

Peltobiomassat globaalina energianlähteenä

Katri Pahkala, Kaija Hakala, Markku Kontturi,
Oiva Niemeläinen



Maa- ja elintarviketalous numero 137
53 s.

Peltobiomassat globaalina energianlähteenä

Katri Pahkala, Kaija Hakala, Markku Kontturi,
Oiva Niemeläinen

ISBN 978-952-487-214-0 (Verkkajulkaisu)

ISSN 1458-5081 (Verkkajulkaisu)

www.mtt.fi/met/pdf/met137.pdf

Copyright

MTT

Kirjoittajat

Katri Pahkala, Kaija Hakala, Markku Kontturi,

Oiva Niemeläinen

Julkaisija ja kustantaja

MTT, 31600 Jokioinen

Jakelu ja myynti

MTT, Tietopalvelut, 31600 Jokioinen

Puhelin (03) 4188 2327, telekopio (03) 4188 2339

sähköposti: julkaisut@mtt.fi

Julkaisuvuosi

2009

Kannen kuvat

Katri Pahkala

Peltohiomassat globaalina energianlähteenä

Katri Pahkala, Kaija Hakala, Markku Kontturi, Oiva Niemeläinen

MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Kasvintuotannon tutkimus, Kasvinviljely ja teknologia, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

Tiivistelmä

Tulevaisuudessa kaikkiin bioenergiaressursseihin tullaan kohdistamaan voimakkaita hyödyntämispaineita jo kansainvälisten sitoumustenkin takia. Tässä tutkimuksessa selvitettiin maapallon tärkeimpien peltokasvien tuotanto mukaan lukien nurmikasvit käyttäen FAO:n tilastoja vuodelta 2006. Lisäksi laskettiin teoreettiset ja tekniset sivuvirtavolyymit viljan, öljykasvien, palkokasvien, juurikasvien ja sokerikasvien tuotannolle kasvilajien satoindeksi- ja kuiva-ainetietojen avulla vuosille 2006 ja 2050. Tarkastelu tehtiin maailman 15 alueelle, EU 27 maille ja vielä Suomelle erikseen. Myös bioenergiakasvien mahdollista pinta-alaa ja niistä saatavaa bioenergiaa vuonna 2006 ja 2050 selvitettiin ottaen huomioon IPCC:n päästökkenaario B1 ja tulevaisuudessa maapallon ruoan tuotanto noin 9 miljardille ihmiselle. Tutkimus oli osa VTT:n, BOFIT:n ja MTT:n yhteisprojektia ”Suomalaisen energiateknologian kilpailukyky ilmastopolitiikan muuttuessa (SEKKI)”, joka kuului Tekesin Climbus-ohjelmaan.

Tilastojen suurimmat sadontuottajat peltokasveista olivat viljat (2,2 mrd. t), sokerikasvit (1,7 mrd. t), öljykasvit (0,7 mrd. t), juurikasvit (0,7 mrd. t) ja palkokasvit (0,1 mrd. t). Vielä näitä tuotantolukuja suuremmiksi sadontuottajiksi osoittautuivat maapallon eri osissa sijaitsevat pysyvät laitumet, joiden ala on keskimäärin 69 % kaikesta maailman peltomaasta. Pysyvien laitumien sato (10 mrd. t) arvioitiin laskennallisesti käyttäen apuna maiden viljasatoja. Kasvintuotannon sivuvirtojen energiasisällön maksimaalinen teoreettinen potentiaali edellä mainituista peltokasveista pois lukien nurmikasvit oli vuoden 2006 satojen avulla laskettuna 62 EJ ja tekninen potentiaali (peltoon jäävä osuus vähennetty) 44 EJ. Vastaavat luvut arvioituna vuoden 2050 tasolle olivat 69 EJ ja 49 EJ. Edellä mainittujen kasviryhmien sivuvirtojen koko energiasisältö EU 27 maissa oli yhteensä 5,7 EJ ja tekninen potentiaali 3,9 EJ. Tämän potentiaalın käyttöönottamiseen vaikuttaa suuresti eri alueiden ilmastolliset olosuhteet sekä arviot kasvinjätteiden kestävästä käytöstä. Esimerkiksi kuivuudesta kärsivillä alueilla vain rajallinen kasvinjätteiden hyödyntäminen on mahdollista. Varsinaisten bioenergiakasvien viljelyalaan tulevaisuudessa vaikuttaa maapallon alueellinen väestökehitys sekä peltoviljelyn tekninen kehitys kullakin alueella. Kun lisäksi otetaan huomioon ihmisten ruokavalio ja siihen tarvittava ruoantuotantoala, bioenergiakasvien tehokas

tuotanto olisi laskelmien mukaan mahdollista Australiassa, Kanadassa, Keski- ja Etelä-Amerikassa (CSA), Itä-Euroopassa (EEU), entisen Neuvostoliiton alueella (FSU) ja USA:ssa. Tähän joukkoon voitaisiin lukea myös korkeilla leveysasteilla sijaitsevia harvaan asuttuja, kehittyneitä maita. Kun otetaan huomioon sekä peltokasvien sivutuotteet että bioenergiakasvien sato, maailman peltoenergiapotentiaali voisi tulevaisuudessa olla 181 EJ, 118 EJ tai 85 EJ riippuen siitä, onko ruokavaliomme pääasiassa kasvisruoka-, seka-ruoka- vai lihavaltainen. Jos elintarvikkeemme sisältävät paljon lihatuotteita, niiden tuottamiseen tarvitaan noin kolme kertaa suurempi maa-ala kuin kasvisruoan tuottamiseen vastaavalle ihmismäärälle.

Avainsanat: peltokasvit, bioenergia, ilmastonmuutos, biomassa, sivutuotteet, energiapotentiaali

Alkusanat

Tässä raportissa tarkastellaan kasvintuotannon sivuvirtojen ja energiakasvien nykyisiä ja tulevia bioenergiapotentiaaleja osana VTT:n, Suomen Pankin siirtymätalouksien tutkimuskeskuksen (BOFIT) ja MTT:n yhteisprojektia ”Suomalaisen energiateknologian kilpailukyky ilmastopolitiikan muuttuessa (SEKKI)”. Yhteistutkimusta rahoittivat Tekesin Climbus-ohjelma, Fingrid, Fortum, Gasum, Metso Power, Teknologiateollisuus, Ulkoasiainministeriö, ÅF-Consult, MTT, VTT ja BOFIT.

Yhteisprojektin tavoitteena oli arvioida Suomen elinkeinoelämän ja kansantalouden kannalta keskeisiä energiakysymyksiä, jotta voitaisiin aiempaa paremmin ennakoida ja varautua tulevaisuudessa tapahtuviin muutoksiin ja mahdollisiin riskeihin ja uhkiin. Projektissa tutkittiin tulevaisuuden energia- ja ilmastopolitiikan vaikutuksia energijärjestelmien kehitykseen, energian hintoihin ja energian saatavuuteen.

MTT:n Kasvintuotannon osuus tutkimuksesta tehtiin 23.8.2007 – 31.12.2008 välisenä aikana. Hankkeessa tarkasteltiin peltoenergiaresurssien potentiaaleja ja niiden riittävyyttä globaalilla ja alueellisella tasolla ottaen huomioon myös ruoantuotannon vaatimukset maankäytössä. Pitkän aikavälin tarkasteluissa huomioitiin myös ilmastonmuutoksen vaikutukset. Tässä raportissa esitetään MTT:n tulokset yhteistutkimuksesta.

