibiomassaa. Jos mikrobimassa vähenee, mädäte verrattuna tuoreeseen kierrätyslannoitteeseen saattaa vähentää biologista hapenkulutusta maassa (Möller ym. 2008). Tällöin hapettomia olosuhteita esiintyisi maassa vähemmän, ja denitrifikaatio vähenisi (Möller & Stinner 2009). Toisaalta mädätteen mukana tulevat metanogeeniset mikrobit saattavat lisätä ammonifikaatiota peltomaassa (Ernst ym. 2008).

## Ilmastovaikutukset

Symbioosi korvaa maatiloilla sekä leipomossa kummassakin noin 25 000 l kevyttä polttoöljyä (yhteensä 500 MWh) vastaavan fossiilisen energian kulutuksen. Biokaasussa poltettava metaani vapauttaa vuoden kierrossa kasvien pelloilla yhteyttämän hiilidioksidin takaisin ilmakehään, eli ilmastovaikutusta ei synny. Näin ollen polttoöljyn korvaaminen biokaasulla vähentää maatilojen ja leipomon fossiilisen hiilen päästöjä noin 170 t CO<sub>2</sub>-ekv./vuosi. Lisäksi traktorin ja autojen polttoainetta korvaavaa biometaania symbioosi tuottaa lähes 1 700 MWh/a vastaavan määrän, jolloin bensiinin poltosta vapautuvan fossiilisen hiilen päästö hiilidioksidina vähentyy lähes 600 t CO<sub>2</sub>-ekv./vuosi. Näin laskien Palopuron agroekologinen symbioosi vähentää aiempaan toimintatapaan verrattuna fossiilisen hiilen päästöjä ilmakehään yhteensä noin 770 t CO<sub>2</sub>-ekv./vuosi.

Nurmenviljelyllä on monia etuja ja positiivisia vaikutuksia (Kuva 7). Nurmi (mm. timotei, nurminata, puna-apila) on Suomen ilmasto-oloissa helppo ja satovarma viljeltävä. Paitsi pääkasvina, nurmea voidaan viljellä myös aluskasvina tai se voi olla osana tilan viljelykiertoa. Nurmenviljely lisää orgaanista ainesta peltomaahan, mikä puolestaan parantaa maan rakennetta ja vedenpidätyskykyä (Seppälä ym. 2014). Samalla sidotaan myös hiiltä peltoon. Erityisesti Etelä-Suomen savimaat kaipaisivat nurmiviljelyä maan rakenteen parantamiseen, mutta alueella on vain vähän karjataloja, eikä nurmea tarvita rehukäyttöön. Biokaasuntuotanto olisi tällä alueella mielekäs käyttö nurmirehulle. Viherrannoitusnurmi kuuluu kiinteästi luomuviljelyyn, jossa nurmen sato normaalisti kynnetään peltoon.





**Kuvio 7. Nurmen ympäristöhyödyt. (Kaavio: Erika Winquist)**

Peltoviljelyn merkittävin kasviuonekaasu on dityppioksidi  $N_2O$ . Nurmikasveilta vuotuiset  $N_2O$ -päästöt ovat yleensä pienemmät kuin viljakasveilta (Regina ym. 2013). Agroekologiassa symbioosissa typpi saadaan palkokasvien biologisella typensidonnalla. Palkokasvit kuuluvat vähiten dityppioksidipäästöjä tuottaviin viljelykasveihin (Benoit ym. 2015), ja viljakierroissa palkokasvipitoisilla pyydyskasveilla päästöjä voidaan vähentää (Li ym. 2014). Palopuron AES kierrättää palkokasvipitoisen viherlannoitusnurmen mädättämön kautta, mikä edelleen vähentää dityppioksidipäästöjä verrattuna biomassan käyttöön virherlannoituksena (Trydeman Knudsen ym. 2014), vaikka mädätteen levitys myös aiheuttaa päästöjä (Möller & Stinner 2009).

Orgaanisen aineksen lisäykseen perustuva lannoitus ylläpitää peltomaiden hiilivarastoa. Miten orgaanisen aineksen mädätys ennen sen kierrätystä maanparannukseen ja lannoitteeksi vaikuttaa maan hiilivaraston dynamiikassa, ei ole täysin selvillä. Ross ym. (1989) seurasi mädätteen käytön vaikutusta viljelykierrossa olevan peltomaan hiilivarastoon kuuden vuoden ajan, eivätkä havainneet muutoksia orgaanisen hiilen määrässä. Aluskasvien käyttö edelleen edistää maan hiilivaraston säilymistä (Möller ym. 2011). Suomen maatalousmaiden hiilivarasto pienenee (valtakunnallisena keskiarvona) keskimäärin 220 kg C/ha/vuosi (Heikkinen ym. 2013). Koska viljelymaiden hiilen hävikki tapahtuu orgaanisen aineksen maatumisena hiilidioksidiksi ilmakehään, vastaa hiilivaraston säilyttäminen noin 0,8 t  $CO_2$ /ha/vuosi päästövähennyksiä. Laskennallisesti siis Palopuron symbioosin peltoalalla (noin 400 ha) tavanomaiseen peltoviljelyyn verrattuna päästövähennys olisi noin 300 t  $CO_2$ /vuosi, jos oletetaan, että tuotantotapa ylläpitää (ei lisää eikä vähennä) hiilivarastoja pelloissa. Fossiilisten polttoaineiden korvaamisen sekä maaperän hiilivaraston säilymisen kautta laskennallinen päästösäästö olisi siten noin 1000 t  $CO_2$ -ekv./vuosi.

Symbioosi ei käytä teollisia typpilannoitteita, joiden keskimääräinen levitysmäärä Etelä-Suomen tavanomaisessa peltoviljelyssä on noin 80 kg N/. Typen teollisen valmistuksen kasvihuonekaasupäästöt vaihtelevat, NPK-lannoitteiden typpikiloa kohden päästöt ovat luokkaa 5-7 kg CO<sub>2</sub>-ekv./kg N (Wood & Cowie 2004). Näin laskien symbioosin 400 peltohehtaarin viljelyssä säästyy tavanomaiseen verrattuna 200-280 t CO<sub>2</sub>-ekv./vuosi.

### Mädätteen levitystekniikan merkitys

Sen lisäksi, että mädättämöteknologia estää ravinnepäästöt biomassojen mädätyksessä ja mädätteen säilytyksessä, mädätteen lannoitekäyttö edellyttää ympäristötehokasta teknologiaa. Käytettävissä olevat tutkimustiedot koskevat märkäprosesseista saatavia lietemäisiä mädätteitä, joten niitä ei sellaisenaan voi tulkita Palopuron symbioosiin tulevan kuivämädätysprosessin mädätteisiin päteviksi. Biokaasuprosessin tuottama liukoisen typen etu saatetaan jopa menettää, jos mädäte levitetään peltoon muulla tavalla kuin sijoittamalla (Luostarinen ym. 2011). Jos mädäte jätetään pintaan, typen hävikki ammoniakkipäästöinä voi olla jopa 30 % (Möller ym. 2010, 2011; Sieling ym. 2013). Ammoniakkipäästöt ovat suurimmillaan muutaman tunnin - puolen vuorokauden ajan levityksestä (Möller & Stinner 2009, Quakernack ym. 2012).

Multaus maahan vähentää päästöjä (Möller ym. 2008, Holm-Nielsen ym. 2009, Sieling ym. 2013). Mädäte on kuitenkin sijoitettava lähelle pintaa, koska syvälle sijoittaminen lisää dityppioksidipäästöjä (Möller & Stinner 2009). Mädätteen pH:n laskeminen vähentää ammoniakin kaasuuntumista (Holm-Nielsen ym. 2009). Kosteus, viileä ja tyyni sääolosuhde on päästöjen minimoimisen kannalta paras (Søgaard ym. 2002).

### Biodiversiteetti

Arvioitaessa symbioosin vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen voidaan vertailukohdaksi ottaa tilanne, jossa sen käyttämä peltoala on tavanomaisessa karjattoman viljelyn peltokasvituotannossa. Tämä on tyypillinen tilanne Etelä- ja Varsinais-Suomen viljavaltaisilla maatalousalueilla. Lisäksi symbioosin pellot ovat luonnonmukaisessa tuotannossa, jolloin vaikutuksia voidaan arvioida myös tarkastelemalla tavanomaisen ja luonnonmukaisen tuotannon monimuotoisuusvaikutuksia vertailevia tutkimustuloksia. Kolmas tekijä on symbioosin kaavailema suojakaistojen ja -vyöhykkeiden kasvillisuuden korjuu biokaasutukseen.

Olipa symbioosi luomutuotantoa tai ei, sen ravinne- ja energiaomavaraisuus edellyttää biologista typensidontaa ja nurmibiomassojen tuotantoa. Verrattuna viljavaltaisen tuotannon tilanteeseen, jossa nurmia ei ole mukana vuorotuksessa, symbioosi lisää pellon alue-ekologisen tason monimuotoisuutta: nurmet ilmestyvät maisemaan. Maatalousympäristöjä koskevan tutkimuksen yleinen päätulos on, että elinympäristötyyppien luku-

määrän kasvaessa alueelta tavattavien eliölajien lukumäärä (lajirunsaus) lisääntyy; tämä pätee myös Suomessa (Kivinen ym. 2006, kts. myös Kettunen ym. 2014). Nurmipalkokasveja sisältävien nurmien ilmestymisen maisemaan voi odottaa lisäävän mm. pölyttävien hyönteisten, kuten kimalaisten, sekä peltolintujen yksilömäärää (Toivonen ym. 2015).

Meta-analyseissä, joissa on koottu tähän mennessä tehtyjä vertailuja, luonnonmukaisen tuotantotavan on nähty lisäävän lajistollista monimuotoisuutta keskimäärin noin 10 – 30 %, siten että suhteellinen hyöty vaihtelee eliöryhmästä toiseen (Bengtsson ym. 2005, Schneider ym. 2014). Luomutuotanto lisää eliölajien monimuotoisuutta erityisesti sellaisilla maatalousvaltaisilla alueilla, joilla tavanomainen ja viljavaltainen tuotanto on vallitsevaa (Tuck et al. 2014).

