



Luonnonvara- ja
biotalouden
tutkimus 55/2015

Peltobiomassat tulevaisuuden energiaresurssina

2. korjattu painos

Katri Pahkala ja Timo Lötjönen (toim.)

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 55/2015

Peltobiomassat tulevaisuuden energiaresurssina

2. korjattu painos

Katri Pahkala ja Timo Lötjönen (toim.)



ISBN: 978-952-326-110-5 (Painettu)

ISBN: 978-952-326-111-2 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-111-2>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Kaija Hakala, Timo Lötjönen, Oiva Niemeläinen ja Katri Pahkala

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2015

Julkaisuvuosi: 2015

Kannen kuva: Timo Lötjönen

Painopaikka ja julkaisumyynti: Juvenes Print, <http://luke.juvenesprint.fi>

Tiivistelmä

Kaija Hakala¹⁾, Timo Lötjönen²⁾, Oiva Niemeläinen¹⁾, Katri Pahkala¹⁾

¹⁾ Luonnonvarakeskus, Luonnonvarat ja biotuotanto, 31600 Jokioinen

²⁾ Luonnonvarakeskus, Luonnonvarat ja biotuotanto, 92400 Ruukki

Biomassoja voidaan tuottaa varta vasten bioenergiaksi tai ne voivat olla sivuvirtoja puunjalostusteollisuudesta, maa- ja metsätaloudesta tai esimerkiksi yhdyskuntajätteen biohajoavan osan hyödyntämisestä energiaksi. Pohjoismaissa ja Venäjällä metsä on luontainen bioenergian lähde, mutta monissa muissa maissa metsiä on hyvin vähän. Siten peltojakin kannattaa tarkastella bioenergian tuottajina. Bioenergiakasvien tuottamista pellolla on kuitenkin arvosteltu siitä, että maailman ruokahuolto ei ole tällä hetkelläkään optimaalinen, ja maailman väkiluvun kasvaessa yhä enemmän peltoalaa tarvittaisiin ruoan tuotantoon, jolloin bioenergian tuotanto kilpailisi ruoantuotannon kanssa sosioekonomisesti kestävämmällä tavalla.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin Euroopan maiden peltobiomassapotentiaaleja erilaisilla skenaario-oletuksilla sekä selvitettiin kestävä kehityksen mukaista peltobioenergian tuotantoa. Tutkimuksessa keskityttiin erityisesti ruoantuotannon, väkiluvun kasvun, maatalouden kehittymisen ja ilmastonmuutoksen vaikutuksiin alueellisiin peltoviljelystä saataviin bioenergiapotentiaaleihin.

Bioenergiakasvien tuotantoon ruuan tuotannon jälkeen jäävä peltopinta-ala riippuu eniten ihmisten ruokavaliosta. Kasvisruokavalio säästäisi niin paljon viljelyalaa, että suurin osa tutkimuksessa olevista maista pystyisi jo tällä hetkellä viljelemään bioenergiakasveja yli puolella peltoalastaan hyvän kehityksen skenaariossa. Huonon kehityksen skenaariossa kasvisruokavalio ei enää vapauttaisi viljelyalaa kaikissa maissa. Sekaruokavaliion vaikutus on dramaattinen: hyvänkin kehityksen skenaariossa suurimmalla osalla tutkituista maista bioenergian tuotantoon voitaisiin käyttää alle puolet peltoalasta eikä useissa maissa bioenergian tuotantoon jäisi ollenkaan peltoalaa. Lihapitoisella ruokavaliolla peltoa jäisi bioenergiantuotantoon vain harvassa maassa. Tulevaisuudessa tilanne saattaa parantua bioenergian tuotannon kannalta, kun teknologian ja kasvinjalostuksen kehitys lisäävät satoja etenkin entisen Neuvostoliiton maissa. Joissakin maissa, kuten Pohjois-Euroopassa, myös ilmastonmuutos vaikuttaa satoihin myönteisesti, mikäli muutos ei etene liian voimakkaasti. Samalla useimpien nyt tarkasteltujen maiden väkiluku nousee vain vähän, mikä osaltaan vapauttaa peltoja ruoantuotannosta.

Peltokasvien sivutuotteet eivät sovellu ihmisten ravinnoksi ja niiden rehukäyttökin on rajallista, joten tässä mielessä ne joutavat hyvin biojalostamojen raaka-aineiksi tai polttoaineeksi energiantuotantoon. Peltokasvien sivutuotteiden potentiaalista valtaosa, 70–90 %, koostuu kaikissa tarkastelluissa maissa viljakasvien oljista. Suurimmat sivutuotemäärät löytyvät Länsi-Euroopassa suuruusjärjestyksessä Ranskasta, Saksasta, Iso-Britanniasta, Italiasta ja Espanjasta. Itä-Euroopassa suurimpia tuottajia ovat Venäjän Euroopan puoleiset osat, Ukraina ja Puola. Ukrainan ja Venäjän nyt suhteellisen heikkojen satojen arvellaan kasvavan tulevaisuudessa nopeasti. Pohjoismaissa suurin sivutuotemäärä muodostuu Tanskassa. Merkittävin rajoittava tekijä sivutuotteiden hyödyntämisessä on pellon kasvukunnon säilyttäminen. Tässä tutkimuksessa oletettiin 50 % kasvijätteestä jäävän vuosittain pelloille multavuutta parantamaan. Arvioon sisältyy kuitenkin suurta epävarmuutta alueittain ja maalajeista johtuen. Vähintään 20–30 % vuosittain muodostuvasta sivutuotteen määrästä olisi teknisesti käytettävissä bioenergiaksi. Euroopan suurissa maatalousmaissa tämä tarkoittaa 20–75 TWh:n teknis-taloudellista energiapotentiaalia. Suomessakin peltojen sivutuote-energialla (noin 2,4 TWh) voi olla merkitystä etenkin hajautetussa energiantuotannossa ja myös keskitetyssä tuotannossa muiden uusiutuvien energiamuotojen tukena.

Kaikissa tarkastelluissa maissa on muutama vakiintunut, kohtuullisen volyymin saavuttanut peltoenergian muoto. Tuotanto laajenisi nopeasti, mikäli se olisi kannattavampaa. Tuotannon pitää olla

pitkällä aikavälillä kannattavaa niin viljelijöille, kuljetusyriyksille kuin energian jalostajillekin. Kasvinjalostuksella ja teknologisilla ratkaisuilla voitaisiin kannattavuutta parantaa hieman tuotantoketjun kaikissa osissa. Peltobiomassoille tarvitaan omat tuotantoketjunsä, kokemusten mukaan ne eivät parhaalla tavoin sovi puun tai turpeen tuotantoketjuihin. Lisäksi tarvitaan rahallisia kannustimia, esimerkiksi nykyistä huomattavasti korkeampi päästöoikeuden hintataso tai peltobioenergian syöttötariffit, kuten Saksassa ja Itävallassa. Vaikka EU:ssa on osittain yhteinen maatalous- ja energiapolitiikka, energiapolitiikan kansallisilla ratkaisuilla voidaan vaikuttaa paljon siihen, mitä energiamuotoja halutaan edistää tulevaisuuden energiaratkaisuissa.

Nurmialueiden käyttöä bioenergian tuottamiseen tarkasteltiin erikseen. Nurmien käyttöön vaikuttavat olennaisesti nurmirehua käyttävien eläinten lukumäärät ja viljarehun hinta. Euroopassa nurmirehua käyttävien eläinten määrä on vähentynyt, ja nurmibiomassaa olisi käytettävissä energian tuotantoon. Jos viljaväkirehun hinta nousee voimakkaasti, se lisää kiinnostusta nurmirehun osuuden kasvattamiseen karjan ruokinnassa ja silloin bioenergiaksi käytettävissä olevan nurmirehun määrä vähenee. Suomessa olisi mahdollista käyttää erilaisilta kesantopelloilta saatavaa nurmibiomassaa energian tuotantoon, tämä muodostaa merkittävän potentiaalin. Nurmibiomassa voitaisiin varastoida säilörehun tapaan ja tehdä siitä biokaasua. Myös rehunurmien vuosittaisen satovaihtelun vuoksi nurmibiomassaa olisi käytettävissä energiantuotantoon. Nurmibiomassaa olisi saatavissa kohtuullisen pieniltäkin alueilta riittävästi suhteellisen kookkaiden – 3-4 MW biokaasulaitosten tarpeisiin. Riittävän massan tuottamiseen tarvittava nurmiala olisi noin 1000 ha, kun nurmen viljely olisi intensiivistä ja hehtaarisato 7 500 kg ka/ha.

Avainsanat: bioenergia, peltokasvit, biomassa, energiapotentiaali, olki, ruoantuotanto

Abstract

Kaija Hakala¹⁾, Timo Lötjönen²⁾, Oiva Niemeläinen¹⁾, Katri Pahkala¹⁾

¹⁾ Natural Resources Institute Finland, FI-31600 Jokioinen

²⁾ Natural Resources Institute Finland, FI-92400 Ruukki

Bioenergy can be derived from biomasses especially produced for bioenergy or from by-products, side streams and waste from wood processing industry, agriculture and forestry, or e.g. municipal waste. In the Nordic countries and Russia forests are a natural source of bioenergy. In many other European countries forests may be too scarce for bioenergy use. Therefore field biomasses form an interesting potential source for bioenergy. Production of field biomasses for non-food purposes has been criticized, especially as there is not enough food for everyone even at present, and in the future more food has to be produced as the world population increases.

We studied the field biomass potential in different European countries with different scenarios for development. "Good development" scenario includes improvements in plant breeding and food production and processing technologies, with increasing yields and decreasing waste of food products and raw materials. "Bad development" scenario assumes stagnating yields and little improvement in technologies in the OECD countries, and only small improvements in former Soviet Union countries. The foci of the present research were the effects of development of food production, population growth and climate change on regional potential of field biomasses for bioenergy and sustainable use of crop residues and grasses for bioenergy.

The field area that could be allocated to energy crops after growing enough food for the citizens of each country depends mostly on the diet. Growing food for vegetarian diet would occupy so little field area that every country under study could set aside at least half of their field area for bioenergy purposes already at present, if the "good development" scenario was applied. With "bad development" scenario some of the countries would be unable to set aside fields for bioenergy production even with vegetarian diet. With affluent diet there would be little field area left over for energy crops, and already with mixed diet even with the "good development" scenario, less than half or even none of the field area could be allocated to energy crops in many of the studied countries. In the future the situation may become more favorable for production of biomasses for energy, if plant breeding is successful and also cultivation and procession technologies proceed favorably. In some countries, especially in the north, also climate change may increase production potential. At the same time, the population may not increase much in the countries studied here, which together with favorable development may free field area from food production.

Residues of field crops unsuitable for food or fodder could be used as raw material for bioenergy. The largest available source (70-90%) of potential field crop residue material is straw of cereals. The biggest producers of cereals and thus straw for bioenergy are (in order of production quantity) France, Germany, Great Britain, Italy and Spain in Western Europe and Russia (European part), Ukraine and Poland in Eastern Europe. The presently quite modest yields and thus bioenergy potential of cereal straw of Ukraine and Russia are expected to increase considerably in the near future. In the Nordic countries, the largest field crop residue potential is in Denmark. A major constraint in adopting usage of straw material for bioenergy is the maintenance of soil organic matter and productivity. In the present study we assumed that 50% of the potential straw biomass was left in the field to improve soil quality. Differences in growth conditions, soil quality and soil type and texture complicate estimates of residue potential, but on general at least 20-30% of the potential straw residue could be used for bioenergy. In the big agricultural countries in Europe this would translate into 20-75 TWh of technically available and economically feasible bioenergy potential annually. Also in Fin-

land, field residue material could be an important source of bioenergy, especially in regional energy industry, but also in centralized production together with other sources of renewable energy.

The usage of bioenergy could increase more rapidly if it was economically feasible for both the farmers, transport companies and end users of the raw materials. Production of bioenergy could be increased by plant breeding and improved technology. Unfortunately the production of bioenergy from field biomasses requires its own production chains, as it has been shown not to be suitable for the existing energy peat or wood production chains. In addition, economical incentives are needed, such as viable emission trade system or feed-in tariff for biomass-derived energy, already now in use in Germany and Austria. Even though the EU has a common agricultural and energy policy, national decisions can make a difference in which form of energy is profitable for producers.

The usage of grassland biomasses for bioenergy was studied separately. Potential of grassland biomasses as energy source is affected by the number of cattle and price of fodder grain. In Europe the number of animals using grass fodder has decreased, and there would be more grass material available for bioenergy production. However, if the price of grain based fodder increases heavily, the interest to use more grass based fodder may increase and then the potential of grass for bioenergy decreases. In Finland a significant unused potential is the plant biomass derived from different kinds of fallow. Biomasses from the fallows could be stored as silage and fermented for biogas. The yearly yield fluctuations of grass may also allow usage of surplus grass for bioenergy. Grass biomass could be collected from reasonably small areas to satisfy the needs of even rather big biogas plants.

Keywords: bioenergy, biomass, by-products, crop residues, field bioenergy potential, straw, food production, grassland, biogas

Alkusanat

Fossiilisten ja uusiutuvien energialähteiden alueellisia potentiaaleja tarkasteltiin Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) kanssa yhteishankkeessa 'Suomalainen tulevaisuuden energialiiketoiminta – skenaariot ja strategiat (SALKKU)'. Tässä julkaisussa esitetään Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) vuosina 2009 - 2011 toteutetun osatutkimuksen 'Peltobiomassat tulevaisuuden energiaresursina' kasvintuotanto-osan tulokset. MTT on nykyään osa Luonnonvarakeskusta (Luke). MTT:n osuus SALKKU-tutkimuksesta toteutettiin MTT:n Kasvintuotannon tutkimuksen ja MTT:n Taloustutkimuksen yhteistyönä. Taloustutkimuksen tulokset raportoidaan MTT Raportti sarjan numeroissa 45 ja 46.

MTT:n Kasvintuotantotutkimuksen tavoitteena oli selvittää:

- 1) Euroopassa bioenergian tuotantoon mahdollisesti käytettävissä oleva peltoala nyt ja tulevaisuudessa ja siltä saatavaa bioenergiämäärää eri skenaario-oletuksin, nykyinen maatalouden sivutuotteiden määrä ja potentiaalinen energiasisältö sekä niiden arvio vuodelle 2050,
- 2) maatalousteknologian ja kasvinjalostuksen mahdollisuudet lisätä bioenergiaa.
- 3) pysyvien nurmien potentiaali bioenergian tuotannossa eri maista (laskentamenetelmä ja alueet)

Yhteistutkimuksen johtaja oli Tiina Koljonen VTT:ltä, ja MTT:n osatutkimusta 'Peltobiomassat tulevaisuuden energiaresursina' johti Katri Pahkala. MTT:n hankkeessa työskentelivät tutkimuksen eri vaiheissa Kasvintuotannon tutkimuksen tutkijat FT Kaija Hakala, MMM Markku Kontturi, MMM Timo Lötjönen, MMT Oiva Niemeläinen, MMT Katri Pahkala ja PhD Elena Valkama ja MTT Taloustutkimuksessa tutkijat MMM Esa Aro-Heinilä ja yo Heidi Rintamäki.

Tutkimusta rahoittivat Tekes, Metso Power, Teknologiateollisuus ja MTT, joille kaikille lämmin kiitos.

Tutkimuksen johtoryhmässä toimivat Marjatta Aarniala (Tekes), Björn Ahlnäs (Gasum), Martti Kätkä (Teknologiateollisuus), Timo Arponen (Helsingin Energia, Helen), Satu Helynen (VTT), Hannu Hernesniemi (Etlatieto), Markku Järvenpää (MTT), Tiina Koljonen (VTT), Katri Pahkala (MTT), Matti Rautanen (Metso Power) ja Göran Koreneff (VTT).

Kiitämme aktiivista johtoryhmää kommenteista ja rakentavista ehdotuksista tutkimuksen suuntaamisessa.

Jokioisissa maaliskuussa 2012

Toimittajat

Sisällysluettelo

1. Euroopan peltobiomassapotentiaali ja peltobioenergian tuotantoon vapautuva maa-ala nyt ja tulevaisuudessa	9
1.1. Tutkimuksen tausta ja tavoitteet	9
1.2. Aineisto ja menetelmät.....	10
1.3. Tulokset: Eri alueiden biomassapotentiaalit.....	11
1.4. Yhteenveto.....	18
1.5. Kirjallisuus	19
2. Peltoviljelyn sivutuotteet ja niiden bioenergiapotentiaali.....	20
2.1. Tutkimuksen tausta ja tavoitteet	20
2.2. Menetelmät	20
2.3. Sivutuotepotentiaali Euroopan eri maissa.....	22
2.4. Yhteenveto.....	29
2.5. Kirjallisuus	29
3. Kannustinmekanismien, teknologian ja kasvin-jalostuksen mahdollisuudet lisätä peltobioenergian tuotantoa	31
3.1. Peltobioenergian nykyinen toimintaympäristö	31
3.2. Peltobioenergiatuotannon haasteita.....	32
3.3. Tarkastelua ja ratkaisuehdotuksia kohdealueittain.....	33
3.3.1. Suomi	33
3.3.2. Muut Pohjoismaat.....	37
3.4. Teknologian vientimahdollisuudet Suomesta.....	40
3.5. Yhteenveto.....	41
3.6. Kirjallisuus	41
4. Nurmialueiden potentiaalinen biomassa bioenergian tuotantoon Euroopassa	43
4.1. Nurmien käytöstä ja nurmitilastoista	43
4.2. Nurmen osuus maatalousmaasta	43
4.3. Nurmiala laiduntavaa eläinyksikköä kohti	45
4.4. Suomalaiset nurmisadon lähteet bioenergian tuotantoon	48
4.4.1. Rehunurmet	48
4.4.2. Nurmisadon saatavuus yksittäisen bioenergian tuotantoyksikön tarpeisiin nähden	51
4.4.3. Johtopäätökset.....	52
4.5. Kirjallisuus	52
5. Mahdollisuudet bioenergian tuotantoon kehittyvillä alueilla – onko case - Brasilia sovellettavissa muualle?	55
5.1. Panostukset maataloustuotantoon Brasiliassa 1970-luvulta lähtien	55
5.2. Mahdollisuudet Brazilian menestystarinan toistamiseen	58
5.3. Kirjallisuus	59

1. Euroopan peltobiomassapotentiaali ja peltobioenergian tuotantoon vapautuva maa-ala nyt ja tulevaisuudessa

Kaija Hakala

1.1. Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Ilmastonmuutos on uhka koko maailman hyvinvoinnille, jos muutos jatkuu nykyistä tahtia eikä mihinkään toimenpiteisiin sen hillitsemiseksi ryhdytä. Tämä on suurimmassa osassa maailmaa ymmärretty ja etenkin EU on asettanut kunnianhimoiset tavoitteet ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Tavoitteisiin lukeutuu fossiilisten energialähteiden nopeampoinen korvaaminen uusiutuvilla. Yksi uusiutuva energianlähde on bioenergia, jota voidaan saada pelloilta, metsistä, kaatopaikoilta tai muista lähteistä korjattavista biomassoista. Biomassoja voidaan tuottaa varta vasten bioenergiaksi tai ne voivat olla sivuvirtoja puunjalostusteollisuudesta tai maa- ja metsätaloudesta tai esim. yhdyskuntajätteen sisältämän energian hyödyntämisestä. Bioenergian erityistä tuottamista pellolla on arvosteltu siitä, että maailman ruokahuolto ei ole tällä hetkelläkään optimaalinen ja maailman väkiluvun kasvaessa yhä enemmän peltoalaa tarvittaisiin ruoan tuotantoon, jolloin bioenergian tuotanto kilpailisi ruoantuotannon kanssa huonolla tavalla.

SALKKU-projektin tässä raportoitavassa tutkimuksessa pyrittiin selvittämään bioenergian tuotannon potentiaalia pellolla siten, että peltoa riittäisi kuitenkin ruoan tuottamiseen jokaisessa tarkasteltavassa maassa kaikille maan asukkaille. Tutkimuksessa tarkasteltiin, kuinka paljon peltoalaa voitaisiin ottaa bioenergian tuotantoon tällä hetkellä ja tulevaisuudessa, jos vallitsevana olisi kasvis- tai sekaruokavalio. Lisäksi tarkasteltiin mahdollisia nykyisen ja tulevaisuuden skenaarioita biomassan tuottamisessa: paljonko biomassaa voitaisiin tuottaa bioenergiaksi, jos tuotanto olisi tehokasta ja kestävää ja paljonko tilanteessa, jossa ruokaa tuotetaan tehottomasti ja suuri osa tuotetusta ruoasta häviää eri tuotantoportaisissa. Tarkastelut tehtiin sekä nykyhetkelle että tulevaisuudelle. Tulevaisuuden tarkastelussa otettiin huomioon paitsi teknologian kehitys, myös ilmastonmuutoksen vaikutukset. Ilmastonmuutos saattaa tuoda joillekin alueille (esim. Pohjois-Eurooppa) lisää tuotantopotentiaalia ja vähentää joidenkin alueiden (esim. Saharan eteläpuolinen Afrikka) tuotantopotentiaalia. Jos tuotantoa arvioidaan tulevaisuuden tilanteessa, jossa pellolla tuotettavan ja muun biomassan käyttö energiaksi on yleinen käytäntö ainakin kehittyneissä maissa, voidaan olettaa, että maailmassa on saavutettu edistysaskeleita kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Tällöin tulevaisuutta voidaan tarkastella IPCC:n skenaario B1 mukaan (Nakicenovic ym. 2000, Parry ym. 2004). Tässä skenaariossa ilmasto muuttuu vain vähän ja siten myös tuotantopotentiaali muuttuu vain vähän eri alueilla. Suurempi vaikutus tulevaisuuden tuotantopotentiaaliin onkin etenkin OECD:n ulkopuolisissa maissa teknologian (kasvinjalostus, maanparannus, korjuu-, kuljetus- ja varastointiteknologia) kehityksellä.

Bioenergian tuotantoon vapautuvaa peltoalaa ja sillä tuotettavan potentiaalisen bioenergian määrää arvioitiin SALKKU-projektissa maakohtaisesti. Tämä poikkesi SEKKI-projektin tutkimuksesta, jossa tuotantoa arvioitiin alueittain (Hakala ym. 2009, Pahkala ym. 2009). Alueisiin saattoi kuulua useita maita (esim. WEU: EU-15 ja muut Länsi-Euroopan valtiot) tai vain yksi maa (esim. Intia tai USA). Alueellinen tarkastelu ottaa osittain huomioon tuotannon jakautumisen eri tuottajatahojen kesken. Maittain tehtävässä tarkastelussa jokaisen maan kyky tuottaa peltobioenergiaa lasketaan sen oman ruoantuotannon ja väkiluvun mukaan, mikä ei kerro koko totuutta, mutta saattaa hyvinkin vastata tulevaa tilannetta.

1.2. Aineisto ja menetelmät

Maakohtainen tämänhetkinen ruoantuotanto laskettiin FAO:n tilastoista (<http://faostat.fao.org>) saaduilla arvoilla kymmenen vuoden keskiarvona (1998-2007). Venäjän tuotannosta laskettiin erikseen Euroopan puoleisen Venäjän tuotanto (Eur.Venäjä) Venäläisistä tilastoista (<http://www.gks.ru>). Tässä työssä meitä avusti vanhempi tutkija Elena Valkama. Ruoantuotannon arvioinnissa otettiin mukaan kaikki mahdollinen peltotuotanto: viljat, öljykasvit, palkoviljat, juurikasvit, peruna, hedelmät ja marjat, vihannekset, pähkinät, kuitukasvit, sokerikasvit ja nurmikasvit. Lyhytaikaisten ja pysyvien nurmikasvien tuotanto arvioitiin pinta-alan perusteella, koska FAO:n tilastoissa ei ole kerrottu nurmikasvien tuotantomääriä eri maissa. Lyhytaikaiset, lannoitetut ja 2-3 kertaan kasvukaudessa korjattavat nurmet ovat runsastuottoisia. Suomessa niiden sato voi lyhyestä kasvukaudesta huolimatta ylittää kymmeneen tonniin kuiva-ainetta/ha. Nurmen lästä ja oloista johtuen sato voi kuitenkin olla paljon pienempikin. Tämän vuoksi lyhytaikaisten nurmien tuotannoksi arvioitiin viisi tonnia/ha jokaisessa tutkitussa maassa. Pitkäaikaisten tai pysyvien nurmien tuotto voi olla pieni, riippuen ilmasto-oloista ja hoitotoimenpiteistä. Esim. Islannissa tällaisia nurmia käytetään lammaslaitumina, eikä nurmien tuotannon tarvitse olla suurta, kun ala on suuri. Pysyvien nurmien tuotannoksi arvioitiin puolet lyhytaikaisten nurmien tuotannosta (2,5 tonnia/ha), mikä joillain alueilla saattaa olla vähemmän kuin todellinen tuotanto, joillain alueilla taas enemmän.

Kasviryhmiä tuotannosta vuosina 1998-2007 laskettiin keskiarvo maata kohden, jonka jälkeen tuotannon tonnimäärä muutettiin kasviryhmä kerrallaan vastaamaan vehnän tonnimäärää (GE=Grain Equivalent) eli tuotannosta muodostettiin GE-ekvivalenttiarvot kertoimilla, jotka ottavat huomioon kunkin kasviryhmän sadon vesi-, hiilihydraatti-, öljy- ja proteiinipitoisuuden (Penning de Vries ym. 1997). Saatujen arvojen ja kunkin maan väkiluvun perusteella laskettiin paljonko tuotantoa ja vastavasti maata tarvitaan kasvisruokavalion, sekaruokavalion ja lihapainotteisen ruokavalion tyydyttämiseen. Kirjallisuuden mukaan kasvipainotteiseen ruokavalioon tarvitaan vuodessa 490, sekaruokavalioon 860 ja lihapainotteiseen ruokavalioon 1535 pellolla tuotettua GE-ekvivalenttikiloa (Penning de Vries ym. 1997).

Ruoantuotantoon tarvittava maa-ala laskettiin keskimääräistä hehtaarikohtaista GE-arvoa käyttäen. Kaikilla kolmella ruokavaliolla käytettiin kahta tulevaisuusskenaariota: 1) Peltoviljelyn tehokkuus ja sadot kasvavat 0,81 % vuodessa OECD-maissa ja 2,22 % vuodessa entisen Neuvostoliiton maissa (Paillard ym. 2011) eikä ruokaa tuhleta eikä muutakaan hävikkiä synny kummassakaan kategoriassa (Hyvä kehitys) sekä 2) Peltoviljelyn tehokkuus ja sadot eivät kasva OECD-maissa ja entisen Neuvostoliiton maissa ne kasvavat vain 1,33 % vuodessa (Paillard ym. 2011) sekä ruokaa tuhletaan ja hävikkiä syntyy kuten tällä hetkellä (Huono kehitys). Kun ruokahävikkiä ei synny, peltoalaa varataan vain yksinkertaisen GE-määrän tuottamiseen henkeä kohti vuodessa. Kun ruokaa tuhletaan ja muutakin hävikkiä syntyy, tarvittava peltoala on kaksinkertainen minimisaantoon verrattuna. Ruoan tuhlaus ja hävikki tarkoittaa tässä jokaisella tuotannon asteella, alkutuotannosta kotitalouksiin, tapahtuvaa hävikkiä.

Lopulliset tulokset on esitetty neljällä tulevaisuuden ja nykyhetken skenaariolla: 1) Hyvä kehitys ja kasvisruokavalio, 2) Hyvä kehitys ja sekaruokavalio, 3) Huono kehitys ja kasvisruokavalio 4) Huono kehitys ja sekaruokavalio. Lihapitoista ruokavaliota ei otettu mukaan tulosten esittämiseen, sillä se tuotti vapautuvaa bioenergiakasvien kasvattamiseen sopivaa peltoalaa vain 12 maassa mukana olleista 27 maasta hyvän kehityksen skenaariossa ja vain yhdessä maassa (Islanti) huonon kehityksen skenaariossa.

Tulevaisuuden skenaariot laskettiin vuosille 2020, 2030 ja 2050. Tulevaisuudessa oletimme, että juuri bioenergian tuotannolla ja käytöllä olemme saaneet kasvihuonekaasupäästöjä hillittyä IPCC:n skenaarion B1 mukaisesti (Nakicenovic ym. 2000), jonka tulokset eri alueille on laskettu Parry ym. (2004) mukaan, mutta niin, että Itä-Euroopan ja entisen Neuvostoliiton alueille ennustettu ilmastonmuutoksen vaikutus on vähennetty viiteen prosenttiin, kun se Parry ym. (2004) artikkelissa oli 10 %. Näin kullekin maalle ilmastonmuutoksesta koituu joko 5 % hyöty tai 5 % tappio. Käytetyt ilmastonmuutokset eri maille on esitetty taulukossa 1. Nyt käsitellyistä maista kaikki muut maat lasketaan Paillardin ym. (2011) kirjassa OECD-maiksi paitsi entisen neuvostoliiton maat Moldova, Ukraina, Valko-

Venäjä ja Venäjä. Nyt tehdyssä laskelmassamme myös entisen Neuvostoliiton maat Viro, Latvia ja Liettua luetaan entiseen Neuvostoliittoon kuuluviksi. Tätä tulkintaa tukee paitsi geopoliittinen todellisuus, myös se, että Baltian maiden sadot ovat tällä hetkellä huomattavasti pienemmät kuin Ruotsilla, joka kuuluu kuitenkin samaan ilmastovyöhykkeeseen siltä osin, missä viljelyä eniten on, ja sadot nousevat vähitellen Ruotsin tasolle, jos kertoimena käytetään hyvässä skenaariossa 2,22 % (Kuva 3).