MTT:n tuottamaa materiaalia on käytetty yhteistyössä VTT:n kanssa globaaleissa energia- ja päästöskenaariotarkasteluissa, joissa tärkeänä lähtötietona ovat energiaresurssien alueelliset potentiaalit sekä niihin liittyvät epävarmuudet.

Jokioisilla 31.12.2008
Työryhmä

Sisällysluettelo

1 Johdanto.....	7
1.1 Peltobiomassan energiakäyttö.....	8
1.2 Ilmastonmuutoksen vaikutukset maatalouteen ja biomassan tuotantoon	9
2 Materiaali ja menetelmät.....	10
2.1 Kasvintuotannon arviointi	10
2.2 Sivuvirtavolyymien arviointi.....	12
2.3 Bioenergiakasvien viljelyala ja energiasisältö.....	15
3 Tulokset.....	16
3.1 Datan validointi	16
3.2 Peltokasvituotannon määrä.....	17
3.3 Bioenergian tuottaminen kasvintuotannon sivuvirroista	19
3.4 Euroopan bioenergian tuotanto.....	21
3.4.1 EU 27.....	21
3.4.2 Suomi	24
3.5 Bioenergiakasvien tuotanto ja tuotantoalojen kehitys.....	28
3.6 Potentiaalisia uusia bioenergiakasveja	30
3.7 Maailman peltobioenergian tuotanto vuonna 2050	34
4 Tulosten tarkastelu	36
4.1 Kasvintuotannon sivuvirrat bioenergian lähteenä	36
4.2 Bioenergiakasvien potentiaalinen tuotantoala vuonna 2050	37
4.3 Bioenergiakasvit eri osissa maailmaa.....	39
5 Johtopäätökset ja yhteenveto.....	41
6 Kirjallisuus	43
7 Liitteet	49

1 Johdanto

Ilmastonmuutosta koskeva yleissopimus solmittiin YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssissa Rio de Janeirossa vuonna 1992. Aluksi yhteiseksi tavoitteeksi asetettiin ihmisen toiminnasta aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen tason palauttaminen vuoden 1990 tasolle. Ilmastopimuksen alainen Kioton pöytäkirja tuli voimaan 16.2.2005 velvoittaen teollisuusmaita vähentämään kuuden kasvihuonekaasun päästöjä vuosina 2008 - 2012 yhteensä 5,2 prosenttia vuoden 1990 tasosta. Yleisvelvoite on jaettu erisuuruiseksi, maakohtaisiksi velvoitteiksi. Suomella on velvoite pitää kasvihuonekaasupäästönsä keskimäärin korkeintaan vuoden 1990 tasolla ensimmäisellä sitomuskaudella. Uusiutuvan energian käytön on katsottu auttavan ilmastovelvoitteiden saavuttamisessa. EU:n päämääränä on saada 12 % energian kokonaiskulutuksesta, 22 % sähkön kulutuksesta ja 5,75 % liikenteen polttoaineista (KOM 2006) uusiutuvista lähteistä 2010 mennessä. Tähän liittyen EU:n Komissio antoi biomassatoimintasuunnitelmaa koskevan tiedonantonsa (KOM 2005) joulukuussa 2005. Sen avulla oli tarkoitus mm. lisätä biomassan käyttöä 150 miljoonaa öljytonnia (Mtoe) vastaavaan määrään vuoteen 2010 mennessä. Vuoden 2007 maaliskuussa EU:ssa sovittiin uusista ilmastotavoitteista. EU-maat sitoutuvat vähentämään hiilidioksidipäästöjä vähintään 20 %, nostamaan energiatehokkuutta 20 % ja nostamaan uusiutuvien energiamuotojen osuuden energiankulutuksessa 20 %:iin vuoteen 2020 mennessä. Samalla liikennepolttoaineille annettiin 10 % bioenergian osuustavoite (www.euro-parl.europa.eu). Joulukuussa 2008 em. tavoitteet hyväksyttiin EU:ssa, eli EU-maat ovat nyt sitoutuneet velvoitteisiin. Suuri osa bioenergian käytön lisäämisestä tulee metsätaloudesta. Maatalouden osalta maakohtaisia tavoitteita pyritään saavuttamaan edistämällä pellolla viljeltävien energiakasvien viljelyä (esim. Suomessa ruokohelpi, Englannissa Miscanthus jne.).

Maailman nykyinen energiankulutus on 442 EJ ja siitä noin 45 EJ:tä on peräisin biomassasta (IEA 2008). On odotettavissa, että käytettävissä oleviin bioenergiaresursseihin tulee kohdistumaan voimakkaita hyödyntämispaineita. EU:n uudet tavoitteet liikenteen biopolttonesteiden käytöstä ovat erittäin haastavia ja todennäköisesti vaikuttavat bioraaka-ainemarkkinoihin. Pelto-raaka-aineen soveltuvuus ja riittävyys bioenergiaksi joudutaan selvittämään alueittain ja käyttökohteittain. Tällöin on otettava huomioon myös kunkin maan mahdollisuudet tuottaa kansalaisilleen elintarvikkeita. Käyttämätöntä tai suhteellisen helposti käyttöönotettavaa raaka-ainepotentiaalia on kuitenkin olemassa, koska useissa maissa maatalouden tehostuessa on jäänyt peltopinta-alaa myös muuhun käyttöön. Silloin bioenergian tuotanto (esim. öljykasvien ja viljan tuottaminen nestemäisiksi polttoaineiksi ja korsibiomassojen tuottaminen lämpö- ja sähkövoimalaitoksille) voi tulla kysymykseen. Lisäksi eri jättemateriaaleja sekä maatalouden ja elintarviketeollisuuden sivuvirtoja voi olla alueellisesti käytettävissä, mutta niiden todellinen käyttökelpoisuus energian raaka-aineena on selvitettävä tapauskohtaisesti. Jalostamaton pelto-

biomassa joudutaan hyödyntämään lähellä tuotantopaikkaa taloudellisista ja logistisista syistä. Pitemmälle jalostetun biomassan, kuten bioöljy tai etanoli, kuljetus pitkiäkin matkoja on kannattavampaa. Peltobiomassan kokonaisvaltainen hyödyntäminen sekä ruoan että ”non-food”-tuotantoon tarjoaa myös uusia mahdollisuuksia maaseudun muulle yritystoiminnalle.