Suojakaistojen ja -vyöhykkeiden biomassojen korjuu niittämällä edistää vesiensuojelun tavoitteita, koska poistettavan biomassan mukana poistettavat ravinteet saadaan talteen (Uusi-Kämpä & Jauhiainen 2010, Rätty ym. 2010). Aikainen niitto ja toistuvat niitot ovat kuitenkin epäedullisia näissä elinympäristöissä pesiville linnuille. Toisaalta niitto ja vähittäinen ravinteisuuden vähentyminen edistävät niittyjen lajiston palautumista mahdollisesti aiemmin hyvinkin rehevöityneille kaistoille.

Viherlannoitusnurmien korjuu biokaasutuksen syötteenä tapahtuu normaalia viherlannoitusnurmen hoitotapaa eli kasvuston murskausta myöhemmin. Tämä mahdollistaa useampien kasvien kukkimisen ja osan peltolintujen pesinnästä loppuun asti. Toisaalta nurmen korjuu tehdään yleensä viherlannoitusnurmen murskausta matalampaan, mikä saattaa lisätä niittojen negatiivisia vaikutuksia luonnonvaraiseen eliöstöön.

## Ympäristövaikutukset tuotoskiloa kohden

Palopuron symbioosi noudattaa luomutuotantotapaa (sertifioitua luomua), jossa viljelykasvien hehtaarikohtaiset sadot ovat keskimäärin pienempiä kuin teknis-kemiallisen viljelytavan sadot. Symbioosi käyttää noin neljäsosan peltoalastaan bioenergia-maanparannusnurmien viljelyyn, mikä vastaa tyyppillisen luomukierron viherlannoitusnurmien osuutta. Kun ruoan raaka-aineiksi tuotetun kokonaissadon määrä jaetaan koko peltoalalla, jää ruoan tuotanto hehtaaria kohden pienemmäksi kuin jos koko peltoala olisi joka vuosi ruokakasvien tuotannossa.

Grönroos ja Seppälä (2000) vertailivat elinkaarilaskennallisesti tavanomaisesti ja luonnonmukaisesti tuotetun maitolitrin ja ruisleipäkilon ympäristövaikutuksia. Tuotettua maitolitraa kohden luomun ilmastovaikutus oli  $\geq 30$  % pienempi, happamoittava vaikutus 10-30 % pienempi, alailmakehän otsonin muodostuminen 3-30 % pienempi ja rehevöittävä vaikutus  $\geq 30$  % pienempi; tilatasolla ekotoksisuus torjunta-aineista oli  $\geq 30$  % pienempi, haitta-ainemäärät elintarvikkeissa  $\geq 30$  % pienemmät, maisema- ja monimuotoisuusvaiku-

tukset  $\geq 30$  % pienemmät kuin tavanomaisen tuotantotavan. Luomu tuotti ympäristöhyötyä kaikissa tarkastelluissa vaikutusluokissa (ibid, taulukko 14). Ruisleipäkiloa kohden lasketuna vertailu ei ollut yhtä edullinen luomutuotantotavalle (ibid, taulukko 15), ja vertailun tulos riippui siitä, millaisin vaihtoehtoisin perustein (kolme vaihtoehtoa sekä luomulle että tavanomaiselle) laskenta tehtiin. Tavanomaiseen nykytuotantomalliin (tutkimuksen ajankohdan lähtötiedoin) verrattuna luomuruiskilo oli mahdollista tuottaa 10-30 % pienemmin ilmastovaikutuksin, ja myös ekotoksisuuden, haitta-aineiden, maiseman ja monimuotoisuuden osalta luomu mahdollisti pienemmät haittavaikutukset leipäkiloa kohden. Muissa vaikutusluokissa luomuruisleipä pärjäsi huonommin kuin tavanomainen, erityisesti rehevöittävä vaikutus oli jopa  $\geq 30$  % suurempi; myös maan viljavuuden laskettiin kärsivän jopa  $\geq 30$  enemmän kuin tavanomaista leipäkiloa kohden (Grönroos & Seppälä 2000).

Lemolan ym. (2010) monivuotisessa vertailussa Toholammin huuhtoumakentällä mukana olivat karjatilan nelivuotinen kierto, jossa nurmen ja viljan pellonkäyttöosuudet olivat luomukierrossa ja tavanomaisessa kierrossa samat, sekä viljatilan kierto, jossa vain luomukierrossa mukana oli viherlannoitusala. Sadot laskettiin rehuyksikköinä, joita luomukotieläintila tuotti ensimmäisellä koejaksolla 23 % ja sitä seuraavilla 13 % vähemmän kuin tavanomainen kotieläintila. Kasvinviljelytiloilla luomukierron rehuyksikkösato oli 12 % pienempi kuin tavanomaisen tilan rehuyksikkösato. Kokonaistyyppihuuhtoumat olivat luomussa hehtaaria kohden pienemmät, mutta pienemmät rehuyksikkösadot tasoittivat tuotettua rehuyksikköä kohden lasketut huuhtoumat samaan suuruusluokkaan tavanomaisen tuotannon kanssa (Lemola ym. 2010).

Tuomisto ym. (2012a) tekivät meta-analyysin Euroopassa julkaistuista vertailututkimuksista. Luomun maitotuotokset vaativat koko viljelykierron yli laskien pinta-alaa keskimäärin noin 1,6-kertaisen määrän, ja viljasadot noin 1,8 kertaisen määrän. Orgaanisten lannoitteiden ansiosta luomupeltojen orgaanisen aineen pitoisuudet (ja siis hiilivarastot) olivat suuremmat kuin tavanomaisten peltojen. Luomumaidon tuotanto vaati keskimäärin noin 70 % ja luomuviljan tuotanto keskimäärin noin 85 % vastaavien tavanomaisten tuotteiden tukienenergiamääristä. Kasvihuonekaasu- ja happamoittavat päästöt tuoteyksikköä kohden olivat samaa luokkaa tuotantotavasta riippumatta. Luomumaidon rehevöittävät päästöt olivat keskimäärin (mutta eivät merkitsevästi) pienemmät kuin tavanomaisen maidon. Luomuviljan osalta rehevöittävää vaikutusta koskevat tutkimustulokset olivat hyvin vaihtelevia, siten että parhaimmillaan luomuviljan päästöt viljakiloa kohden olivat hieman pienemmät, mutta suurimmillaan moninkertaiset tavanomaiseen nähden. Yhteenvetotaulukossa (ibid, taulukko 4) todetaan satojen olleen 78 % tavanomaisista sadoista, ja tuotekiloa kohden lasketuna luomu oli ympäristötehokkaampaa kuin tavanomainen vain energiankäytössä, selvästi tehottomampi typen huuhtoutumisen ja siitä seuraavan rehevöitymispotentiaalin osalta, hieman tehottomampi ammoniakkipäästön ja siitä seuraavan happamoitumispotentiaalin osalta, ja tavanomaisen kanssa tasaväkinen kasvihuonekaasupäästöjen osalta. Biodiversiteettiin (ibid, taulukko 3) luomu vaikutti selvästi positiivisesti (Tuomisto ym. 2012a).

Näistä tutkimustuloksista muodostuu selkeästi se kuva, että luomutuotannon ympäristötehokkuus tuotekiloa kohden laskettuna on ensisijaisesti kuormituspotentiaalia, ja siinä erityisesti typen huuhtoutumispotentiaalia koskeva kysymys. Tulos riippuu paitsi luomusatojen koosta, myös ja erityisesti orgaanisen lannoituksen toteutustavasta. Karjanlannan käsittelyn ja levitystekniikan merkitys on suuri; karjattomassa luomussa erityisesti viherlannoitus muodostaa ratkaisevan typen huuhtoutumispotentiaalin (Syväsalom ym. 2006). Juuri tässä suhteessa agroekologinen symbioosi tarjoaa ratkaisevan edun: se ei tukeudu viherlannoitukseen, vaan bioenergianurmista talteen korjattujen ravinteiden palauttamiseen peltoon siten, että mädäte lannoitteena ja maanparannusaineena voidaan kohdistaa juuri niille lohkoille, juuri niillä tekniikoilla ja juuri siihen aikaan kun paras mahdollinen kasvuston ravinteiden käyttö edellyttää (Stinner ym. 2008, Tuomisto & Helenius 2008, Tuomisto ym. 2012b).

### Ympäristövaikutusten tarkastelun yleisistä perusteista

Miksi ympäristövaikutuksia on syytä tarkastella sekä pinta-ala- (hehtaari-) kohtaisina että tuotekiloa kohden laskettuina arvoina? Pinta-ala-kohtainen tarkastelu on ekosysteemien vaikutusten tarkastelua annetussa maankäyttötilanteessa. Esimerkiksi vesiensuojelun tutkimus tarvitsee käsitettä kriittinen kuorma, joka tarkoittaa sitä valuma-alueen pinta-alalta vesistöön päätyvää kuormaa, jonka ylittävä osa aiheuttaa vesiekosysteemin muutoksen, vesien rehevöitymisen. Annetussa maankäyttötilanteessa luomutuotantotapa on selvästi tavanomaista ympäristötehokkaampi: se ylittää kriittiset kuormat harvemmin ja vähemmän kuin tavanomainen. Tuotekilo-kohtainen tarkastelu on tarpeen, kun vertaillaan tuotantotapoja tilanteessa, jossa oletetaan tarvittavan tietty (vakio) tuotemäärä maataloudesta ruokajärjestelmän käyttöön. Jos esim. leipäkilon tuottamisen pinta-ala-kohtainen ympäristövaikutus on kahden eri tuotantotavan vertailussa viljelykierron yli laskien sama, mutta toinen tapa vaatii viljelykierron yli laskien neljänneksen enemmän peltohehtaareita, saadaan tuotekiloa kohden laskettu, vaadittuun kokonaistuotantoon projisoitu ympäristövaikutus kertoimella 1,25. Reaalimaailmassa tämä toteutuu, jos oletus viljely-pinta-alan 1,25-kertaistamisesta toteutuu.

Syvällisempi ero vertailutapojen lähtöoletuksissa koskee vaatimusta pitkän aikavälin ekologisesta kestävydestä. Lähtökohta on, että ruoka tulee tuottaa siten, että myös tulevien sukupolvien on mahdollista tuottaa ruokaa. Olennaista on kysyä, mitkä ovat kestävät satoasot, miten paljon pinta-alayksikköä kohden on mahdollista tuottaa siten, että peltoekosysteemien tuottokyky säilyy. EU-ajan jatkunut ympäristöperusteinen tehty poliittinen ohjaus kohden aiempaa pienempiä väkilannoitteiden käyttömääriä on toinen osoitus siitä, että satojen maksimointi ei edusta ympäristötehokkuutta.