Bioenergian tuotantoon vapautuvalla peltoalalla voidaan käyttää joko perinteisiä viljelykasveja, erityisiä bioenergiakasveja tai puuvartisia kasveja kuten pajua. Tässä laskelmassa Länsi-Euroopan alueella on käytetty ruokohelpeä, Miscanthusta, rypsiä (tai rapsia) ja auringonkukkaa suhteissa 0,2-0,2-0,4-0,2. Entisen Neuvostoliiton alueella on käytetty ruokohelpeä, rypsiä (tai rapsia), auringonkukkaa ja ohraa suhteissa 0,1-0,2-0,4-0,3 ja Itä-Euroopan alueella on käytetty ruokohelpeä, Miscanthusta, rypsiä (tai rapsia) ja auringonkukkaa suhteissa 0,2-0,2-0,4-0,2. Bioenergiakasvit ovat jo alueella yleisesti energiataroituksiin viljeltyjä tai vasta kiinnostuksen kohteina olevia kasveja. Suhdeluvut on saatu SEKKI tutkimuksesta (Hakala et al. 2009). Lasketut energia-arvot ovat biomassan kokonaisenergia-arvoja pellolla (18 MJ/kg kuiva-ainetta, Soimakallio ym. 2009). Arvoista ei ole poistettu lannoitteisiin, peltotyöhön, korjuuseen eikä kuljetukseen laskettavaa energiamäärää eikä niitä ole kerrottu mahdollisen polttolaitoksen hyötysuhteella.

1.3. Tulokset: Eri alueiden biomassapotentialit

Taulukossa 1 on listattu, miten paljon peltoalaa kunkin maan kokonaispeltoalasta (osuus pellosta) voitaisiin ottaa bioenergian tuotantoon eri kehitysskenaarioilla. Nykytilassa eri skenaarioissa vertailaan sitä, miten ruokavalio ja hävikki vaikuttavat nykyiseen bioenergian tuotantopotentiaaliin. Tulevaisuuden luvuissa on mukana myös teknologinen kehitys, jossa huonossa kehityksessä OECD-maissa käytetään kerrointa 1 (ei kehitystä) ja entisen Neuvostoliiton maissa kerrointa 1,0133 (1,3 % kehitys) vuosittain. Hyvässä kehityksessä kertoimet ovat 1,0081 ja 1,022. Taulukossa 1.1 ovat Skandinavian maiden ja Baltian maiden tiedot, Taulukossa 1.2 ovat Keski-Euroopasta tutkimukseen valittujen maiden tiedot ja Taulukossa 1.3 entisen Neuvostoliiton maiden tiedot.

Bioenergian tuotantoon vapautuvien peltojen ala riippuu eniten ruokavaliosta. Kasvisruokavalio säästäisi niin paljon viljelyalaa, että kaikki tutkimuksessa olevat maat pystyisivät tuottamaan bioenergiaa pellolla hyvän kehityksen skenaariossa. Huononkin kehityksen skenaariossa suurimmalla osalla nyt tutkimuksessa olleista maista olisi mahdollisuus tuottaa ainakin jonkin verran bioenergiaa pellolla, jos ruokavalio olisi kasvisvoittoinen. Poikkeuksena ovat vain Belgia, Hollanti, Iso-Britannia, Italia, Norja ja Portugali, jotka huonon kehityksen skenaariossa eivät kasvisvaltaisellakaan dieetillä pystyisi tuottamaan bioenergiaa pellolla. Kun siirrytään sekaruokavalioon, suurin osa nyt tutkituista maista ei pystyisi tuottamaan bioenergiaa pelloillaan kummassakaan kehitysskenaariossa.

Ruoantuotannosta vapautuvalla pellolla tuotetut maakohtaiset energiamäärät (TWh/vuosi) on ilmoitettu Taulukossa 1. Energia-arvot ovat biomassan kokonaisenergia-arvoja pellolla eli niistä ei ole poistettu korjuuseen, muihin peltotoimiin eikä kuljetukseen laskettavaa energiamäärää eikä niitä ole kerrottu polttolaitoksen hyötysuhteella. Parhaalla kehityksellä ja kasvisruokavaliolla esim. Suomessa voitaisiin tuottaa biomassaa siten, että sen energia-arvo pellolla olisi tällä hetkellä 50 TWh ja vuonna 2050 noin 90 TWh. Todellinen tilanne Suomessa on kuitenkin tällä hetkellä jossain hyvän ja huonon kehityksen välimailla ja dieetti seka- ja liharuokavaliolla välillä. Aiemmissa tutkimuksissa bioenergiapotentiaaliksi on arvioitu noin 17 TWh vuonna 2020, joka pohjautui FINBION asiantuntijaryhmän laatimaan raporttiin teollisuuden mahdollisuuksista hyödyntää peltoraaka-aineita energiantuotantoon (Pahkala ym. 2009). Tuotannon kannattavuus ja todellinen kasvihuonekaasupäästövähennyspotentiaali ovat tällä hetkellä keskustelun kohteena (Soimakallio ym. 2009).



Kuva 1. Ruokaa, bioenergiaa vai molempia? (Kuva: Timo Lötjönen, Luke)

Taulukko 1. Bioenergian tuotannossa olevan potentiaalisen peltoalan osuus koko peltoalasta (osuus pellosta) ja peltobioenergian potentiaalinen energiantuotanto (TWh) Suomessa, Skandinaviassa ja Baltian maissa tällä hetkellä (keskiarvo 1998-2007) ja vuosina 2020, 2030 ja 2050 neljän eri skenaarion mukaan (Hyvä kehitys ja Huono kehitys ja kummassakin kehitysskenaariossa kasvis- (veg.) ja sekaruoka (seka)). Kunkin maan nimen alapuolella on kerroin, jonka mukaan tuotantoa on muutettu ennakoitujen ilmastonmuutoksen vaikutusten mukaan (B1-skenaario) vuoteen 2050 mennessä. Suomessa ja Skandinavian maissa tuotanto muuttuu vähitellen vuosiin 2020 ja 2030 mennessä ja kerrointa on muutettu vastaavasti, Baltian maissa kehityskulukuksi on valittu vain yksi luku kaikkiin vuosilukurajoihin (Parry ym. 2004).

Maa	Kehitys/ ruokavalioiden	osuus pellosta		osuus pellosta		osuus pellosta		osuus pellosta		
		nyt	TWh	2020	TWh	2030	TWh	2050	TWh	
Suomi	Hyvä/veg.	0,7	52,5	0,7	62,2	0,7	70,6	0,8	89,4	
	1,05	Hyvä/seka	0,4	33,4	0,5	42,2	0,5	50,4	0,6	69,7
		Huono/veg.	0,4	27,3	0,3	27,0	0,3	27,5	0,4	29,4
		Huono/seka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Viro	Hyvä/veg.	0,7	6,9	0,7	9,7	0,8	12,9	0,9	22,1	
	0,95	Hyvä/seka	0,4	4,3	0,5	7,1	0,6	10,4	0,8	19,7
		Huono/veg.	0,3	3,5	0,4	4,8	0,5	6,7	0,6	11,0
		Huono/seka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,6	0,4	6,3
Islanti	Hyvä/veg.	1,0	75,2	1,0	85,4	1,0	93,8	1,0	112,0	
	1,05	Hyvä/seka	0,9	73,3	0,9	83,0	0,9	91,3	0,9	109,5
		Huono/veg.	0,9	72,7	0,9	73,5	0,9	74,1	0,9	74,8
		Huono/seka	0,9	68,9	0,9	68,8	0,9	69,1	0,9	69,7
Latvia	Hyvä/veg.	0,8	17,2	0,8	23,4	0,9	30,7	0,9	50,8	
	0,95	Hyvä/seka	0,6	13,1	0,7	19,6	0,8	27,0	0,9	47,4
		Huono/veg.	0,5	11,7	0,6	15,2	0,7	19,3	0,8	29,1
		Huono/seka	0,2	3,5	0,3	7,5	0,4	11,9	0,6	22,4
Liettua	Hyvä/veg.	0,8	26,0	0,8	35,8	0,9	46,8	0,9	77,2	
	0,95	Hyvä/seka	0,6	19,9	0,7	30,3	0,8	41,5	0,9	72,5
		Huono/veg.	0,5	17,9	0,6	23,9	0,7	30,0	0,8	44,9
		Huono/seka	0,2	5,7	0,3	12,8	0,4	19,5	0,6	35,6
Norja	Hyvä/veg.	0,4	13,4	0,4	15,8	0,4	18,2	0,5	24,5	
	1,05	Hyvä/seka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	3,6	
		Huono/veg.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		Huono/seka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Ruotsi	Hyvä/veg.	0,7	71,6	0,7	84,2	0,7	94,7	0,7	118,4	
	1,05	Hyvä/seka	0,4	43,7	0,4	54,4	0,5	63,9	0,5	86,0
		Huono/veg.	0,3	34,7	0,3	32,5	0,3	30,9	0,2	28,3
		Huono/seka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Tanska	Hyvä/veg.	0,8	73,3	0,8	85,5	0,8	95,4	0,9	117,1	
	1,05	Hyvä/seka	0,7	60,0	0,7	71,9	0,7	81,6	0,8	103,5
		Huono/veg.	0,6	55,6	0,6	57,1	0,6	57,9	0,6	59,4
		Huono/seka	0,3	28,9	0,3	29,8	0,3	30,2	0,3	32,1

Taulukko 2. Bioenergian tuotannossa olevan potentiaalisen peltoalan osuus koko peltoalasta (osuus pellosta) ja peltobioenergian potentiaalinen energiantuotanto (TWh) Keski-Euroopan maissa tällä hetkellä (keskiarvo 1998-2007) ja vuosina 2020, 2030 ja 2050 neljän eri skenaarion mukaan (Hyvä kehitys ja Huono kehitys ja kummassakin kehitysskenaariossa kasvis- (veg.) ja sekaruoka (seka)). Kunkin maan nimen alapuolella on kerroin, jonka mukaan tuotantoa on muutettu ennakkoidun ilmastonmuutoksen vaikutusten mukaan (B1-skenario) vuoteen 2050 mennessä. Länsi-Euroopan maissa kerroin muuttuu vähitellen lineaarisesti mentäessä vuoteen 2050, Itä-Euroopan maissa muutos on sama kaikkina kausina (2020, 2030 ja 2050) (Parry ym. 2004).

Maa	Kehitys/ ruokavalio	osuus pellosta		osuus pellosta		osuus pellosta		osuus pellosta		
		nyt	nyt	2020	2020	2030	2030	2050	2050	
Belgia	Hyvä/veg.	0,3	16,9	0,4	22,2	0,4	26,9	0,5	38,1	
	1,05	Hyvä/seka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	10,9	
		Huono/veg.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		Huono/seka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Espanja	Hyvä/veg.	0,7	759,6	0,7	875,2	0,7	983,6	0,8	1222,4	
	1,05	Hyvä/seka	0,5	538,9	0,5	631,8	0,6	734,2	0,6	965,5
		Huono/veg.	0,4	467,3	0,4	433,7	0,4	430,8	0,4	424,2
		Huono/seka	0,0	25,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hollanti	Hyvä/veg.	0,2	11,1	0,2	18,3	0,3	24,8	0,4	41,6	
	1,05	Hyvä/seka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		Huono/veg.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		Huono/seka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Irlanti	Hyvä/veg.	0,8	129,6	0,8	146,4	0,8	161,0	0,8	193,6	
	1,05	Hyvä/seka	0,7	109,2	0,7	122,2	0,7	134,9	0,7	164,1
		Huono/veg.	0,7	102,6	0,6	96,7	0,6	93,3	0,5	86,3
		Huono/seka	0,4	61,7	0,3	48,4	0,3	41,1	0,2	27,3
Iso-Britannia	Hyvä/veg.	0,5	295,6	0,5	359,0	0,5	412,4	0,6	535,5	
	1,05	Hyvä/seka	0,1	51,4	0,1	98,1	0,2	140,0	0,3	245,5
		Huono/veg.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		Huono/seka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Italia	Hyvä/veg.	0,4	198,3	0,4	266,8	0,5	331,6	0,6	473,7	
	1,05	Hyvä/seka	0,0	0,0	0,0	3,4	0,1	72,0	0,3	224,9
		Huono/veg.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		Huono/seka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Itävalta	Hyvä/veg.	0,6	76,6	0,7	92,0	0,7	104,8	0,8	133,7	
	1,05	Hyvä/seka	0,4	43,9	0,4	58,4	0,5	70,8	0,6	100,2
		Huono/veg.	0,3	33,3	0,3	33,9	0,3	34,4	0,3	37,2
		Huono/seka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Portugali	Hyvä/veg.	0,3	44,1	0,4	61,6	0,5	77,8	0,6	114,9	
	1,05	Hyvä/seka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	9,4	0,3	50,3
		Huono/veg.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		Huono/seka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Taulukko 2. jatkuu

Maa	Kehitys/ ruokavaliio	osuus pellosta	TWh	osuus pellosta	TWh	osuus pellosta	TWh	osuus pellosta	TWh
Puola	Hyvä/veg.	0,6	307,3	0,7	337,1	0,7	386,2	0,8	502,9
	0,95 Hyvä/seka	0,4	172,7	0,4	204,9	0,5	258,6	0,6	390,1
	Huono/veg.	0,3	129,0	0,2	111,0	0,3	123,2	0,4	162,2
	Huono/seka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ranska	Hyvä/veg.	0,8	811,1	0,8	945,3	0,8	1057,0	0,8	1304,1
	1,05 Hyvä/seka	0,6	618,2	0,6	742,3	0,6	849,2	0,7	1092,6
	Huono/veg.	0,5	555,6	0,5	555,6	0,5	556,2	0,5	559,6
	Huono/seka	0,2	169,8	0,1	149,7	0,1	140,6	0,1	136,6
Romania	Hyvä/veg.	0,7	296,5	0,7	326,0	0,8	368,6	0,8	466,1
	0,95 Hyvä/seka	0,5	201,7	0,5	235,9	0,6	282,5	0,7	389,7
	Huono/veg.	0,4	171,0	0,4	162,4	0,4	172,8	0,5	198,7
	Huono/seka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,1	46,0
Saksa	Hyvä/veg.	0,5	304,5	0,6	391,8	0,6	465,0	0,7	627,6
	1,05 Hyvä/seka	0,2	94,3	0,3	186,6	0,4	266,4	0,5	447,7
	Huono/veg.	0,0	26,1	0,1	54,0	0,1	78,7	0,2	135,6
	Huono/seka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Slovakia	Hyvä/veg.	0,5	33,8	0,6	37,1	0,6	43,2	0,7	58,3
	0,95 Hyvä/seka	0,2	11,4	0,2	14,4	0,3	20,9	0,4	37,8
	Huono/veg.	0,1	4,1	0,0	0,4	0,0	1,4	0,1	6,2
	Huono/seka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Tshekki	Hyvä/veg.	0,6	70,8	0,6	76,1	0,6	87,3	0,7	113,5
	0,95 Hyvä/seka	0,2	30,2	0,3	34,3	0,3	45,8	0,4	72,8
	Huono/veg.	0,1	17,0	0,1	7,7	0,1	8,2	0,1	10,5
	Huono/seka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Unkari	Hyvä/veg.	0,7	127,8	0,8	138,5	0,8	154,9	0,8	192,1
	0,95 Hyvä/seka	0,5	94,1	0,6	105,6	0,6	122,9	0,7	162,0
	Huono/veg.	0,5	83,1	0,5	76,9	0,5	79,1	0,5	84,3
	Huono/seka	0,1	15,6	0,1	11,1	0,1	15,1	0,1	24,1

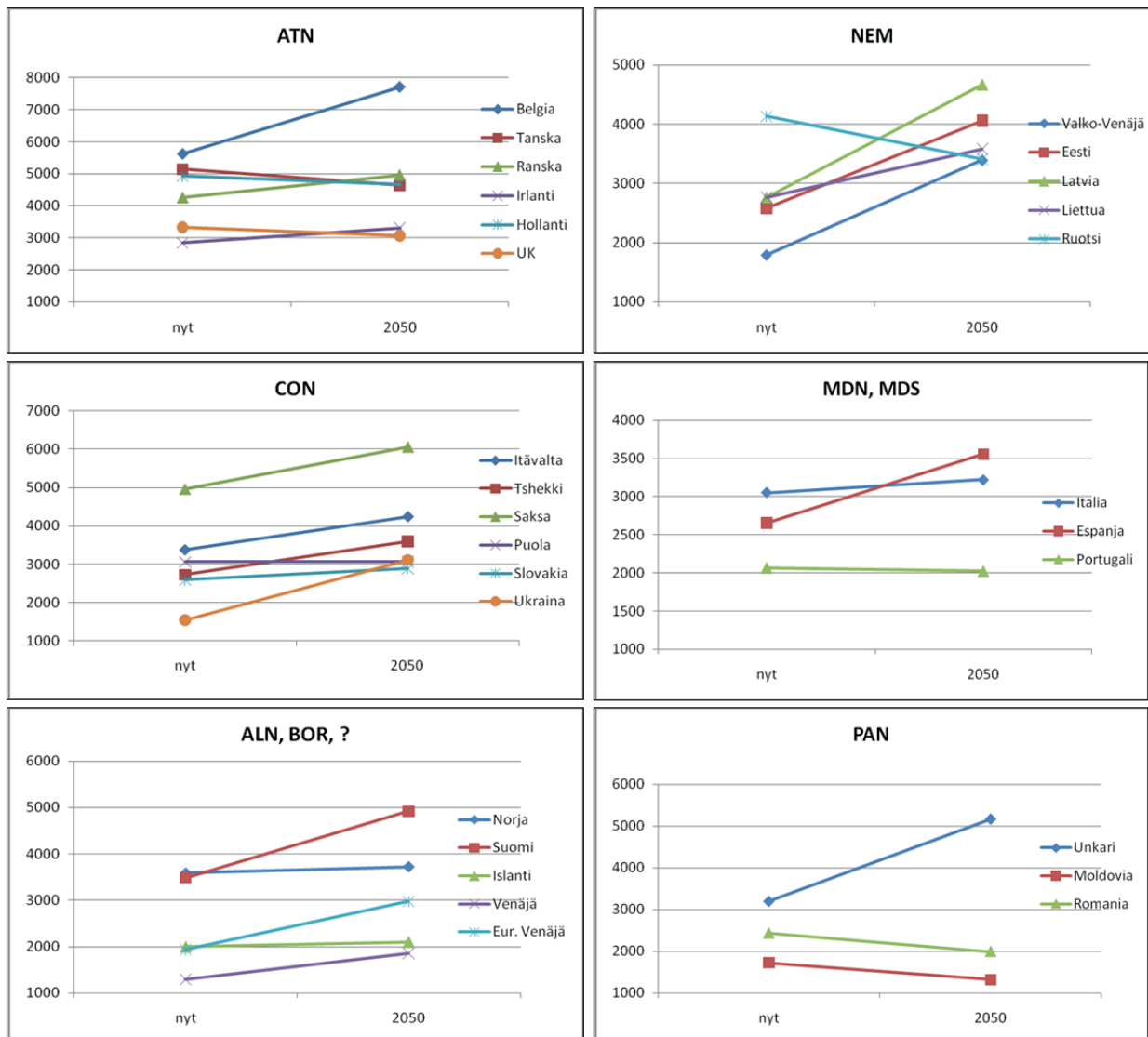
Taulukko 3. Bioenergian tuotannossa olevan potentiaalisen peltoalan osuus koko peltoalasta (osuus pellostasta) ja peltobioenergian potentiaalinen energiantuotanto (TWh) Entisen Neuvostoliiton maissa tällä hetkellä (keskiarvo 1998-2007) ja vuosina 2020, 2030 ja 2050 neljän eri skenaarion mukaan (Hyvä kehitys ja Huono kehitys ja kummassakin kehitysskenaariossa kasvis- (veg.) ja sekaruoka (seka)). Kunkin maan nimen alapuolella on kerroin, jonka mukaan tuotantoa on muutettu ennakoitujen ilmastonmuutoksen vaikutusten mukaan (B1-skenario) vuoteen 2050 mennessä.

Maa	Kehitys/ ruokavalioiden	nyk.		2020		2030		2050	
		osuus pellostasta	TWh	osuus pellostasta	TWh	osuus pellostasta	TWh	osuus pellostasta	TWh
Moldovia	Hyvä/veg.	0,6	20,1	0,7	30,1	0,8	41,5	0,9	72,8
	0,95 Hyvä/seka	0,3	9,5	0,5	20,4	0,6	32,3	0,8	64,9
	Huono/veg.	0,2	6,0	0,3	12,6	0,4	19,5	0,6	36,2
	Huono/seka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,4	20,4
Ukraina	Hyvä/veg.	0,6	358,8	0,7	521,6	0,8	706,4	0,9	1212,4
	0,95 Hyvä/seka	0,4	208,7	0,5	383,2	0,7	576,9	0,8	1099,6
	Huono/veg.	0,3	160,0	0,4	262,6	0,5	375,0	0,7	636,2
	Huono/seka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	116,1	0,4	410,5
Venäjä	Hyvä/veg.	0,8	2190,9	0,8	2993,3	0,9	3931,2	0,9	6526,3
	0,95 Hyvä/seka	0,6	1644,1	0,7	2471,7	0,7	3434,8	0,9	6079,1
	Huono/veg.	0,5	1466,8	0,6	1906,7	0,6	2437,9	0,8	3703,1
	Huono/seka	0,1	373,4	0,3	863,6	0,4	1445,2	0,6	2808,7
Eur. Venäjä	Hyvä/veg.	0,7	1037,4	0,8	1430,2	0,8	1889,2	0,9	3157,9
	0,95 Hyvä/seka	0,5	747,1	0,6	1153,3	0,7	1625,6	0,8	2920,4
	Huono/veg.	0,5	653,0	0,5	870,4	0,6	1132,4	0,7	1755,1
	Huono/seka	0,1	72,4	0,2	316,6	0,3	605,3	0,5	1280,3
Valko- Venäjä	Hyvä/veg.	0,7	86,4	0,8	120,9	0,8	160,9	0,9	271,8
	0,95 Hyvä/seka	0,5	59,3	0,6	95,5	0,7	137,0	0,8	251,5
	Huono/veg.	0,4	50,5	0,5	70,7	0,6	94,2	0,7	151,3
	Huono/seka	0,0	0,0	0,1	19,9	0,3	46,5	0,5	110,8

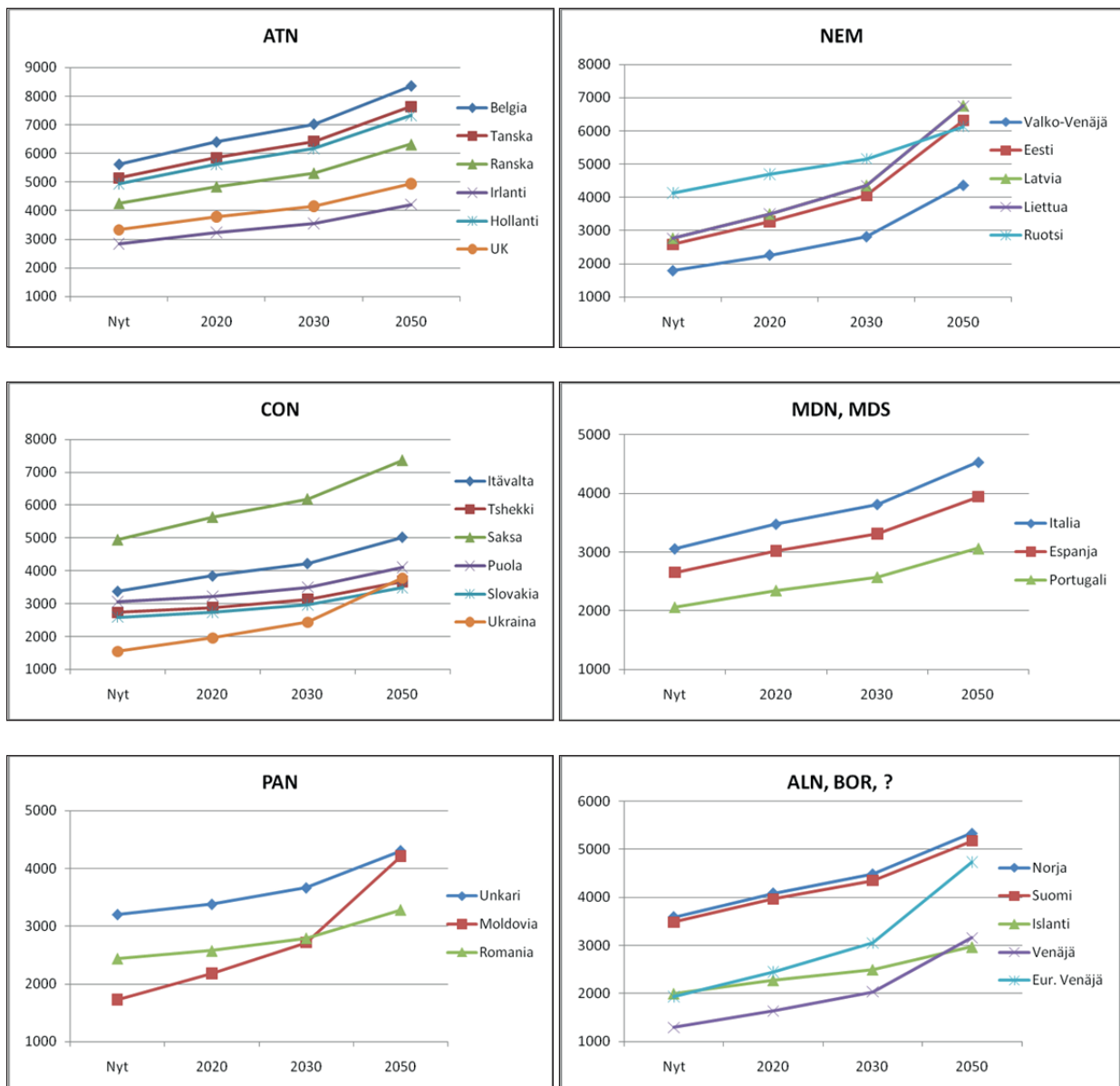
Entisen Neuvostoliiton maissa huonossakin kehitysskenaariossa vapautuisi ajan mittaan peltoalaa bioenergian tuottamiseen myös sekaruokavaliolla (Valko-Venäjä, Ukraina, Moldova ja Viro). Tämä johtuu siitä, että näissä maissa on pitkään vaikuttanut sosialistinen systeemi, jolloin ruoantuotannon vastuita on jaettu, ruokaa on tuotettu tehottomasti eikä kaikille maille ole syntynyt tehokkaan pelto- kasvituotannon perinnettä ainakaan kaikista peltokasveista. Tilanne on kuitenkin korjaantumassa. Kun tarkastellaan FAO:n tilastoja viimeisen 10 vuoden aikana (1998-2007), entisen Neuvostoliiton ja Itä-Euroopan maissa jotkut tuotantosuunnat näyttävät loppuvan ja korvautuvan toisilla. Esim. perunan viljely on vähentynyt Tshekissä ja Puolassa, kun taas niissä on lisääntynyt öljykasvien ja pähkinöiden viljely. Tshekissä myös yleinen hedelmänviljely näyttäisi vähenevän, mutta itse asiassa siellä on lisääntynyt viinin tuotanto. Myös Virossa hedelmän (marjojen) viljely on taantumassa, mutta öljykasvien viljely on huomattavasti lisääntynyt. Vaikuttaa siltä, että kukin maa panostaa nyt yhä enemmän tuotantoon, joka on sille itselleen tärkeää ja josta se saa itselleen eniten hyötyä.

Entisen Neuvostoliiton ja Itä-Euroopan maissa sadot ovat olleet huomattavasti heikompia kuin muissa vastaavan ilmastovyöhykkeen maissa (Metzger ym. 2005) eli satovaje (yield gap) on niissä erityisen suuri. Tästä johtuen teknologinen kehitys voi johtaa nykyiseen verrattuna kaksinkertaiseen (Itä-Euroopan maat) tai jopa nelinkertaiseen satoihiin (entisen Neuvostoliiton maat) nykyiseen verrattuna vuosisadan puoliväliin mennessä (Olesen & Bindi 2002 ja Ewert ym. 2005). Kun nyt tehdyn tutkimuksen valossa tarkastelee näitä maita, niiden väkiluku kasvaa vain vähän tai jopa vähenee, mutta tuotantopotentiaali kasvaa huomattavasti, mikä johtaa yhä suurempaan potentiaaliseen peltobioenergian tuottoon. Sadot näissä maissa saattavat hyvän teknologisen kehityksen oloissa kasvaa niin

paljon, että ne jopa ylittävät nykyiset Länsi-Euroopan sadot, jos kehitys kulkee joko FAO:n viimeisen 10 vuoden trendin mukaan tai Paillard ym:n (2011) parhaiden arvioiden mukaan (Kuvat 2 ja 3).