1.1 Peltobiomassan energiakäyttö

Peltobiomassaa voidaan hyödyntää energiakäytössä nestemäisessä, kiinteässä tai kaasumaisessa muodossa. Bioetanolin tuotanto tärkkelys- tai sokeripitoisista raaka-aineista ja biodieseltuotanto vaihtoesteröinnin avulla kasviöljyistä ovat kaupallista teknologiaa ja tuotteet ns. ensimmäisen sukupolven biopolttoaineita. Tulevaisuudessa myös olkea ja muita selluloosapitoisia raaka-aineita on mahdollista hyödyntää etanolin tuotannossa. Nämä toisen sukupolven polttoaineiden valmistusprosessit ovat vasta tutkimus- tai demonstroituvaiheessa. Myös biodieselprosessi, jossa tuotetaan hiilivedyistä koostuvaa biodieselpolttoainetta käsittelemällä bioöljyraaka-aineita vedyllä, kuuluu toiseen sukupolveen (Mäkinen et al. 2006, Weymarn 2007). Biomassasta on mahdollista valmistaa biopolttoaineita myös ns. synteetikaasureitin kautta, jossa biomassasta valmistetusta synteetikaasusta saadaan edelleen jalostamalla korkealaatuista dieselpolttoainetta kuten Fischer-Tropsch -dieseliä, metanolia tai dimetyylieetteriä (DME). Peltobiomassoja viljan olkea ja eräitä heinäkasveja käytetään nykyään jonkin verran kiinteänä polttoaineena joko pelkästään (Nikolaisen 1998) tai seoksena muiden polttoaineiden kanssa (Lindh et al. 2007). Pohjoismaissa ruokohelvi (*Phalaris arundinacea* L.) otettiin energiakäyttöön 1990-luvulla, ja Keski- ja Etelä-Euroopassa Miscanthusta (elefanttiheinä) on hiukan käytännön viljelyssä (NNFCC 2007).

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. Kasvinjätteiden laajamittaisella poisviennillä on kuitenkin vaikutuksensa pellon ekologiaan. Kasvintuotannon sivuvirroilla on peltoon jätettyinä monia edullisia vaikutuksia maan laatuun (Andrews 2006, Blanco-Canqui & Lal 2008). Pellon pinnalle jäävät kasvinjätteet suojaavat maata vesi- ja tuulierosiolta. Ne lisäävät maan orgaanista ainesta (humusta) ja vähentävät veden haihtumista maan pinnalta pidentäen aikaa, jonka viljelykasvit kestävät kuivuutta. Tarkat tutkimukseen perustuvat ohjeet kasvinjätteiden käsittelyyn ovat kuitenkin puutteellisia. Tutkimustietoa on saatavissa eniten maissin varsien käytöstä bioenergian raaka-aineena (Wilhelm et al. 2007, Varvel and Wilhelm 2008). USA:ssa tehtyjen tutkimusten mukaan poistettava varsimäärä riippuu maissin sadosta (biomassasta) ja viljelyalueen ominaisuuksista kuten sen eroosioherkkyydestä ja kosteusoloista. Jos maissin sato on pieni eikä käytetä suorakylvöä, koko korjuun jälkeen jäävä biomassasta olisi

jätettävä pellolle (Wilhelm et al. 2007). Keskimäärin USA:n alueella vain n. 30 % maissin korjuujätteestä voitaisiin korjata bioenergia- tai muuhun käyttöön maan laadun huonontumatta (Graham et al. 2007). Pohjoisilla maissinviljelyalueilla taas jopa 68 % maissin korjuujätteestä voitaisiin poistaa pellolta, mutta tässäkin tapauksessa korjuun määrä riippuu sadon määrästä (Graham et al. 2007).

1.2 Ilmastonmuutoksen vaikutukset maatalouteen ja biomassan tuotantoon

Ihmisen toiminnan aikaansaama kasvihuonekaasujen määrän lisääntyminen ilmakehässä on nostanut maapallon keskilämpötilaa noin 0,8 °C viimeisen sadan vuoden aikana (IPCC 2007a). Jatkossa lämpötila tulee yhä nousemaan, ja nousu on sitä suurempaa mitä enemmän kasvihuonekaasuja päästetään ilmakehään (IPCC 2000, IPCC 2007a). Maapallon keskilämpötilan muutos on jo nyt vaikuttanut maailman maataloustuotantoon. Mm. Afrikassa kasvukauden lämpeneminen ja kuivuuskausien piteneminen ovat johtaneet yhä suurempiin satovahinkoihin (IPCC 2007b). Maatalouden globaali kokonaistuotanto sen sijaan ei ole laskenut johtuen teknologian kehityksestä ja parempien viljelykasvilajikkeiden käyttöönotosta etenkin kehittyneissä maissa (Parry et al. 2004, Ewert et al. 2005, FAO 2008). Jatkossakin maapallon odotetaan ruokkivan itsensä kuluvan vuosisadan loppuun, mutta ruoantuotannon epätasainen jakautuminen tulee tuottamaan yhä suurempia ongelmia (Parry et al. 2004). Globaalisti IPCC ennustaa maataloustuotannon kasvavan paikallisesti, kun lämpötila nousee 1-3 °C, mutta lämpötilan edelleen noustessa tuotanto alkaa laskea. Kuitenkin alueilla, joilla jo nyt on vaikeuksia kuivuuden ym. tekijöiden suhteen, jo pienempi lämpötilan nousu vaikeuttaa maataloustuotantoa (IPCC 2007b). Lämpötilan nousu vaikuttaa myös sademääriin ja voimistaa ilmaston ääri-ilmiöitä (IPCC 2007a), jolloin tietyillä alueilla kuivuusongelmat kärjistyvät ja toisaalta rankkasateet aiheuttavat eroosiota ja tulvia. Sopeutuminen uuteen tilanteeseen on mahdollista, mutta vaatii resursseja. Tämän vuoksi yleisesti ennustetaan, että kehitysmaissa jo pienikin lämpötilan nousu tulee vähentämään maataloustuotantoa, kun taas kehittyneet maat pystyvät rakentamaan järjestelmiä, joilla ilmastonmuutoksen aiheuttamia vahinkoja voidaan välttää ja korjata (Parry et al. 2004, IPCC 2007b).

Vaikka ilmaston lämpeneminen tuo monia ongelmia, hiilidioksidilisiä toisaalta voi myös helpottaa kasvintuotantoa joiltakin osin, mm. ilman lisääntyvä CO₂ pitoisuus pienentää lehtien ilmarakoja ja siten vähentää ilmarakojen kautta tapahtuvaa veden haihtumista. Näin kasvit kestävät paremmin kuivuutta (Hakala 1998). Ilmaston lämpeneminen ja hiilidioksidipitoisuuden nousu tapahtuvat yhtä aikaa ja siten kokonaisvaikutus muodostuu myönteisemmäksi kuin pelkän ilmaston lämpenemisen perusteella voitaisiin ennustaa (Parry et al. 2004). Tämän vuoksi tässä tutkimuksessa on tukeuduttu pääasiassa Parryn et al. (2004) julkaisemiin arvioihin ilmastonmuutoksen vaikutuksista maata-