Etelä- ja Varsinais-Suomen karjattoman peltoviljelyn kokemukset ovat karttumassa johtopäätökseen, että myös tavanomainen tuotanto vaatii viherkesantoja ja maanparannus-

nurmia pellon viljavuuden ylläpitoon (ProAgria 2017). Toisin sanoen ruokakasvien viljely kierron jokaisena vuonna, jolla tavanomaisen viljelyn tehokkuutta ruoantuotannossa usein perustellaan, ei edusta kestävää tuotantotapaa. Hajautettu, agroekologisten symbioosien kokoluokan biokaasutuotanto mahdollistaa pyydys-, alus- ja esikasvinurmien tuomisen viljatilojen kiertoihin siten, että viljavuosien sadontuottohyödyn lisäksi nurmesta saadaan kannattava (energia-)satokasvi myös karjattomassa tuotannossa. Tällöin nurmi on monikäyttöinen ja –tavoitteinen, ei tosin ruokakasvi, mutta maanparannus- ja lannoitushyötyjen lisäksi satokasvi joka tapauksessa.

Maatalouden ekologista kestävyyttä tarkastelevan tutkimuksen yksimielisin viime vuosien viesti on ollut, että sekä ruoan riittävyyden (kasvan väestön tarpeisiin) että ympäristön ja viime kädessä koko biosfäärin kannalta peltoviljelyn satojen määrä peltopinta-alaa kohden (kg/ha -mittari) ei ole maksimoitava vaan optimoitava mittari (Tilman ym. 2001, 2002, Smil 2002, Foley ym. 2005, Foley ym. 2011, Fraser & Rimas 2010, Tilman ym. 2011, UNCCD 2012, Tilman & Clark 2014, Kremen 2015, Steffen ym. 2015, IPES-Food 2016). On yleinen harhakäsitys, että nykyinen globaali maatalousmaa-ala ei nykyiselle ja myös näköpiirissä olevalle väestölle riittäisi. Kuten mm. Foley ym. (2011) perustelevat, kysymys ei ole peltopinta-alasta eikä satojen maksimoinnista, vaan siitä, miten kattavasti jo olemassa oleva peltoala todella viljellään, mitä niillä viljellään (yhä enemmän rehua kotieläimille vai tuotteita terveelliseen ruokavalioon ihmisille), miten suuri osuus tuotetusta ruoasta todella käytetään ravitsemukseen (ruokahävikin ongelma), sekä miten ympäristön kannalta liian tuhmaavat (panosintensiiviset) tai liian panosköyhät (ekstensiiviset) viljelytavat saadaan korjatuksi ekologisen (ekosysteemisen, biosfäärin) kestävyuden rajoihin.

Agroekologisen symbioosin idea ei ole yksittäisen muuttujan maksimoinnissa, vaan systeemimallissa, joka tarjoaa lähtökohdan uudistaa ruokajärjestelmää kokonaisvaltaisesti kestäväälle pohjalle.

### 3.6 Investoinnit ja kannattavuus

*Erika Winqvist, Toni Taavitsainen*

#### Leipomoinvestointi

Palopuron agroekologisen symbioosin leipomoinvestointi on suuruudeltaan noin 600 000 - 700 000 euroa. Se sisältää uuden, noin 350-400 neliömetrin suruisen leipomohallin koneineen ja laitteineen. Leipomorakennus sisältää myös viljan mylläystilan. Hallin rakentamisesta vastaa Samsara Oy. Leipomorakennus sijoitetaan tilan välittömään läheisyyteen.

Osana leipomon rakentamisen rahoittamista Osuuskunta Ehta Raha toteutti hankkeessa leipomon joukkorahoituskampanjan 4.6. – 30.11.2016. Joukkorahoituskampanjassa oli mahdollisuus merkitä leipomon osakkeita, osallistua joukkovelkakirjalainaan ja tehdä tuki-osto. Osakkeiden hinta oli 100 € kappale ja joukkovelkakirjalainan minimisumma 100 €. Tukioston saattoi tehdä 10 eurolla. Joukkorahoituskampanjalla kerättiin yhteensä 110 990 euroa. Loppuosa tarvittavasta rahoituksesta aiotaan kerätä pankkilainalla ja mahdollisesti uusilla osakeanneilla. Leipomon rakentamiseen haetaan myös investointitukea Uudenmaan ELY-keskuksesta.

Leipomon tilalle siirtymisen yhtenä syynä on paremman taloudellisen kannattavuuden löytäminen uudella toimintamallilla.

### Lähtökohdat kannattavaan biokaasuntuotantoon

Yleisesti tilakohtaisen biokaasulaitoksen kannattavuuteen vaikuttavat:

- käytettävissä olevat syötteen
- laitoksen oikea mitoitus sekä syötteiden ja tilan muiden toimintojen kannalta sopiva teknologia
- käsittelyjäännöksen lannoitekäytön täysimääräinen hyödyntäminen
- biokaasun energiasisällön optimaalinen hyödyntäminen
- mahdollisuudet investointitukeen

Tässä järjestyksessä tarkasteltiin myös Palopuron biokaasulaitostoiminnan reunaehtoja sekä vahvuuksia. Lähtökohtana biokaasulaitoksen suunnittelulle ovat käytettävissä olevat syötteen. Näiden perusteella valittiin sopiva biokaasuprosessi (märkäprosessi, korkean kiintoaineen prosessi tai kuivaprosessi) sekä mitoitettiin laitos. Palopuron tapauksessa käytettävissä olevat syötteen olivat viherlannoitusnurmi, hevosenlanta ja kananlanta. Alusta asti oli selvää, että tilalle haettiin kuivaprosessia. Panostyyppinen prosessi puolestaan sopi tilan muihin toimintoihin. Kasvinviljelytilalla ei synny jatkuvasti lantaa vaan viherlannoitusnurmi korjataan pelloilta kaksi- tai kolme kertaa kesän aikana. Panostyyppinen reaktori ei myöskään vaadi jatkuvaa syöttöä ja siihen liittyvää työtä. Tarkentavien keskusteluiden ja kokonaisvaltaisen vertailun jälkeen Palopuron symbioosin kannalta sopivimmaksi laitevalmistajaksi valikoitui Metener Oy ja laitokseksi panostyyppinen kuivaprosessi. Alkuperäistä tarjouspyynnössä mainittua syötemäärää tosin kasvatettiin, koska laitos olisi muuten käynyt vajaakapasiteetilla ja kannattavuus olisi tämän takia jäänyt heikoksi.

Syötteistä syntyy biokaasureaktorissa paitsi biokaasua myös käsittelyjäännöstä. Käsittelyjäännöksen lannoitekäyttö on usein avainasemassa, kun tilalle haetaan omaa, uusia tuotavaa energiantuotantoa. Suomessa biokaasun kanssa tilan energiantuotannossa kilpailee erityisesti metsähake. Käsittelyjäännös kuitenkin tarjoaa tilalle myös tilan ravinneomavaraisuuden parantumista, mikä on erityisen tärkeää luomuviljelyssä. Palopurolla viherlan-

noitusnurmen kierrättäminen biokaasulaitoksen kautta nostaa nurmibiomassan liuenneen typen määrää sekä mahdollistaa lannoituksen kohdistamisen niille peltolohkoille, joissa sitä eniten tarvitaan.

Syntyvän biokaasun energiasisältöä voidaan hyödyntää monin tavoin. Yksinkertaisimmillaan biokaasua voidaan polttaa lämpökattilassa lämmöksi. Jonkin verran korkeamman investoinnin vaatii yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto (CHP, *combined heat and power*). Paras kannattavuus, mutta myös korkein investointihinta on biokaasun puhdistamisella biometaaniksi eli liikennekaasuksi. Palopurolla biokaasun hyödyntämiskohteiksi tunnistettiin raakakaasun käyttö viljan kuivaukseen ja leipomon leivinuuneissa sekä puhdistus liikennekaasuksi.

### Palopuron biokaasulaitoksen kannattavuus

Palopurolle perustettavan biokaasulaitoksen liiketoimintamallia rakennettiin yhdessä Envitecpolis Oy:n kanssa. Yhteistyön tuloksena päädyttiin liiketoimintamalliin, jossa biokaasua myydään kohteessa lämmöntuotantoon (viljankuivaamo + leipomo, 500 MWh) ja loppu biokaasua puhdistetaan liikennekaasuksi (1670 MWh), jota myydään sekä jakelijalle että suoraan tilalta heti laitoksen käynnistysvaiheessa. Biokaasulaitoksen vaatima lämmitysenergia (310 MWh) tuotetaan biokaasusta, mutta biokaasulaitoksen ja liikennekaasun puhdistuksen vaatima sähköenergia ostetaan verkosta. Biokaasulaitoksen energiantuotantokaavio on esitetty kuviossa 6 (sivu 38).

Yrityspohjalta toimiva biokaasulaitos ja maatila tulevat tekemään tiivistä yhteistyötä. Tila sitoutuu pitämään riittävän määrän peltopinta-alaa viherlannoitusnurmella, jonka sadon biokaasulaitoksen palkkaama urakoitsija korjaa ja säilöo biokaasulaitoksen yhteyteen peltoaumoihin. Biokaasulaitos ei maksa nurmibiomassasta. Biokaasulaitoksen palkkaama urakoitsija huolehtii myös laitoksen täytöstä ja tyhjennyksestä. Biokaasulaitos rakentaa asianmukaisen katetun varastointitilan käsittelyjäänökselle. Tila levittää käsittelyjäänöstä pelloille ennen kasvukauden alkua sekä kasvukauden aikana. Tila ei maksa käsittelyjäänöksestä.

Envitecpolis Oy teki osana projektia perustettavalle biokaasulaitokselle liiketoimintasuunnitelman ja kannattavuusarvion.. Biokaasulaitoksen suurin yksittäinen käyttökulu on nurmen korjuu, johon pyydettiin tarjousta lähiseudun urakoitsijalta. Lisäksi käyttökuluja muodostuu reaktorin täytöstä ja tyhjennyksestä, ylläpidosta ja huollosta, hallinnollisista kuluista ja ostosähköstä.