Kuva 2. Tuotannon (GE kg/ha) kehitys vuoteen 2050 mennessä, jos tuotannon trendi jatkuu siten kuin viimeiset 10 vuotta. Kuvien otsikot ovat ilmastollisia alueita, jotka on jaoteltu Metzger ym. (2005) mukaan. ATN=Atlantic North, NEM=Nemoral, CON=Continental, MDN, MDS= Mediterranean North and South, PAN=Pannonian, ALN=Alpine North (Norja), BOR=Boreal (Suomi).-Islanti ja Venäjä eivät sisälly Metzger ym. (2005) julkaisuun.



Kuva 3. Tuotannon (GE kg/ha) kehitys vuosiin 2020, 2030 ja 2050 mennessä, jos kehitys on Paillard ym. (2011) high-trendin mukainen (2,22 % kasvu/v entisen Neuvostoliiton maissa ja 0,81 % kasvu/v OECD-maissa). Kuvien otsikot ovat ilmastollisia alueita, jotka on jaoteltu Metzger ym. (2005) mukaan. ATN=Atlantic North, NEM=Nemoral, CON=Continental, MDN, MDS= Mediterranean North and South, PAN=Pannonian, ALN=Alpine North (Norja), BOR=Boreal (Suomi). ?=Islanti ja Venäjä eivät sisälly Metzger ym. (2005) julkaisuun.

1.4. Yhteenveto

Bioenergian tuotantoon vapautuvien peltojen ala riippuu eniten ruokavaliosta. Kasvisruokavaliota säätäisi niin paljon viljelyalaa, että suurin osa tutkimuksessa olevista maista pystyisi jo tällä hetkellä viljelemään bioenergiakasveja yli puolella peltoalastaan hyvän kehityksen skenaariossa. Huonon kehityksen skenaariossa kasvisruokavaliota ei enää vapauttaisi viljelyalaa kaikissa maissa. Lihapitoista ruokavaliota ei otettu tässä lainkaan huomioon, mutta jo sekaruokavaliota vaikutus on dramaattinen. Hyvän kehityksen skenaariossa suurimmalla osalla maista bioenergian tuotantoon voitaisiin siirtää alle puolet peltoalasta, useissa maissa bioenergian tuotantoon ei jäisi ollenkaan peltoalaa. Huonon kehityksen skenaariossa, ja jos lisäksi syödään melko paljon lihaa, jäljelle jää vain muutama maa, jonka pelloista edes osa voitaisiin ottaa tällä hetkellä bioenergian tuotantoon. Tulevaisuudessa tilanne paraneekin hiukan bioenergian tuotannon kannalta, kun teknologian ja kasvinjalostuksen kehitys parantaa-

vat tuotanto-oloja ja satoja etenkin entisen Neuvostoliiton maissa ja joissakin maissa, etenkin Pohjois-Euroopassa, myös ilmastonmuutos vaikuttaa myönteisesti, kun se ei etene kovin voimakkaasti. Samalla useimpien tarkasteltavien maiden väkiluku nousee vain vähän (<http://faostat.fao.org>), mikä osaltaan vapauttaa peltoja ruoantuotannosta.

1.5. Kirjallisuus

- Ewert, F., Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Metzger, M.J. & Leemans, R. 2005. Future scenarios of European agricultural land use I. Estimating changes in crop productivity. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 107: 101–116.
- Hakala, K., Kontturi, M. & Pahkala, K. 2009. Field biomass as global energy source. *Agricultural and Food Science* 18: 347-365.
- Metzger, M.J., Bunce, R.G.H., Jongman, R.H.G., Mucher, C.A. & Watkins, J.W. 2005. A climatic stratification of the environment of Europe. *Global Ecology and Biogeography* 14, 549-563.
- Nakicenovic N., Alcamo J., Davis G., de Vries B., Fenhann J., Gaffin S., Gregory K., Grübler A., Jung T.Y., Kram T., La Rovere E.L., Michaelis L., Mori S., Morita T., Pepper W., Pitcher H., Price L., Raihi K., Roehrl A., Rogner H.-H., Sankovski A., Schlesinger M., Shukla P., Smith S., Swart R., van Rooijen S., Victor N. & Dadi Z., 2000. Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 599 p.
- Olesen, J.E. & Bindi, M. 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy* 16: 239–262.
- Pahkala, K., Hakala, K., Kontturi, M., Niemeläinen, O. 2009. Peltobiomassat globaalina energianlähteenä. *Maa- ja elintarviketalous* 137. 53 s.
- Paillard, S., Treyer, S. & Dorin, B. (coordinators) 2011. *Agrimonde: Scenarios and Challenges for Feeding the World in 2050*. Editions Quae (Cirad and INRA), France. 295 p.
- Penning de Vries, F.W.T, Rabbinge, R. & Groot, J.J.R. 1997. Potential and attainable food production and food security in different regions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences* 352: 917–928.
- Parry, M.L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M. & Fischer, G. 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change* 14: 53–67.
- Soimakallio, S., Mäkinen, T., Ekholm, T., Pahkala, K., Mikkola, H. & Paappanen, T. 2009. Greenhouse gas balances of transportation biofuels, electricity and heat generation in Finland - Dealing with the uncertainties. *Energy Policy* 37: 80-90.

2. Peltoviljelyn sivutuotteet ja niiden bioenergiapotentiaali

Katri Pahkala, Timo Lötjönen

2.1. Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

EU:n tavoite nostaa uusiutuvan energian käyttöä 20 %:iin vuoteen 2020 mennessä on haastava monille yksittäisille Euroopan valtioille erityisesti alueilla, joissa metsävarat ovat vähäisiä. Suomessa hallituksen ilmasto- ja energiastrategian mukaiset tavoitteet biopolttoaineiden käytön lisäämiseksi vuoteen 2020 mennessä ovat vielä kunnianhimoisempia (Hallituksen ilmasto- ja energiastrategia 2008). Pääpaino on asetettu puuperäisten polttoaineiden käytön lisäämiseen nykyisestä 85 TWh:sta aina 100 TWh asti, mikä edellyttäisi esimerkiksi metsähakkeen käytön kaksinkertaistamista nykyisestä (Ylitalo 2011). On mahdollista, että tavoitteisiin ei päästä ilman suuria ja kalliita investointeja, jos ollenkaan (Kärhä et al. 2011). Tämän vuoksi on otettava huomioon myös pelloilta saatava materiaali, josta erityisesti kasvintuotannon sivuvirrat ovat bioenergiakasvien ohella olleet mielenkiinnon kohteena.

Kasvinviljelyn sivutuotteet (esim. viljan oljet, öljy- ja palkokasvien varret ja juurikasvien naatit), jotka on yleensä muokattu maahan, ovat potentiaalisia bioenergian raaka-aineita. Kun bioenergian tuotannon tarve on lisääntynyt, näiden sivuvirtojen hyödyntämiseen energian tuotannossa on monissa maissa kannustettu. Lisäksi jo yleistyneet viljelymenetelmät esim. viljojen ja öljykasvien suora- kylvö hyötyvät olkien poisviennistä.

Tässä tutkimuksessa perehdyttiin viiden tärkeimmän kasviryhmän (viljat, öljykasvit, palkokasvit, juurikasvit ja sokerikasvit) tuotantoon Euroopan eri maissa sekä USA:ssa. Kiinnostuksen kohteena olivat erityisesti ne maat, joissa peltokasvien kasvintuotanto on perinteisesti laajaa ja tärkeässä osassa kansantuotteen muodostumisessa. Nämä maat kiinnostivat myös mahdollisina energiateknologian vientimaina.

2.2. Menetelmät

Peltokasvien sivutuotteiden määrää laskettiin viidestä tärkeimmästä kasviryhmästä: viljat, öljykasvit, palkokasvit, juurikasvit ja sokerikasvit. Peltokasvien sadot haettiin FAO:n tilastoista ja nykytilanteen kuvaamiseen käytettiin keskiarvoa vuosilta 1998 – 2007. Tutkimuksessa määritettiin kolme erilaista sivutuotepotentiaalia.

Teoreettinen sivutuotepotentiaali määritettiin kasvin satoindeksin avulla. Satoindeksit on määritetty tutkimuksellisesti useimmille viljelykasveille (Pahkala et al. 2009, Hakala et al. 2009). Satoindeksi = $\text{sato}_{ka} / (\text{sato}_{ka} + \text{sivutuote}_{ka})$.

Tekninen sivutuotepotentiaali: Teoreettisesta sivutuotepotentiaalista vähennettiin sadonkorjuussa peltoon jäävä osuus, joka viljoilla, öljykasveilla ja palkokasveilla on 15-30 cm mittainen sänki. Lisäksi osa kasvibiomassasta varisee korjattaessa. Tässä tutkimuksessa käytetty vähennys teknisen potentiaalin saamiseksi oli viljoilla, öljykasveilla ja palkokasveilla 30 % (Pahkala ym. 2009) ja jyvämaissilla 25 % (Graham et al. 2007).

Teknis-taloudellinen sivutuotepotentiaali: Teoreettisesta sivutuotepotentiaalista vähennettiin potentiaaleja rajaavat biologiset, tekniset ja taloudelliset tekijät. Esimerkiksi viljakasvien oljen osalta teknis-taloudellinen potentiaali saatiin laskettua seuraavasti (Edwards et al. 2005):

Teknis-taloudellinen potentiaali = teoreettinen sivutuotepotentiaali – peltoon jäävä osuus – maan kasvukunnon vaatima osuus – sivutuotteiden vaihtoehtoiskäytön osuus – sääolojen takia käytökelvoton osuus – suuren kuljetusetaisyuden takia käytökelvoton osuus.

Nämä teoreettista potentiaalia rajoittavat tekijät vaihtelevat alueittain, maalajeittain ja mm. muiden energialähteiden hintojen mukaan. Seuraavassa lyhyt katsaus rajoittaviin tekijöihin ja miten ne valittiin tässä tutkimuksessa.

Maaperän orgaanisen aineksen pitoisuus eli multavuus on yksi tärkeimmistä peltojen kasvukunnon tekijöistä. Tunnettu asia on, että kasvijätteiden (esimerkiksi oljen) silppuaminen ja muokkaaminen maahan ylläpitää maan multavuutta. Selvää myöskin on, että kasvijätteiden vuosittainen poistaminen vähentää maan multavuutta ainakin luonnostaan niukasti orgaanista ainesta sisältävillä maalajeilla (Powlson et al. 2011). Täysin varmaa vastausta siihen, kuinka usein kasvijätteet voitaisiin maan viljavuuden heikentymättä poistaa, ei ole pystytty antamaan. Vastaukseen vaikuttavat mm. maalaji, ilmasto-olot, topografia, eroosioherkkyys, viljelykierto, satotasot, orgaanisen lannoitteen määrä ja muokkaustekniikka. Kirjallisuudessa esiintyvät mm. seuraavat arviot: kasvijätteet voitaisiin poistaa joka kolmas vuosi, joka toinen vuosi tai kahtena vuonna kolmesta (Blanco-Canqui & Lal 2009, Powlson et al. 2011). Tämän tutkimuksen laskelmaan valittiin keskimäinen arvo, eli kasvijätteet voitaisiin kestävästi poistaa joka toinen vuosi.

Sivutuotteiden vaihtoehtoiskäytöllä tarkoitetaan mm. viljojen olkien käyttöä eläinten kuivikkeena tai rehuna ja olkien käyttöä maa- ja puutarhatalouden katemateriaaleina. Edwards et al. (2005) arvioi, että eläinten kuivikekäyttö on vaihtoehtoiskäytöstä huomattavin ja se olisi 0,1 – 2 tonnia olkea/nauta/vuosi, alueesta riippuen. Suomessa on puolestaan arvioitu, että 10 – 20 % vuosittaisesta olkisadosta käytetään eläinten kuivitukseen ja rehuksi (Orava 1980), Tanskassa tuo määrä olisi jopa 45 % (Nikolaisen et al. 1998). Tämän tutkimuksen laskelmaan muun käytön määräksi asetettiin 20 %.

Sääolot rajoittavat sivutuotteiden korjuuta lähinnä Pohjoismaissa ja sielläkin niin, että kaikkina vuosina ongelmia ei ole. Koska kasvukausi on lyhyt, syksyn sateiden takia esimerkiksi olkia ei saada kuivumaan säilymisen kannalta riittävästi tai maaperä ei ole tarpeeksi kantavaa korjuukoneille. Tässä tutkimuksessa sääolojen arvioitiin rajoittavan sivutuotteiden korjuusta Pohjoismaissa 10 %, muille maille ei asetettu rajoituksia.

Koska kasvinviljelyn sivutuotteiden tilavuuspaino on alhainen ja samalla niistä saatavien kuormien energiatiheys on matala verrattuna moneen muuhun energialähteeseen, sivutuotteita ei kannata kuljettaa kovin pitkiä matkoja. Esimerkiksi paalattun oljen maksimi kuljetusetäisyys lienee luokkaa 100 – 200 km, oljen hinnasta ja kuljetuskustannuksista riippuen (Forsberg et al. 2007). Mikäli sivutuotetta käyttävää jalostuslaitosta ei ole taloudellisen kuljetusmatkan päässä, rajautuu teoreettinen potentiaali tästä johtuen. Taloudelliseen kuljetusetäisyyteen vaikuttavat mm. energian yleinen hintataso, uudet teknologiat ja tukipolitiikka. On kuitenkin vaikea arvioida, mihin biojalostamoja syntyy, joten kuljetustekijää ei käytetty rajaavana tekijänä tässä tutkimuksessa.

Teoreettinen sivutuotepotentiaali rajautuu siis teknis-taloudellisista seikoista johtuen huomattavasti, tässä tutkimuksessa vähennys on 70 – 80 %. Merkittävimmän osuuden muodostaa maan multavuuden säilyttämisen vaatima osuus. Varmaan on niin, että tietyillä multavilla alueilla tuo osuus voi olla selvästi pienempikin, mutta tässä ei haluttu tehdä ylioptimisia arvioita käytettävissä olevista sivutuotemääristä.

Tulevaisuudessa käytettävissä olevia sivutuotemääriä arvioitiin samaan tapaan kuin kappaleessa 1 on kuvattu. Teknisen kehityksen oletettiin kasvattavan satoja OECD-maissa 0,81 % vuodessa ja entisen Neuvostoliiton maissa 2,2 % vuodessa (Paillard et al. 2011). Ilmastonmuutoksen oletettiin valtios- ta riippuen nostavan tai laskevan satoja 5 % vuoteen 2050 mennessä (Parry et al. 2004).

Tässä tutkimuksessa arvioitiin myös muiden kuin vilja-, öljy- ja palkokasvien sivuvirtoja. Esim. juurikasvien naatteja tuskin tullaan käyttämään bioenergiaksi (poikkeuksena maatilatason biokaasulaitokset karjattomilla tiloilla) niiden rehuarvon ja toisaalta niiden sisältämän runsaan ravinnepitoisuuden takia. Lisäksi on todettu niiden poisviennin vähentävän selvästi maan humuspitoisuutta (Weiser et al. 2011). Eri kasvien kuiva-ainepitoisuutta arvioitiin kirjallisuuden perusteella. Arvioitaessa sivuvirtavolyymien energiasisältöä laskentaperusteena käytettiin kuiva-aineen poltossa saatavaa tehollista lämpöarvoa. Eri kasveista peräisin olevan kuiva-aineen lämpöarvo vaihtelee suhteellisen vä-

hän. Kirjallisuuden perusteella sivutuotteiden kuiva-aineen energia-arvoksi valittiin 18 MJ/kg eli 5 kWh/kg (Alakangas 2000, Soimakallio et.al 2009).

2.3. Sivutuotepotentiaali Euroopan eri maissa

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin peltokasveista viljoja, öljykasveja, perunaa, palkokasveja ja sokeri-juurikasta. Oletetaan, että nurmiviljelyssä ei muodostu sivutuotteita. Käytännössä paljonkin nurmien sadoista voi jäädä hyödyntämättä (esimerkiksi laitumet, odelma ja kesannot), mutta hyödyntämätöntä määrää on vaikea löytää mistään tilastoista. Nurmikasvien potentiaalia on Oiva Niemeläinen tarkastellut tässä julkaisussa erikseen.

Peltokasvien sivutuotteiden potentiaalista valtaosa, 70 – 90 %, koostuu kaikissa tarkastelluissa maissa viljakasvien oljista, Alankomaita lukuun ottamatta (taulukot 4-8). Siellä perunan ja muidenkin erikoiskasvien osuus on niin suuri, että oljen määrä sivutuotteista jää alle 50 %:iin. Sivutuotteiden määrä muodostuu viljelypinta-alan ja satojen tulona, joten suurimmat sivutuotemäärät löytyvät Länsi-Euroopassa suuruusjärjestyksessä Ranskasta, Saksasta, Iso-Britanniasta, Italiasta ja Espanjasta (taulukot 3-4). Itä-Euroopassa suurimpia ovat Venäjän Euroopan puoliset osat, Ukraina ja Puola. Ukrainan nyt suhteellisen heikkojen satojen arvellaan kasvavan tulevaisuudessa nopeasti, joten se ohittaisi sivutuotteiden määrässä Saksan vuoteen 2050 mennessä.

Venäjällä peltokasvien viljely on keskittynyt valtaosin maan Euroopan puoleisiin osiin. Tällä hetkellä tuon alueen sivutuotepotentiaali on likimain samankokoinen Ranskan kanssa, mutta sen arvioidaan ohittavan Ranskan jo vuonna 2030. Mainittakoon, että USA:n sivutuotepotentiaali on tällä hetkellä yli viisinkertainen Ranskan tai Venäjän Euroopan puoleisten osien potentiaaliin (taulukko 4). Yhdysvalloissakin 70 % sivutuotteesta koostuu viljojen oljesta, mutta erityispiirteenä on öljykasvien (mm. soija) varsien suuri osuus.



Kuva 4. Viljakasvien oljet muodostavat peltoviljelyn suurimman sivutuotepotentiaalin melkein kaikissa tarkastelun maissa ja mm. Tanskassa olkea hyödynnetäänkin energiantuotannossa merkittäviä määriä. (Kuva: Timo Lötjönen, Luke)

Taulukko 4. Viljelykasvien sivutuotteiden tekniset potentiaalit ja teknis-taloudelliset potentiaalit Euroopan maissa: nykytila, 2030 ja 2050. Kasvien tämänhetkiset sadot (nykytila) on laskettu FAO:n tilastoista vuosien 1998 – 2007 keskiarvoina. Pohjoismaat ja Baltia.

Maa	Kasvi	Nykytila, tekninen potentiaali 1000 t ka	Nykytila, tekninen energia-potentiaali, TWh	Nykytila, teknis-taloudellinen energia-potentiaali, TWh	2030, teknis-taloudellinen energia-potentiaali, TWh	2050, teknis-taloudellinen energia-potentiaali, TWh
POHJOISMAAT						
Suomi	Viljat	2119	10,6	3,8		
	Öljykasvit	114	0,6	0,2		
	Peruna	85	0,4	0,2		
	Palkokasvit	5	0,0	0,0		
	Sokerijuurikas	54	0,3	0,1		
				11,9	4,3	5,1
Tanska	Viljat	5723	28,6	10,3		
	Öljykasvit	437	2,2	0,8		
	Peruna	187	0,9	0,3		
	Palkokasvit	79	0,4	0,1		
	Sokerijuurikas	162	0,8	0,3		
				32,9	11,9	14,2
Norja	Viljat	746	3,7	1,3		
	Öljykasvit	15	0,1	0,0		
	Peruna	45	0,2	0,1		
	Palkokasvit	0	0,0	0,0		
	Sokerijuurikas	0	0,0	0,0		
				4,0	1,5	1,7
Ruotsi	Viljat	3323	16,6	6,0		
	Öljykasvit	203	1,0	0,4		
	Peruna	115	0,6	0,2		
	Palkokasvit	43	0,2	0,1		
	Sokerijuurikas	134	0,7	0,2		
				19,1	6,9	8,2
BALTIAN MAAT						
Viro	Viljat	375	1,9	0,7		
	Öljykasvit	75	0,4	0,1		
	Peruna	33	0,2	0,1		
	Palkokasvit	3	0,0	0,0		
	Sokerijuurikas	0	0,0	0,0		
				2,4	1,0	1,4
Latvia	Viljat	720	3,6	1,4		
	Öljykasvit	81	0,4	0,2		
	Peruna	84	0,4	0,2		
	Palkokasvit	3	0,0	0,0		
	Sokerijuurikas	25	0,1	0,0		
				4,6	1,8	2,7
Liettua	Viljat	1685	8,4	3,4		
	Öljykasvit	173	0,9	0,3		
	Peruna	151	0,8	0,3		
	Palkokasvit	40	0,2	0,1		
	Sokerijuurikas	48	0,2	0,1		
				10,5	4,2	6,2

Taulukko 5. Viljelykasvien sivutuotteiden tekniset potentiaalit ja teknis-taloudelliset potentiaalit Euroopan maissa: nykytila, 2030 ja 2050. Kasvien tämänhetkiset sadot (nykytila) on laskettu FAO:n tilastoista vuosien 1998 – 2007 keskiarvoina. Länsi-Eurooppa.

Maa	Kasvi	Nykytila, tekninen potentiaali 1000 t ka	Nykytila, tekninen energia-potentiaali, TWh	Nykytila, teknis-taloudellinen energia-potentiaali, TWh	2030, teknis-taloudellinen energia-potentiaali, TWh	2050, teknis-taloudellinen energia-potentiaali, TWh
LÄNSI-EUROOPPA						
Alankomaat	Viljat	1091	5,5	2,2		
	Öljykasvit	9	0,0	0,0		
	Peruna	861	4,3	1,7		
	Palkokasvit	7	0,0	0,0		
	Sokerijuurikas	332	1,7	0,7		
			11,5	4,6	5,5	6,6
Belgia	Viljat	1720	8,6	3,4		
	Öljykasvit	36	0,2	0,1		
	Peruna	348	1,7	0,7		
	Palkokasvit	3	0,0	0,0		
	Sokerijuurikas	327	1,6	0,7		
			12,2	4,9	5,8	7,0
Espanja	Viljat	11633	58,2	23,3		
	Öljykasvit	787	3,9	1,6		
	Peruna	352	1,8	0,7		
	Palkokasvit	195	1,0	0,4		
	Sokerijuurikas	387	1,9	0,8		
			66,8	26,7	31,9	38,4
Italia	Viljat	12570	62,9	25,1		
	Öljykasvit	1130	5,7	2,3		
	Peruna	232	1,2	0,5		
	Palkokasvit	33	0,2	0,1		
	Sokerijuurikas	552	2,8	1,1		
			72,6	29,0	34,7	41,8
Itävalta	Viljat	2830	14,2	5,7		
	Öljykasvit	303	1,5	0,6		
	Peruna	83	0,4	0,2		
	Palkokasvit	66	0,3	0,1		
	Sokerijuurikas	154	0,8	0,3		
			17,2	6,9	8,2	9,9
Irlanti	Viljat	1232	6,2	2,5		
	Öljykasvit	14	0,1	0,0		
	Peruna	58	0,3	0,1		
	Palkokasvit	8	0,0	0,0		
	Sokerijuurikas	66	0,3	0,1		
			6,9	2,8	3,3	4,0
Iso-Britannia	Viljat	14250	71,2	28,5		
	Öljykasvit	1988	9,9	4,0		
	Peruna	780	3,9	1,6		
	Palkokasvit	486	2,4	1,0		
	Sokerijuurikas	479	2,4	1,0		
			89,9	36,0	43,0	51,7

Taulukko 6. Viljelykasvien sivutuotteiden tekniset potentiaalit ja teknis-taloudelliset potentiaalit Euroopan maissa: nykytila, 2030 ja 2050. Kasvien tämänhetkiset sadot (nykytila) on laskettu FAO:n tilastoista vuosien 1998 – 2007 keskiarvoina. Länsi-Eurooppa jatkoa, lisäksi USA

Maa	Kasvi	Nykytila, tekninen potentiaali 1000 t ka	Nykytila, tekninen energia-potentiaali, TWh	Nykytila, teknis-taloudellinen energia-potentiaali, TWh	2030, teknis-taloudellinen energia-potentiaali, TWh	2050, teknis-taloudellinen energia-potentiaali, TWh
Kreikka	Viljat	2872	14,4	5,7		
	Öljykasvit	27	0,1	0,1		
	Peruna	116	0,6	0,2		
	Palkokasvit	22	0,1	0,0		
	Sokerijuurikas	125	0,6	0,3		
			15,8	6,3	7,6	9,1
Luxemburg	Viljat	74	0,4	0,1		
	Öljykasvit	13	0,1	0,0		
	Peruna	2	0,0	0,0		
	Palkokasvit	1	0,0	0,0		
	Sokerijuurikas	0	0,0	0,0		
			0,4	0,2	0,2	0,3
Portugali	Viljat	691	3,5	1,4		
	Öljykasvit	45	0,2	0,1		
	Peruna	95	0,5	0,2		
	Palkokasvit	3	0,0	0,0		
	Sokerijuurikas	24	0,1	0,0		
			4,3	1,7	2,0	2,5
Ranska	Viljat	40471	202,4	80,9		
	Öljykasvit	6290	31,4	12,6		
	Peruna	808	4,0	1,6		
	Palkokasvit	1061	5,3	2,1		
	Sokerijuurikas	1676	8,4	3,4		
			251,5	100,6	120,2	144,7
Saksa	Viljat	29630	148,2	59,3		
	Öljykasvit	5301	26,5	10,6		
	Peruna	1437	7,2	2,9		
	Palkokasvit	327	1,6	0,7		
	Sokerijuurikas	1383	6,9	2,8		
			190,4	76,2	91,0	109,5
Sveitsi	Viljat	649	3,2	1,3		
	Öljykasvit	75	0,4	0,1		
	Peruna	62	0,3	0,1		
	Palkokasvit	9	0,0	0,0		
	Sokerijuurikas	71	0,4	0,1		
			4,3	1,7	2,1	2,5
USA	Viljat	197626	988,1	395,3		
	Öljykasvit	74460	372,3	148,9		
	Peruna	2553	12,8	5,1		
	Palkokasvit	821	4,1	1,6		
	Sokerijuurikas	1622	8,1	3,2		
			1385,4	554,2	662,1	797,0

Taulukko 7. Viljelykasvien sivutuotteiden tekniset potentiaalit ja teknis-taloudelliset potentiaalit Euroopan maissa: nykytila, 2030 ja 2050. Kasvien tämänhetkiset sadot (nykytila) on laskettu FAO:n tilastoista vuosien 1998 – 2007 keskiarvoina. Itä-Eurooppa.

Maa	Kasvi	Nykytila, tekninen potentiaali 1000 t ka	Nykytila, tekninen energia-potentiaali, TWh	Nykytila, teknis-taloudellinen energia-potentiaali, TWh	2030, teknis-taloudellinen energia-potentiaali, TWh	2050, teknis-taloudellinen energia-potentiaali, TWh
ITÄ-EUROOPPA						
Albania	Viljat	335	1,7	0,7		
	Öljykasvit	3	0,0	0,0		
	Peruna	20	0,1	0,0		
	Palkokasvit	13	0,1	0,0		
	Sokerijuurikas	2	0,0	0,0		
			1,9	0,7	1,1	1,7
Bosnia-Herzegovina	Viljat	694	3,5	1,4		
	Öljykasvit	10	0,0	0,0		
	Peruna	48	0,2	0,1		
	Palkokasvit	9	0,0	0,0		
	Sokerijuurikas	0	0,0	0,0		
			3,8	1,5	2,2	3,4
Bulgaria	Viljat	3472	17,4	6,9		
	Öljykasvit	726	3,6	1,5		
	Peruna	58	0,3	0,1		
	Palkokasvit	10	0,1	0,0		
	Sokerijuurikas	2	0,0	0,0		
			21,3	8,5	12,6	18,9
Kroatia	Viljat	1767	8,8	3,5		
	Öljykasvit	192	1,0	0,4		
	Peruna	60	0,3	0,1		
	Palkokasvit	8	0,0	0,0		
	Sokerijuurikas	61	0,3	0,1		
			10,4	4,2	6,2	9,3
Moldova	Viljat	1321	6,6	2,6		
	Öljykasvit	313	1,6	0,6		
	Peruna	41	0,2	0,1		
	Palkokasvit	28	0,1	0,1		
	Sokerijuurikas	54	0,3	0,1		
			8,8	3,5	5,2	7,8
Puola	Viljat	18023	90,1	36,0		
	Öljykasvit	1547	7,7	3,1		
	Peruna	2011	10,1	4,0		
	Palkokasvit	178	0,9	0,4		
	Sokerijuurikas	683	3,4	1,4		
			112,2	44,9	66,2	99,6
Romania	Viljat	9345	46,7	18,7		
	Öljykasvit	1411	7,1	2,8		
	Peruna	472	2,4	0,9		
	Palkokasvit	37	0,2	0,1		
	Sokerijuurikas	56	0,3	0,1		
			56,6	22,6	33,4	50,3

Taulukko 8. Viljelykasvien sivutuotteiden tekniset potentiaalit ja teknis-taloudelliset potentiaalit Euroopan maissa: nykytila, 2030 ja 2050. Kasvien tämänhetkiset sadot (nykytila) on laskettu FAO:n tilastoista vuosien 1998 – 2007 keskiarvoina. Itä-Eurooppa jatkoa.