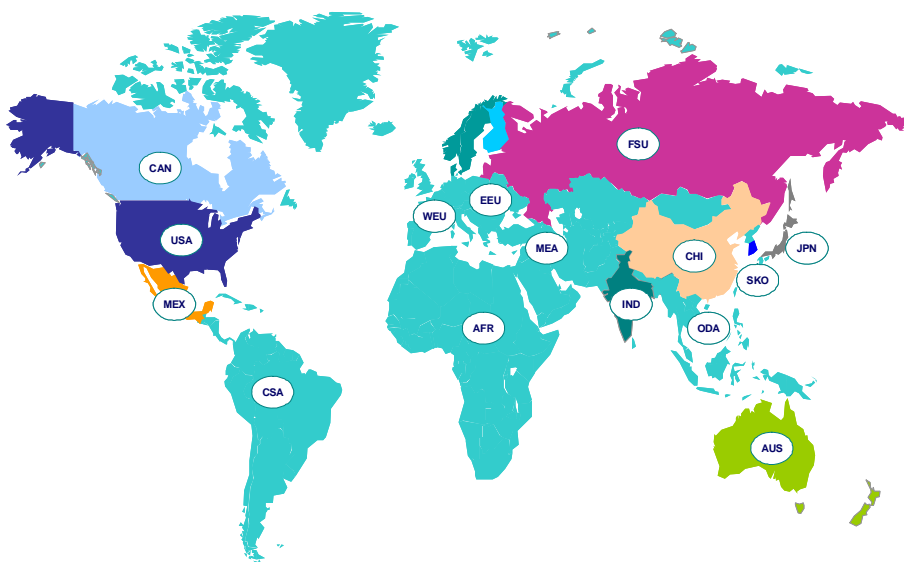
louteen. Euroopan osalta on otettu huomioon myös muita tutkimuksia (Olesen & Bindi 2002, Ewert et al. 2005), ja lopulta on pidetty huolta siitä, etteivät arviot ole ristiriidassa IPCC:n uusimman raportin (IPCC 2007b) kanssa.

2 Materiaali ja menetelmät

2.1 Kasvintuotannon arviointi

Ravintokasvit

Maailman maiden vuoden 2006 kasvintuotantotiedot, pelto- ja maatalousalat sekä väkilukutiedot saatiin FAO:n nettisivuilta (<http://faostat.fao.org/>). Sivuvirtojen määrittämiseksi mahdollisten sivuvirtoja tuottavien kasvilajien tuotantoluvut haettiin viimeisimmästä tilastoidusta vuodesta (vuosi 2006). Haku tehtiin syyskuusta lokakuuhun 2007 (Eurooppa ja Oseania 3.9.07, Amerikka 9.10.07, Aasia 25.10.07 ja Afrikka ja Aasia 1.11.07). Maailman maataloustuotteiden kokonaistuotanto kymmenen viime vuoden ajalta haettiin vuosilta 1997-2006 (3.2.2008). Vuoden 2006 keskiarvoja verrattiin kasviryhmittäin kymmenen vuoden keskiarvoon. Kasvintuotanto kuvattiin maaryhmittäin, jotka on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Energialaskelmia varten muodostetut maaryhmät. Maaryhmiin kuuluvat yksittäiset maat lueteltu liitteessä 1. Maaryhmien lyhenteet: AFR Afrikka, AUS Australia ja Uusi-Seelanti, CAN Kanada, CHI Kiina, CSA Keski- ja Etelä-Amerikka, EEU Itä-Eurooppa, FSU Entisen Neuvostoliiton maat, IND Intia, JPN Japani, MEA Lähi-Itä, MEX Meksiko, ODA Muut Aasian maat, SKO Etelä-Korea, USA Yhdysvallat, WEU Länsi-Eurooppa.

Maaryhmäjaottelu noudattaa hankkeessa käytetyn globaalien energiajärjestelmämallin (Global TIMES) aluejakoa. Maaryhmiin kuuluvat maat on esitetty liitteessä 1. Lisäksi tarkasteltiin erikseen EU 27 maita käyttäen FAO:n tilastoja sekä Suomen mahdollisuuksia tuottaa peltobioenergiaa Tiken (2007) tilastojen perustella. Peltokasvien vuoden 2006 tuotanto ja pinta-alat laskettiin seuraavista kasvilajiryhmistä: viljat, öljykasvit, palkokasvit, juurikasvit, sokerikasvit, pähkinät, vihannekset, kuitukasvit, mausteet, tupakka ja hedelmät. Tuotantoa arvioitaessa on oletettu lisäksi, että kaikki mahdollinen vuonna 2006 käytettävissä oleva maatalousmaa (arable land) on käytössä vuonna 2050. Vuonna 2006 käytössä oli esim. USA:n, Kanadan ja entisen Neuvostoliiton (FSU) peltoalasta n. 60 % ja Länsi-Euroopan maatalousmaasta n. 80 %. Lisäksi oletuksena on, että uutta maatalousmaata ei raivata. Mahdollisesti tarvittava maataloustuotannon lisäys oletetaan saatavan aikaan tuotantoa tehostamalla.

Nurmikasvit

Nurmituotannon osalta pysyvien laitumien (Permanent pastures and meadows) alat saatiin FAO:n tilastoissa sangen kattavasti (tiedot vuodelta 2005). Pysyviksi laitumiksi sanotaan tässä yhteydessä luonnontilaisia, yleensä heinää kasvavia avoimia alueita, esim. preeriat tai muut luonnontilaiset laidunalueet, joita ei ole otettu aktiiviseen peltoviljelyyn. Sen sijaan lyhytikäisten (alle 5 vuotta) nurmien tuotantoaloista on tietoja FAO:n tilastoissa hyvin aukkoisesti. Valtaosa maailman nurmisadosta muodostuu kuitenkin pysyviltä laitumilta. Satoarvioita ao. laidunaloilta ei esitetä tilastossa, vaikka laidunten ala maailman maatalousmaasta on 69 %. Joissakin maissa, kuten Suomessa, lyhytikäisten nurmien osuus on hyvin merkittävä, ja niiden sadon arviointia onkin täydennetty maakohtaisesti käytettävissä olevilla julkisilla tilastoilla. Epätäydellisten tilastojen vuoksi nurmisadon määrää on vaikeaa arvioida, ja se aiheuttaa epävarmuutta koko peltobiomassan tuotannon arviossa. Tämän vuoksi nurmet on käsitelty tässä tutkimuksessa erillään muista peltokasveista.

Pysyvien laidunten kuiva-ainesatojen puuttuessa arvioinnin perusteena käytettiin maiden ohran hehtaarisatoja (saatavissa 90 %:sti FAO:n tilastoista) ja siitä johdettuja laskelmia nurmen sadoksi seuraavasti: Ohran jyväsadosta estimoitiin ohran biomassasato hehtaarille (satoindeksi 50, jyväsadon kuiva-aine 86 %). Nurmen biomassan oletettiin olevan 65-30 % ohran hehtaarilta tuottamasta biomassasta riippuen ohran ja nurmialojen erilaisesta viljavuudesta tai viljelyn intensiteettioletuksesta. Niillä alueilla, joissa korjataan useampia satoja vuodessa, ohran biomassaa kerrottiin 1,5 tai 2:lla arvioitaessa nurmien tuottamaa biomassaa. Maista, joista ei ollut käytettävissä ohran satotietoja, käytettiin lähialueen maasta saatua arvoa (noin 25 % maailman nurmialasta). Tällä tavoin pystyttiin tuottamaan maakohtainen arvio nurmien biomassan tuotannosta kaikille kuvan 1 alueille. Ohran satotiedot saatiin 104:stä maasta, kun tarkastelun kohteena oli yhteensä 167 maata. Eniten puutteita oli Afrikassa, josta saatiin tietoja vain 36 maasta. Eräiden saarivaltioiden nurmen biomassasadon arvion perusteena käytettiin aiemmissä tutkimuksissa ilmoitettua arvoa.