Biokaasulaitoksen merkittävin tulon lähde on puhdistetun biometaanin myynti liikennekaasuna. Lopullisena tavoitteena on, että kaikki kaasu saataisiin myytyä suoraan tilalta, jolloin kaasusta saadaan paras myyntitulo. Yhteensä liikennekaasun myyntimäärä vastaa



noin 120 henkilöauton vuosikulutusta (20 000 km / vuosi, vastaa bensiinin kulutusta 7 l / 100 km). Lisäksi tuloja saadaan raakakaasun myynnistä viljan kuivaukseen ja leipomoon sekä jonkin verran myös hevosen- ja kananlannan vastaanottamisesta porttimaksuina.

Biokaasulaitoksen investointi koostuu seuraavista osista: 2 reaktori-siiloa, perkolaatio-säiliö, kaasuvälikamari, tekninen tila (jossa kaasupoltin laitoksen omaan lämmöntuotantoon), kaasun puhdistusyksikkö, jakeluasema maksupäätteellä, laakasiilo hevosenlannalle, kaasuputki tilakeskukseen, asfaltointi ja maarakentaminen. Kaasun siirrosta ja siirtoon liittyvästä infrastruktuurista (pulloputterit) vastaa jakelija.

Biokaasulaitosinvestointia varten on perustettu yritys ”Palopuron Biokaasu Oy”, jossa yhtenä osakkaana on paikallinen sähköyhtiö Nivos Oy. Investointitukihakemus jätettiin tässä raportoitavan hankkeen aikana työ- ja elinkeinoministeriölle. Maaseudun yritystuen (MMM) investointituki ei soveltunut tähän investointiin, koska uudessa perustettavassa yrityksessä on mukana yhteistyökumppanina Nivos Oy, jota ei lasketa maaseutuyritykseksi.

### 3.7 Yhteiskunnallinen ja sosiaalinen vaikutus

*Kari Koppelmäki, Elina Virkkunen ja Sophia Hagolani-Albov*

Aika on mitä ilmeisimmin kypsä paikallisten ruokajärjestelmien kehittämiseksi, energiaomavaraisuudelle ja tämän tyyppiselle yrittäjien yhteistyölle. Hanke sai paljon huomiota julkisuudessa ja oli esillä monessa yhteydessä ravinteiden kierrätyksen esimerkkinä. Hanketta käytiin esittelemässä lukuisissa seminaareissa ja tapahtumissa eri puolilla maata ja myös ulkomailla.

Paikalliset ruokajärjestelmät ja hajautettu energiantuotanto eri muodoissaan luovat pohjan kansalliselle huoltovarmuudelle. Lisäksi ne virkistävät aluetaloutta luomalla työpaikkoja esimerkiksi maataloustuotteiden jatkojalostajille, energia-alan laitevalmistajille ja asentajille. Raha kiertää paikallisesti sen sijaan, että tuotantopanoksia, kuten fossiilisia polttoaineita, ostettaisiin ulkomailta.

Palopuron symbioosissa monet palaset ovat loksahdelleet kohdalleen ja symbioosi täydentyy edelleen. Hankeaikana perustettiin kaksi uutta osakeyhtiötä, Palopuron Biokaasu Oy ja Palopuron Luomukaura Oy. Kananmunia tuottava Mäntymäen Luomutila aloitti toimintansa, ja Samsaran ja Ehta Rahan joukkorahoituskampanja toi alkupääomaa leipomom rakentamiselle. Symbioosi täydentyi uudella ulottuvuudella, kun Knehtilän yhteydessä aloitti toimintansa Green Care –yritys islanninhevosineen.

Suuri merkitys on yhteisöllisyydellä, joka luo yhteishenkeä ja uusia ideoita mukana oleville yrityksille. Sosiaalinen pääoma karttuu, ja se näkyy innostuneena ilmapiirinä, uusien ideoiden jalostumisena liiketoiminnaksi ja yritysten talouden kohentumisena. Tämä onkin symbioosin yksi päämäärä: jokainen yritys saa lisähyötyä toimimalla yhdessä.

Myös kuluttajat kaipaavat yhteyttä ruoantuotantoon ja tuottajiin. Knehtilän maatilan markkinoilla on vierailut usean kerran vuodessa jopa tuhat henkeä. Ruokaosuuskuntien ja hankintarenkaiden suosio on nousussa, ja kiinnostus ruoan laatuun ja alkuperään kasvaa. Viljelypalstat tuovat mahdollisuuden kokeilla oman ruoan viljelemistä ja kokea yhteisöllisyyttä. Samalla kasvaa kuluttajien arvostus ruokaa ja ruoan tuottamista kohtaan.

Palopuron AES synnytti yhteiskuntamaantieteellisesti orientoituneen väitöskirjahankkeen (Hagolani-Albov 2017), jonka tavoitteena on tätä pilottia käyttäen selvittää paikallisen ruoan, ruoan paikallisuuden merkityksiä kuluttaja-kansalaisille. Tämä liittyy yhtäältä paikallisen ruoan tuottajien tarpeeseen tunnistaa ne laadulliset ominaisuudet ja ulottuvuudet, joiden varaan kysyntä ja mahdollinen yhteisömaatalouden tyyppinen yhteys ruoan käyttöön rakentuu. Toisaalta "paikallisuuden" ymmärtäminen on tärkeää siihen liittyvän (ruoka-) politiikan teolle. Paikan ja sijainnin merkitys paikallisuuden kokemiselle on suuri, mutta samalla paikallisuuden maantieteellinen mielikuva ja todellinen ulottuvuus on vaihteleva. Mikä on kuluttaja-kansalaisen maantieteellinen mielikuva paikallisesta, mistä seikoista se riippuu, ja mitä se merkitsee paikallisuuden kehittämiseksi ruokapoliittisena agendana, esim. lähiruoka-teemassa (vrt. VN 2013, MMM 2017)?

## 4 Kelpaako malliksi, miten jatketaan?

*Juha Helenius ja Kari Koppelmäki*

Palopuron AES antaa perusteet vähintäänkin kehittää ja tutkia eteenpäin ajatuksella, että agroekologinen symbioosi voi olla tulevaisuuden kestävä ruoantuotannon malli. Se voi jopa olla nykyistä esibiotalousaikaan ja kierrätystaloutta edeltävään aikaan lukkiutunutta keskittynyttä järjestelmää korvaava malli. Tässä raportoitu puolentoista vuoden kehittämishanke ei vielä sisältänyt riittävästi yritystaloudellista tarkastelua riskianalyysiin, eikä etenkin alue- tai kansantaloudellista arvioita toimintamallin yleistettävyydestä. Sosiokulttuurisen kestävyuden näytöt jäivät nekin enintään epäsuoriksi. Kuitenkin varovaisestikin arvioiden AES tarjoaa merkittävän mahdollisuuden yhteisöjen, maaseudun ja ruokakulttuurin kehittämiseen.

Ympäristöllisen kestävyuden ulottuvuus, siinä laajuudessa kuin se sisältyy sekä biotalouden että kierrätysmaatalouden agendoihin, tuli riittävästi tarkastelluksi: on selvää, että kokonaisuutena AES-toimintamalli edustaa ympäristöllisesti kestävästä kehityksestä. Energian – ja sitä kautta myös kasvihuonevaikutuksen – osalta AES on suorastaan läpimurto. Tuotetun ruoan määrästä tinkimättä tuotanto muuttuu valmiiden elintarvikkeiden jakeluun mukaan lukien, ei vain energiaomavaraiseksi, vaan energian nettotuottajaksi. Energia tuotetaan teknologialla, jossa tuotanto palvelee täysimääräisesti myös ravinteiden kierrätyksiä ja ravinteiden käytön tehostumista, mikä merkitsee pienentyneitä ravinnekuormituksen potentiaalia.

Palopuron pilotin kannalta onneksaasti paikallinen energiayhtiö näki hajautetussa biotuotannossa mahdollisuuden. Nivos Oy:llä on suunnitelmia hajautetun biokaasutuotannon monistamisesta heidän toiminta-alueellensa. Samalla tuli selväksi, että biokaasutuotannon investointeja ei voida jättää pelkästään viljelijöiden vastuulle. Toimintamalli, jossa viljelijöiden roolina on tuottaa biomassaa ja maatalouden ulkopuolisen tahon roolina hoitaa energiantuotantoa, on monistettavuuden näkökulmasta realistisempi. Aluksi tarvitaan hyviä esimerkkejä onnistuneista yhteistyömalleista ja kokemuksia teknologian luotettavuudesta. Tulevaisuuden AES -tyyppiset symbioosit rakentuvat aina paikall-

llisista palikoista ja resursseista, jotka voivat vaihdella alueelta toiselle. Palopuron pilotti viitoitti niille tien.

Maatilat ovat yhä pääasiassa raaka-aineiden tuottajia teollisuudelle. Useilla tiloilla ei ole yhteyttä maatalouden harjoittamisen kautta paikalliseen yhteisöön. Viljelyyn tarvittavat tuotantopanokset ja teknologia tulevat pääasiassa ulkomailta ja tuotteet myydään teollisuudelle. Suomessa kasvinviljelytilat eivät merkittävästi työllistä tilan ulkopuolista väkeä varsin suurillakaan tiloilla. Palopuron AES-kaltaisessa toimintatavassa maatila on läheisessä yhteydessä paikalliseen yhteisöön. Tilojen suoramyynä, elintarvikkeiden jalostus ja bioenergian tuotanto lisäävät paikallisia työpaikkoja ja urakointimahdollisuuksia.

Julkisilla toimijoilla on merkittävä rooli paikallisen ravinteiden kierrätyksen edistämässä. Kunnalliset energialaitokset voivat vaikuttaa investoinneillaan merkittävästi maatalojen sivuvirtojen hyödyntämismahdollisuuksiin paikallisesti. Lisäksi julkiset ruokahankinnat tukevat ravinteiden kierrätykseen perustuvaa maataloutta, jos hankinnat perustuvat paikalliseen tuotantoon ja jalostukseen sekä ruokahävikin biomassat hyödynnetään kierrätysravinteina esimerkiksi biokaasutuksen jälkeen.