Maa	Kasvi	Nykytila, tekninen potentiaali 1000 t ka	Nykytila, tekninen energia-potentiaali, TWh	Nykytila, teknis-taloudellinen energia-potentiaali, TWh	2030, teknis-taloudellinen energia-potentiaali, TWh	2050, teknis-taloudellinen energia-potentiaali, TWh
Slovakia	Viljat	1925	9,6	3,9		
	Öljykasvit	416	2,1	0,8		
	Peruna	45	0,2	0,1		
	Palkokasvit	22	0,1	0,0		
	Sokerijuurikas	71	0,4	0,1		
			12,4	5,0	7,3	11,0
Slovenia	Viljat	307	1,5	0,6		
	Öljykasvit	5	0,0	0,0		
	Peruna	19	0,1	0,0		
	Palkokasvit	2	0,0	0,0		
	Sokerijuurikas	14	0,1	0,0		
			1,7	0,7	1,0	1,5
Tsekki	Viljat	4470	22,4	8,9		
	Öljykasvit	1046	5,2	2,1		
	Peruna	131	0,7	0,3		
	Palkokasvit	51	0,3	0,1		
	Sokerijuurikas	178	0,9	0,4		
			29,4	11,8	17,3	26,1
Ukraina	Viljat	19895	99,5	39,8		
	Öljykasvit	4029	20,1	8,1		
	Peruna	2199	11,0	4,4		
	Palkokasvit	425	2,1	0,9		
	Sokerijuurikas	853	4,3	1,7		
			137,0	54,8	80,8	121,6
Unkari	Viljat	7484	37,4	15,0		
	Öljykasvit	1226	6,1	2,5		
	Peruna	98	0,5	0,2		
	Palkokasvit	41	0,2	0,1		
	Sokerijuurikas	143	0,7	0,3		
			45,0	18,0	26,5	39,9
Valko-Venäjä	Viljat	3295	16,5	6,6		
	Öljykasvit	151	0,8	0,3		
	Peruna	1016	5,1	2,0		
	Palkokasvit	177	0,9	0,4		
	Sokerijuurikas	122	0,6	0,2		
			23,8	9,5	14,0	21,1
Venäjä (Euroopan puoleiset osat)	Viljat	40228	201,1	80,5		
	Öljykasvit	4685	23,4	9,4		
	Peruna	2510	12,5	5,0		
	Palkokasvit	492	2,5	1,0		
	Sokerijuurikas	1066	5,3	2,1		
			244,9	98,0	144,4	217,5

Pohjoismaissa suurin sivutuotemäärä muodostuu Tanskassa, jossa sitä myös hyödynnetään energiaksi jo varsin hyvin, ehkä parhaiten maailmassa (Nikolaisen et al. 1998, Edwards et al. 2005). Tanskan teknis-taloudellinen sivutuotepotentiaali on 2,8ertainen Suomeen verrattuna ja 1,7ertainen Ruotsiin verrattuna (taulukko 2). Tanskan peltopinta-ala keskittyy selvästi pienemmälle alueelle kuin Suomessa tai Ruotsissa, joten logistiikka on Tanskassa kannattavampaa järjestää. Samoin syksyn korjuuolot ovat Tanskassa muita pohjoismaita edullisemmat. Toisaalta Tanskalla ei ole metsää käytettävissä energian tuotantoon läheskään siinä määrin kuin Ruotsilla ja Suomella. Näistä syistä johtuen on helppo ymmärtää, miksi peltokasvien sivutuotteiden hyödyntäminen energian tuotantoon on yleisintä juuri Tanskassa, mutta tilanteeseen pääsemiseen on tarvittu myös sopiva, vuosikymmeniä jatkunut poliittinen tahtotila (Nikolaisen et al. 1998).

Taulukoiden 2-6 lukuja tarkastellessa on hyvä muistaa, että esimerkiksi yhden Olkiluodon ydinvoimalayksikön vuotuinen sähköntuotantomäärä on noin 7 TWh (Teollisuuden Voima 2012). Siinä valossa esimerkiksi Pohjoismaiden teknis-taloudelliset sivutuotepotentiaalit eivät vaikuta kovin merkittäviltä. Ne laskettiin melko suurta varovaisuutta noudattaen mm. maan kasvukunnon säilymisen osalta (50 % sivutuotemäärästä jätetään vuosittain peltoon multavuuden takaamiseksi). Siten voi olla, että ”oikea” potentiaali olisi jossain taulukon teknis-taloudellisen potentiaalın ja teknisen potentiaalın välimaastossa.

Verrattaessa taulukoiden 1.1 – 1.3 ja 2 – 6 lukuja toisiinsa huomataan, että bioenergiakasvien viljelyllä olisi tulevaisuudessa mahdollista tuottaa selvästi suurempia energiamääriä, kuin mitä on nyt viljeltävien ruokakasvien sivutuote-energiapotentiaali. Siinä on vain sellainen ero, että sivutuotteiden energia on jo nyt olemassa ja hyödynnettävissä, kun taas bioenergiakasveja viljellään tällä hetkellä vielä hyvin vähän, ehkä Saksaa, USA:ta ja Brasiliää lukuun ottamatta.

Bioenergiakasvien tuotantopotentiaalın toteutuminen riippuu vielä hyvin monesta tekijästä, kuten kehitysmaiden ja kehittyvien maiden ruuan kysynnän kasvusta, poliittisesta tahtotilasta ja kannustimista, ilmastonmuutoksen toteutumisesta, fossiilisten energioiden hinnoista ja uusista innovaatioista uusiutuvissa energioissa. Joka tapauksessa viljelyn sivutuotteista saatavalla energialla on merkitystä varsinkin hajautetussa energiantuotannossa kaikissa maatalousmaissa ja keskittyneessäkin energiantuotannossa ainakin ns. suurissa maatalousmaissa. Paikallisesti myös muulla sivutuotteella kuin viljakasvien oljilla voi olla merkitystä, esimerkiksi jäteperunan tai sokerijuurikkaan naattien hyödyntämisessä biokaasun tai etanolin tuotantoon.



Kuva 5. Perunan ja sokerijuurikkaan varret muodostavat merkittävän bioenergiapotentiaalin. Toisaalta niitä tarvitaan maan humuksen ylläpitämiseen, eikä varsien keruu ole teknisesti kovin helppo järjestää. (Kuva: Timo Lötjönen, Luke)

2.4. Yhteenveto

Peltokasvien sivutuotteiden potentiaalista valtaosa, 70 – 90 %, koostuu kaikissa tarkastelluissa maissa viljakasvien oljista. Suurimmat sivutuotemäärät löytyvät Länsi-Euroopassa suuruusjärjestyksessä Ranskasta, Saksasta, Iso-Britanniasta, Italiasta ja Espanjasta. Itä-Euroopassa suurimpia ovat Venäjän Euroopan puoleiset osat, Ukraina ja Puola. Ukrainan ja Venäjän nyt suhteellisen heikkojen satojen arvellaan kasvavan tulevaisuudessa nopeasti. Pohjoismaissa suurin sivutuotemäärä muodostuu Tanskassa, jossa sitä myös hyödynnetään energiaksi jo varsin hyvin, ehkä parhaiten maailmassa.

Suinkaan kaikki pelloilla muodostuva sivutuotemäärä ei ole käytävissä energiaksi tai biojalostamoiden raaka-aineeksi. Tutkimusten mukaan merkittävin rajoittava tekijä on se, että maan kasvukunnon säilyttäminen edellyttää jättämään osan kasvinjätteistä maan multavuutta parantamaan. Tässä tutkimuksessa oletettiin, että 50 % kasvinjätteestä tulee jättää vuosittain pelloille. Arvioon sisältyy kuitenkin suurta epävarmuutta alueittain ja maalajeista johtuen. Lisäksi sivutuotteiden käyttöä bioenergiaksi rajaavat mm. kotieläintuotannon kuivikekäyttö, pitkät kuljetusmatkat ja epäedulliset korjuusajat. Kuitenkin arviomme mukaan vähintään 20 – 30 % vuosittain muodostuvasta sivutuotteen määrästä olisi teknis-taloudellisesti arvioiden käytettävissä esimerkiksi bioenergiaksi.

Euroopan suurissa maatalousmaissa tämä tarkoittaa 20 – 75 TWh:n teknis-taloudellista energia-potentiaalia per valtio, mikä vastaa 3 – 10 Olkiluodon ydinvoimayksikön tuottamaa energiamäärää. Suomessakin sivutuotteesta saatavalla energialla voi olla merkitystä hajautetussa energiantuotannossa ja keskitetyssä tuotannossa muiden uusiutuvien energiamuotojen tukena.

2.5. Kirjallisuus

- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 2045.
Blanco-Canqui, H., & Lal, R. 2009. Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. *Critical Reviews in Plant Science*, 28: 139 – 163

- Edwards, R.A.H., Suri, M., Huld, T.A. & Dallemand, J.F. 2005. GIS-based assesment of cereal straw energy resource in the European Union. Proceedings of the 14th European Biomass Conference & Exhibition. Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 17. – 21. October 2005, Paris.
- Forsberg, M., Baky, A., Westlin, H., Ljungberg, D, & Ytterberg, P. 2007. Jordbruket som leverantör av åkerbränsle till storskaliga kraftvärmeverk – Fallstudie Värtan. JTI-Rapport, Lantbruk & Industri 361, 105 p.
- Graham, R.L., Nelson, R., Sheehan, J., Perlack, R.D., Wright, L.L. 2007. Current and potential U.S. corn stover supplies. *Agronomy Journal* 99: 1-11.
- Hakala, K., Kontturi, M. & Pahkala, K. 2009. Field biomass as global energy source. *Agricultural and Food Science* 18: 347-365.
- Kärhä, K., Elo, J., Lahtinen, P., Räsänen, T. & Pajuoja, H. 2011. Potentials of solid wood-based fuels in Finland in 2010. Proceedings of the 19th European Biomass Conference and Exhibition, 6-10 June 2011, Berlin, Germany, 367-370.
- Nikolaisen, L., Nielsen, C., Larsen, M. G, Nielsen, V., Zielke, U., Kristensen, J. K. & Holm-Christensen, B. 1998. Straw for energy production. *Technology – Environment – Economy*. Second Edition. The Centre for Biomass Technology. 53 s.
- Orava, R. 1980. Oljen korjuu ja käyttö maataloilla. Työtehoseuran julkaisuja 226. Helsinki. 105 s. + 5 liitettä.
- Pahkala, K., Hakala, K., Kontturi, M. & Niemenläinen, O. 2009. Peltobiomassat globaalina energianlähteenä. *Maa- ja elintarviketalous* 137. 53 s.
- Paillard, S., Treyer, S. & Dorin, B. (coordinators) 2011. *Agrimonde: Scenarios and Challenges for Feeding the World in 2050*. Editions Quae (Cirad and INRA), France. 295 p.
- Parry, M.L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M. & Fischer, G. 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, 14: 53–67.
- Powlson, D., Glendining, M., Coleman, K. & Whitmore, A. 2011. Implications for soil properties of removing cereal straw: Results from long-term studies. *Agronomy Journal*, 103: 279 – 287
- Soimakallio, S., Mäkinen, T., Ekholm, T., Pahkala, K., Mikkola, H. 2009. Greenhouse gas balances of transportation biofuels in Finland - Dealing with the uncertainties. *Energy Policy* 37: 80–90.
- Teollisuuden Voima 2012. TVO:lla hyvä tuotantovuosi. Teollisuuden voima. <http://www.tvo.fi/www/page/3731/> Viitattu 20.01.2012.
- Weiser, C., Zeller, V., Thrän, D. & Vetter, A. 2011. Spatial distribution of sustainable straw potentials in Germany. Proceedings of the 19th European Biomass Conference and Exhibition, 6-10 June 2011, Berlin, Germany, 260- 264.
- Ylitalo, E. 2011. Puun energiakäyttö 2010. Metla, Metsätilastotiedote (SVT Maa-, metsä- ja kalatalous) 16/2011. 7 p.

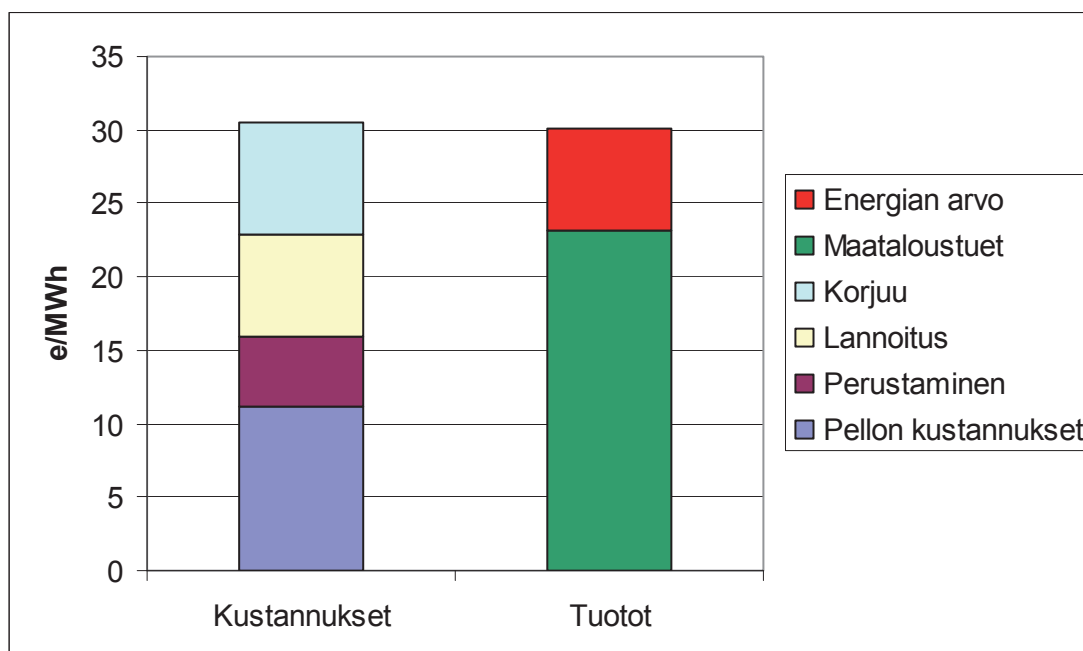
3. Kannustinmekanismien, teknologian ja kasvinjalostuksen mahdollisuudet lisätä peltobioenergian tuotantoa

Timo Lötjönen

3.1. Peltobioenergian nykyinen toimintaympäristö

Hintasuhteet ja kannustimet ratkaisevat bioenergiatuotannon laajuuden. Tuotannon pitää olla pitkällä aikavälillä kannattavaa niin viljelijöille, kuljetusyriyksille kuin energian jalostajillekin. Jos näin on, tuotantoa syntyy varmasti. Tämän osoittaa mm. Saksan esimerkki, jossa peltobioenergiaa tuotettiin vuonna 2008 jo noin 1,75 miljoonan hehtaarin alueella (Rechberger & Lötjönen 2009). 0,5 miljoonan hehtaarin alueella viljellään kasvibiomassaa biokaasun tuotantoon. Saksassa on käytössä mm. biomassalla tuotetun sähkön syöttötariffi, joka nostaa peltobioenergian hinnan korkeammalle, kuin mikä olisi pelkästään markkinavoimien määräämä hinta. Takuuhintaa on varsin tuntuva, suurimmillaan jopa luokkaa 20 c/kWh pienimittakaavaisessa tuotannossa (Gabauer & Dörrie 2009).

Suomessa viljellään ruukohelpeä energiantuotantoon noin 18 000 ha:n peltoalalla (Tike 2010). Tämä on eurooppalaisessa vertailussa merkittävä määrä. Viljelyala kasvoi nopeasti vuosina 2000 – 2007, mutta kolmena viimeisenä vuonna kasvua ei ole tapahtunut. Kehityksen pysähtyminen johtuu erityisesti maailmanlaajuisesta viljan hintapiikistä, mikä lisäsi viljelijöiden kiinnostusta viljanviljelyyn. Lisäksi viljelytuissa ja tuotantopanosten hinnoissa on tapahtunut muutoksia. Nyt pinta-alatuet ovat käytännössä samat mm. rehuviljalle, nurmelle, kesannolle ja ruukohelvelle.

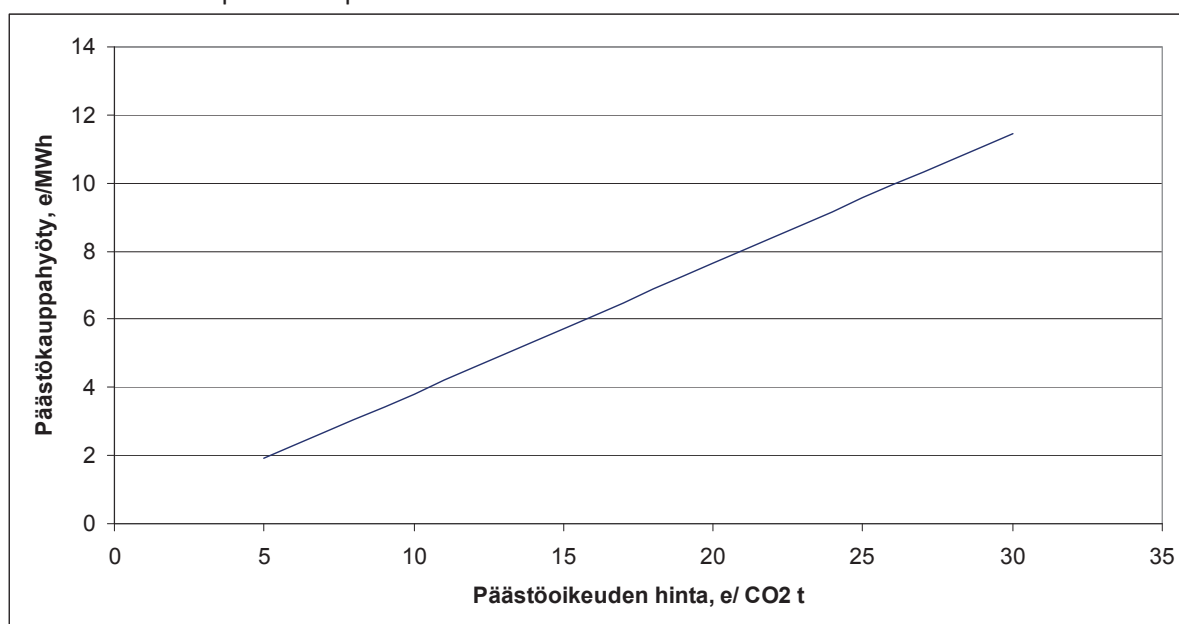


Kuva 6. Ruukohelven viljelyn, korjuun ja varastoinnin kustannukset ja tuotot viljelijälle v. 2010. Sato 5000 kg/ha, urakoitsija korjaa sadon pyöröpaaleihin (T. Lötjönen, Luke).

Kuvassa 6 on esitetty viljelijälle kohdistuvat ruukohelven viljelyn kustannukset ja tuotot vuoden 2010 hintatasossa. Kustannukset ja tuotot ovat jokseenkin tasapainossa, mikä on hyvä asia. Samalla kuitenkin huomataan, että myytävän energian arvo ei kata läheskään lannoituksen ja korjuun kustannuksia. Koska edellä todettiin tukitason olevan saman monella muullakin kasvulla, rationaalinen viljeli-

jä pyrkii valitsemaan sellaisen vaihtoehdon, jossa sadon arvo on suurempi tai kustannukset pienemmät. Alhaisen viljan hinnan tilanteessa tämä valinta on hyvin helposti kesanto tai laajaperäisesti viljelty nurmi eikä ruokohelpi.

Jotta Suomen ruokohelpiala kasvaisi merkittävästi, on tuotannon kustannuksia pystyttävä selvästi leikkaamaan tai tuottajahintaa vahvistamaan. Tuottajahinnan pitäisi olla vähintään lannoitus- ja korjuukustannusten suuruinen. EU:ssa on käytössä päästökauppa-kannustinmekanismi, joka koskee energiantuotantoa suurissa yli 20 MW:n tehoisissa laitoksissa. Tällä hetkellä sen kannustinvaikutus on alhaisesta päästöoikeuden hinnasta johtuen vähäinen (kuva 7). Suuremmillakaan hinnoilla (20-30 euroa/ CO₂ t) kannustusvaikutus ei tule olemaan ruokohelven kannalta riittävä, koska osa hyödystä jää kattamaan voimalaitoksen kustannuksia. Tarvittaisiin tehokkaampi kannustin, esimerkiksi Saksan kaltainen, luokkaa 100 euroa/MWh oleva biomassasähkön syöttötariffi. Tämä on suuruusluokaltaan noin 10-kertainen päästökaupan kannustinvaikutukseen nähden.



Kuva 7. Voimalaitoksen saama päästökauppahyöty eri päästöoikeuksien hinnoilla, kun se korvaa fossiilista polttoainetta uusiutuvilla polttoaineilla. Tätä kirjoitettaessa (tammikuu 2012) päästöoikeuden hinta on noin 7 euroa/ CO₂ t.

Teknologisilla ratkaisuilla on mahdollista vaikuttaa kuvan 6 korjuukustannuksiin ja myös talteen saatavaan sadon määrään. Jos laajennamme tarkastelun koskemaan koko helpienergian tuotantoketjua, mukaan tulevat kuljetuskustannukset ja paalien murskauskustannukset voimalaitoksella. Näitäkin voidaan hieman alentaa uusien teknologisin keinoin. Kasvinjalostuksen avulla voidaan parantaa ruokohelven satoa ja hyötysuhdetta, eli tuottaa enemmän biomassaa pienemmillä tuotantopanoksilla.

3.2. Peltobioenergian tuotannon haasteita

Peltobioenergiaa voidaan tuottaa monella eri tapaa. On energiakasveja ja sivutuotteita, joista tuotetaan lämpöä ja sähköä polttamalla. On kasveja ja sivutuotteita, jotka sopivat biokaasutukseen. Biokaasusta voidaan jalostaa sähköä ja lämpöä tai tuottaa liikennepolttoainetta. Sitten on kasveja, jotka sopivat parhaiten suoraan liikennepolttoaineiden, kuten etanolin tai biodieselin tuottamiseen. Toisen sukupolven teknologiat mahdollistavat tulevaisuudessa liikennepolttoaineiden teon lähes mistä tahansa biomassasta. Kaikelle peltobioenergian tuotannolle on olemassa kuitenkin seuraavanlaisia yhteisiä haasteita tuotantoketjun eri vaiheissa:

Viljely, korjuu ja varastointi

- kasvuston perustaminen kallista
- pitkäaikainen sitoutuminen
- korjuu sääriippuvaista
- kalliit korjuukustannukset
- toisinaan suuret korjuutappiot
- alhainen tuottajahinta
- lajikkeet eivät ole olleet aina sopivia energiaksi (jalostettu rehuntuotantoon)

Kaukokuljetus ja logistiikka

- kuormien energiatiheys usein alhainen => kuljetusmatka ei voi olla pitkä
- suuren kosteuden tai kastumisalttiuden takia säilyvyys voi olla huono
- varastot etäällä toisistaan
- sopivan kaluston puute
- tiestö paikoin heikkoa

Jalostaminen energiaksi

- uudenlainen raaka-aine vaatii uutta teknologiaa => investointikynnys, tieto-taitoa puuttuu
- raaka-aineen tasainen ja riittävä saatavuus
- päästöoikeuksien ja raaka-aineiden hinnat vaihtelevat => ennustettavuus- ja kannattavuusongelmia
- asenneongelmia uusien energialähteiden käyttöönotossa.

On huomattava, että suuri osa haasteista on samanlaisia, joihin törmättiin, kun puuenergian käyttö alkoi yleistyä Suomessa 1980-luvulla. Ne on valtaosin nyt ratkaistu ja puuenergia on vakavasti otettava energiamuoto muiden rinnalla. Nyt puuenergian lisäystavoitteet ovat kovat ja kehitystyötä tarvitaan siis edelleen.

3.3. Tarkastelua ja ratkaisuehdotuksia kohdealueittain

3.3.1. Suomi

Suomessa ruokohelpi säilynee yhtenä kilpailukykyisimmistä peltoenergian muodoista. Sen energia- ja kasvihuonekaasutaseet ovat hyvällä tasolla (Mäkinen ym. 2006, Mikkola & Ahokas 2009). Viljelyvarmuus on myös hyvä erilaisilla maalajeilla ja erityyppisissä oloissa. Koska pinta-alaa on jo 18 000 ha, tuotantoketjuja ja käyttöä on syntynyt eri puolille Suomea.

Polttoaineeksi ruokohelven rinnalle voitaisiin ottaa myös olki. Koska viljan viljelyala on maassamme suuri, oljen teoreettinen energiapotentiaali on noin 10 TWh vuodessa. Oljen korjuussa pystytään hyödyntämään samoja korjuukoneita, logistiikkaa ja paalinkäsittelylaitteita kuin ruokohelpiviljelyssä. Tosin olki on helpeä huonolaatuisempi polttoaine, mutta seospoltossa pieninä osuuksina se ei todennäköisesti aiheuttaisi ongelmia. Oljesta ja ruokohelvestä voidaan tehdä tulevaisuudessa myös toisen sukupolven liikennepolttonesteitä.

Biokaasun hyödyntäminen on Suomessa vasta aluillaan. Koska voimaan astunut biokaasusähkön syöttötariffin taso on melko alhainen verrattuna biokaasun tuotantokustannuksiin ja suunnattu vain suurille laitoksille, nopeaa biokaasutuotannon yleistymistä ei ole näköpiirissä. Biokaasu on myös hyvä liikennepolttoaine siellä, missä jakeluverkko on olemassa. Biokaasun liikennekäytön lisääntymiseen tarvitaan kuitenkin riittäviä kannustimia.

Systeemi, jossa viljellään palkokasvinurmisäilörehua biokaasulaitoksen syötteeksi ja mädätysjäännös palautetaan lannoitteeksi samoille pelloille, on tutkimisen ja kehittämisen arvoinen. Siinä voidaan tulla toimeen melko pienellä ulkopuolisella ravinnemäärällä, ja ravinnekierto on silloin lähes suljettu. Tuotannon haasteena on taloudellinen kannattavuus.

Viljan jyvistä voidaan valmistaa bioetanolia ja öljykasvien siemenistä biodieseliä. Suomen sato-
tasoilla ja panostuksilla näiden polttonesteiden energia- ja kasvihuonekaasutaseet eivät ole tällä het-
kellä niin hyviä, että prosessointi olisi perusteltua (Mäkinen ym. 2006, Sinkko ym. 2010). Asia voi olla
toisin meitä edullisimmissa viljelyoloissa, esimerkiksi Ruotsissa ja Keski-Euroopassa.

Teknologian ja kasvinjalostuksen mahdollisuudet

Ruokohelpi

Ruokohelven sadot ovat olleet koeruuduilla 6 – 8 tonnia ka/ha, usein on mitattu jopa yli 10 tonnin
ka/ha satoja (Isolahti 2000, Pahkala & Mela 2000). Käytännön viljelmillä sato on ollut usein vain 3 – 5
tonnia ka/ha (Paappanen ym. 2008, Virtanen ym. 2009). Mistä näin suuret erot voivat johtua? Tavoit-
teenaan parempi kannattavuus viljelijät kalkitsevat ja lannoittavat ruokohelpimaitaan monesti suosi-
tuksia vähemmän. Happamissa maissa osa lannoitteiden tehosta menee hukkaan. Myös peltojen
ojitus saattaa olla puutteellinen, jolloin kasvusto voi vahingoittua kevätkorjuun aikana.

Ruokohelven kevätkorjuukokeissa on havaittu, että sadon korjuutappiot voivat olla jopa 40 – 50
% (Lötjönen & Isolahti 2007). Valtaosin tämä johtuu liian korkeasta sängestä niitettäessä lakoontu-
nutta kasvustoa ja osin myös kasvien murenemisestä eri työvaiheissa. Uudemmallalla niittokonetekni-
kalla ja paneutumalla korjuukoneiden säätöihin korjuutappiot voidaan painaa 20 %:n tuntumaan
(Paappanen ym. 2008). Huolellisella toiminnalla satoa saadaan siten 20-30 % enemmän. Tämä ei
kuitenkaan pienennä kannattavuusongelmaa, sillä korjuukustannukset nousevat samalla kuin sato
kasvaa.