2.2 Sivuvirtavolyymien arviointi

Sivuvirtavolyymit laskettiin viidestä tärkeimmästä kasviryhmästä: viljat, öljykasvit, palkokasvit, juurikasvit ja sokerikasvit. Teoriassa kaikki kasvin biomassa lukuun ottamatta sadoksi kerättävää biomassaa (jyvät, juuret, mukulat, varret) olisi käytettävissä bioenergiaksi. Teoreettista sivuvirtapotentialiaa kuvaa kasvin satoindeksi eli korjatun sadon (esim. jyvät) suhde maanpäälliseen kokonaisbiomassaan. Satoindeksit on määritetty tutkimuksellisesti useimmille viljelykasveille. Satoindeksitietoja haettiin kirjallisuudesta ja myös muista lähteistä kuten MTT:n julkaisemattomista tutkimuksista. Sivuvirtapotentialin määrittämisessä mukana olleiden kasvien satoindeksi-arvot on esitetty liitteessä 2. Teoreettisesta potentialista laskettiin tekninen potentialia vähentämällä siitä kasvin korjuussa peltoon jäävä osuus, joka viljoilla, öljykasveilla ja palkokasveilla on 15-30 cm mittainen sänki. Lisäksi osa kasvi-biomassasta varisee korjattaessa. Esimerkiksi n. 15 cm sänki on MTT:n tutkimusten mukaan noin 27 % ohran kokonaisolkimäärästä (Pahkala et al. 2007, Pahkala & Kontturi 2008). Samantyyppisiä tuloksia on saatu muillakin viljoilla (Staniforth 1979). Tässä tutkimuksessa käytetty vähennys teknisen potentialin saamiseksi oli viljoilla, öljykasveilla ja palkokasveilla 30 % ja jyvämaissilla 25 % (Graham et al. 2007). Teknisestä potentialista olisi vähennettävä vielä osa, joka tarvitaan maan kasvukunnon ylläpitämiseen, tuloksena ”kestävä bioenergiapotentialiaali”. Koska tutkimusta sivuvirtojen määrien vaikutuksesta maaperän kasvukuntoon on tehty vain rajoitetulta alueelta maailmassa ja pääasiassa maissilla, numeerisia arvioita kestävästä sivuvirtapotentialista ei tässä tutkimuksessa esitetä. Tässä vaiheessa arvioitiin kriittisesti 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. Eri kasvien kuiva-ainepitoisuutta arvioitiin kirjallisuuden perusteella (Liite 2). Arvioitaessa sivuvirtavolyymien energiasisältöä energia-arvoksi valittiin 18 MJ/kg (Wolf et al. 2003). Energian muuntokertoimia on esitetty liitteessä 3.

Tulevaisuuden (v. 2050) sivuvirtavolyymejä arvioitiin IPCC:n raporttien (IPCC 2000, IPCC 2007a, IPCC 2007b) ja niiden tulkintojen (Olesen & Bindi 2002, Parry et al. 2004, Ewert et al. 2005) avulla (Taulukko 1). Arviot tehtiin käyttäen päästöskenaariota B1 (IPCC 2000, IPCC 2007a), jossa maapallon kehitys kulkee korkean ja tehokkaan teknologian sekä palvelu- ja tietoyhteiskunnan suuntaan, mikä merkitsee suhteellisen pieniä kasvihuonekaasupäästöjä ja vain noin 1,2-1,3 °C maapallon keskilämpötilan nousua vuoteen 2050 mennessä (verrattuna jaksoon 1988-1999). Sadan vuoden kuluessakin lämpötila nousisi korkeintaan kaksi astetta. Näin pieni lämpötilan nousu ei vielä merkittävästi vaikuta maataloustuotantoon, mutta voi jonkin verran lisätä tuotantoa korkeilla ja keskileveysasteilla ja laskea matalilla leveysasteilla, etenkin kehittyvissä maissa. (IPCC 2007b). Toisaalta, jos asiaa tarkastellaan kokonaisvaltaisesti B1-skenaariota mukaan, kehittyneiden ja kehitys-

maiden välille ei muodostu niin suuria eroja kuin esim. A2-skenaariossa, jossa maailman eriytyminen alueellisesti jatkuu (Parry et al. 2004, IPCC 2000). Lisäksi sivuvirtavolyymia arvioitaessa oletettiin, että tulevaisuudessa koko käytettävissä oleva maatalousmaa on otettu käyttöön. Euroopassa, jossa ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat B1-skenaariossa vuoteen 2050 mennessä positiivisia, ja jo nyt 80 % maatalousmaasta on käytössä, satotasoihin voitaisiin vaikuttaa vielä enemmän teknologiaa kehittämällä. Esimerkiksi entisen Neuvostoliiton alueella (FSU) sato voisi nelinkertaistua ja Itä-Euroopan alueella (EEU) kaksinkertaistua ilman ilmastonmuutoksen vaikutustakin, jos satotasot nousisivat alueen satopotentiaalın tasolle (Olesen & Bindi 2002). Länsi-Euroopan alueella (WEU) pelkkä satovajeen (nykyisen ja potentiaalisen satotason erotus) täyttäminen lisäisi satotasoa 63 % (Ewert et al. 2005). MTT:n tutkimuksessa ei oletettu näin suurta teknologian kehitystä sivuvirtojen saannon muutoksia arvioitaessa. Parryn et al. (2004) arviota satotasojen kehityksestä vuoteen 2050 mennessä Euroopan kohdalla korjattiin kuitenkin niin, että koko Euroopassa (EEU, FSU, WEU) satotasot nousevat 10 % vuoteen 2050 mennessä (Taulukko 1).

Taulukko 1. Eri lähteiden vertailu arvioitaessa ilmastonmuutoksen vaikutuksia maataloustuotantoon ja sivuvirtojen tuotannon arvioinnissa tässä tutkimuksessa käytetty arvo.

Ilmaston muutoksen vaikutus viljojen satoon. Etumerkittävät luvut tarkoittavat sadonlisää.

Olesen & Bindri 2002: 1) Ilmastonmuutos 2) yield gap yksin

Parry et al. 2004: Ilmastonmuutos, CO₂ ja adaptaatio, B1-päästöskenaario, vuosi 2050

Ewert et al. 2005: 1) Ilmastonmuutos ja CO₂ -lisä; 2) teknologian kehitys ja ilmastonmuutos + CO₂ -lisä

IPCC 2007b: Pelkkä ilmastonmuutos, päästöskenaariota johon arvio perustuu ei aina ole mainittu.

	AFR	AUS	CHI	EEU	FSU	IND	JPN	CAN	CSA	MEX	USA	SKO	WEU	MEA	ODA
IPCC 2007b	-?	+ ¹⁾	> -30%?	-8-25% ²⁾	-8-25% ²⁾	> -30%?	> 20%	5-20% ³⁾	+ ⁴⁾	+ ⁴⁾	5-20% ³⁾	> 20%	-8-25% ²⁾	> -30%?	-30-20% ⁵⁾
Olesen & Bindri 2002															
1)				23 %	18 %								21 %		
Olesen & Bindri 2002															
2)				117 %	287 %								26 %		
Ewert et al. 2005, B1, 2050															
1)													10 %		
Ewert et al. 2005, B1, 2050															
2)													70 %		
Parry et al. 2004	-5 %	2,50 %	-5 %	-10 %	-10 %	-5 %	5 %	10 %	-5 - 2,5%	-5 %	-5 %	5 %	10 %	-5 %	-2,5-2,5%
MTT:n tutkimuksessa käytetty arvo	-5 %	5 %	-0,25 %	10 %	10 %	-5 %	5 %	10 %	0 %	-5 %	-5 %	10 %	10 %	-5 %	0 %

1) Riippuu alueesta, tuotanto voi kasvaa (W ja S -Uusi-Seellanti) tai vähentyä (S- ja E -Australia, E-uusi-Seellanti).