Palopuron AES-pilotin kehittämiskokemusten perusteella suosittelemme, että agroekologisten symbioosien kehittämistä jatketaan, ajatellen mallin monistamista paikallisuuteen perustuvien ruokajärjestelmien runkona. Kehittämistä tulisi siivittää julkisin varoin, mihin edellä esitellyt saavutettavissa olevat julkiset hyödyt antavat perustelun. Samalla tulee huolehtia, että uudet hankkeet ja monistaminen säilyttävät toimijälähtöisyyden ja taloudellisen kannattavuuden, joka on onnistuneen symbioosin perusedellytys.

## LÄHTEET

- Ahokas, J. (toim.) 2013. Maatilojen energiankäyttö, ENPOS-hankkeen tulokset. Department of Agricultural Sciences. Publications 15. University of Helsinki. Faculty of Agriculture and Forestry. <http://enpos.weebly.com/materiaali.html>
- Alitalo, A., M. Niskanen & E. Aura 2015. Biocatalytic methanation of hydrogen and carbon dioxide in a fixed bed bioreactor. *Bioresource Technology* 196: 600-605.
- Anglade, J., Billen, G., & Garnier, J. 2015. Relationships for estimating N<sub>2</sub> fixation in legumes: incidence for N balance of legume-based cropping systems in Europe. *Ecosphere*, 6(3), 1-24.
- Anon. 2015a. A roadmap for the development of agro-ecology. Alim'agri 21/09/2015. Site du Ministère de L'Agriculture, de L'Agroalimentaire et de la Forêt. <http://agriculture.gouv.fr/roadmap-development-agro-ecology>
- Anon. 2015b. Ratkaisujen Suomi. Pääministeri Juha Sipilän hallituksen strateginen ohjelma. 29.5.2015. Hallituksen julkaisusarja 10/2015.
- Bachmann, S., Wentzel, S. & Eichler-Löbermann, B. 2011. Codigested dairy slurry as a phosphorus and nitrogen source for *Zea mays* L. and *Amaranthus cruentus* L. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 174: 908-915.
- Bengtsson, J., Ahnström, J. & Weibull A.-C. 2005. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 42: 261-269.
- Benoit, M., Garnier, J., Billen, G., Tournebise, J., Gréhan E. & Mary, B. 2015. Nitrous oxide emissions and nitrate leaching in an organic and a conventional cropping system (Seine basin, France). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 213: 131-141.
- Buckwell, A. & Nadeu, E. 2016. Nutrient recover and reuse (NRR) in European agriculture. A review of the issues, opportunities, and actions. RISE Foundation, Brussels.
- Burkhardt, M. & Busch, G. 2013. Methanation of hydrogen and carbon dioxide. *Applied Energy* 111: 74-79.
- Chertow, M.R. 2000. Industrial symbiosis: literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and Environment* 25: 313-317.
- Christensen, T.H. 2011. Solid waste technology & management, Volume 1 & 2. Chichester, Iso-Britannia. John Wiley & Sons. 1026 s.
- Crews, T.E. & Peoples, M.B. 2004. Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 102: 279-297.
- Dahlin, A. S., & Stenberg, M. 2010a. Cutting regime affects the amount and allocation of symbiotically fixed N in green manure leys. *Plant and soil*, 331(1-2), 401-412.
- Dahlin, A. S., & Stenberg, M. 2010b. Transfer of N from red clover to perennial ryegrass in mixed stands under different cutting strategies. *European journal of agronomy*, 33(3), 149-156.
- Dahlin, S.A., Stenberg, M. & Marstorp, H. 2011. Mulch N recycling in green manure leys under Scandinavian conditions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 91: 119-129
- EASAC 2015. Ecosystem services, agriculture and neonicotinoids. EASAC policy report 26. European Academies Science Advisory Council
- Eerola, M., Helenius, J., Koppelmäki, K., Kivelä, J., Virkkunen, E. & Zukale, P. 2015. Ravinne- ja energiaomavarainen lähiruuan tuotanto: Palopuron agroekologinen symbioosi. Hankesuunnitelma, liite rahoitusesitykseen Ympäristöministeriön ohjelmassa Ravinteiden kierrätyksen edistäminen ja saaristomeren tilan parantaminen, 27.3.2015. 3 s.
- Ekholm, P., Rankinen, K. & Rita, H. ym. 2015. Phosphorus and nitrogen fluxes carried by 21 Finnish agricultural rivers in 1985-2006. *Environmental Monitoring and Assessment* 187: 216. doi:10.1007/s10661-015-4417-6
- Ekholm, P., Turtola, E., Grönroos, J., Seuri, P. & Ylivainio, K. 2005. Phosphorus loss from different farming systems estimated from soil surface phosphorus balance. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 110: 266-278.
- Ernst, G., Muller, A., Göhler, H. & Emmerling, C. 2008. C and N turnover of fermented residues from biogas plants in soil in the presence of three different earthworm species (*Lumbricus terrestris*, *Aporrectodea longa*, *Aporrectodea caliginosa*). *Soil Biology & Biochemistry* 40: 1413-1420.
- Ervasti, S., Kapuinen, P. & Winqvist, E. 2015. Typpilannoitteiden valmistus lantaperäisistä materiaaleista, TÄSMÄTYYPPI. Loppuraportti 3/2014-12/2015. Luonnonvarakeskus.
- EU 2014. EU agricultural income 2014 – first estimates. EU Agricultural and Farm Economics Briefs 3, December 2014.
- EUROSTAT 2017. Gross nutrient balance in agricultural land. Luxembourg: Statistical Office of the European Communities 2014. Regional statistics. [http://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-datasets/-/AEI\\_PR\\_GNB](http://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-datasets/-/AEI_PR_GNB)

- FAO & RUAF Foundation 2015. A vision for city region food systems – building sustainable and resilient city regions. 8 p. <http://www.fao.org/3/a-i4789e.pdf>
- Foley, J., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, I.C., Ramanakutty, N. & Snyder, P.K. 2005. Global consequences of land use. *Science* 309: 570-574.
- Foley, J. A., Ramanakutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., Balzer, C., Bennett, E.M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S. & Tilman, D. 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478: 337-342.
- Foster, J.B. 1999. Marx's Theory of Metabolic Rift: Classical Foundations for Environmental Sociology. *American Journal of Sociology* 105, no 2:366-405
- Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T.A., Creamer, N., Harwood, R., Salomonsson, L., Helenius, J., Rickerl, D., Salvador, R., Wiedenhoef, M., Simmons, S., Allen, P., Altieri, M., Flora, C. & Poincelot, R. 2003. Agroecology: the ecology of food systems. *Journal of Sustainable Agriculture* 22: 99-118
- Frazer, E.D.G. & Rimas, A. 2010. *Empires of Food. Feast, Famine, and the Rise and Fall of Civilizations*. Free Press, New York. (Ref. IPES-Food 2016)
- Frosch, R.A. & Gallopoulos, N.E. 1989. Strategies for manufacturing. *Scientific American* 261: 144-152.
- Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S.M. & Toulmin, C. 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327: 812-818.
- Granstedt, A., Scheider, T., Seuri, P. & Thomsson, O. 2008. Ecological recycling agriculture to reduce nutrient pollution to the Baltic Sea. *Biological Agriculture and Horticulture* 26: 279-307.
- Graedel, T.E. 1996. On the concept of industrial ecology. *Annual Review of Energy and Environment* 21: 69-98.
- Graedel, T.E. & Allenby, B.R. 1995. *Industrial Ecology*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall.
- Gu, Baojing, Allison M. Leach, Lin Ma, James N. Galloway, Scott X. Chang, Ying Ge, and Jie Chang. "Nitrogen footprint in China: food, energy, and nonfood goods." *Environmental science & technology* 47, no. 16 (2013): 9217-9224.
- Grönman, K., Pyyä, J., Virtanen, Y., Kurppa, S., Soukka, R., Seuri, P., Finér, A. & Linnanen, L. 2016. Nutrient footprint as a tool to evaluate the nutrient balance of a food chain. *Journal of Cleaner Production* 112: 2429-2440.
- Grönroos, J. & Seppälä, J. (toim.) 2000. *Maatalouden tuotantotavat ja ympäristö*. Suomen Ympäristö 431, 244 s. ISBN 952-11-0771-5
- 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 & Environment* 117: 109-118.
- Hagolani-Albov, S. 2017. Where is "Local" – Geographic imagination and agroecological symbiosis. Paper presented in Critical Agrarian Studies (ICAS) International Colloquium, The Future of Food and Challenges for Agriculture in the 21st Century: Debates about who, how and with what social, economic and ecological implications we will feed the world, 24-26 April 2017, Álava, Basque Country, Europe.
- Hatch, D.J., Goodlass, G., Joynes A. & Shepherd, M.A. 2007. The effect of cutting, mulching and applications of farmyard manure on nitrogen fixation in a red clover/grass sward. *Bioresource Technology* 98: 3243-3248
- Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V. & Regina, K. 2013. Declining trend in carbon in Finnish cropland soils in 1974-2009. *Global Change Biology* 19: 1456-1469. doi: 10.1111/gcb.12137
- Holm-Nielsen, J.B., Al Seadi, T. & Oleskovicz-Popiel, P. 2009. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource Technology* 100: 5478-5484.
- Honkajoki Oy 2017. Honkajoki Oy:n agroekologinen malli – toisen jäte on toisen raaka-aine. Yhtiön verkkosivu: <http://www.honkajokioy.fi/julkaisut?issue=1> (vierailtu 23.1.2017)
- IPES-Food 2016. From uniformity to diversity: a paradigm shift from industrial agriculture to diversified agroecological systems. IPES International Panel of Experts on Sustainable Food Systems. [www.ipes-food.org](http://www.ipes-food.org)
- Irz, X., Jansik, C., Kotiranta, A., Pajarinen, M., Puukko, H. & Tahvanainen, A.-J. 2017. Suomalaisen elintarvikeketjun menestyksen avaintekijät. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisu 7/2017. Valtioneuvoston kanslia.
- Juvan Bioson Oy 2017. Yritys. Verkkosivu: <http://www.bioson.fi/yritys.html> (vierailtu 13.3.2017)
- Kettunen, H., Heliölä, J., Lehtomäki, J. & Kuussaari, M. 2014. Maatalousmaiseman rakenteen muutokset ja niiden merkitys lajiston monimuotoisuudelle. Teoksessa: J. Aakkula & J. Leppänen (toim.) *Maatalouden ympäristötuen vaikuttavuuden seuranta tutkimu (MYTVAS 3) Loppuraportti*. Maa- ja metsätalousministeriö 3/2014, luku 3.7.4, s. 133-149.
- Kivinen, S., Luoto, M., Kuussaari, M. & Helenius, J. 2006. Multi-species richness of boreal agricultural landscapes: effects of climate, biotope, soil and geographical location. *Journal of Biogeography* 33: 862-875.
- Kloppenborg, J. Jr., Hendrickson, J. & Stevenson, G.W. 1996. Coming in to the Foodshed. *Agriculture and Human Values* 13: 33-42.
- Koppelmäki, K., Eerola, M., Albov, S., Kivelä, J., Helenius, J., Winquist, E. & Virkkunen, E. 2016. 'Palopuro Agroecological Symbiosis' A pilot case study on local sustainable food and farming (Finland). In: P. Rytönen & U. Härd (eds.) *Proceedings, Challenges for the New Rurality in a Changing World*. 7th Int. Conf. Localized Ag-