Edellä mainitut ruokohelven satoa alentavat tekijät saataisiin korjattua, mikäli siihen olisi riittävä
taloudellinen kannustin eli tarpeeksi korkea tuottajahinta. Näin käytännön viljelmien sadot saataisiin
lähemmäs koeoloissa saatuja satoja. Viljely- ja korjuutekniset seikat optimoimalla ruokohelven nykyi-
siä satotasojta saataisiin nostettua varovasti arvioiden 50 – 80 %.

Kuljetuskustannukset ovat rasittamassa koko tuotantoketjun kannattavuutta. Kuljetuskustannus-
ten pienentämiseksi helpipaalien tulisi olla mahdollisimman tiiviitä ja tasamuotoisia. Laadukas kantti-
paalain on kuljetusten kannalta paras ratkaisu (Paappanen ym. 2008). Kanttipaalaimia ei ole Suomessa
vielä kovin paljon kalliin hankintahinnan ja suuren massan takia. Koneen painavuus on haitaksi kevät-
kosteilla pelloilla liikuttaessa ja myös syksyllä olkea korjattaessa. Jos paalaimesta tehtäisiin ajettava eli
itsekulkeva, paalaimen paino saataisiin kokonaan suurten vetävien pyörien päälle, jolloin sen etenemis-
kyky olisi hinattavaa konetta selvästi parempi. Pyörät voitaisiin korvata myös teloilla. Hinattavan paa-
laimen pyörästö olisi mahdollista korvata vetävillä teloilla. Tällaisille korjuukoneille olisi markkinoita
Suomen ulkopuolellakin.



Kuva 8. Ruokohelpipaaleja menossa silppurin kautta polttoon Kokkolan voimalaitoksen automaattisella paalinkäsittelylinjalla. Investoinnit tämän tyyppisiin linjastoihin olisivat välttämättömiä, jotta peltobioenergian käyttö saataisiin kasvuun. (Kuva: Timo Lötjönen, Luke)

Briketöinti ja pelletöinti ovat tehokkaita tapoja korsibiomassojen tiivistämiseen. Näillä saadaan kuljetusautojen kapasiteetti hyödynnettyä kokonaan. Tekniikan ongelmana on alhainen tuntikapasiteetti ja siten lopputuotteen kalleus. On esitetty brikettiä löyhempi, ns. tiivistuotekonsepti. Siinä korjuukoneella saadaan tehtyä brikettimäinen tiivistuote jo korjuun aikana. Jos tällainen kone saadaan kehitettyä, monet korsibiomassojen varastointiin, kuljetuksiin ja voimalaitoskäsittelyyn liittyvät ongelmat ratkeaisivat. Tuote muistuttaisi dimensioiltaan ja tiheydeltään haketta, jolloin se voitaisiin voimalaitoksilla käsitellä samoja reittejä pitkin kuin hake.

Voimalaitoksilla tai polttoaineterminalaaleissa paaleja murskataan kantojen ja risutukkien hienonnamiseen tarkoitetuilla järeillä mobiilimurskaimilla. Sekoitus pääpolttoaineeseen tapahtuu esimerkiksi pyöräkuormaimella. Tämä toiminta on melko kallista, koska mobiilimurskat on suunniteltu helpeä kovemmille materiaaleille ja työhön tarvitaan useampi henkilö. Sekoitustulos ei ole paras mahdollinen ja siten käyttöhäiriöitä aiheuttavia tukoksia esiintyy. Voimalaitosten investoinnit automaattitoimisiin paalinpurkulinjoihin ovat kannattavia, koska ihmistyövoiman tarve helvenkäsittelyssä vähenee ja sekoitustulos yleensä paranee. Investoinnit eivät ole kovin suuria koko voimalaitoksen hintaan verrattuna. Tällainen automaattinen käsittelylinja on otettu käyttöön mm. Kokkolassa ja Ilomantsissa sijaitsevilla voimalaitoksissa (Lötjönen & Knuutila 2009).

Tällä hetkellä paalinkäsittelylinjat ovat kokonaan tuontitavaraa, lähinnä tanskalaisia oljenkäsittelylinjoja. Kokemusten mukaan näissäkin olisi kehittämistarpeita ja siten työmahdollisuuksia suomalaisille laitevalmistajille. Kapasiteetit ja kestävyys voisivat olla parempia. Mahdollisuuksia olisi myös vientiin, kunhan korsibiomassojen käyttö kiinteänä tai nestemäisenä polttoaineena yleistyy maailmalla.

Nykyiset Suomessa ja Ruotsissa viljellyt ruokohelpilajikkeet on kehitetty alun perin eläinten rehuksi, ts. mahdollisimman hyvin sulavaksi. Energiantuotannossa tärkeitä ominaisuuksia ovat suuri sato pienillä ravinnepanostuksilla ja kohtuullisella vesimäärällä, vähäinen variseminen talven aikana,

hyvä laonkesto ja hyvä polttoainelaatu. Boreal Oy:ssa onkin tehty ruokohelven jalostusta näitä ominaisuuksia silmällä pitäen. Ruotsalainen Swalöf Weibull AB on kehittänyt teollisuuskäyttöön tarkoitettua Bamse-lajikkeen, mutta kokeissa sen sadontuotto ei ole ollut rehulajikkeita parempi (Larsson ym. 2006).

Olki

Korjuun, logistiikan ja polttoainekäytön näkökulmasta viljojen oljet ovat lähes samanlaista materiaalia kuin ruokohelpi. Korjuussa ei tarvita niittoa, koska niitto tehdään leikkuupuimurilla. Vilja voitaisiin puida puimurilla hyvin lyhyeen sänkeen, mutta käytännössä pyritään 20-40 cm:n sänkeen, ettei puintikoneistoa tarpeettomasti kuormitettaisi olkimassalla. Näin puintikapasiteetti saadaan korkeaksi (Järvenpää & Laurola 1987). Tämä pyrkimys on ristiriidassa tavoiteltaessa mahdollisimman suurta olkisatoa, sillä pitkään sänkeen puinti vähentää olkisadon määrää.

Kotimaisen tutkimuksen mukaan peltoon jää olkea 29 – 53 % kasvilajista riippuen, jos puintikorkeus on 30 cm (Pahkala 2009). Puintikorkeuden ollessa 10 cm peltoon jää 15 – 21 % oljesta. Puintikorkeuden pudottaminen 10 cm:iin lisää siis korjattavissa olevan oljen määrää 14 – 32 prosenttisyyskikköä.

Maassamme tehdyt puintitutkimukset ovat melko vanhoja (20-25 vuotta), ja tuona aikana puimurien puintitehot ja mm. leikkuukorkeuden säätöautomaatiikat ovat kehittyneet huomattavasti. Tutkimuksen pitäisikin selvittää, mikä on nykypuimureilla optimi puintikorkeus tavoiteltaessa suurta olkisatoa ja kuinka paljon sängenkorneuden alentaminen pienentää puintikapasiteettiä.

Suomessa laajamittaisen oljen energiakäytön suurimpana esteenä ovat syksyn kosteat ja epävakaiset säät. Joinain syksyinä puinnit saadaan tehtyä ajoissa ja oljenkorjuussa ei ole mitään ongelmia. Toisina syksyinä puinnit venyvät, vettä sataa usein ja maat ovat märkiä. Olki ei kuivu kosteiden säiden takia kunnolla tai pellot eivät kannata raskaita korjuukoneita. Energiantuotannossa polttoaineen saatuuden pitäisi olla tasaista. Järkevä toimintatapa voisi olla sellainen, että olkea korjataan varastoon mahdollisimman paljon jo syksyllä, ja mikäli sääolot eivät salli syyskorjuuta, korjuuta jatketaan keväällä. Tämä tietysti edellyttää jonkinlaista varmuusvarastointia.

Oljen korjuuseen voidaan käyttää samoja pyörö- ja kanttipaalaimia sekä silppureita kuin ruokohelven korjuuseen. Koska korjuuolot voivat olla oljen korjuussa märkyden takia yhtä hankalat kuin ruokohelven korjuussa, on olemassa samat tarpeet kehittää korjuukalustoa paremmin pinnalla pysyväksi ja vähemmän maata tiivistäväksi. Myös tarve lisätä oljen kuljetustiheyttä on samanlainen kuin ruokohelvellä.

Oljen kosteus voi olla puitaessa jopa 35 – 60 %. Mikäli halutaan estää olkipaalien merkittävä homehtuminen, kosteus tulisi saada ennen paalausta alle 25 %:n, mieluummin alle 20 % (Orava 1980). Hyvissä ja keskinkertaisissa sääoloissa tämä tapahtuu parissa päivässä. Myöhäisinä ja kosteina syksyinä tavoitekosteuden alle ei päästä. Isojen lämpölaitosten kattiloissa palaisi kosteampikin olki, lähinnä jäätyminen saattaisi tulla ongelmaksi. Keinokuivaus ei liene energiaoljen tuotannossa kannattavaa. Sen sijaan pitäisi tutkia, voitaisiinko esim. tuubikäärinnällä säilöä kostea olkea kannattavasti.

Suomalaiset voimalaitokset vierastavat oljen käyttöä polttoaineena lähinnä sen sisältämän kloorin ja alkalimetallien takia. Nämä lisäävät kattilan korroosio- ja likaantumiseriskiä. Syyskorjatun oljen klooripitoisuus voi olla 5 – 10 kertainen kevätkorjattuun ruokohelpeen nähden (Alakangas 2000). Todennäköisesti pienillä käyttöosuuksilla turpeen ja hakkeen joukossa oljen sisältämät epäpuhtaudet eivät kuitenkaan tulisi ongelmaksi. Mikäli olkea korjattaisiin helven tavoin keväällä, suurin osa kloorista huuhtoutuisi talven aikana pois. Olisi myös mahdollista rakentaa tanskalaismallisia olkikattiloita voimalaitosten yhteyteen. Näissä olkipolton erityiskysymykset on otettu huomioon.

Tällä hetkellä kasvinjalostus pyrkii tuottamaan entistä lyhytkortisempia ja myöhäisempiä viljalajikkeita. Tavoitteena on suunnata biomassantuottoa korresta jyväsatoon. Energiaoljen hyödyntämisen kannalta tämä on haitaksi, sillä olkisato pienenee ja myöhäisten lajikkeiden myötä korjuu siirtyy sääoloiltaan huonompaan ajankohtaan. Viljelijöillä on käytettävissä runsaasti erityyppisiä lajikkeita,

joista voidaan valita energiatuotantoon sopivimman. Jos olkiraaka-aineesta maksetaan riittävästi, kannattaa valita jyväsadon kannalta heikompikin lajike.

Biokaasu

Saksassa ja Itävallassa on yhteensä noin 5000 biokaasulaitosta (Gabauer & Dörrie 2009). Näistä osa on sellaisia, jotka käyttävät syötteenään vain peltokasveja. Kokemusta biokaasuteknologiasta on siis olemassa runsaasti, ja tiedosta suurin osa olisi sovellettavissa Suomen oloihin. Täällä olisi tarpeen tutkia lähinnä tšekäläisten kasvien soveltuvuutta biokaasun tuotantoon, ja miten tuotanto kannattaisi järjestää. Tässä oleellisia kysymyksiä ovat sadonkorjuu- ja varastointitekniikat. Liikennekäyttöä ajatellen jakeluverkon luominen on aina maakohtainen asia ja se vaatisi pohdiskelua.

3.3.2. Muut Pohjoismaat

Peltobioenergiakasvien tutkimus- ja kehitystyö on ollut vilkasta Tanskassa ja Ruotsissa, mutta vähäisempää Norjassa (Nielsen 2008). Norjassa on käytettävissä omaa öljyä, maakaasua ja vesivoimaa. Norjassa maataloustuotteiden hinnat eivät ole laskeneet kuten EU-maissa. Siten Norjan viljelijöillä ei ole ollut suurta tarvetta etsiä uusia, vaihtoehtoisia viljelykasveja.

Ruotsissa viljellään energiatarkoituksiin pajua 13 000 ha, ruokohelpeä noin 800 ha ja hampua noin 400 ha (Xiong & Finell 2009). Pajunviljely vakiintui nykyisiin mittoihinsa jo vuosia sitten, kun valtio puolitti viljelmän perustamiseen tarkoitettua tuen. Viljelytekniikka osataan hyvin, ja tarvetta olisi lisätä paju-alaa ja muidenkin energiakasvien alaa paljon. Ongelmana on viljelyn heikko kannattavuus ja vielä ruokohelpeäkin pidempiaikainen sitoutuminen yhteen kasviin. Pajusta saadaan yhdellä istutuksella satoa noin 20 vuotta, ja tätä aikaisemmin peltoa ei oikeastaan ole järkevää vaihtaa muulle kasville. Tanskassakin pajua viljellään paikoin kaupallisessa mittakaavassa, kokonaispaju-ala on noin 1500 ha, mutta ala on kasvamassa (Jorgensen ym. 2008).

Olkea käytetään Ruotsissa energiantuotantoon noin 100 000 tonnia vuodessa eli 0,4 TWh. Käytännön potentiaali olisi noin kymmenkertainen (Forsberg ym. 2007). Olosuhteet oljenkorjuuseen Ruotsissa ovat paremmat kuin Suomessa, joten todennäköisesti potentiaalia saadaan käyttöön vähitellen. Ruotsiin on jo rakennettu muutama pelkäästään olkea polttoaineena käyttävä lämpölaite (Bernesson & Nilsson 2005). Lisäksi Fortum on suunnitellut Tukholmaan isoa 400 MW:n CHP-laitosta, joka voisi maksimissaan käyttää 20 % polttoaineestaan olkea. Tämä olisi noin 144 000 tonnia olkea, joka saataisiin noin 39 000 ha:n vilja-alalta (Forsberg ym. 2007). Toistaiseksi tämän laitoksen toteuttaminen on kuitenkin jäissä.

Ruotsissa on myös viljasta, lähinnä vehnästä ja ruisvehnästä bioetanolia tekeviä tehtaita. Nämä ovat kuitenkin olleet viimeaikoina kannattavuusvaikeuksissa halvan brasilialaisetanolin vallatessa markkinoita.



Kuva 9. Energiapaju voidaan korjata suoraan hakkeeksi säilörehusilppurilla, kuten tässä Ruotsissa. Korjuuteho on hyvä, mutta hakkeen kosteus korkea. (Kuva: Timo Lötjönen, Luke)

Tanskaa voidaan pitää energiaoljen käytön mallimaana. Vuonna 2005 Tanskassa käytettiin 1,3 miljoonaa tonnia olkea sähkön ja lämmöntuotantoon (Danish Technological Institute 2007). Pinta-alana tämä vastaa noin 360 000 ha. Suurin yksittäinen laitos (Avedoreverket) käyttää erillisessä olkikattilassa noin 150 000 tonnia olkea vuosittain, mikä merkitsee noin 42 000 ha vilja-alaa. Kattilan lämpöteho on 100 MW, joten se on maailman suurin olkikattila (Bernesson & Nilsson 2005). Tanskalaisen olkikäyttö on raportoitu hyvin englanninkielisessä Energiakoikioppaassa (Nikolaisen ym. 1998).

Suurimpana ongelmana Tanskassa oljen käytön lisäämiselle on se, että olkea polttavia laitoksia on liian harvassa. Toisin sanoen järkevän kuljetusetäisyyden päässä sijaitseva olkipotentiaali on jo monin paikoin käytössä. Tästä johtuvien pitkien kuljetusmatkojen (pahimmillaan jopa 200 km) vuoksi viljelijöille voidaan maksaa oljesta vain noin 7 euroa/tonni. Tällöin korjuun ja kuljetuksen suorittaa oljen välittäjä omalla kustannuksellaan. Alhaisen hinnan takia moni viljelijä pitää oljen maahankyntöä myyntiä parempana vaihtoehtona, koska tämä on eduksi maan multavuudelle, eivätkä syyskylvöt myöhästy oljen paalausta odoteltaessa (Lötjönen 2007).

Miscanthus eli elefantiheinä on paljon tutkittu, kookas bioenergia- ja kuitukasvi Tanskassa ja sitä eteläisemmissä maissa, mm Isossa-Britanniassa. Tanskan oloissa sen sato voi olla 7 - 15 tonnia_{ka}/ha (Lewandowski ym. 2000). Kasvusto perustetaan istuttamalla juurakonpaloja. Miscanthus on ruokohelven tapaan monivuotinen ja se soveltuu kevätkorjuuseen. Normaalit korsirehun korjuukoneet soveltuvat melko hyvin Miscanthuksen korjuuseen. Lisäksi tutkimushankkeissa on kehitetty sen korjuuteknologiaa (Kristensen 2009). Toistaiseksi Miscanthuksen viljelyala on jäänyt Tanskassa pieneksi, vain noin 65 ha:iin (Jorgensen ym. 2008).

Teknologian ja kasvinjalostuksen mahdollisuudet

Energiapaju

Ruotsissa ja Tanskassa energiapajun tuotannon suurimmat ongelmat ovat viljelyn kannattavuudessa. Kasvuston perustaminen on kallista ja viljelyyn on sitouduttava pitkäksi aikaa, jopa 20 vuodeksi. Teknologiselta kannalta talven lyheneminen ja roudattomuus ovat jo nyt paheneva ongelma. Pajua korjataan yleisesti ajosilppurilla suoraan hakkeeksi vierellä ajavan traktorin perävaunuun. Kuinka raskaat korjuukoneet pysyvät pellon pinnalla, jos routaa ei tule? Kesällä korjuuta ei voi tehdä, koska tällöin myös lehdet tulisivat polttoaineen mukaan sen laatua heikentämään, ja toisaalta lehtien mukana lähtisi pellolta ravinteita pois. Korjuukoneita olisi pystyttävä keventämään ja pyörävarustusta suurentamaan. Kumitelat ovat yksi mahdollinen ratkaisu (Kristensen 2009).

Kostea haketta ei voi tunnetusti pitkiä aikoja varastoida, joten pajuhakkeen käyttö rajoittuu korjuuajankohdan tuntumaan ja vähän sen jälkeen. Voimalaitoksilla olisi kuitenkin tarvetta käyttää pajuhaketta tasaisemmin vuoden mittaan. Tähän ollaankin Ruotsissa ja Tanskassa kehittämässä risutukkikorjuuta, jossa risutukkien haketus tapahtuu vasta kun pajumateriaali on kuivahtanut pellonreunavarastoissa. Näin korjuukalusto saataisiin kevyemmäksi kuin ajosilppurikorjuussa, ja haketta voitaisiin tuottaa kuivempana ja tasaisemmin voimalaitoksille. Ongelmana on työvaiheiden lisääntyminen ja sitä kautta mahdollisesti korjuukustannusten kohoaminen (Kristensen 2009). Jos menetelmä yleistyy, myös suomalaisille hakkurinvalmistajille voi avautua vientimahdollisuuksia.

Kasvinjalostuksellisesti pajun suurimpia haasteita ovat lehtiruosteet, jotka voivat vaurioittaa kasvia. On kuitenkin onnistuttu jalostamaan ruosteita kestäviä lajikkeita, ja tautiriskiä voidaan pienentää istuttamalla samalle pellolle useampia eri lajikkeita (Xiong & Finell 2009). Jalostustyötä täytyy kuitenkin tehdä koko ajan siltä varalta, että lajikkeiden ruosteresistenssi murtuisi.

Olki

Ruotsissa ja Tanskassa energiaoljen korjuuolot ovat Suomea selvästi paremmat. Viljeltävät viljalajit ovat pääosin syyskylvöisiä, jolloin puimaan päästään aikaisin. Myös sää syksyllä on yleensä kuivempi kuin Suomessa. Näin korjuuvarmuus on parempi ja kantavuusongelmat pienempiä kuin Suomessa. Koska peltolohkot ovat isoja ja maatiloja on taajassa, oljenkorjuussa käytetään yleisesti urakoitsijoita, joilla on käytettävissä kanttipaalaimia. Näin kuljetuslogistiikka saadaan edullisemmaksi kuin Suomessa, koska paalikuormat ovat tiiviitä ja niitä tulee samalta alueelta useita. Voimalaitoksilla on hyvät valmiudet käyttää olkea varsinkin Tanskassa. Ruotsissa tässä olisi vielä parantamista.

Ruotsalaisessa tutkimuksessa selvitettiin tekniikkaa, jolla voidaan puinnin yhteydessä ohjata akanat ja ruumenet mukaan olkikarhoon. Vehnällä tehdyissä kokeissa näin saatiin paalattua 14 % suurempi olkisato verrattuna tavalliseen tekniikkaan, jossa ruumenet ja akanat levitetään peltoon (Lundin & Rönnbäck 2010).

Paaleja tiiviimmän tuotteen aikaansaamisesta olisi etua myös Tanskan ja Ruotsin oljen korjuussa. Tanskassa onkin aloitettu oljen pelletointi suurten CHP-laitosten tarpeisiin tavoitteena alentaa kuljetuskustannuksia ja helpottaa oljen käsittelyä voimalaitoksilla (Danish Technological Institute 2007). Tanskassa oljen käyttöpaikkoja voisi olla joissakin osissa maata vielä nykyistä tiheämmässä, jotta kuljetusmatkat eivät venyisi liian pitkiksi.

Miscanthus

Miscanthuksen viljelyn yleistymisen suurimpina esteinä ovat kasvuston kalliit perustamiskustannukset, tarve pitkäaikaiseen sitoutumiseen (10 – 12 v.) ja juurakoiden heikko kylmänkestävyys (Lewandowski ym. 2000). Viljely onnistuu yleensä Tanskassa ja aivan Etelä-Ruotsissa, mutta sitä pohjoisempina talven kylmyys tappaa talvehtivat juurakot. Juurakonpalojen viljelyyn, nostoon ja istutukseen on kehitetty omia koneita.

Korsisato voidaan korjata tarkkuussilppureilla karheelta tai samalla niittäen (maissinkorjuupää). Tällöin kuormat jäävät kevyiksi, mutta menetelmällä saadaan valmista haketta, joka sopii sellaiseen polttolaitteisiin. Myös paalaus kanttipaalaimella on mahdollista, joskaan se ei ole yhtä nopeaa

kuin oljen paalaus. Miscanthuksen korsi on jäykkää ja paksua, mikä hidastaa syöttöä paalaimen. Ongelman pienentämiseksi on Tanskassa kehitetty silppuava niittopää kanttipaalaimen (Kristensen 2009). Miscanthuksen korjuussa on samanlaisia kantavuusongelmia kuten pajulla ja myös ratkaisumahdollisuudet ovat samoja.



Kuva 10. Miscanthus eli elefantiheinä on runsaskasvuinen energiakasvi, jonka juuret eivät valitettavasti kestä pakkasta. Kuva Tanskasta. (Kuva: Timo Lötjönen, Luke)

3.4. Teknologian vientimahdollisuudet Suomesta

Korsibiomassojen korjuuseen sopivista koneista Suomessa valmistetaan niittokoneita ja karhottimia, jotka ovat laadultaan kilpailukykyisiä ulkomaalaisten tuotteiden kanssa. Pyörö- tai kanttipaalaimia ei varsinaisesti valmisteta, mutta pyöröpaalain-käärijäyhdistelmiä tekee kaksikin valmistajaa siten, että paalainosa hankitaan ulkomailta. Suomalaiset leikkuupuimurit ja kuivurit ovat korkealaatuisia ja sopivat siemeninä korjattavien bioenergiakasvien korjuuseen (esim. viljat ja öljykasvit). Puuhakkureita ja kuormaimia voidaan käyttää energiapajun ja muiden puuvartisten energiakasvien kaksivaihekorjuussa, mikäli menetelmä yleistyy.

Suomessa kannattaisi kehittää korsibiomassojen korjuuseen ja pakkaamiseen tarkoitettua ns. tiivistuotemenetelmää, joka on kuvattu tarkemmin kappaleessa ”Ruokohelpi”. Tällä olisi kysyntää maailmanlaajuisesti. Toinen kehittämistä kaipaava kohde voisi olla korsibiomassaa hyödyntävien laitosten paalinsyöttö- ja -purkulinjat. Näitä valmistetaan myös muissa maissa, mutta puunsyöttö- ja murskauslinjoista saadulla kokemuksella toteutuksesta saattaisi tulla paremmin toimivia.

Suomalainen kattilateknologia leijupolttomenetelmineen on tunnetusti maailman huippua. Nämä kattilat on suunniteltu pääasiassa turpeen, puun ja kivihiilen polttoon. Peltobiomassoissa on jonkin verran kattiloita syövyttävää klooria, sekä tuhkan ja petihiekan sintraantumista aiheuttavia alkaaleita. Siten nykyiset leijupolttokattilat eivät parhaalla tavalla sovi peltobiomassojen polttoon suurilla polttoaineosuuksilla. Ohjeissa rajataan esimerkiksi helven maksimiosuudeksi 20 % energiasisällöstä, kun loppuosuus on turvetta (Lötjönen & Knuutila 2009). Kattiloiden uusinvestointeja ja vientiä varten olisi hyvä pohtia, saadaanko peltobiomassojen polton aiheuttamat erityisvaatimukset toteutet-

tua leijukattiloissa vai kannattaisiko näitä varten suunnitella esimerkiksi arinatekniikkaan perustuvat omat kattilatyypinsä. Kilpailu tässä on kovaa mm. keskieurooppalaisten valmistajien taholta. Myös pienemmissä kokoluokissa (esimerkiksi omakotitalojen pellettikattilat) saattaisi olla kysyntää pelto-biomassoja mm. pelletteinä polttaville kattilamalleille.

Nestemäisten polttoaineiden valmistaminen biomassoista on tulevaisuuden teollisuudenala. Teknologiat näihin jo osataan, mutta lopulliset läpimurrot syntyvät vasta sitten, kun kannattavuusraja saavutetaan. Suomessa on jo pilottilaitokset olemassa biodieselin tekemiseksi puusta ja etanolin jalostamiseksi oljesta ja ruokohelvestä (mm. NSE Biofuel Oy, Chempolis Oy).

3.5. Yhteenveto

Kaikille tarkastelun maille on yhteistä, että niillä jokaisella on muutama vakiintunut ja jo jonkinlaisen volyymin saavuttanut peltoenergian muoto. Näiden tuotantoketjut osataan jo aika hyvin. Tuotanto laajentuisi nopeasti sekä hehtaarisadolla että hehtaarimäärillä mitattuna, mikäli tuotanto olisi paremmin kannattavaa. Teknologisilla ratkaisuilla ja kasvinjalostuksella kannattavuutta voidaan hieman parantaa, mutta monesti ei riittävästi. Voi olla, että joudutaan odottamaan esimerkiksi toisen sukupolven liikennepolttonestevalostamojen yleistymistä, ennen kuin tämä toteutuu.

Tutkimus- ja kehitystarpeita:

- Miksi bioenergiakasvien sadot ovat käytännön viljelmillä selvästi alempia kuin koeoloissa?
- Kuinka usein kasvijätteet voidaan turvallisesti poistaa pellon multavuuden vaarantumatta erilaisissa ilmasto- ja maaperäoloissa?
- Energiatuotantoon nykyistä paremmin sopivien kasvien jalostaminen
- Raskaiden korjuukoneiden kulkukyvyn parantaminen ja tiivistämiskorjuun pienentäminen
- Tiivistuotekonseptin kehittäminen biomateriaalien käsittelyn helpottamiseksi
- Viljan puinnin optimointi mahdollisimman suuren olkisadon saamiseksi
- Kustaan oljen varastointiteknologiat
- Kaksivaihekorjuu energiapajun tuotannossa
- Voimalaitoksille sopivien paalinkäsittelylinjojen kehittäminen
- Biokaasukonsepti, jossa syötteenä viljellään palkokasveja ja jäännös levitetään takaisin samoilta pelloille

Teknologian vientimahdollisuuksia Suomesta:

- Niittokoneet, karhottimet, paalinkäärimet, viljapuumurit ja -kuivurit, traktorit, puuhakkurit ja -kuormaimet
- Paalien purku- ja syöttölinjat
- Kattilalaitosten sovittaminen peltobiomassoille sopivaksi kaikissa kokoluokissa
- Lignoselluloosaa raaka-aineena käyttävät biodiesel- ja etanolilaitokset

3.6. Kirjallisuus

- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 2045.
- Bernesson, S. & Nilsson, D. 2005. Halm som energiakälla. Översikt av existerande kunskap. SLU. Rapport – miljö, teknik och lantbruk 2005:07. 55 p. + 25 p. appendix. www.bt.slu.se
- Danish Technological Institute. 2007. Production of big straw bales, straw pellets, transport and storing. End user: Power plants and CHP plants. EuBioNet2, Fact sheet 12. 7 s. <http://www.eubionet.net/ACFiles/Download.asp?recID=4863>
- Forsberg, M., Baky, A., Westlin, H., Ljungberg, D., & Ytterberg, P. 2007. Jordbruket som leverantör av åkerbränsle till storskaliga kraftvärmeverk – Fallstudie Värtan. JTI-Rapport, Lantbruk & Industri 361, 105 p.
- Gabauer, W. & Dörrie, D. 2009. Biogas from crops in Austria and Germany. In: Lötjönen, T. (Ed.). Energy from field energy crops – a handbook for energy producers. Jyväskylä Innovation Oy. s. 47-58.