2) Etelä-Euroopassa vähennystä tai lisäystä, pohjois-Euroopassa lisäystä satoihin. IPCC ei jaoettele Eurooppaa muulla tavoin.

3) IPCC käsittelee USA ja CAN samassa (North America). Eri alueilla tapahtuu erilaista kehitystä, luultavasti pohjoinen hyöttyy ja etelä kärsii.

4) Latinalainen Amerikka: Riisin sadot voivat laskea, soijapavun sadot nousta

5) ODA koostuu erilaisista alueista Aasiassa.

Bangladesh, Nepal, Sri Lanka ja Bhutan kuuluvat etelä-Aasiaan, ja Pakistan ja Afganistan keski-Aasiaan, joissa tuotanto voi IPCC:n mukaan laskea jopa 30% v. 2050 mennessä. Pohjois-Korea kuuluu Itä-Aasiaan ja Brunei, Indonesia, Malesia, Myanmar, Filippiinit, Thaimaa ja Vietnam kaakkoi-Aasiaan, joissa tuotanto voi nousta jopa 20% vuoteen 2050 mennessä.

Osa ODA:sta on pieniä saaria (Singapore, Fiji, Malediivit, ym.), joissa tuotanto voi laskea 3-18% ellei meriveden nousun aiheuttamia vahinkoja pystytään estämään, eli joka tapauksessa tuotannon nettoarvo laskee.

2.3 Bioenergiakasvien viljelyala ja energiasisältö

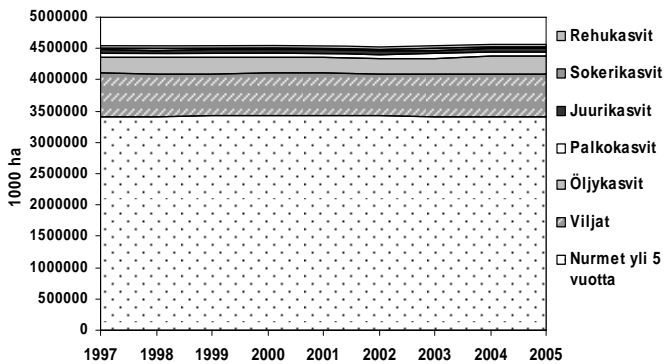
Potentiaalista peltoalaa, jolla voitaisiin viljellä bioenergiakasveja, arvioitiin käyttäen apuna eri julkaisuista (Penning de Vries et al. 1997, Wolf et al. 2003) saatuja kertoimia. Viljaekvivalentin (grain equivalent, GE) avulla kunkin viljeltävän kasvin energia-arvoa voitiin verrata vehnästä saatavaan energiaan. Viljaekvivalenttiin suhteutettuna lihapitoinen ruokavalio vastaa 1535, sekaruokavalio 860 ja kasvisdieetti 490 vehnäkiloa vuodessa (Penning de Vries et al. 1997). Aluekohtaisen asukasluvun, kokonaistuotannon ja eri ruokavaliotyypin GE-määrien avulla laskettiin, paljonko kullakin alueella henkilöä kohti pitäisi olla peltoalaa käytettäessä eri ruokavaloita. Alueellisesti vapautuvan peltoalan laskemiseksi tuloksesta vähennettiin kunkin ruokavaliotyypin vaatima GE-määrä/henkilö. Tämä luku kerrottiin ensin kahdella, jotta satojen vaihtelu ja satojen epätasainen jakautuminen alueella tulisi otettua huomioon (Penning de Vries et al. 1997). Vähennyslaskun jäännös kuvaa ylimääräistä ruoantuotantokapasiteettia alueella henkilöä kohti. Tämä jäännös kerrottiin alueen asukkaiden määrällä, jolloin saatiin aluekohtainen ylimääräisen resurssin kokonaismäärä. Saatu kokonaismäärä jaettiin alueen satotasolla (GE/ha), jolloin tuloksena oli vapautuva peltoala. Vapautuvalle peltoalalle sijoitettiin tämän jälkeen alueelle sopiva energiakasvi, jonka laji, sato ja sadon energia-arvo kunkin maaryhmän vapautuvalla peltoalalla arvioitiin kirjallisuuden perusteella ottaen huomioon paikalliset olosuhteet. Arvioinnissa oletettiin, että kaikki nykyinen peltoala (arable land) olisi käytettävissä.

Tulevien vuosikymmenten bioenergiakasvialaa arvioitiin GE:n avulla samalla tavalla kuin nykyistä potentiaalia bioenergiakasvialaa. Tulevaisuudessa satotasojen odotetaan kuitenkin muuttuvan ilmastonmuutoksen vaikuttaessa tuotanto-oloihin eri tavoin eri puolilla maailmaa (IPCC 2007a, IPCC 2007b). Tässä tutkimuksessa otettiin huomioon ainoastaan päästöskenaario B1 (IPCC 2000, IPCC 2007a), jonka mukaan päästöjä voidaan hillitä, maailma muuttuu yhteisöllisempään suuntaan ja väkiluvun kasvua pystytään rajoittamaan. Päästöskenaario B1 ennustaa maapallon väkiluvun nousevan noin 9 miljardiin vuoteen 2050 mennessä ja laskevan sen jälkeen noin 7 miljardiin vuoteen 2100 mennessä (IPCC 2000, IPCC 2007a, United Nations 2007). Väkiluvun kehitys vaihtelee alueittain, mm. Kiinan väkiluku ei enää paljon kasva, mutta Afrikan väkiluku kaksinkertaistuu vuoteen 2050 mennessä. Väestöskenaariossa ei ole huomioitu muuttoliikettä eri alueiden välillä. Satotasojen muutoksen arvioinnissa käytettiin muuten samoja kriteereitä kuin sivuvirtavolyymien arvioinnissa, mutta Euroopan osalta oletettiin kehityksen kulkevan tehokkaampaan suuntaan, jolloin satovaje täytyisi Itä-Euroopassa (EEU:ssa satotaso kaksinkertaistuu, FSU:ssa nelinkertaistuu) ja Länsi-Euroopassakin satotasot nousisivat optimiin (70 % nousu) (Olesen & Bindi 2002, Ewert et al. 2005, Taulukko 1). Bioenergian tuotantoalaan vaikuttaa tulevaisuudessa-kin kasvavan väestön ruokavalio, eli myös tulevaisuutta arvioitaessa käsiteltiin erikseen kasvis-, seka- ja lihavaltainen dieetti ja vastaava peltoalan vapautuminen bioenergiakasvien tuottoon.