- ri-Food Systems, 8-10 May 2016 Stockholm, Sweden. COMREC Studies in Environment and Development 12: 171-172. <http://sh.diva-portal.org/smash/get/diva2:956067/FULLTEXT01.pdf>
- Kremen, C. 2015. Reframing the land-sparing/land-sharing debate for biodiversity conservation. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1355: 52-76.
- Kuosmanen, T., Niemi J. 2009. What explains the widening gap between the retail and producer prices of food. *Agricultural and Food Science* 317-331.
- Laine, A., Högnäsbacka, M., Kujala, M., Niskanen, M., Jauhiainen, L. & Nikander, H. 2015. Virallisten lajikekokeiden tulokset 2007-2014. *Luke* 3/2015. [http://www.luke.fi/wp-content/uploads/3\\_2015\\_Virallisten\\_lajikekokeiden\\_tulokset\\_2007-2014.pdf](http://www.luke.fi/wp-content/uploads/3_2015_Virallisten_lajikekokeiden_tulokset_2007-2014.pdf)
- Leach, A. M., Galloway, J. N., Bleeker, A., Erismann, J. W., Kohn, R., & Kitzes, J. 2012. A nitrogen footprint model to help consumers understand their role in nitrogen losses to the environment. *Environmental Development* 1: 40-66.
- Lemola, R., Esala, M. & Turtola, E. 2010. Luomuviljelyn mahdollisuudet vesistökuormituksen vähentäjänä. A. Happonen (toim.) *Maataloustieteen päivät 2010*, 12.-13.1.2010, Viikki, Helsinki: esitelmä- ja posteritivistelmät. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 27, s. 63.
- Li, X.X., Petersen, S.O., Sørensen, P. & Olesen, J.E., 2014. Effects of contrasting catch crops on nitrogen availability and nitrous oxide emissions in an organic cropping system. *Agriculture Ecosystems & Environment* 199, 382-393.
- Luke 2016. Tilastotietokanta: Käytössä oleva maatalousmaa ELY-keskuksittain. [http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE\\_\\_02%20Maatalous\\_\\_04%20Tuotanto\\_\\_22%20Kaytossa%20oleva%20maatalousmaa/01\\_Kaytossa\\_oleva\\_maatalousmaa\\_ELY.px/?rxid=bff9dfae-dd44-4e36-998a-fdeef2e8a8ef](http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__02%20Maatalous__04%20Tuotanto__22%20Kaytossa%20oleva%20maatalousmaa/01_Kaytossa_oleva_maatalousmaa_ELY.px/?rxid=bff9dfae-dd44-4e36-998a-fdeef2e8a8ef)
- Luke, Luomusatusotilasto 2016 [verkkójulkaisu]. Helsinki: Luonnonvarakeskus [viitattu: 5.3.2017]. Saantitapa: <http://stat.luke.fi/luomusatusotilasto>
- Luostarinen, S. (toim.) 2013. Biokaasuteknologiaa maataloilta I. MTT Raportti 113/2013.
- Luostarinen, S. 2015. Biokaasuprosessit ja laitostaseet. Teoksessa: M. Kymäläinen & O. Pakarinen (toim.) *Biokaasuteknologia - raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen*. Suomen Biokaasuyhdistys ry, Hämeen Ammattikorkeakoulu (HAMK), Hämeenlinna 2015, s. 82-93.
- Luostarinen, S., Logrén, J., Grönroos, J., Lehtonen, H., Pavola, T., Rankinen, K., Rintala, J., Salo, T., Ylivainio, K. & Järvenpää, M. 2011. Lannan kestävä hyödyntäminen. MTT Raportti 21.
- Luostarinen, S. & Pyykkönen, V. 2013. *Maatilojen biokaasulla energiaa, päästövähennyksiä ja ravinnekiertoa*. Ilmastonmuutos ja maaseutu –hanke, Tietokortti 22.11.2013.
- Markussen, M.V. & Østergård, H. 2013. Energy Analysis of the Danish Food Production System: Food-EROI and Fossil Fuel Dependency. *Energies* 6:4170-4186.
- Maa- ja puutarhatalouden energiankulutus [verkkójulkaisu]. 2014. Helsinki: Luonnonvarakeskus [viitattu: 23.1.2017]. Saantitapa: <http://stat.luke.fi/tilasto/3391>
- Marx, K. 1867. *Das Kapital, Kritik der politischen Ökonomie*. III Band. Verlag von Otto Meisner, Hamburg.
- McClintock, N. 2010. Why farm the city? Theorizing urban agriculture through a lens of metabolic rift. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society* 3, 191-207.
- MMM 2017. *Ruoka 2030. Suomi-ruokaa meille ja maailmalle*. Valtioneuvoston selonteko ruokapolitiikasta. Maa- ja metsätalousministeriö.
- Moore, J.W. 2000. Environmental crises and the metabolic rift in the world-historical perspective. *Organization & Environment* 13: 123-157.
- Mäkinen, H., Himanen, S. & Rimhanen, K. 2012. Juvan Bioson Oy – tehokkaampaan ravinnekiertoon paikallisella yhteistyöllä. *VILMA Ilmastoviiisaiat ratkaisuja maaseudulle –hanke*. Verkkójulkaisu: <https://www.ilma-se.fi/site/alueelliset-esimerkit/juvan-bioson-oy-2/>
- Möller, K., & Müller, T. 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: a review. *Engineering in Life Sciences* 12: 242-257.
- Möller, K. & Stinner, W. 2009. Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and on gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxides). *European Journal of Agronomy* 30: 1–16.
- Möller, K., Schulz, R. & Müller, T. 2010. Substrate inputs, nutrient flows and nitrogen loss of two centralized biogas plants in southern Germany. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 87:307–325.
- Möller, K., Schulz, R. & Müller, T. 2011. Effects of setup of centralized biogas plants on crop acreage and balances of nutrients and soil humus. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 89: 303–312.
- Möller, K., Stinner, W., Deuker, A. & Leithold, G. 2008. Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on nitrogen cycle and crop yield in mixed organic dairy farming systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 82: 209–232.
- Niemeläinen, O., Hyvönen, T., Jauhiainen, L., Lötjönen, T., Virkkunen, E. & Uusi-Kämpä, J. 2014. Hoidettu viljelmäntö pelto biokaasuksi – biomassan sopivuus syötteeksi ja korjuun vaikutukset tukiohjelmien muiden tavoitteiden saavuttamiseen. HVP biokaasuksi hankkeen loppuraportti. *Makera Dnro 2619/312/2009*.
- N-Print, International Nitrogen Initiative project. *Ravinnejalan jälkitutkijoiden verkosto ja viestintäkanava*, verkkovierailu 3.3.2017. [www.N-print.org](http://www.N-print.org)