- Isolahti, M. 2000. Ruokohelven kalkitus ja lannoitus turvesuolla. In: Salo, Riitta (toim.). Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 84: p. 66-86.
- Järvenpää, M. & Laurola, H. 1987. Puintiopas. Työteho-seuran julkaisuja 290. Helsinki. 129 s.
- Jørgensen, U, Sørensen, P, Adamsen, AP & Kristensen, IT. 2008. Energi fra biomasse -ressourcer og teknologier vurderet i et regionalt perspektiv, Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet (DJF rapport Markbrug nr. 134).
- Kristensen, E., F. 2009. Harvest and handling of perennial energy crops – Danish experiences. NJF seminar: Energy Conversion from Biomass Production. Foulum, Denmark, September 9.-10. 2009.
- NJF Report Vol 5, No 3: 17 – 19.
- Larsson, S., Örberg, H., Kalén, G. & Thyrel, M. 2006. Rörflen som energigröda. Reed canary grass as an energy crop. BTK-rapport 2006:11. Sveriges Lantbruksuniversitet, Enheten för Biomassateknologi och Kemi. Umeå: SLU. 43 p.
- Lewandowski, I., Clifton-Brown, J. C., Scurlock, J.M.O. & Huisman, W. 2000. Miscanthus: European experience with a novel energy crop. Biomass and Bioenergy 19 (2000): 209 – 227.
- Lundin, G. & Rönnbäck, M. 2010. Samtidig skörd av halm och agnar för energiändamål. JTI-rapport. Lantbruk & industri 395. 27 s.
- Lötjönen, T. & Isolahti, M. 2007. Ruokohelven korjuutappiot pienemmiksi. Koetoiminta ja käytäntö, 64, 1(19.3.2007): 14.
- Lötjönen, T. 2007. Olkienergiaa Tanskan malliin. BioEnergia 4: 16-18.
- Lötjönen, T. (toim.) & Knuutila, K. (toim.) 2009. Pelloilta energiaa - opas ruokohelven käyttäjille. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Jyväskylä Innovation. 44 s.
- Mikkola, H. & Ahokas, J. 2009. Energy ratios in Finnish agricultural production. Agricultural and food science. 18: 3-4: 332-346
- Mäkinen, T., Soimakallio, S., Paappanen, T., Pahkala, K., Mikkola, H.J. 2006. Liikenteen biopolttoainoiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit. VTT tiedotteita 2357: 134 s. + 19 s. liitteitä. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2357.pdf>
- Nielsen, H. K. 2008. Sorrel and reed canary grass in southern Norway. *Aspects of Applied Biology* 90, *Biomass and Energy Crops III*, pp. 75 – 79.
- Nikolaisen, L., Nielsen, C., Larsen, M. G, Nielsen, V., Zielke, U., Kristensen, J. K. & Holm-Christensen, B. 1998. Straw for energy production. Technology – Environment – Economy. Second Edition. The Centre for Biomass Technology. 53 s.
- Orava, R. 1980. Oljen korjuu ja käyttö maataloilla. Työteho-seuran julkaisuja 226. Helsinki. 105 s. + 5 liitettä.
- Paappanen, T., Lindh, T., Kärki, J., Impola, R., Taipale, R., Leino, T., Rinne, S., Lötjönen, T. & Kirkkari, A-M. 2008. Ruokohelven polttoaineketjun kehittäminen liiketoimintamahdollisuuksien parantamiseksi. Development of reed canary grass fuel chain. VTT Tiedotteita 2452. 158 s. + 9 s. liitteitä. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2008/T2452.pdf>
- Pahkala, K., Mela, T. 2000. Ruokohelven viljelymenetelmät. In: Salo, Riitta (toim.). Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 84: p. 15-31.
- Pahkala, K. 2009. Sängen pituus vaikuttaa korsimateriaalin määrään. Maaseudun Tiede 66, 3(26.10.2009): 5.
- Rechberger, P. & Lötjönen, T. 2009. Introduction. In: Lötjönen, T. (Ed.). Energy from field energy crops – a handbook for energy producers. Jyväskylä Innovation Oy. s. 6-13.
- Sinkko, T., Hakala, K., Thun, R. 2010. Biopolttoainoiden raaka-aineeksi viljeltävien kasvien aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt Suomessa Euroopan parlamentin ja Neuvoston direktiivin 2009/28/EY mukainen laskenta. MTT Raportti 9: 41 s.
- Tike 2010. Maataloustilastot 2007 - 2010. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. <http://www.maataloustilastot.fi/>
- Virtanen, Y., Usva, K., Silvenius, F., Sinkko, T., Nurmi, P., Kauppinen, T., Nousiainen, J. 2009. Peltoenergian tuotantojärjestelmien ympäristövaikutukset. Maa- ja metsätalousministeriö. Raportti: 91 s.
- Xiong, S. & Finell, M. 2009. Willow and hemp in Sweden. In: Lötjönen, T. (Ed.). Energy from field energy crops – a handbook for energy producers. Jyväskylä Innovation Oy. s. 24 - 33.

4. Nurmialueiden potentiaalinen biomassa bioenergian tuotantoon Euroopassa

Oiva Niemeläinen

4.1. Nurmien käytöstä ja nurmitilastoista

Nurmisato käytetään pääasiassa märehitijöiden ja hevosten rehuksi. Korkeatuottoiset lypsylehmät tarvitsevat nurmirehun täydennykseksi energiapitoista väkirehua ja koostumukseltaan sopivaa valkuaisrehua. Karjan keskituotoksen noustessa viljan osuus karjan dieetistä nousee. Nurmirehu on tiettyyn rajaan korvattavissa viljaväkirehulla. Suurten karjatalousyksiköiden viljaväkirehuruokinta on helpommin automatisoitavissa kuin nurmirehuruokinta. Nurmirehu – etenkin laidunrehu – on edullista rehua siellä, missä luonnonolosuhteet ovat suotuisat ja mahdollistavat pitkän laidunkauden kuten esimerkiksi Irlannissa ja Uudessa-Seelannissa. Jos nurmirehu korjataan ja varastoidaan, ovat nurmirehun tuotanto-, korjuu- ja varastointikustannukset rehuyksikköä kohti helposti suuremmat kuin viljan maailmanmarkkinahinta. Kun viljan maailmanmarkkinahinta on alhaalla, nousee väkirehun osuus karjan käyttämästä rehuysikkömäärästä. Vastaavasti viljan hinnan ollessa korkea pyrkivät karatilalliset käyttämään enemmän nurmirehua erityisesti edullisilla nurmentuotantoalueilla. Tietty minimiosuus märehitijän rehusta tulee olla karkearehua pötsin normaalin toiminnan varmistamiseksi. Märehitijöiden lukumäärä on vähentynyt Euroopassa ja vähentänyt nurmirehun tarvetta.

Nurmilla on rehuntuotannon ohella tai lisäksi maisema-arvoja ja luonnon monimuotoisuuteen ja ympäristön suojeluun liittyviä vaikutuksia. Esimerkiksi vuorten rinteillä nurmikasvustot estävät eroosiota ja maavyörymien syntymistä. Kun maisema halutaan pitää avoimena esimerkiksi matkailun vuoksi niin nurmien viljely ja karjan laiduntaminen on luonteva tapa tehdä se mm. Alpeilla. Myös EU:n tukipolitiikka vaikuttaa nurmialueiden käyttöön.

Nurmisadon määrä on vaikeasti arvioitavissa. Laidunnettavien nurmien osalta viljelijää kiinnostaa laitumilta tuotettu maidon ja lihan määrä eikä tuotettu nurmisadon määrä. Myös säilörehuksi tai heinäksi korjattavan nurmen sadon arviointi on epätarkkaa, koska sadon kuiva-ainepitoisuus voi vaihdella kostean säilörehusadon 15 prosentista kuivaheinän lähes 90 prosenttiin. Lisäongelman sadon määrän arviointiin aiheuttaa se, että nurmisato voidaan korjata useita kertoja kasvukaudessa. Myös viljelyn voimaperäisyys vaikuttaa nurmen hehtaarisatoihin. Nurmen satotietoja ei maataloustilastoissa juuri esitetäkään.

Nurmibiomassa soveltuu bioenergian tuotantoon mm. polttamalla tai prosessoimalla biokaasuksi (kts Prochnow ym. 2009 a ja b). Heinäbiomassoista saadaan biokaasutuksella energiaa noin 3 MWh/kuiva-ainetonni (Lehtomäki 2006). Prochnowin ym. (2009a) mukaan nurmibiomassojen syötespesifiset metaanisadot nousevat korjuun aikaistuessa, kun taas pinta-alaspesifiset metaanisadot nousevat hehtaarikohtaisten biomassasatojen kohotessa. Nurmibiomassat sopivat hyvin biokaasulaitosten syötteenä, vaikka nurmimassan käytössä on havaittu teknisiä ongelmia (Prochnowin ym. 2009 a).

4.2. Nurmen osuus maatalousmaasta

FAO:n maataloustilastoissa nurmien ala kuvataan pysyvinä nurmina (permanent meadows and pastures) joita ei uudisteta ja lyhytikäisinä nurmina (temporary meadows and pastures). Maailmanlaajuisesti jo pysyvien nurmien alan määrittäminen on ongelmallista (kts. ANON 2005). Klein Goldewijk ym. (2007) arvion mukaan se on 33,6 miljoonaa neliökilometriä (3360 milj. ha). Suuri osa pysyvistä nurmista (38 prosenttia) on heidän arvionsa mukaan aavikoilla ja pensasaroilla hyvin alhaisen tuottavuuden olosuhteissa. Seuraavassa esitetään nurmiviljelyalat maittain ja tarkastellaan nurmialaa suhteessa nurmea käyttävien eläinten lukumääriin maittain. Jos nurmiala on suuri nurmea käyttävää eläintä kohti, on todennäköistä, että nurmea olisi käytettävissä muuhunkin tarkoitukseen kuin rehuk-

si. Taulukossa 9 esitetään nurmialoja maittain sekä nurmialan osuus maan maatalousmaasta. Nurmen osuus maatalousmaasta vaihtelee maittain – Euroopan maista Bulgariassa nurmia on vain noin 11 prosenttia maatalousmaasta ja Irlannissa yli 90 prosenttia. Tosin eräiden maiden kohdalla FAOSTat:n ja Eurostatin Farm Structure Surveyn antamat tiedot poikkeavat toisistaan. Bulgarian kohdalla FAOSTat ja Eurostat Farm Structure Surveyn tulokset niin maatalousmaan alasta kuin nurmen alasta poikkeavat toisistaan huomattavan paljon.

Taulukko 9. Maatalousmaan, karkearehun (lyhytikäisten nurmien ja muiden karkearehukasvien) sekä pitkäikäisten nurmien alat maittain (1000 ha) ja nurmien (karkearehuala + pitkäikäisten nurmien ala) osuus maatalousmaasta (Lähde: maakohittaiset Eurostat 2007 Farm Structure Surveyt ja FAOSTATin vuoden 2007 tilastotiedot. Taulukon karkearehukasvien ala sisältää Eurostatin tilastossa karkearehukasvit (forage plants) ja FAOSTATin lyhytikäiset nurmet on merkitty karkearehualaksi. Molemmissa tilastoissa esitetään pysyvät nurmet & laitumet. *Merkityt tiedot: lähde FAOSTAT. Keskimääräinen vuotuinen sademäärä on FAOSTATin Aquastat palvelusta.

Pohjoismaat	Maatalousmaa	Karkearehukasvien ala	Pysyvät laitumet	Nurmi-ala yhteensä	Kesanto-ala	Nurmiala maatalousmaasta (%)	Sade mm
Suomi	2286	658	37	695	232	30	536
Tanska	2660	471	201	672	11	25	703
Norja	1032	266	412	678	2	66	1414
Ruotsi	2989	1045	457	1502	282	50	624

Baltian maat	Maatalousmaa	Karkearehukasvien ala	Pysyvät laitumet	Nurmiala yhteensä	Kesanto-ala	Nurmiala maatalousmaasta (%)	Sade mm
Viro	848	218	225	443	19	52	626
Latvia	1429	326	399	725	62	51	641
Liettua	2134	327	501	828	108	39	656

Länsi-Eurooppa	Maatalousmaa	Karkearehukasvien ala	Pysyvät laitumet	Nurmiala yhteensä	Kesanto-ala	Nurmiala maatalousmaasta (%)	Sade mm
Alankomaat	1914	423	821	1244	17	65	778
Belgia	1373	252	510	762	25	55	847
Espanja	23874	700	7745	8445	3895	35	636
Italia	12451	1775	3366	5140	501	41	832
Itävalta	2576	235	1140	1375	76	53	1110
Irlanti	4019	667	3028	3696	.	92	1118
Iso-Brit.	14756	1285	8724	10009	165	68	1220
Kreikka	3996	259	815	1074	210	27	652
Luxemburg	130	23	68	91	1	70	934
Portugali	3321	343	1746	2089	325	63	854
Ranska	27371	4583	8015	12597	1220	46	867
Saksa	16861	2084	4777	6861	648	41	700
Sveitsi*	1525	126	1093	1209	3	80	1537
USA*	402480	14477	238000	252477	15366	63	715

Itä-Eurooppa	Maatalousmaa	Karkearehukasvien ala	Pysyvät laitumet	Nurmiala yhteensä	Kesanto-ala	Nurmiala maatalousmaasta (%)	Sade mm
Albania*	1119	.	421	421	.	38	1485
Bos-Her*	2149	.	1032	1032	466	48	1028
Bulgaria	2867	84	231	315	570	11	608
Kroatia*	1202	34	270	304	17	25	1113
Puola	13856	783	2789	3572	413	26	600
Romania	9498	569	3155	3724	898	39	637
Slovakia	1889	242	533	775	11	41	824
Slovenia	461	51	265	316	2	69	1162
Tsekki	3490	410	887	1297	15	37	677
Ukraina*	41266	.	7933	7933	1625	19	565
Unkari	4054	233	492	752	330	18	589
Valko-V*	8916	.	3276	3276	27	37	618
Venäjä*	215463	.	92095	92095	.	43	460



Kuva 11. Tuorerehuna korjattu ja säilötty nurmi sopii hyvin biokaasun raaka-aineeksi. (Kuva: Timo Lötjönen, Luke)

Nurmia on kaksi kolmasosaa maatalousmaasta tai enemmän Irlannissa, Sveitsissä, Latviassa, Luxemburgissa, Sloveniassa ja Isossa-Britanniassa. Neljännes tai vähemmän maan maatalousmaasta nurmia on Bulgariassa, Unkarissa, Ukrainassa ja Krotiassa, Puolassa ja Tanskassa neljännes. Ukrainassa nurmien osuus maatalousmaasta on vähemmän kuin 20 prosenttia. Suurimmat nurmialat ovat Ranskassa ja Iso-Britanniassa.

4.3. Nurmiala laiduntavaa eläinyksikköä kohti

Nurmien sadosta ei ole vastaavia tilastotietoja käytettävissä kuin esimerkiksi viljan tai massin sadosta. Suuri osa nurmista laidunnetaan ja saatava sato on lihaa tai maitoa. Niitettävät nurmet käytetään tuotantotiloilla eikä karkearehulla juuri ole markkinoita. Tarvetta satotiedolle ei ole samalla tavoin kuin viljoilla. Myös sadon arviointi on hankalaa, sillä niittoja voi olla kasvukaudella useita, ja korjattavan rehun kosteuspitoisuus voi vaihdella korjuuajankohdasta toiseen. Edes EU:n alueella – missä maataloustuotanto tilastoidaan erittäin tarkkaan – ei nurmisadoista, eli runsaan kolmasosan maatalousmaan tuotosta, ole juuri minkäänlaista tilastotietoa käytettävissä. Koko maailman maatalousmaasta pysyvien nurmien ala on noin kaksi kolmasosaa ja ao. alan sadontuoton arviointi on erittäin epävarmaa. Tämän julkaisun peltobiomassapotentiaalia arvioitaessa on sen vuoksi käytetty lyhytikäisten rehunurmien satoarviona 5 tonnia kuiva-ainetta/ ha/ vuosi ja pysyvien laidunten satoarviona 2,5 tonnia kuiva-ainetta /ha/vuosi (kts. tämän julkaisun osa 1 Hakala). Luonnollisesti vaihtelu vuodesta toiseen ja maan sisällä voi olla huomattavan suurta. Tässä pyritään arvioimaan eräiden maiden osalta hieman yksityiskohtaisemmin nurmialan tuottavuutta ja mahdollisuutta käyttää sadon tuotosta osa bioenergian tuotantoon arvioimalla käytettävissä olevaa nurmialaa suhteessa nurmirehua käyttävään karjamäärään. Lisäksi nurmen satoisuutta ao. maassa arvioidaan maan ohran hehtaarisadon avulla.

EUROSTAT on julkaissut maittain vuoden 2007 tietoihin pohjautuvan ”Farm Structure Survey” – tarkastelun. Siinä esitetään mm. kotieläinten lukumäärä eläinyksikköinä (EY) ja tieto, kuinka monta prosenttia niistä on laiduntavia eli nurmirehua käyttäviä. Taulukkoon 10 on koottu maittain kotieläintiedot ja laskettu taulukon 9 nurmialan tietojen pohjalta, kuinka monta hehtaaria nurmea on yhtä lai-

duntavaa eläinyksikköä kohti. Jos nurmiala on suuri laiduntavaa eläinyksikköä kohti, se tarkoittaa nurmialan alhaista tuotosta. Alhainen tuotto voi johtua alhaisesta biologisesta tuottavuudesta tai siitä, että nurmialaa ei viljellä intensiivisesti. Tarpeen tullen nurmialalta olisi tuotettavissa huomattavasti enemmän kuin nykyisin. Taulukossa 10 maiden kasvinviljelyn yleistä satotasoa kuvataan FAO:n tilastosta saatavalla ohran keskisadolla. Tuottavuustieto on hyvin viitteellinen, sillä todennäköisesti pysyvien nurmien viljavuus on alhaisempi kuin peltojen viljavuus. Pellot on raivattu luontaisesti viljavimpiin kohtiin ja loput maat ovat jääneet nurmelle. Taulukossa 9 esitetty maan keskimääräinen sademäärä voi antaa viitteitä heikkoon satoon alueilla, joissa kasvukauden pituus ei ole rajoittava tekijä.

Myös eläinten rehun tarve riippuu olennaisesti niiden tuottotasosta. Korkeasti tuottava lypsylehmä tarvitsee paljon enemmän rehua päivässä kuin lihakarjan emolehämä. Pohjoismaista näyttäisi Ruotsin nurmiviljely olevan ekstensiivisintä suhteessa karjamäärään ja Tanskan intensiivisintä. Baltian maissa on paljon nurmia suhteessa karjamäärään. Baltian maissa ja Ruotsissa näyttäisi olevan – jo ilman kesantoaloja – nurmialaa käytettävissä bioenergian tuotantoon etenkin, jos nurmien viljelyintensiiteettiä kohotettaisiin.

EUROSTATin tilastoissa kotieläinyksikkö (EY) lasketaan siten, että kullakin eläinryhmillä on oma EY-kertoimensa. Kertoimet ovat seuraavat: lypsylehmä 1,0; 2-v tai vanhempi sonni 1,0; hieho 0,8; 1-2 vuotias märehijä 0,7; alle vuotias märehijä 0,4; muut kun lypsylehmät 0,8; lammas ja vuohi 0,1; hevoset 0,8; porsaas alle 20 kg 0,027; emakot yli 50 kg 0,50; muut siat 0,30; broilerit 0,007; munivat kanat 0,014; emut 0,35; muu siipikarja 0,03; kanit 0,02. Laiduntaviin kotieläimiin kuuluvat naudat, lampaat, vuohet ja maatiloilla olevat hevoset. FAOSTATista ei ole saatavissa yhtä tarkkaa kuvausta eläimistä, ja siksi laiduntavien eläinyksiköiden määrä (LEY) on laskettu hieman erilaisin perustein tähdellä merkityissä maissa.

Alueilla, joilla nurmialaa on 0,6-0,7 ha laiduntavaa eläinyksikköä kohti, nurmi tullee käytetyksi eläinten rehuksi varsin tarkkaan. Jos nurmialaa laiduntavaa eläinyksikköä kohti on selvästi yli 1 ha, on nurmiviljelyssä tehostamisen varaa ellei kuivuus haittaa nurmen kasvua. Länsi-Euroopassa nurmialaa on useimmissa maissa alle 1,0 ha laiduntavaa eläinyksikköä kohti. Prochnowin ym. (2007) tarkastelun mukaan laiduntavien eläinten lukumäärä on laskenut EU-27 maissa jo 20 vuotta, ja kaikkea nurmialaa ei enää tarvita eläinten rehuksi. Prochnowin ym. (2007) laskivat, että vuonna 2020 nurmia on käytettävissä bioenergian tuotantoon EU-27 alueella yhteensä 9,2 milj. ha, jolta saataisiin satoa 35,9 milj. tonnia kuiva-ainetta vuosittain (eli energiana 610,3 PJ tai 14,6 MtOE). Pysyvien nurmien keskisadoksi oletettiin heidän tarkastelussaan 3,9 t kuiva-ainetta/ha/v ja laiduntavaa eläintä kohti tarvittavaksi nurmialaksi 0,715 ha. Tosin Prochnow ym. (2007) toteavat, että vuosina 1988-1991 nurmiala laiduntavaa eläintä kohti oli 0,595 ha, joka saattaisi parhaiten kuvata laiduntavaa eläinyksikköä kohti tarvittavan nurmialan määrää. Baltian maissa, Ruotsissa, Slovakiassa on mahdollisuuksia nurmituotannon tehostamiseen ja silloin nurmirehua olisi käytettävissä bioenergian raaka-aineeksi. Ukrainassa, Romaniassa ja Portugalissa (ja Espanjassa) suuri nurmiala laiduntavaa eläintä kohden selittyy kuivuudesta johtuvasta alhaisesta tuottavuudesta. Myös maiden ohran keskisadot ovat alhaiset. USA:ssa ja Venäjällä on erittäin paljon nurmialaa laiduntavaa eläintä kohden ja mahdollisuuksia käyttää nurmia bioenergian tuotantoon. Suomen nurmiala on 1,0 ha laiduntavaa eläinyksikköä kohti. Alaan ei ole laskettu mukaan nurmimaisia kesantoja, joita Suomessa on paljon. Taulukossa 10 on laskettu maittain, kuinka suuri bioenergiapotentiaali eri maissa olisi nykyisellä nurmialan määrällä, jos nurmialan tarve olisi 0,6 ha laiduntavaa eläinyksikköä kohti, ylijäämänurmen hehtaarisato 4 tonnia kuiva-ainetta /ha ja energiasato 12 MWh/ha. Suurin nurmien energiapotentiaali nykyisen nurmialan ja kotieläintuotannon nurmialasta lienee Euroopan maista Iso-Britanniassa ja Ranskalla (Taulukko 10). Laskelmassa Espanjan, Ukrainan ja Romanian nurmialan energiapotentiaali todennäköisesti yliarvioidaan, koska kuivuus haittaa ao. maiden kasvintuotantoa, mikä näkyy myös maiden alhaisina ohran hehtaarisatoina (Taulukko 10). Suomen osalta taulukon 10 energiapotentiaalilaskelma on hyvin optimistinen kun siinä on nurmialan tarve laiduntavaa eläinyksikköä kohti laskettu olevan 0,6 ha. Nykyisin nurmialaa on Suomessa käytössä 1,0 ha laiduntavaa eläinyksikköä kohti. Lyhyessä kasvukaudessamme nurmialan tarve lienee 0,6 ja 1,0 hehtaarin välillä laiduntavaa eläinyksikköä kohden.

Taulukko 10. Nurmialan, eläinyksiköiden (EY) ja laiduntavien eläinyksiköiden määrä (LEY) (1000 kpl) EUROSTAT Farm Structure Surveyyn (vuosi 2007) mukaan maittain, laiduntavaa eläinyksikköä kohti laskettu nurmiala eräissä maissa. *-merkityissä maissa kaikki esitetyt arvot on tuotettu FAOSTAT tilastoista. Laskennallisen ylimääräisen nurmialan energiapotentiaalin laskenta peruste taulukon alaviitteessä 2. (Niemeläinen 2012 b). Ohran sato: lähde FAOSTAT vuoden 2007 hehtaarisato.

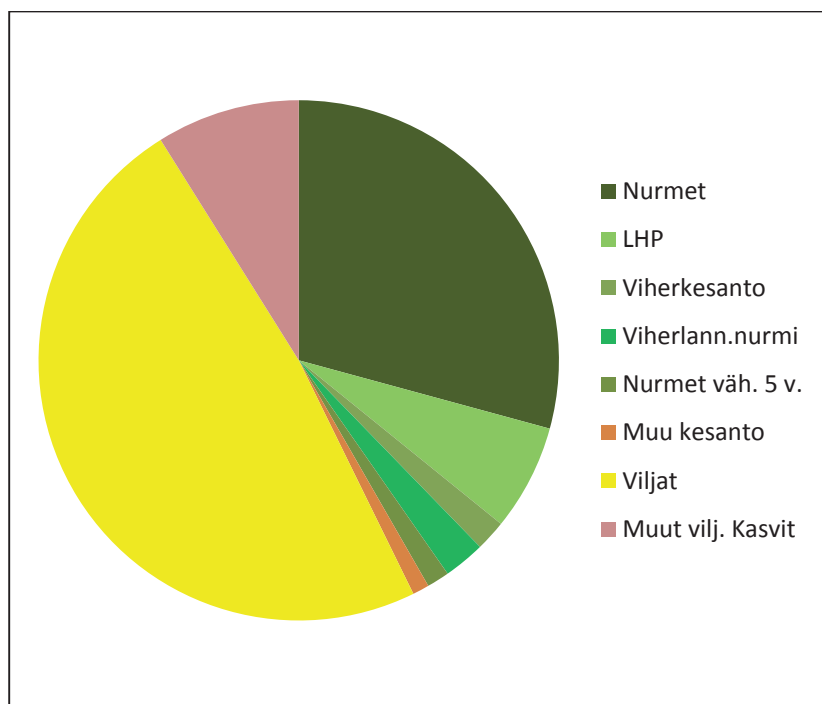
	Nurmiala ha ⁽¹⁾	Eläinyksikkö EY 1000 kpl	Laiduntavia LEY %	Laiduntavia LEY 1000 kpl	Nurmiala ha/LEY	Ylimääränurmen energiapotentiaali TWh ⁽²⁾	Ohran sato kg/ha
Pohjoismaat							
Suomi	695	1152	59,9	690	1,0	3,4	3721
Tanska	672	4582	25,9	1187	0,6	0,0	4916
Norja	678	1267	70,7	896	0,8	1,7	3448
Ruotsi	1502	1740	68,0	1183	1,3	9,5	4484
Baltian maat							
Viro	443	308	67,0	206	2,1	3,8	2666
Latvia	725	458	65,8	302	2,4	6,5	2412
Liettua	828	904	63,8	576	1,4	5,8	2658
Länsi-Eurooppa ja USA							
Alankomaat	1244	6415	45,6	2925	0,4	0,0	5778
Belgia	762	3786	50,6	1916	0,4	0,0	7705
Espanja	8845	14333	44,6	6393	1,3	55,3	3700
Italia	5140	9886	56,0	5536	0,9	21,8	3555
Itävalta	1375	2459	60,3	1483	0,9	5,8	4195
Irlanti	3696	5900	91,2	5380	0,7	5,6	6713
Iso-Britannia	10009	13651	80,4	10976	0,9	41,1	5656
Kreikka	1074	2612	78,2	2043	0,5	0,0	2304
Luxemburg	91	161	87,9	142	0,6	0,1	4838
Portugali	2089	1986	62,2	1235	1,7	16,2	1857
Ranska	12597	22500	67,4	15165	0,8	42,0	5577
Saksa	6861	17951	54,3	9747	0,7	12,2	5417
Sveitsi*	1209			1357	0,9	4,7	6036
USA*	252477			85839	2,9	2412	3228
Itä-Eurooppa							
Albania*	421			832	0,5	0,0	2500
Bosnia-Herzegovina*	1032			505	2,0	8,7	2935
Bulgaria	315	920	60,6	558	0,6	0,0	2247
Kroatia*	304			461	0,7	0,3	3818
Puola	3572	10742	43,7	4694	0,8	9,1	3252
Romania	3724	4197	69,5	2917	1,3	23,7	1569
Slovakia	775	707	56,5	400	1,9	6,4	3142
Slovenia	316	540	65,7	355	0,9	1,2	3664
Tsekki	1297	2040	52,3	1067	1,2	7,9	3797
Ukraina*	7933			5540	1,4	55,3	1463
Unkari	752	2100	32,1	674	1,1	4,2	3166
Valko-Venäjä*	3276			3335	1,0	15,3	2847
Venäjä*	92095			20261	4,5	959	1859

1) Sisältää pysyvät nurmet, lyhytaikaiset nurmet ja karkearehukasvit, 2) Yksi laiduntava eläinyksikkö LEY käyttää 0,6 ha nurmialaa. Nurmen kuiva-ainesato 4 ton/ha ja energiasato 12 MWh/ha.