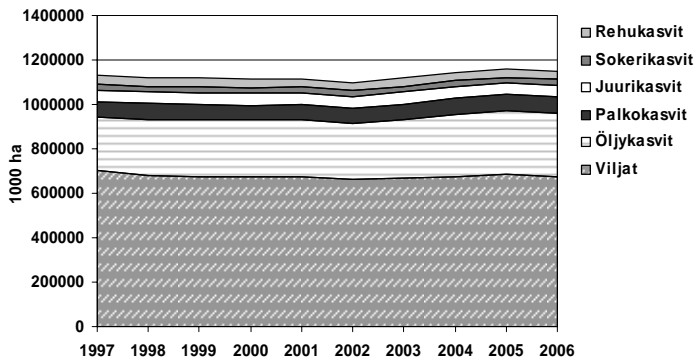
3 Tulokset

3.1 Datan validointi

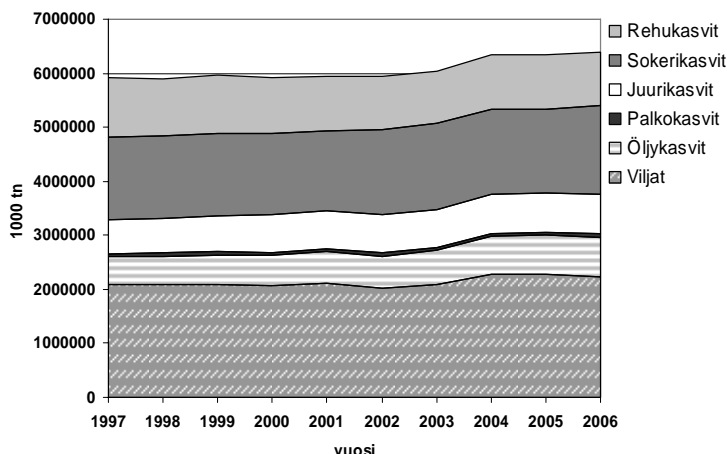
Sivuvirtojen tarkastelu vuosi 2006 edustaa tehdyn vertailun perusteella hyvin maailman eri viljelykasvien kokonaistuotannon tasoa pitkällä aikavälillä (Kuvat 2, 3 ja 4). Maailman kokonaistuotanto on 2000-luvulla jonkin verran lisääntynyt, mikä saattaa kuitenkin johtua vaihtuvista tekijöistä, kuten säätilasta tai markkinoista. Kymmenen vuoden tarkasteluväliä pidettiin luotettavampana kuin vertaamista pelkästään 2000-luvun aineistoon (Kuva 5). Vaikka maailman eri alueet noudattelivat vuonna 2006 hyvin keskimääräisiä sato-
tasoja, Australiassa (AUS, jossa mukana myös Uusi Seelanti) satotasot olivat selvästi keskiarvoa pienemmät. Esim. vehnän tuotanto oli tällä alueella vuonna 2006 vain noin puolet 10 vuoden keskiarvosta. Tämän vuoksi alueelle laskettiin 10 vuoden keskiarvot kaikesta tuotannosta ja näitä arvoja käytettiin vuoden 2006 arvojen sijaan sekä sivutuotteiden että vapautuvan peltoalan arvioinneissa.



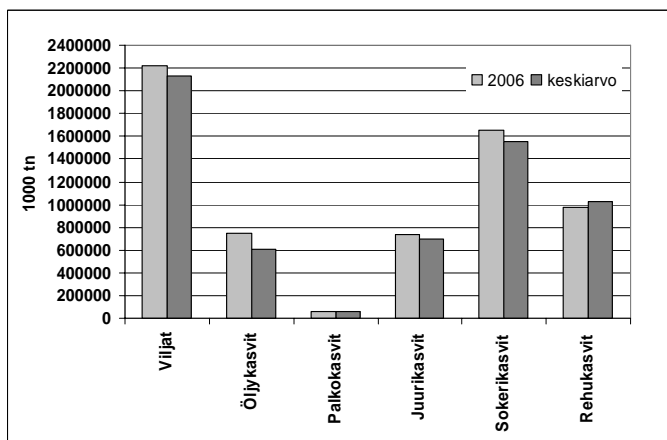
Kuva 2. Maailman tärkeimpien peltokasvien viljelyalat 1997 – 2005, kun myös pitkäikäiset nurmet on otettu mukaan (FAOSTAT 2008).



Kuva 3. Maailman tärkeimpien peltokasvir ryhmien viljelyalat vuosina 1997-2006 (1000 ha) (FAOSTAT 2008).



Kuva 4. Maailman tärkeimpien peltokasvir ryhmien tuotanto vuosina 1997-2006 (1000 tn) (FAOSTAT 2008).



Kuva 5. Maailman tärkeimpien peltokasvir ryhmien tuotannon keskiarvo vuonna 2006 ja vuosina 1997-2006 (1000 tn) (FAOSTAT 2008).

3.2 Peltokasvituotannon määrä

Vuoden 2006 suurimpien elintarvikekasvir ryhmien tuotanto maaryhmittäin on esitetty Taulukossa 2. Suomi ja EU 27 maat sisältyvät näihin lukuihin, mutta niiden kasvintuotannon määrät on esitetty myös erikseen taulukoissa 5-8. Suurin satopotentiaali on viljakasveilla ja sokerikasveilla, mutta näitäkin suuremmaksi on arvioitu pysyvien laiturien tuotanto. Nurmialueiden tuotanto ja sen energiasisältö on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 2. Maailman suurimpien elintarvikekasviryhmiä tuotanto (1000 tn, FAOSTAT) maaryhmittäin vuonna 2006. Sadon kuiva-ainepitoisuus on esitetty osalle kasviryhmistä liitteessä 2. Muissa kasviryhmissä sato oletetaan olevan varastointikosteudessa. Maaryhmien nimet ja maat liitteessä 1.

Kasvit	AFR	AUS	CAN	CHI	CSA	EEU	FSU	WEU
viljat	145464	33648	50895	445355	122717	81318	153680	200209
öljykasvit	45856	3214	13951	83328	124822	9368	25192	29447
kuitukasvit	1912	608		7553	1935	10	1876	604
viljapalkokasvit	11021	2135	4072	5557	5202	639	2930	3496
juurikasvit ja peruna	215671	1795	4995	176433	55570	17099	75044	41860
sokerikasvit	98012	36839	871	111220	613084	24805	60676	98149
vihannekset	56356	2849	2241	448446	27737	16191	40173	53866
mausteet	780	2	9	729	333	175	12	48
pähkinät	1676	41		1625	423	114	225	856
tupakka	342	7	43	2750	1223	148	65	322
hedelmät	63501	4335	550	90100	87707	10892	10740	55294
kaikki yht. 1000 tn	640590	85473	77626	1373097	1040753	160761	370613	484150

Kasvit	IND	JPN	MEA	MEX	ODA	SKO	USA	Maailma
viljat	239130	11741	68023	31959	287184	6653	346562	2224538
öljykasvit	53971	250	10535	1551	230639	203	110423	742750
kuitukasvit	5605	0	1385	165	3188	0	4498	29338
viljapalkokasvit	14264	84	3010	1663	5101	13	1953	61140
juurikasvit ja peruna	32485	4040	11898	1707	72484	917	20451	732450
sokerikasvit	281170	5173	26156	50597	185160		55715	1647627
vihannekset	81947	11624	51071	11486	44439	11138	37052	896616
mausteet	3334	41	209	119	1432	5	28	7256
pähkinät	1092	23	1747	176	1653	92	1305	11050
tupakka	550	47	222	19	563	35	338	6673
hedelmät	48045	3217	32955	14979	45521	2618	25445	495900
kaikki yht. 1000 tn	761594	36240	207210	114420	877364	21675	603771	6855337