- Oita, A., Malik, A., Kanemoto, K., Geschke, A., Nishijima, S. & Lenzen, M., 2016. Substantial nitrogen pollution embedded in international trade. *Nature Geoscience*, 9(2), pp.111-115.
- ProAgria 2017. Viljelykierrat kehittyneet monipuolisiksi ja kannattaviksi menetelmiksi – uudenlaiset viljelykierrat hyödyntävät esi-, alus- ja kerääjäkasvit, typen kierron ja vähentävät tautipainetta. ProAgria, verkkovierailu 7.4.2017, <https://www.proagria.fi/ajankohtaista/viljelykierrat-kehittyneet-monipuolisiksi-ja-kannattaviksi-menetelmiksi-uudenlaiset>
- Quakernack, R., Pacholski, A., Techow, A., Herrmann, A., Taube, F. & Kage, H. 2012. Ammonia volatilization and yield response of energy crops after fertilization with biogas residues in a coastal marsh of Northern Germany. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 160: 66–74.
- Reckling, M., Bergkvist, G., Watson, C.A., Stoddard, F.L., Zander, P.M., Walker, R.L., Pristeri, A., Toncea, I. & Bachinger, J. 2016. Trade-offs between economic and environmental impacts of introducing legumes into cropping systems. *Frontiers in Plant Science*, doi: 10.3389/fpls.2016.00669
- Regina, K., Lehtonen, H., Palosuo, T. & Ahvenjärvi, S. 2014. Maatalouden kasvihuonekaasupäästöt ja niiden vähentäminen. MTT Raportti 127. Maatalouden tutkimuskeskus.
- Regina K., Kaseva J., Esala M. 2013. Emissions of nitrous oxide from boreal agricultural mineral soils – statistical models based on measurements. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 164:131–136.
- Riesinger, P. & Herzog, I. 2010. Symbiotic nitrogen fixation in organically managed red clover-grass leys under farming conditions. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science* 60: 517-528.
- Ross, D.J., Tate, K.R., Speir, T.W., Stewart, D.J. & Hewitt, A.E. 1989. Influence of biogas-digester effluent on crop growth and soil biochemical properties under rotational cropping. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 17: 77–87.
- Ruokavisio 2016. Parasta ruokaa – hyvää elämää. Kansalaisryhmän raportti, 14 s. <http://blogs.helsinki.fi/ruokavisio/2016/02/29/ruokavisio/>
- Räty, M., Uusi-Kämppä, J., Yli-Halla, M., Rasa, K. & Pietola, L. 2010. Phosphorus and nitrogen cycles in the vegetation of differently managed buffer zones. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 86: 121–132.
- Salminen, R. 2013. Suljetun kierron konsepti. Ravinteiden, veden ja hiilidioksidin kierto energian- ja ruoantuotannossa. 2 s. [http://www.sybimar.fi/files/75/Sybimar\\_esite\\_Suljetun\\_kierron\\_konsepti.pdf](http://www.sybimar.fi/files/75/Sybimar_esite_Suljetun_kierron_konsepti.pdf)
- Salo T., Grönroos J., Luostarinen S., Kapuinen P., Manninen K., Rankinen K. & Myllyviita T. 2015. Lietelannan happokäsittely lannan ravinteiden käytön tehostamisen tukena. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 56/2015.
- Schneider, M.K., Lüscher, G., Jeanneret, P., Arndorfer, M., Ammari, Y., Bailey, D., Bálazs, K., Báldi, A., Choisis, J.-P., Dennis, P., Eiter, S., Fjellstad, W., Fraser, M.D., Frank, T., Friedel, J.K., Garchi, S., Geijzendorffer, I.R., Gomiero, T., Gonzalez-Bornay, G., Hector, A., Jerkovich, G., Jongman, R.H.G., Kakudidi, E., Kainz, M., Kovács-Hostyánszki, A., Moreno, G., Nkwiine, C., Opio, J., Oschatz, M.-L., Paoletti, M.G., Pointereau, P., Pulido, F.J., Sarthou, J.-P., Siebrecht, N., Sommaggio, D., Turnbull, L.A., Wolfrum, S. & Herzog, F. 2014. Gains to species diversity in organically farmed fields are not propagated at the farm level. *Nature Communications*. DOI: 10.1038/ncomms5151
- Seppälä, A., Kässi, P., Lehtonen, H., Aro-Heinilä, E., Niemeläinen, O., Lehtonen, E., Höhn, J., Salo, T., Keskitalo, M., Nysand, M., Winquist, E., Luostarinen, S. & Paavola, T. 2014. Nurmesta biokaasua liikennepolttoaineeksi. Bionurmi-hankkeen loppuraportti. MTT Raportti 151, 97 s.
- Sieling, K., Herrmann, A., Wienforth, B., Taube, F., Ohl, S., Hartung, E. & Kage, H. 2013. Biogas cropping systems: Short term response of yield performance and N use efficiency to biogas residue application. *European Journal of Agronomy* 47: 44–54.
- Smil, V. 2002. *Feeding the World. A challenge for the twenty-first century.* 360 p. MIT Press.
- Søgaard, H.T., Sommera, S.G., Hutchings, N.J., Huijsmans, J.F.M., Bussink, D.W. & Nicholson, F. 2002. Ammonia volatilization from field-applied animal slurry—the ALFAM model. *Atmospheric Environment* 36: 3309–3319.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., Carpenter, S.R., de Vries, W., de Wit, C.A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G.M., Persson, L.M., Ramanathan, V., Reyers, B. & Sörlin, S. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347. DOI: 10.1126/science.1259855
- Stevens, C.J., AM Leach, S Dale, JN Galloway. 2014. Personal nitrogen footprint tool for the United Kingdom. *Environmental Science: Processes & Impacts* 16: 1563-1569.
- Stevenson, F.J. & Cole, M.A. 1999. *Cycles of soil. Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients.* Toinen painos. John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey, USA. s 62–80.
- Stinner, W., Möller, K., & Leithold, G. 2008. Effects of biogas digestion of clover/grass-leys, cover crops and crop residues on nitrogen cycle and crop yield in organic stockless farming systems. *European Journal of Agronomy* 29: 125–134.
- Stoate, C., Boatman, N.D., Barralho, R.J., Rio Carvalho, C., de Snoo, G.R. & Eden, P. 2001. Ecological impacts of arable intensification in Europe. *Journal of Environmental Management* 63: 337-365.
- Sybimar Oy 2017. Integroitu vesiviljely ja bioenergian tuotanto. Yhtiön verkkosivu: [http://www.sybimar.fi/palvelut/suljetun\\_kierron\\_konsepti](http://www.sybimar.fi/palvelut/suljetun_kierron_konsepti) (vierailtu 23.1.2017)



- Syväsalo, E., Regina, K., Turtola, E., Lemola, R., Esala, M. 2006. Fluxes of nitrous oxide and methane, and nitrogen leaching from organically and conventionally cultivated sandy soil in western Finland. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 113: 342-348.
- Tambone, F., Genevini, P., D'Imporzano, G. & Adani, F. 2009. Assessing amendment properties of digestate by studying the organic matter composition and the degree of biological stability during the anaerobic digestion of the organic fraction of MSW. *Bioresource Technology* 100: 3140–3142.
- TEM 2014. Kestävää kasvua biotaloudesta. Suomen biotalousstrategia. TEM, VN, MMM, YM, OKM, STM, VM, VTT ja Sitra, 30 s. [www.biotalous.fi](http://www.biotalous.fi)
- Tilastokeskus 2017. Energian kokonaiskulutus, luku 1.8.1 Energian kokonaiskulutus sektoreittain. Sähköinen taulukko, Tilastokeskus, Helsinki. [http://pxweb2.stat.fi/sahkoiset\\_julkaisut/energia2016/html/suom0000.htm](http://pxweb2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2016/html/suom0000.htm)
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J. & Befort, B.L. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *PNAS* 108: 20260-20264.
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R. & Polansky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671-677.
- Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'Antonio, C., Dobson, A., Howarth, R., Schindler, D., Schlesinger, W.H., Simberloff, D. & Swackhamer, D. 2001. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science* 292: 281-284.
- Tilman, D. & Clark, M. 2014. Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature* 515: 518-522.
- Toivonen, M., Herzon, I. & Kuussaari, M. 2015. Differing effects of fallow type and landscape structure on the occurrence of plants, pollinators and birds on environmental fallows in Finland. *Biological Conservation* 181: 36-43.
- Trydeman Knudsen, M., Meyer-Aurich, A., Olesena, J.E., Chirinda, N. & Hermansen, J.E. 2014. Carbon footprints of crops from organic and conventional arable crop rotations – using a life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production* 64: 609–618.
- Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T.C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I., Vandermeer, J. & Whitbread, A. 2012. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation*, doi:10.1016/j.biocon.2012.01.068
- Tuck, S.L., Winqvist, C., Mota, F., Ahnström, J., Turnbull, L.A. & Bengtsson, J. 2014. Land-use intensity and the effects of organic farming on biodiversity: a hierarchical meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 51: 746-755.
- Tuomisto, H. & Helenius, J. 2008. Comparison of energy and greenhouse gas balances of biogas with other transport biofuel options based on domestic agricultural biomass in Finland. *Agricultural and Food Science* 17: 240-251.
- Tuomisto, H., Hodge, I.D., Riordan, P. & Macdonald, D.W. 2012a. Does organic farming reduce environmental impacts? – A meta-analysis of European research. *Journal of Environmental Management* 112: 309-320.
- Tuomisto, H.L., Hodge, I.D., Riordan, P. & Macdonald, D.W. 2012b. Comparing energy balances, greenhouse gas balances and biodiversity impacts of contrasting farming systems with alternative land uses. *Agricultural Systems* 108: 42-49.
- Turtola, E. & Ylivainio, K. (toim.) 2009. Suomen kotieläintalouden fosforikierto – säätopotentiaali maataloilla ja aluetasolla. *Maa- ja elintarviketalous* 138, 244 s.
- Turtola, E., Salo, T., Miettinen, A., Iho, A., Valkama, E., Rankinen, K., Virkajärvi, P., Tuomisto, J., Sipilä, A., Muurinen, S., Turakainen, M., Lemola, R., Jauhiainen, L., Uusitalo, R., Grönroos, J., Mylly, M., Heikkinen, J., Merilä, S., Bernal, J., C., Savela, P., Kartio, M., Salopelto, J., Finer, A. & Jaakkola, M. 2017. Hyötyä taseista: Ravinnetaseiden tulkinta ympäristön ja viljelyn hyödyksi. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 15/2017.
- TUTU 2014. Maaseudun alueidenkäytön tulevaisuuskuvat. TUTU Julkaisuja 1/2014. Tulevaisuus Tutkimuskeskus. [https://www.utu.fi/fi/yksikot/ffrc/julkaisut/tutu-julkaisut/Documents/Tutu\\_2014-1.pdf](https://www.utu.fi/fi/yksikot/ffrc/julkaisut/tutu-julkaisut/Documents/Tutu_2014-1.pdf)
- UNCCD, 2012. Zero net land degradation: a sustainable development goal for rio +20. UN Secretariat Policy Brief, May 2012, 30 p. United Nations Convention to Combat Desertification, Bonn.
- Uusi-Kämpä, J. & Jauhiainen, L. 2010. Long-term monitoring of buffer zone efficiency under different cultivation techniques in boreal conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 137 1-2: 75-85.
- Uusi-Kämpä, J. 2012: Long-term monitoring of buffer zone efficiency under different cultivation techniques in boreal conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 137(1/2):75-85.
- Valkama, E., Uusitalo, R. & Turtola, E. 2011. Yield response models to phosphorus application: a research synthesis of Finnish field trials to optimize fertilizer P use of cereals. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 91: 1-15.
- Valkama, E., Salo, T., Esala, M. & Turtola, E. 2013a. Grain quality and N uptake of spring cereals as affected by nitrogen fertilization under Nordic conditions: a meta-analysis. *Agricultural and Food Science* 22: 208-222.
- Valkama, E., Salo, T., Esala, M., & Turtola, E. 2013b. Nitrogen balances and yields of spring cereals as affected by nitrogen fertilization in northern conditions: A meta-analysis. *Agriculture, ecosystems & environment* 164: 1-13.