Lähteenä käytetyt EUROSTAT Farm Structure Surveyt: Bergua, M., M. Mackova and P. Marquer. 2008. Farm structure in Lithuania – 2007. Eurostat Statistics in focus 56/2008.; Bergua, M., M. Mackova and P. Marquer. 2008. Farm structure in Poland – 2007. Eurostat Statistics in focus 50/2008.; Martins, C. and P. Marquer. 2008. Farm structure in Denmark – 2007. Eurostat Statistics in focus 80/2008.; Martins, C. and P. Marquer. 2008. Farm structure in Sweden – 2007. Eurostat Statistics in focus 85/2008.; Martins, C. 2008. Farm structure in Estonia – 2007. Eurostat Statistics in focus 83/2008.; Martins, C. 2008. Farm structure in Slovenia – 2007. Eurostat Statistics in focus 87/2008.; Martins, C. 2008. Farm structure in Luxembourg – 2007. Eurostat Statistics in focus 96/2008.; Martins, C. 2008. Farm structure in Lithuania – 2007. Eurostat Statistics in focus 109/2008.; Martins, C. 2009. Farm structure in Finland – 2007. Eurostat Statistics in focus 2/2009.; Martins, C. 2009. Farm structure in Ireland – 2007. Eurostat Statistics in focus 20/2009.; Martins, C. 2009. Farm structure in Italy – 2007. Eurostat Statistics in focus 38/2009.; Martins, C. 2009. Farm structure in Germany – 2007. Eurostat Statistics in focus 39/2009. Martins, C. and F. Spendingwimmer. 2009. Farm structure in France – 2007. Eurostat Statistics in focus 84/2009.; Martins, C. 2009. Farm structure in Spain – 2007. Eurostat Statistics in focus 90/2009.; Martins, C. 2009. Farm structure in Greece – 2007. Eurostat Statistics in focus 96/2009.; Martins, C. 2009. Farm structure in Belgium – 2007. Eurostat Statistics in focus 99/2009.; Martins, C. 2009. Farm structure in Norway – 2007. Eurostat Statistics in focus 100/2009.; Martins, C. 2008. Farm structure in Bulgaria – 2007. Eurostat Statistics in focus 16/2010.

4.4. Suomalaiset nurmisadon lähteet bioenergian tuotantoon

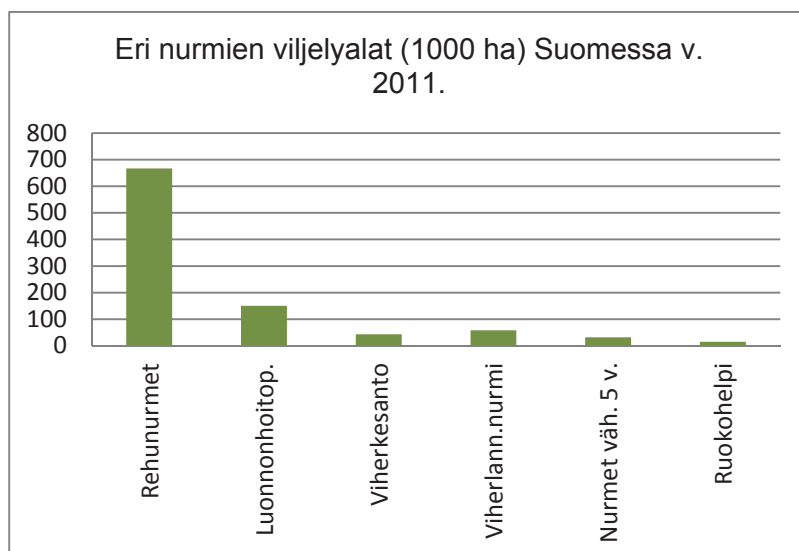
Suomessa on monta nurmisadon käyttöä ja lähettä - rehuksi, siemeneksi, viherlannoitukseksi, monimuotoisuutta edistämään. Kaikista niistä voisi käyttää osan bioenergian tuotantoon. Vuoden 2011 peltoalatilastoissa alle 5-vuotisia rehunurmia oli 666 800 ha ja vähintään 5- vuotta vanhoja nurmia 32 000 ha (ANON. 2012). Siemennurmia oli 10 400 ha ja ruokohelven viljelyala oli 14 900 ha. Säilörehua tuotettiin 471 700 hehtaarilla, laitumina oli 75 000 ha, ja kuivaa heinää korjattiin 102 900 hehtaarilta. Viherlannoitusnurmea oli 58 100 ha ja eri luonnonhoitopeltoja 150 400 ha.



Kuva 12. Suomen pellon käyttö v. 2011. Kokonaisnurmiala on yli 950 000 ha, josta varsinaisten tuotantonurmien määrä 700 000 ha. Luonnonhoitopellot (LHP) ovat pääasiassa pitkäikäisiä nurmia. Viherkesannot ovat tavallisesti pitkäikäisiä nurmia. Viherlannoitusnurmet ovat lyhytikäisiä nurmia ja satoa käytetään pellon viljavuuden parantamiseen.

4.4.1. Rehunurmet

Karjataloilla pyritään nurmiala mitoittamaan siten, että nurmista saadaan vähintään rehtarvetta vastaava sato. Nurmisadon vuosittainen vaihtelu tuottaa aika-ajoin tarvetta suuremman sadon. Ylijäämä sato käy hyvin biokaasun syötteeksi. Nurmikasvien kuiva-ainesatojen arviointi on tosin haasteellista koska säilörehusadon kuiva-ainepitoisuus voi vaihdella huomattavasti. Vuosina 1995-2010 säilörehun keskisato oli 18 300 kg/ha ja heinän keskisato 3 600 kg/ha (ANON. 2011a). Vuosi 2006 oli kuiva ja silloin säilörehun keskisato oli poikkeuksellisen alhainen, vain 13 270 kg/ha, ja säilörehun kokonaissato 28 prosenttia pienempi kuin vuonna 2005 (ANON. 2011a, Niemeläinen ym. 2006). Jos säilörehun tuotannossa tähdätään viiden prosentin ”varmuusvara” riittävän rehumäärän varmistamiseksi, niin vuoden 2010 säilörehun tuotantoalalla 451 600 ha kyseessä olisi noin 20 000 hehtaarin varaus. Vuosina 2007 -2010 säilörehun kokonaissatoarvio oli 8,1 mrd kg/v. Viisi prosenttia siitä on 400 milj. kg säilörehua, jonka kuiva-ainepitoisuus lienee vähintään 25 prosenttia. Viiden prosentin ”ylijäämä sato” olisi noin 100 000 tonnia ka vuosittain vastaten noin 300 000 MWh. Vaikuttaa ilmeisesti, että normaaleina kasvukausina riittävä nurmirehumäärä saadaan pääosin jo ensimmäisestä korjuusta eikä jälkisatoon ole ollut tarvetta panostaa. On oletettavaa, että rehunurmien satoisuutta on mahdollista nostaa merkittävästi, jos siihen on riittävät kannustimet.



Kuva 13. Rehunurmet ovat ylivoimaisesti suurin nurmen käyttötapa Suomessa. Luonnonhoitopeltoja ja viherkesantoja sekä viherlannoitusnurmia on myös merkittävä määrä.

Rehunurmien ohella myös siemennurmien olki- ja odelmasato on mahdollista hyödyntää biokaasun tuotannon syötteenä, vaikka osa kasvustoista käytetään kuivaheinänä ja säilörehuna jo nyt. Nurmikasvien siemenviljelyala on noin 10 000 hehtaaria. Myös heinänurmiin odelmasatoa olisi korjattavissa biokaasutuotannon syötteenä, jos se todetaan taloudellisesti mahdolliseksi. Rehunurmien viljelyä tehostamalla on mahdollisuus mittavaan syötteen tuottoon biokaasun tuotantoa varten.

1.1.1 Viherkesanto ja hoidettu viljelemätön pelto "HVP"

Vuonna 2011 "Hoidettu viljelemättömän pelto" kategoriassa on 150 997 ha. Syntyneen biomassan korjaaminen on mahdollista muilla tämän peltoluokan kategorioilla kuin "Riistapelto", jossa sato jätetään riistan laidunnettavaksi (ANON. 2011b). Riistapeltoja on 16 100 ha. Biomassan hyödyntäminen on mahdollista myös viherkesannoilta (43 680 ha) ja suojavyöhykkeiltä (7 600 ha) (ANON. 2011). Seläistä peltoalaa, jolta sato voitaisiin hyödyntää on runsaat 186 000 ha. Kuinka suurelta alalta ao. peltoilla sato nykyisin korjataan ei ole tiedossa. HVP peltojen lannoittaminen ei ole sallittua.

Suurin osa luonnonhoitopelloista on nurmikasvustoja. Nurmikasvusto voi tuottaa suuriakin satoja lannoittamattoman jakson alussa. Muun muassa Pahkalan ym. (1996) agrokuitututkimuksessa nurmet tuottivat kylvön jälkeisenä vuonna lannoittamattomina Jokioisissa 6,4 - 7,6, Vihdissä 8,3 - 9,6 ja Ruukissa 5,8 - 8,8 t ka/ha. Pitkäikäisistä lannoittamattomista nurmista ei satotietoja ole käytettävissä. Hokkanen ja Raatikainen (1977) kartoittivat 1 - 6 vuotta pakettipeltoina olleiden peltojen kasvimassaa Jyväskylän seudulla. Maanpäällistä vihermassaa oli keskimäärin 2 735 kg/ha ja lisäksi kuollutta materiaalia 1 300 kg/ha eli maan pinnan yläpuolella olevaa kasvimassaa oli 4 000 kg/ha. Raatikaisen ja Raatikaisen (1975) nurmen satoisuutta määrittäneessä tutkimuksessa heinänsato oli keskimäärin 3 700 kg/ha. Heinäpeltojen typpilannoitus oli alle 50 kg N/ha/v. Parhaillaan menossa olevassa HVP-peltojen satoisuutta kartoittavassa tutkimuksessa lohkojen välinen satovaihtelu oli hyvin suurta (Niemeläinen ym. 2012). Sato vuosina 2010 ja 2011 vaihteli välillä 1330 – 10300 kg ka/ha. Keskimääräinen sato vaihteli välillä 4050 – 5540 kg ka/ha/v riippuen otanta-alueesta ja pellon käyttöluokasta.

Viherkesanto- ja viherlannoituskokeissa mielenkiinto on kohdistunut maanpäällisen ja maanalaisen kasvimassan esikasvi- ja lannoitusvaikutukseen. Bioenergian raaka-aineen tuotannossa kiinnostaa korjattavissa oleva maanpäällinen versomassa. Känkäsen ym (2009) mukaan useimmat yksivuotiset kasvustot kasvavat voimakkaasti loppukesän ja alkusyksyn aikana. Esim. virnat kasvattivat kaksinkertaisen versosadon muihin palkokasveihin verrattuna, mutta niiden juurimassa oli vaatimaton puna-apilaan verrattuna. Känkäsen tutkimuksessa ruisvirnan maanpäällinen versomassa oli 6 000-7 000 kg ka/ha, raiheinän ja puna-apilan seoksella vajaat 4 000 kg ka/ha ja kolmannen vuoden timotei-puna-

apilanurmella noin 5 000 kg ka/ha. Suurin viherlannoituskokeiden kuiva-ainesato, 13 000 kg ka/ha, korjattiin kolmannen vuoden vuohenherneestä. Lannoittamattomissa viherkesannoissa palkokasvit ovat yleensä ylivoimaisia sadontuottajia (Känkänen 2001).

Kasvimassan korjaaminen luonnonhoitopelloilta voi tuoda ympäristöetuja. Vaikka nurmiviljely vähentää eroosioriskiä, se saattaa lisätä liuenneen fosforin kuormaa kevään pintavalunnassa (Turtola 1993, Uusi-Kämpä & Jauhiainen 2010). Uusi-Kämpän (2007) ja Rädyn ym. (2009) tutkimuksessa suojavyöhykkeiltä, joilta kasvillisuutta ei niitetty ja korjattu, liuenneen fosforin määrä kasvoi kevään sulamisvesissä. Syynä oli fosforin vapautuminen kasvisoluista. Niitetyltä nurmikaistalta huuhtoutui vähemmän fosforia kuin niittämättömältä suojakaistalta (Uusi-Kämpä 2007). Fosforikuormitusta voidaan pienentää korjaamalla vuosittain osa maanpäällisestä kasvimassasta. Heinien fosforimäärä oli suurimmillaan kukinnan aikana ja heti sen jälkeen (Uusi-Kämpä & Kilpinen 2000). Nurmisadon korjaaminen bioenergiaksi voisi siten vähentää riskejä ravinteiden huuhtoutumiselle.

Luonnonhoitopelto, viherkesannot ja suojakaistat tarjoavat jo tällä hetkellä merkittävän mahdollisen nurmiraaka-ainelähteen biokaasuntuotantoon. Hoitamalla pellot siten, että bioenergian tuotanto maksimoidaan, on tältä peltoalalta saatavaa syötemäärä mahdollista lisätä tuntuvasti. Monivuotiset nurmipalkokasvit tarjoavat tässä varteenotettavia mahdollisuuksia (mm. Sankari 1994). Vuohenherneestä saadut kokemukset sekä meillä (kts. Mäkäräinen ym. 1985, Varis 1986, Virkajärvi ja Varis 1991) että lähialueella (Raig ym. 2001, Lillak ym. 2007, Adamovic ym. 2008) ovat hyvät. Vuohenherneen ja muiden palkokasvien tuotantoa selvitetään biokaasun raaka-aineen tuotannon näkökulmasta Suomessakin (mm. Stoddard ym. 2007).



Kuva 14. Nurmen viljely ja korjuu osataan Suomessa ja koska meillä on peltoa enemmän kuin elintarviketuotantoon tarvitaan, samaa osaamista ja konekantaan voisi hyödyntää myös energianurmen tuotannossa. (Kuva: Timo Lötjönen, Luke)

Viherlannoitusnurmesta syötettä biokaasulaitoksiin

Viherlannoitusnurmi on lyhytikäinen palkokasvipitoinen nurmi, jonka satoa ja typensidontaa hyödynnetään viljelykierrossa. Viherlannoitusnurmena ilmoitetulta lohkolta voisi myös korjata sadon (ANON. 2011b). Viherlannoitusnurmen ala on lisääntynyt ja vuosina 2010 ja 2011 ala oli 61 900 ja 58 100 ha. Palkokasvinurmista perustetut viherlannoitusnurmet voivat tuottaa ensimmäisenä ja toisenakin nurmivuonna huomattavan suuret hehtaarisadot. Vaikka sato korjattaisiin biokaasun syötteenä heinäkuun lopulla, tuottaisivat nurmet merkittävän lannoitusvaikutuksen viljelykiertoon. Viherlannoitus-

nurmien perustaminen edellisenä vuonna suojaviljaan on edullinen tapa ja pitää pellon kasvipeitteisenä talven ajan.

Ruokohelpi energiakasvina

Ruokohelven viljelyala bioenergiaksi on viime vuosina ollut 15 000 – 18 000 ha. Lötjösen ym. (2009) mukaan ruokohelven realistinen sato on 4 - 7 t ka/ha kun korjuutappiot kevätkorjuussa otetaan huomioon. Lötjösen ym. (2009) mukaan pelloilta on saatu 10 t ka/ha satoja, mutta toisaalta erityisesti nuoret kasvustot ovat tuottaneet vain 3 t ka/ha. Ruokohelven viljelyn taloudellista kannattavuutta ovat tarkastelleet mm. Latvala ym. (2007).

Viljojen aluskasvit bioenergiaksi?

Viljakasvustojen aluskasviksi voidaan kylvää heiniä ja palkokasveja. Yleensä viljojen aluskasvikokeissa on selvitetty aluskasvien esikasvivaikutusta. Kauppilan (1985) Viikin kokeissa aluskasvien maanpäällinen kasvimassa oli korkeimmillaan 3 590 kg ka/ha apilaseoksella ja 2 330 kg ka/ha italianraiheinällä. Viljelykasvina oli aikainen ohra. Känkäsen (2001) mukaan nurmipalkokasvien kilpailuvaikutus viljan jyväsatoon oli pieni, yleensä korkeintaan 200 kg/ha. Aluskasveista olisi mahdollisesti saatavissa suhteellisen suuri sato kokoviljasäilörehuksi korjatun viljan jälkeen (Niemeläinen ym. 2007). Tosin kokoviljasäilörehun tuotantotilanteessa karjatilalla aluskasvisadon hyödyntäminen laiduntamalla tai niit-toruokintana lienee järkevämpää kuin sadon korjaaminen biokaasun syötteenä.

Aluskasvien käyttö viljoilla mahdollistaisi suuren tuotantoalan nurmibiomassan tuottamiseen. Aluskasvien viljely on epätodennäköistä leipäviljalla ja mallasohralla aluskasvien mahdollisen viljasa-toa alentavan vaikutuksen vuoksi. Tiken 24.11.2011 tietojen mukaan rehuohraa oli 378 000 ha, kauraa 323 700 ha ja seosviljaa 27 900 ha eli yhteensä runsaat 750 000 ha. Rehuviljaa käytetään monivuotisten nurmien suojaviljoina, ja kun rehunurmia oli v. 2011 666 800 ha, niin suojaviljaan perustetuja uusia nurmia lienee 150 000 – 210 000 ha (1/4-1/3 osa rehunurmien pinta-alasta). Rehuviljan viljelyalasta on siten runsaat 500 000 ha sellaista alaa, jolla olisi mahdollista viljellä aluskasveja bio-kaasutuotannon syötteenä. On todennäköistä, että suurin osa rehuviljojen aluskasvustoista tuottaisi niin pienen hehtaarisadon, että korjuu bioenergiaksi ei olisi tarkoituksenmukaista. Ilmaston muutoksen vaikutuksesta syyskesän sää muuttuu lämpimämmäksi. Tämä saattaa lisätä aluskasveiksi sopivien yksivuotisten nurmi- ja nurmipalkokasvien satoa. Aluskasvien viljelyn lisääminen olisi teknisesti helppo toteuttaa. Mikkolan (2001) tutkimuksessa kylvölannoittimen taakse asennettavalla heinäsiemenen kylvölaitteella onnistuttiin perustamaan tavoitteet täyttävä aluskasvusto kaikkina neljänä koevuonna kuiva kasvukausi mukaan luettuna. Aluskasvin kylvöstä aiheutuu tätä menetelmää käyttäen hyvin vähän lisätyötä ja kylvölaittekin on edullinen. Aluskasvin kylväminen suorakylvettävään viljaan ei onnistune yhtä kätevästi kuin muokattuun maahan kylvettävään viljaan. Aluskasvien pieni hehtaarisato on keskeinen ongelma.

4.4.2. Nurmisadon saatavuus yksittäisen bioenergian tuotantoyksikön tarpeisiin nähden

Nurmibiomassaa voidaan käyttää energian tuotantoon mm. biokaasulaitoksissa. Jo maatilamittakaavan lannankäyttöön perustuvissa pienissäkin laitoksissa nurmibiomassaa voidaan käyttää lisäsyötteenä. Jos biokaasusta tuotetaan liikennepolttoainetta, olisi biokaasulaitoksen koon oltava 3-4 MW ja riittävän kuiva-ainemassan tuottamiseen tarvittava nurmialan noin 1000 ha, kun nurmen viljely olisi intensiivistä ja hehtaarisato 7 500 kg ka/ha (suullinen tiedonanto Jukka Rintala v. 2011). Nurmimassan kuljetusmatka biokaasulaitokseen ei saisi olla pitkä.

Nurmibiomassan korjuun tulisi olla tehokasta. HVP-peltojen lohkokoko on sangen pieni, mutta valtaosa HVP-lohkojen kokonaispinta-alasta muodostuu suurimmilta lohkoilta. Maatalousviraston vuoden 2010 lohkotietoaaineiston perusteella 60,4 prosenttia eli 78111 ha luonnonhoitonurmen kokonaisalasta (monivuotiset nurmet) 129 370 ha muodostui lohkoista, joiden koko oli vähintään 1,45

ha. Viherkesantoalasta 62,4 prosenttia eli 27 441 ha muodostui lohkoilta, joiden pinta-ala on vähintään 1,61 ha (Niemeläinen ym. 2012). Näitä korjuutekniikan kannalta kohtuullisen kokoisia lohkoja oli yhteensä 105 000 ha. Olettamalla kuiva-ainesadon määräksi 4 t/ha olisi vuosittain bioenergiaksi korjattavissa oleva kuiva-ainesato 420 000 tonnia ja energiatuotto 1,26 TWh kun 1 tonni kuiva-ainetta tuottaa 3 MWh. Tämä 1,3 TWh energiatuotto olisi taulukossa 8 tuotantonurmilta saatavissa olevan optimistisen arvion mukaisen 3,4 TWh lisäksi eli Suomen nurmilähteistä olisi 4,7 TWh potentiaalinen energiasato.

Riittävän biomassan saatavuutta tarkasteltiin yksittäisen biokaasulaitoksen näkökulmasta. 'HVP-biokaasuksi' hankkeessa laskettiin vuoden 2010 lohkotietojen perusteella Forssan, Tammelan, Jokioisten, Someron, Ypäjän ja Humppilan kuntien alueella olevan HVP -pellon määräksi (monivuotiset nurmikasvit) 3305 ha, viherkesantojen määräksi 652 ha ja suojavaöhykenurmen alaksi 561 ha. Lisäksi ruokohelpeä oli energiatuotannossa 294 ha. Yhteensä ao. lohkojen ala oli 4812 ha. Kuljetusmatka Envor Groupin Forssan Kiimassuolla olevalle biokaasulaitokselle jäisi valtaosalta lohkoista alle 20 kilometrin pituiseksi. Lohkot olivat sangen pieniä ja niiden lukumäärä oli yhteensä 3493 kpl. Kuinka suuri osa lohkoista olisi käytettävissä bioenergian tuotantoon, ei ole tiedossa. Laskelma kuitenkin osoittaa, että huomattavia nurmibiomassamääriä olisi tuotettavissa suhteellisen lyhyen kuljetusmatkan päässä. Jos edellä mainituilla pellonkäyttömuodoilla nurmen hehtaarisato olisi 4 tonnia kuiva-ainetta/ha, niin 7500 tonnia kuiva-ainetta pystyttäisiin tuottamaan jo noin 40 prosentilta ao. 4800 hehtaarin peltoalalta. Oletettavasti Suomessa on useita sellaisia alueita, joilla käytettävissä oleva HVP- ja viherkesantoala olisi riittävän suuri maantieteellisesti riittävän suppealta alueelta korjattavissa.

4.4.3. Johtopäätökset

Hoidetuilla viljelemättömillä pelloilla ja viherkesannoilla muodostuu Suomessa vuosittain mittava määrä biomassaa, joka voitaisiin käyttää syötteenä biokaasun tuottamiseen. Satovaihtelu ao. lohkoilla on suurta (1330 – 10300 kg ka/ha). On siis sellaisiakin HVP-lohkoja, joilla on suuri sato hyödynnettäväksi.

Rehunurmien satovaihtelun vuoksi on oletettavaa, että ajoittain muodostuu "ylijäämä" säilörehua, joka sopisi biokaasun syötteenä. Viherlannoitusnurmien biomassasta olisi satoa hyödynnettävissä bioenergian raaka-aineeksi. Viljan aluskasveilla voitaisiin järjestää syötteen tuotantoa suurilla pinta-aloilla, mutta hehtaarisato olisi pieni. Nurmibiomassoja on Suomessa eri lähteistä käytettävissä bioenergian tuotantotilanteita varten, jos niiden käyttäminen on taloudellisesti järkevää. Myös sadon tuotanto- ja korjuuketjut ovat olemassa. Kuinka paljon bioenergiaa nurmialalta olisi tuotettavissa, riippuu nurmenviljelyn intensiivisyydestä ja kuinka suurelta osalta nurmilohkoja biomassaa korjattaisiin energiantuotantoon. Tämän tarkastelun arvio esitetyillä olettamuksilla olisi n. 4,7 TWh vuodessa.

4.5. Kirjallisuus

Adamovics, A. , Dubrovskis, V., Plume, I. & Auzins, V. 2008. Usage of fodder galega biomass for the biogas production. In Renewable Energy Resources, Production and Technologies. Proceedings of the 5th UEAA General Assembly and the Associated Workshops, Riga, Latvia, 28-31 May, 2008. Zinatne Publisher. ISBN 978-9984-808-31-4. pp 30-36.

ANON. 2012a. FAO production statistics.

<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567>

ANON. 2012b. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>

ANON. 2012c. Käytössä oleva maatalousmaa 2011 –TIKE 10.1.2012. Saatavilla:

http://www.matilda.fi/pls/portal30/rpportal.matilda_julkaisut.showfile?docid=826&versio=1259052157&fileid=7854

ANON. 2011.a Matilda. Maataloustilastot. Satotilasto. Satotietoja vuosilta 1995-2010.

<http://www.maataloustilastot.fi/satotilasto>

- ANON. 2011b. Hakuopas. 2011. Tilatuki, Maatalouden ympäristötuki, Luonnonhaittakorvaus, Kansalliset tuet. Maaseutuvirasto. Elektroninen julkaisu. 148 p. Saatavilla: http://epaper.edita.fi/Mavi/Hakuopas_suomi/files/hakuopas2011_su.pdf
- ANON. 2005. Grasslands of the world. FAO. Plant Production and Protection Series No. 34. Eds: J.M. Suttie, S.G. Reynolds, and Batello, C. <http://www.fao.org/docrep/008/y8344e/y8344e00.htm>
- Hokkanen, H. & Raatikainen, M. 1977. Yield, vegetation and succession in reserved fields in Central Finland. *J. Sci. Agric. Soc. Finland* 49: 221-238.
- Kauppila, R. 1985. Aluskasvien käyttö viljan viherlannoituksessa. Teoksessa: Apilat aluskasveina viljanviljelyssä. Suomen Itsenäisyyden Juhlavuoden 1967 Rahasto. Julkaisu 20. s. 1-38.
- Klein Goldewijk, K., G. van Drecht & Bouwman, A.F. 2007. Mapping contemporary global cropland and grassland distributions on a 5 x 5 minute resolution. *Journal of Land Use Science* 2: 167-190.
- Känkänen, H. 2001. Biomassan ja typen tuotanto sekä viljasadot. Teoksessa: Viherkesannot ja aluskasvit viljan viljelyssä. MTT:n julkaisuja Sarja B. 25. 8-12. Saatavilla: <http://mttinfo.mtt.fi/bsarja/pdf/bsarja25.pdf>
- Känkänen, H., Kymäläinen, M. & Nykänen, A. 2009. Viherlannoituksesta enemmän tehoa. *Maaseudun tiede* 3/2009. 26.10.2009. p. 4.
- Latvala, T., Aro-Heinilä, E. Toivonen, E. & Järvinen, E. 2007. Bioenergian tuotanto ja markkinat vuonna 2007 sekä kehitysnäkymät vuoteen 2015. Pellervon taloudellisen tutkimuslaitoksen raportteja N:o 205. 70 p.
- Lehtomäki, A. 2006. Biogas Production from Energy Crops and Crop Residues. *Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Science* 163. Academic Dissertation. Jyväskylä: University of Jyväskylä, 91 p.
- Lillak, R., Viil, P., Meripold, H. Vosa, T., Kodis I. & Laidna, T. 2007. Potential of Galega orientalis as energy crop. . Teoksessa: NJF Seminar 405 Production and Utilization of Crops for Energy. Vilnius, Lithuania, 25-26.9.2007. NJF Report Vol. 3, No 4, 2007. s. 28-30.
- Lötjönen, T., Pahkala, K., Vesanto, P. & Hiltunen, M. 2009. Reed canary grass in Finland. Teoksessa: Energy from field energy crops – a handbook for energy producers. Jyväskylä Innovations & MTT Agrifood Research Finland. Jyväskylä. s. 14-23.
- Mikkola, H. 2001. Aluskasvien kylvötekniikka. MTT:n julkaisuja Sarja B. No 25. Viherkesannot ja aluskasvit viljan viljelyssä. Toim. Hannu Känkänen. s. 37-41.
- Mäkäräinen, E., Kansanen, P., Kortesmaa, T. & Varis, E. 1985. Rehevuoehenherneen viljelyominaisuudet ja käyttöarvo. Suomen Itsenäisyyden Juhlavuoden 1967 Rahasto. Julkaisu 14. 72 s.
- Niemeläinen, O. , Virkkunen, E., Jauhainen, L. & Lötjönen, T. 2012. Kuinka paljon viherkesanto- ja hoidettu viljelemätön pelto –lohkoilla olisi sato biokaasun tuotantoon? Maataloustieteen Päivät 2012. http://www.smts.fi/Kasvintuotanto_jalostuu/Niemelainen_Kuinka%20paljon.pdf
- Niemeläinen, O., Jauhiainen, L., Kontturi, M., Nissinen, O., Vuorinen, M. & Niskanen, M. 2007. Under-sown catch crops as a source of biomass for energy. Teoksessa: NJF Seminar 405 Production and Utilization of Crops for Energy. Vilnius, Lithuania, 25-26.9.2007. NJF Report Vol. 3, No 4, 2007. s. 109-110.
- Niemeläinen, O., Niskanen, M. & Jauhiainen, L. 2006. Kuivuus kuritti nurmia - kokonaissadot silti paikoin hyviä. *Koetoiminta ja käytäntö* 63, 4(18.12.2006).
- Pahkala, K., Mela, T., Hakkola, H., Järvi, A. & Virkajärvi, P. 1996. Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa. Tutkimuksen loppuraportti, I osa. Agrokuitukasvien viljely. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A. 3. 68 s.
- Prochnow, A., Phlöchl, M., Jacobs, H., Heierman, M. & Idler, C. 2007. Potential of grassland in the EU to renewable resources. *NJF Report* 3: 4, 31-36. <http://www.njf.nu/site/redirect.asp?p=3743>
- Prochnow, A., Heiermann, M., Phlöchl, M., Linke, B., Idler, C., Amon, T. & Hobbs, P.J. 2009a. Bioenergy from permanent grassland – A review: 1. Biogas. *Bioresource Technology* 100: 4931-4944.
- Prochnow, A., Heiermann, M., Phlöchl, M., Linke, B., Idler, C., Amon, T. & Hobbs, P.J. 2009b. Bioenergy from permanent grassland – A review: 2. Combustion. *Bioresource Technology* 100: 4931-4944.
- Raatikainen, M. & Raatikainen, T. 1975. Heinänurmien sato, kasvilajikoostumus ja sen muutokset. *Annales Agriculturae Fenniae* 14. 57-191.
- Raig, H., Nommasalu, H., Meripold, H., & Metlitskaja, J. 2001. Fodder galega. *Estonian Research Institute of Agriculture*. 141 s..
- Räty, M., Uusi-Kämpä, J., Yli-Halla, M., Rasa, K. & Pietola, L. 2009. Phosphorus and nitrogen cycles in the vegetation of differently managed buffer zones. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* DOI 10.1007/s10705-009-9277-4

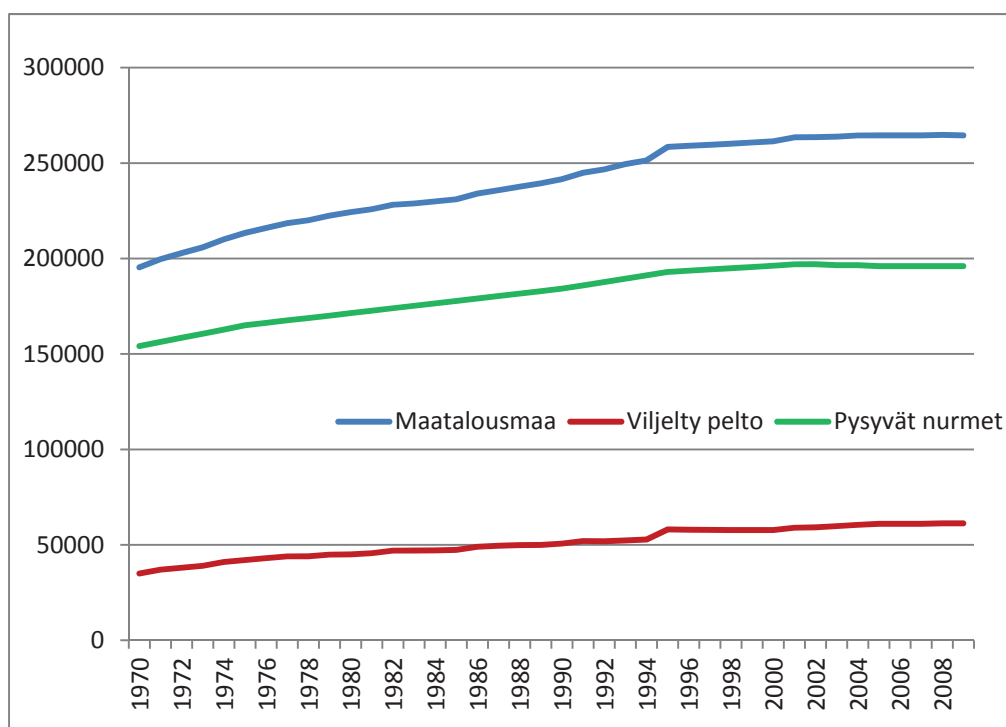
- Sankari, H. 1994. Bioenergian tuotantoon soveltuvat peltokasvit. Teoksessa: Bioenergian tuotanto elintarviketuotannosta vapautuvalla peltoalalla. Työtehoseuran julkaisuja 333. s. 10-48.
- Stoddard, F., Helenius, J. Mäkelä, P., Niemi, E., Seppänen, M. & Turakainen, M. 2007. Role of legumes in bioenergy production. In: NJF Seminar 405 Production and Utilization of Crops for Energy. Vilnius, Lithuania, 25-26.9.2007. NJF Report Vol. 3, No 4, 2007. s. 26-27.
- Turtola, E. 1993. Phosphorus and nitrogen leaching during set-aside. Proceedings of NJF-seminar no. 228: Soil Tillage and Environment : Jokioinen, Finland, June 8-10, 1993. NJF-Utredning. Rapport 88: 207-217
- Uusi-Kämppeä, J. & Kilpinen, M. 2000. Suojakaistat ravinnekuormituksen vähentäjinä. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja Sarja A 83. 49 s.
- Uusi-Kämppeä, J. 2007. Effects of freezing and thawing on DRP losses from buffer zones. In: Heckrath, G., Rubæk, G.H. & Kronvang, B. (eds.). Diffuse phosphorus loss, Risk assessment, Mitigation Options and Ecological Effects in River Basins. The 5th Phosphorus Workshop (IPW5), 3-7 September 2007, Silkeborg, Denmark. DJF Plant Science No. 130. Tjele: Aarhus Universitet: Faculty of Agricultural Sciences. s. 169-172.
- Uusi-Kämppeä, J. & Jauhiainen, L. 2010. Long-term monitoring of buffer zone efficiency under different cultivation techniques in Boreal conditions. Agriculture, Ecosystems and Environment 137, 75-85. doi:10.1016/j.agee.2010.01.002
- Varis, E. 1986. Goat's rue (*Galega orientalis* Lam.), a potential pasture legume for temperate conditions. Journal Agricultural Science in Finland 58: 83-101.
- Virkajärvi, P. & Varis, E. 1991. The effect of cutting times on goat's rue (*Galega orientalis* Lam.) leys. Journal of Agricultural Science in Finland. 63: 391-402.

5. Mahdollisuudet bioenergian tuotantoon kehittyvillä alueilla – onko case - Brasilia sovellettavissa muualle?

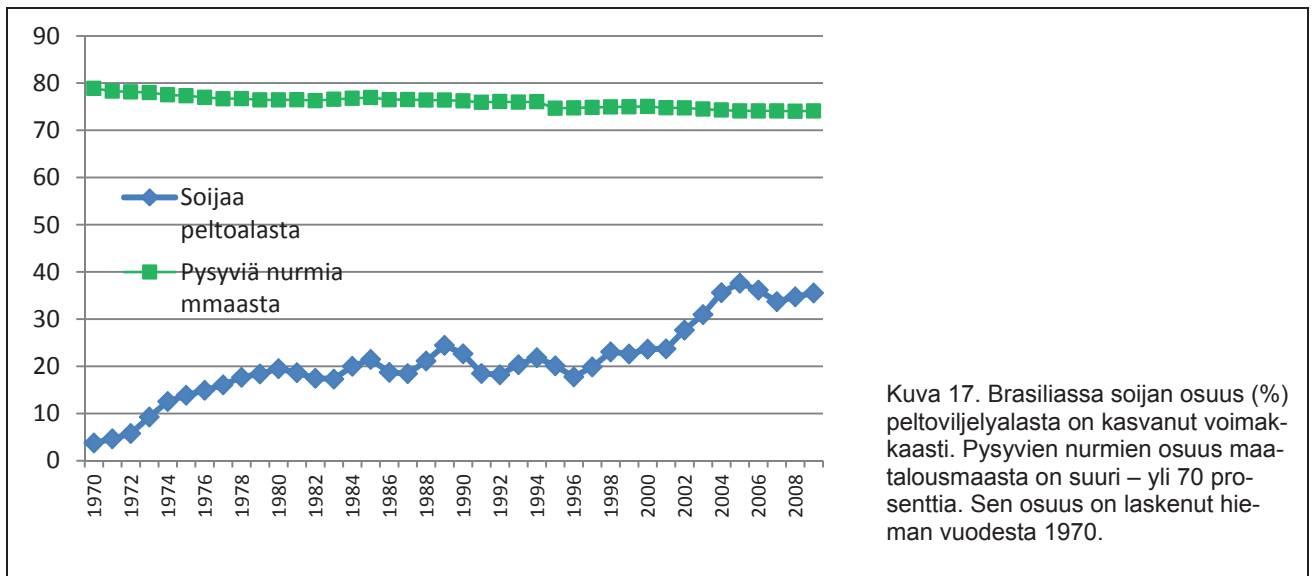
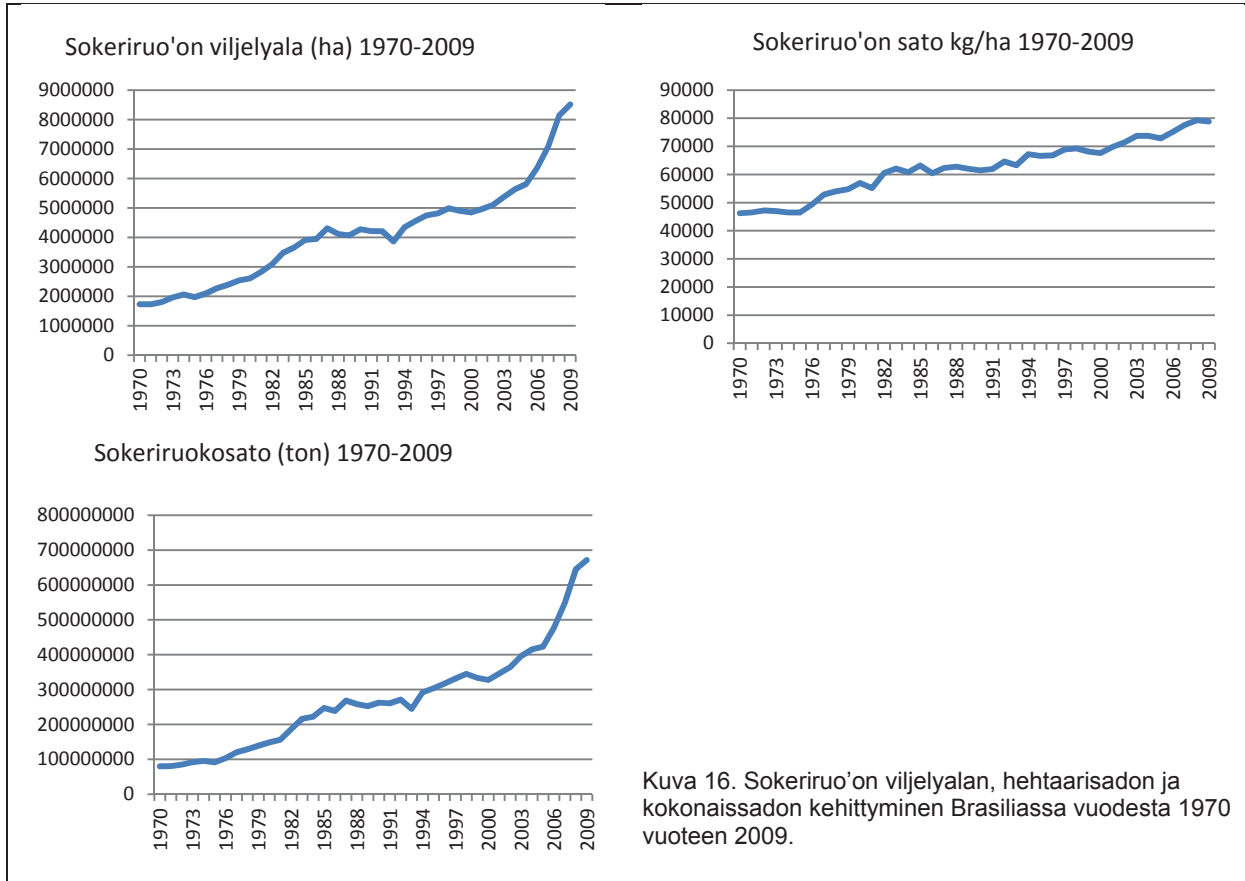
Oiva Niemeläinen

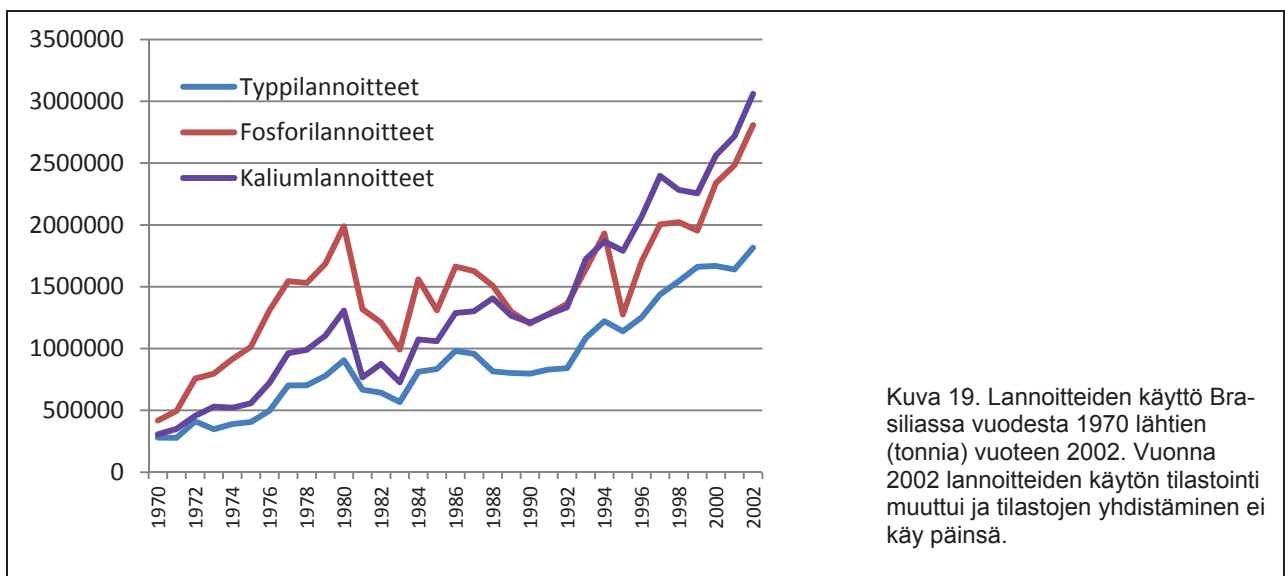
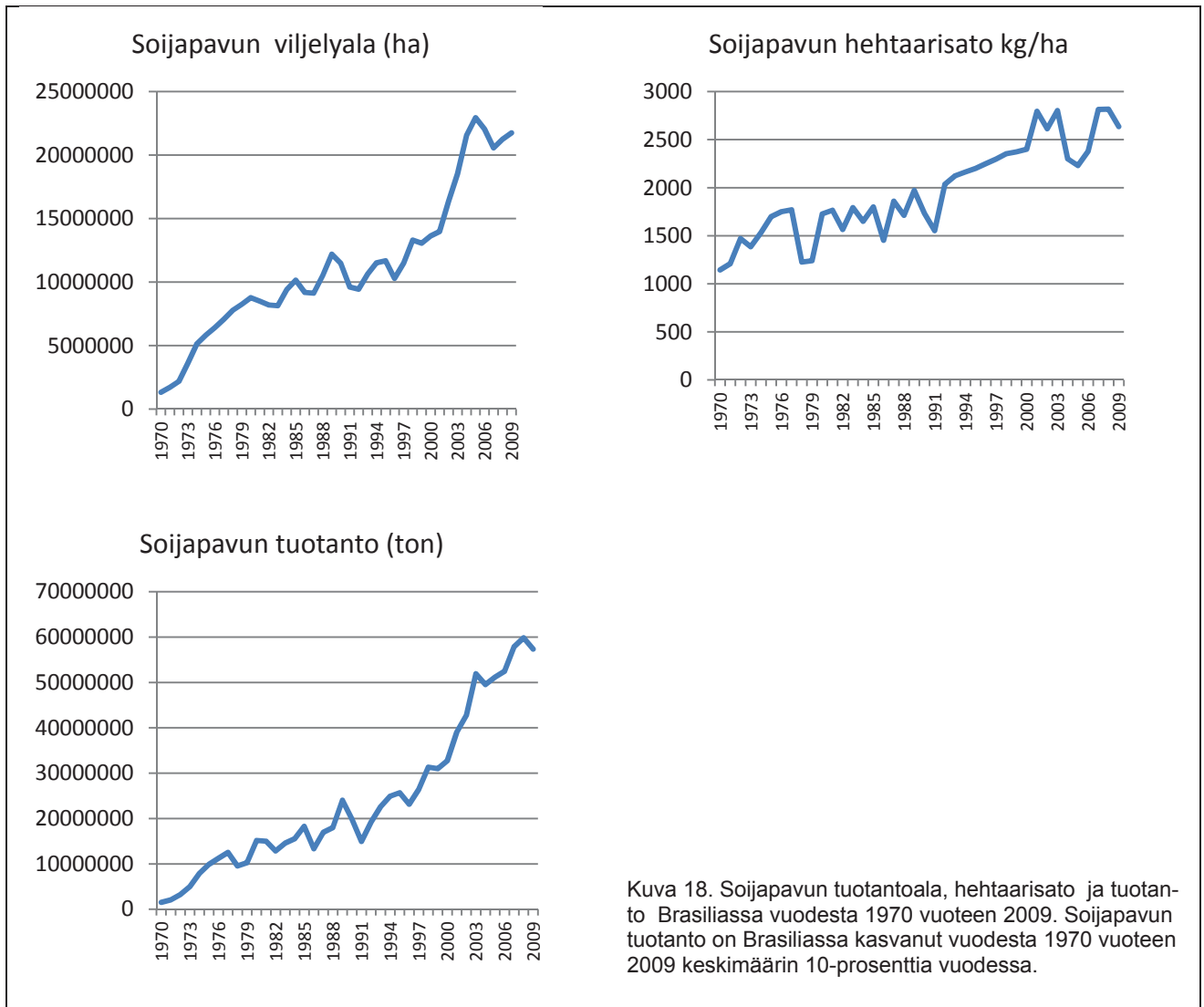
5.1. Panostukset maataloustuotantoon Brasiliassa 1970-luvulta lähtien

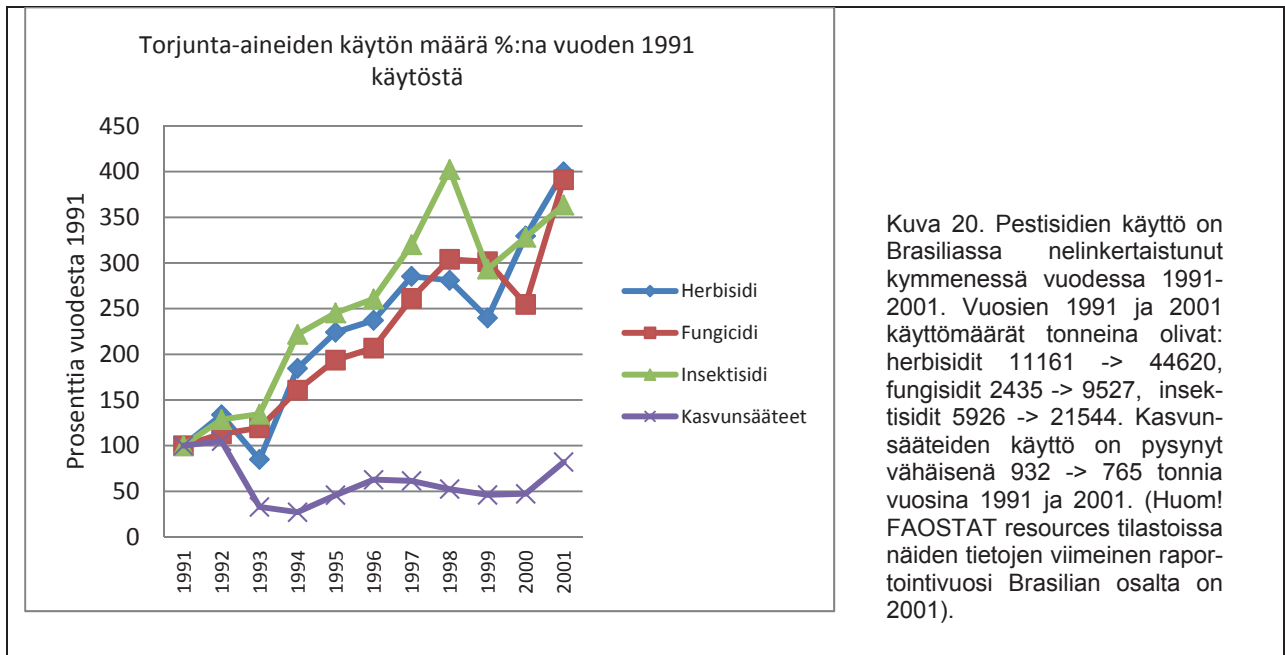
Brasilia on maataloustuotannon suurvalta ja tärkeä viejämaa. Brasilian etanolin tuotanto peltobio-massasta on mittavaa. Nykyinen Brasilian maataloustuotanto on pitkäaikaisen ja määrätietoisen kehityksen tulos (ANON. 2010). Seuraavilla FAO:n tilastoista kootuilla ja tuotetuilla kuvilla osoitetaan joitakin keskeisiä kehitystä ja kehityksen vaatimaa panostusta kuvaavia seikkoja (ANON. 2012a). Luonnonolosuhteet Brasiliassa ovat otolliset kasvintuotannolle (ANON. 2012b), mutta tuotannon lisäämiseen on tarvittu merkittävä panostus. Mahdollisesti muuallakin maailmassa on sellaisia alueita, joiden tuottavuutta voitaisiin merkittävästi kohottaa. Onko tuotannon kehittämiseen tarvittavia resursseja käytettävissä ja suunnataanko ne maatalouden kehittämiseen, voi olla kriittinen tekijä, joka estää kehittymisen. Seuraavat kuvat osoittavat Brasilian määrätietoisen panostuksen maatalouden tuottavuuden parantamiseen.



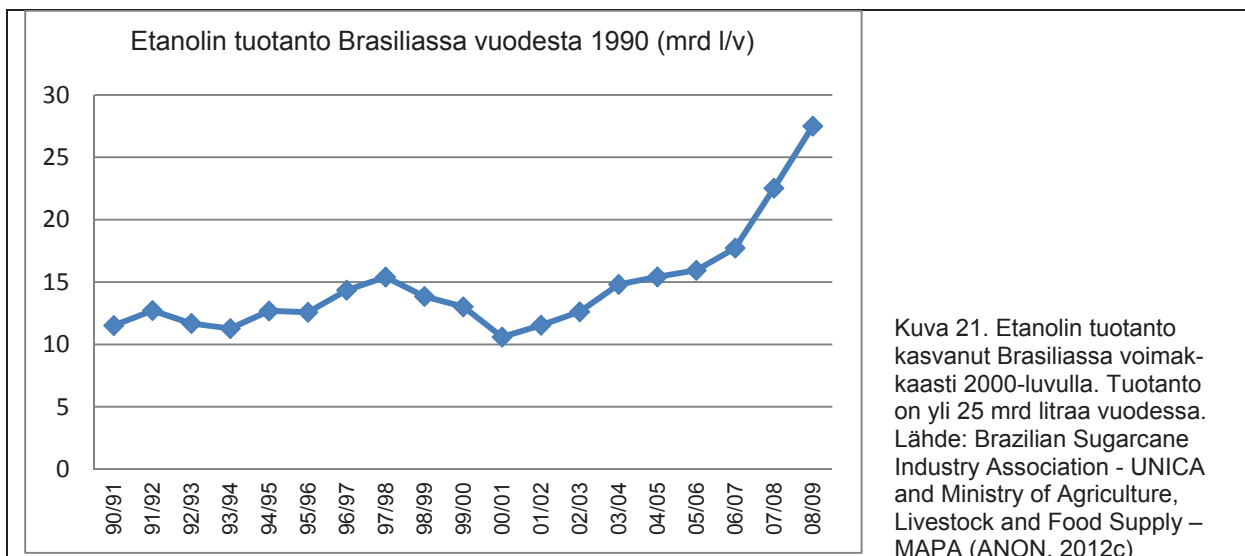
Kuva 15. Vuodesta 1970 maatalousmaan ala on lisääntynyt Brasiliassa 195,4 milj. hehtaaria 264,5 milj. hehtaariin (+35%). Peltoviljelyn ala on lisääntynyt 35,0 milj. hehtaaria 61,2 milj. hehtaariin (+75%) ja pysyvien nurmien ala 154,1 milj. hehtaaria 196 milj. hehtaariin (+27 %).







Brasiliassa on ollut resursseja ja motivaatiota panostaa tuotannon kehittämiseen ja luonnonolosuhteet ovat olleet suotuisat – vettä on käytettävissä – mutta aikaa ja panostusta ja pitkäjänteistä kehittämistyötä on tarvittu.



5.2. Mahdollisuudet Brasilian menestystarinan toistamiseen

Brasilian tuotannon kehitys viime vuosikymmeninä osoittaa, että suotuisissa olosuhteissa hyvin merkittäviin tuotannon lisäyksiin on mahdollisuuksia.

Campbell ym. 2008 arvioivat, että maataloustuotannon ulkopuolelle jääneiden maatalousmaiden keskimääräinen maanpäällisen biomassan tuotto maailmassa 4,3 tonnia/ha/v ja suurimmat sadot olisi trooppisen alueen nurmilla 7 – 20 t/ha/v. Biomassasadosta saatavalla energialla olisi heidän mukaansa suurin merkitys eräissä Afrikan maissa, joissa nurmet ovat suhteellisen satoisia ja maan fossiilisten polttoaineiden käyttö on vähäistä.

Kuivuus haittaa ratkaisevasti mm. Turkmenistanin, Uzbekistanin, Kazakstanin ja Mongolian nurmien tuotantomahdollisuuksia (Taulukko 11). Afrikassa on sen sijaan useita maita, joissa sademäärä

on kohtuullinen ja nurmialaa on runsaasti. Tällaisia maita ovat mm. Angola, Mozambik, Sudan ja Tansania.

Taulukko 11. Maatalousmaan ja pysyvien nurmien ala (1000 ha) sekä sademäärä eräissä mahdollisissa bioenergian tuotantomaissa.

Potentiaalisia tuottajamaita	Maatalousmaan ala (1000 ha)	Pysyvät laitumet (1000 ha)	Nurmiala maatalousmaasta (%)	Vuotuinen sademäärä mm	Jyvä maissin sato kg/ha (FAOSTAT)
Brasilia	264500	196000	76	1782	3785
Angola	57590	54000	94	1098	509
Botswana	25852	25600	90	416	57
Mozambik	48630	44000	90	933	853
Etiopia	33922	20000	59	1113	1970
Sudan	136837	117180	86	752	1910
Tansania	34350	24000	70	1064	1407
Mongolia	130460	129300	99	221	.
Ukraina	41266	7933	19	565	3900
Kazakstan	207598	185098	89	250	4563*
Turkmenist.	33065	30700	93	133	1071*
Uzbekistan	27890	22850	82	231	6850*

*Maissin viljelyalat ovat hyvin pieniä Kazakstanissa, Turkmenistanissa ja Uzbekistanissa. Sadetettua tuotantoa.

Brasiliassa saavutettujen ratkaisujen soveltamisessa Afrikkaan on epävarmuustekijöitä mm. epävakaa poliittiset olot, investointeihin tarvittavien varojen puute ja vähäinen sadanta alueilla, missä sopivaa maata olisi käytettävissä. Suotuisilla alueilla voi olla hyvät mahdollisuudet tuottaa energiaa nurmibiomassoista. Energian tuotanto ja ravinteiden kierrätysmahdollisuus voivat luoda tietyillä alueilla kehittymisen edellytyksiä.

5.3. Kirjallisuus

ANON. 2012a. FAO production statistics.

<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567>

ANON. 2012b. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>

ANON 2012c. UNICA.Sugarcane industry association.

<http://english.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>

ANON. 2010. Brazil has revolutionised its own farms. Can it do the same for others? The Economist

26.8.2010 <http://economist.com/node/16886442>

Campbell, J.E., Lobell, D.B., Genova, R.C. & Field, C.B. 2008. The global potential of bioenergy on abandoned agricultural lands. Environmental Science & Technology 42: 5791-5794.



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Viikinkaari 4
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000