- van Dijk, K.C., Lesschen, J.P. & Oenema, O. 2015. Phosphorus flows and balances of the European Union Member States. *Science of the Total Environment*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.048>
- Virkkunen, E., Koppelmäki, K., Kivelä, J., Eerola, M. & Helenius, J. 2016. Agroekologinen symbioosi tuottaa lähiluomua ja bioenergiaa ravinteita kierrättäen. N. Schulman & J. Helin (toim.), *Maataloustieteen Päivät 2016*. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisu no 33. [www.smts.fi](http://www.smts.fi)
- VN 2013. Lähiruokaa – totta kai! Hallituksen lähiruokaohjelma ja lähiruokasektorin kehittämisen tavoitteet vuoteen 2020. Valtioneuvoston periaatepäätös 16.5.2013.
- Wentzel, S., Schmidt, R., Piepho, H-P., Semmler-Busch, U. & Joergensen, R.G. 2015. Response of soil fertility indices to long-term application of biogas and raw slurry under organic farming. *Applied Soil Ecology* 96: 99–107.
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D. & David, C. 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 503-515.
- Wheeler, T. & von Braun, J. 2013. Climate Change Impacts on Global Food Security. *Science* 341: 508-513
- Winqvist, E., Luostarinen, S., Kässi, P., Pyykkönen, V. & Regina, K. 2015. Maatilojen biokaasulaitosten kannattavuus ja kasvihuonekaasujen päästövähennys. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 36/2015. Luke.
- Winqvist, E., Kymäläinen, M., Kannisto, L., Känkänen, H., Niemeläinen, O. & Manni, K. 2016. Cover crops offer resources for biogas production. *Biokaasu* 1/2016, s. 18-19.
- Wood, S. & Cowie, A. 2004. A review of greenhouse gas emission factors for fertilizer production. IEA Bioenergy Task 38.
- Ylivainio, K., Sarvi, M., Lemola, R., Uusitalo, R. & Turtola, E. 2014. Regional P stocks in soil and in animal manure as compared to P requirement of plants in Finland. MTT Report 124, 37 p. <http://urn.fi/URN:IS-BN:978-952-487-505-9>
- Ypyä, J., Grönman, K., Virtanen, Y., Seuri, P., Soukka, R. & Kurppa, S. 2015. Menetelmäkuvaus ravinnejalanjäljen laskemiseksi. Laskentaesimerkinä elintarvikeketju. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 9/2015, 63 s. IS-BN: 978-952-326-008-5 (Verkkójulkaisu).

## LIITE

### Lannoitustaulukot ja levitysmäärät orgaanisille lannoitteille

Liitetaulukko 1. Liukoisen fosforin määrä lannoitteen eri levitysmäärillä (tuorepainoa t/ha) ja liukoisen fosforin pitoisuuksilla (kg/t tuorepainoa). Levitysraja: 30 kg liukoista fosforia hehtaarille viiden vuoden fosforin tasausjaksolla. Todennäköinen pitoisuus mädätteelle on noin 0.5 - 1 kg/tn, jolloin fosfori ei rajoita sen käyttöä alle 30 tonnia hehtaari levitysmäärällä.

Liukoisen fosforin pitoisuudet (kg/tn)										
Levitysmäärä (tn/ha)	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50
1	0.3	0.5	0.8	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.3	2.5
2	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
3	0.8	1.5	2.3	3.0	3.8	4.5	5.3	6.0	6.8	7.5
4	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
5	1.3	2.5	3.8	5.0	6.3	7.5	8.8	10.0	11.3	12.5
6	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0	13.5	15.0
7	1.8	3.5	5.3	7.0	8.8	10.5	12.3	14.0	15.8	17.5
8	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0
9	2.3	4.5	6.8	9.0	11.3	13.5	15.8	18.0	20.3	22.5
10	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0
11	2.8	5.5	8.3	11.0	13.8	16.5	19.3	22.0	24.8	27.5
12	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0	24.0	27.0	30.0
13	3.3	6.5	9.8	13.0	16.3	19.5	22.8	26.0	29.3	32.5
14	3.5	7.0	10.5	14.0	17.5	21.0	24.5	28.0	31.5	35.0
15	3.8	7.5	11.3	15.0	18.8	22.5	26.3	30.0	33.8	37.5
16	4.0	8.0	12.0	16.0	20.0	24.0	28.0	32.0	36.0	40.0
17	4.3	8.5	12.8	17.0	21.3	25.5	29.8	34.0	38.3	42.5
18	4.5	9.0	13.5	18.0	22.5	27.0	31.5	36.0	40.5	45.0
19	4.8	9.5	14.3	19.0	23.8	28.5	33.3	38.0	42.8	47.5
20	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0
21	5.3	10.5	15.8	21.0	26.3	31.5	36.8	42.0	47.3	52.5
22	5.5	11.0	16.5	22.0	27.5	33.0	38.5	44.0	49.5	55.0
23	5.8	11.5	17.3	23.0	28.8	34.5	40.3	46.0	51.8	57.5
24	6.0	12.0	18.0	24.0	30.0	36.0	42.0	48.0	54.0	60.0
25	6.3	12.5	18.8	25.0	31.3	37.5	43.8	50.0	56.3	62.5
26	6.5	13.0	19.5	26.0	32.5	39.0	45.5	52.0	58.5	65.0
27	6.8	13.5	20.3	27.0	33.8	40.5	47.3	54.0	60.8	67.5
28	7.0	14.0	21.0	28.0	35.0	42.0	49.0	56.0	63.0	70.0
29	7.3	14.5	21.8	29.0	36.3	43.5	50.8	58.0	65.3	72.5
30	7.5	15.0	22.5	30.0	37.5	45.0	52.5	60.0	67.5	75.0

Liitetaulukko 2. Kokonaistypen määrä eri levitysmäärillä (tuorepainoa t/ha) ja kokonaistypen pitoisuuksilla (kg/t tuorepainoa). Levitysraja: 170 kg kokonaistyppeä hehtaarille. Todennäköinen pitoisuus mädätteelle on noin 5–8 kg/tn, jolloin kokonaistyyppi rajoittaa mädätteen levitystä yli 20 tn tuorepainoa /ha tasolla.

Kokonaistypen pitoisuudet (kg/tn)										
Levitysmäärä (tn/ha)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
3	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
4	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
6	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
7	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
8	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80
9	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90
10	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
11	11	22	33	44	55	66	77	88	99	110
12	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
13	13	26	39	52	65	78	91	104	117	130
14	14	28	42	56	70	84	98	112	126	140
15	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
16	16	32	48	64	80	96	112	128	144	160
17	17	34	51	68	85	102	119	136	153	170
18	18	36	54	72	90	108	126	144	162	180
19	19	38	57	76	95	114	133	152	171	190
20	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
21	21	42	63	84	105	126	147	168	189	210
22	22	44	66	88	110	132	154	176	198	220
23	23	46	69	92	115	138	161	184	207	230
24	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240
25	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
26	26	52	78	104	130	156	182	208	234	260
27	27	54	81	108	135	162	189	216	243	270
28	28	56	84	112	140	168	196	224	252	280
29	29	58	87	116	145	174	203	232	261	290
30	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300

Liitetaulukko 3. Liukoisen typen määrä eri levitysmäärillä (tuorepainoa t/ha) ja liukoisen typen pitoisuuksilla (kg/t tuorepainoa). Levitysraja ei rajoita liukoista typpeä. Todennäköinen pitoisuus mädätteelle on noin 1–3 kg/tn.

Liukoisen typen pitoisuudet (kg/tn)										
Levitysmäärä (tn/ha)	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25
1	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25
2	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5
3	3	3.75	4.5	5.25	6	6.75	7.5	8.25	9	9.75
4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	5	6.25	7.5	8.75	10	11.25	12.5	13.75	15	16.25
6	6	7.5	9	10.5	12	13.5	15	16.5	18	19.5
7	7	8.75	10.5	12.25	14	15.75	17.5	19.25	21	22.75
8	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
9	9	11.25	13.5	15.75	18	20.25	22.5	24.75	27	29.25
10	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5
11	11	13.75	16.5	19.25	22	24.75	27.5	30.25	33	35.75
12	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39
13	13	16.25	19.5	22.75	26	29.25	32.5	35.75	39	42.25
14	14	17.5	21	24.5	28	31.5	35	38.5	42	45.5
15	15	18.75	22.5	26.25	30	33.75	37.5	41.25	45	48.75
16	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52
17	17	21.25	25.5	29.75	34	38.25	42.5	46.75	51	55.25
18	18	22.5	27	31.5	36	40.5	45	49.5	54	58.5
19	19	23.75	28.5	33.25	38	42.75	47.5	52.25	57	61.75
20	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
21	21	26.25	31.5	36.75	42	47.25	52.5	57.75	63	68.25
22	22	27.5	33	38.5	44	49.5	55	60.5	66	71.5
23	23	28.75	34.5	40.25	46	51.75	57.5	63.25	69	74.75
24	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78
25	25	31.25	37.5	43.75	50	56.25	62.5	68.75	75	81.25
26	26	32.5	39	45.5	52	58.5	65	71.5	78	84.5
27	27	33.75	40.5	47.25	54	60.75	67.5	74.25	81	87.75
28	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91
29	29	36.25	43.5	50.75	58	65.25	72.5	79.75	87	94.25
30	30	37.5	45	52.5	60	67.5	75	82.5	90	97.5



Agroekologiset symbioosit (AES) ovat uusi, Suomessa kehitetty toimintamalli kestävään hajautettuun ruokajärjestelmään siirtymiselle. AES on energia- ja ravinneomavarainen tapa tuottaa ruokaa. Se on kierrätystalouden malli. AES muuttaa ruoan tuotannon samalla energian nettotuotannoksi. Se on keskitettyyn, fossiilitaloudessa toimivaan järjestelmään verrattuna huomattavan ympäristöystävällinen. Yhteisölliset ja yhteiskunnalliset hyödyt ulottuvat maaseudulta kaupunkiin. AES on toimintatapa, jossa elintarvikeketjuun kehittyneet vastakkainasettelut jäävät pois, alkutuottajat ja jalostajat toimivat yhdessä, ja kuluttaja ja tuottajat kohtaavat.

Tämä hankerapotti esittelee maailman ensimmäisen agroekologisen symbioosin: Palopuron AES on muodostumassa Hyvinkään Palopuron kylään:  
<http://blogs.helsinki.fi/palopuronsymbioosi/>



Ympäristöministeriö  
Miljöministeriet  
Ministry of the Environment

ISBN 978-952-11-4715-9 (nid.)  
ISBN 978-952-11-4716-6 (PDF)  
ISSN 1796-1696 (pain.)  
ISSN 1796-170X (verkkoj.)