Viljavimmat alueet on pääsääntöisesti otettu peltoviljelykasvien (viljat, öljykasvit ym.) käyttöön. Nurmituotanto on sijoittunut tavallisesti hyvin vaihteleviin ja marginaalisiin tuotanto-olosuhteisiin, joissa markkinakelpoisten kasvien viljely ei ole kannattavaa maan vaatimattoman viljavuuden, vaikean topografian, syrjäisen sijainnin tai kuivuuden vuoksi. Tällaisia alueita hyödynnetään pääasiassa pysyvinä laitumina ja niistä saatava tuotto korjataan lihakarjan avulla. Valtaosa maailman nurmituotannosta on ekstensiivistä tuotantoa. Luonnon suoman kasvun lisääminen lannoituksella, kasvinsuojelulla, uudella siemenmateriaalilla ei ole niin tavallista kuin peltoviljelykasveilla. Suotuisissa oloissa ja lannoitteita käytettäessä, kuten esim. Euroopassa, monivuotiset nurmikasvit tuottavat runsaasti kasvimassaa. Koska nurmi hyödynnetään märehäntien rehuna, vaikuttaa nurmilviljelyyn voimakkaasti muiden vaihtoehtoisten rehujen hinta. Jos viljaväkirehut ovat edullisia, nurmilviljelyyn panostetaan vähemmän. Jos viljaväkirehun hinta on korkea, on karjankasvattajilla hyvä motivaatio hyödyntää nurmen kasvupotentiaali täysimääräisesti.

Koska perusteellisia arvioita maailman nurmituotannon määrästä ei ole saatavilla, tämän tutkimuksen arvio maailman nurmialan biomassan tuotannosta saatiin epäsuorasti hyödyntämällä FAO:n tilastojen maakohtaisia ohrahehtaarisatoja ja nurmituotantoaloja. FAO:n nurmiohjelman esittelyssä F. Riveros (päiväämätön pdf-tiedosto) kuvaa, että nurmet kattavat noin kaksi kol-

mannesta maailman maatalousmaasta ja niiden potentiaalinen kuiva-aineen tuotanto on noin 40 mrd. tonnia, mutta niiden todellinen sato on vähemmän kuin kolmannes siitä. Sen vuoksi tuotannon parantamiseen on runsaasti tilaa. FAO:n nurmiohjelma on tuottanut maakohtaiset nurmituotantoprofiilit 72 maasta (Country Pasture Profiles: <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/pasture/forage.htm>). Osassa maita on esitetty arvioita eri alueiden tuotantopotentiaalista. Esimerkiksi Etiopian nurmituotannon esittelyssä käy ilmi huomattavia eroja nurmen satoisuudessa eri osissa maata sekä eri lähteiden satoisuusarvioinneissa. Tutkimuksessamme käytetyllä laskentatavalla maailman nurmituotannon määräksi saatiin vajaat 12 miljardia tonnia kuiva-ainetta (Taulukko 3), joka on varsin lähellä Riverosin antamaa arviota todellisesta nurmisadosta. Potentiaali olisi hänen mukaansa kolminkertainen.

Taulukko 3. Nurmien pinta-ala (1000 ha), vuosittainen kuiva-ainesato (milj.t) ja energiasisältö (EJ) arvioituna ohran biomassasadon mukaan. 1 EJ=277,8 TWh.

Alue	Pysyvät laitumet				Lyhytikäiset nurmet			Karkearehut		Yhteensä	
	Ala 1000 maatalous- ha	% maasta	Sato milj. t. _{ka}	Energia- sisältö EJ	Ala 1000 ha	Sato milj. t. _{ka}	Energia- sisältö EJ	Sato milj. t. _{ka}	Energia- sisältö EJ	Sato milj. t. _{ka}	Energia- sisältö EJ
AFR	906602	79	2513	45	361	2	0	12	0	2527	45
AUS	409270	89	1550	28	1026	4	0	1	0	1555	28
CAN	15390	23	55	1	0	4	0	1	0	60	1
CSA	476511	78	1987	36	0	0	0	16	0	2003	36
CHI	400001	72	1855	33	0	0	0	0	0	1855	33
EEU	18163	30	59	1	932	4	0	12	0	75	1
FSU	362166	64	538	10	502	2	0	11	0	551	10
IND	10530	6	23	0	0	0	0	0	0	23	0
JPN	0	0	0	0	631	4	0	1	0	5	0
MEA	245590	80	686	12	0	0	0	6	0	692	12
MEX	79900	74	444	8	0	0	0	7	0	451	8
ODA	185413	56	170	3	11	0	0	0	0	170	3
SKO	57	3	0,3	0	0	0	0	0	0	0,3	0
USA	237600	57	1492	27	0	0	0	75	1	1567	28
WEU	58262	41	344	6	4999	45	1	56	1	445	8
Yht.	3405455	69	11716	211	8462	64	1	198	4	11979	216

3.3 Bioenergian tuottaminen kasvintuotannon sivuvirroista

Kasvintuotannon sivuvirtoihin katsotaan sisältyvän kaikki muu paitsi päätuotteeksi katsottava biomassa. Tekninen potentiaali kuvaa sitä osaa kasvuston biomassasta, joka sadonkorjuun jälkeen pystytään korjaamaan pellolta. Taulukossa 4 on esitetty viiden kasviryhmän teoreettinen ja tekninen sivuvirtapotentiaali (viljan oljet, öljy- ja palkokasvien varret, juurikasvien ja sokerijuurikkaan naatit ja sokeriruo'on puristusjäte eli bagasse) energiana (EJ) vuosina 2006 ja 2050. Teoreettinen potentiaali tarkoittaa koko sivutuotteen biomassaa. Siitä on vähennetty maissilla 25 %, muilla viljoilla 30 %, öljykasveilla ja palkokasveilla 30 %, perunalla 50 % ja sokerijuurikkaalla 50 % teknisen potentiaalilin laskemista varten.

Taulukko 4. Kasvintuotannon sivuvirtojen teoreettinen ja tekninen energiapotentiaali (EJ)vuonna 2006 ja 2050. 1 EJ=277,8 TWh. Vuonna 2050 on oletettu, että kaikki peltomaa on käytössä. Alueet ja niihin sisältyvät maat liitteessä 1.

Alue 2006	Viljat EJ		Öljykasvit EJ		Palkokasvit EJ		Juurikasvit EJ		Sokerikasvit EJ		Yhteensä EJ	
	Teor	Tekn	Teor	Tekn	Teor	Tekn	Teor	Tekn	Teor	Tekn	Teor	Tekn
AFR	2,1	1,5	1,1	0,8	0,2	0,1	0,8	0,0	0,4	0,4	4,6	2,8
AUS	0,6	0,4	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,9	0,7
CAN	0,8	0,6	0,4	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,9
CHI	6,3	4,5	2,9	2,0	0,1	0,1	0,6	0,2	0,4	0,4	10,3	7,2
CSA	1,7	1,2	3,1	2,2	0,1	0,0	0,3	0,0	2,5	2,5	7,7	6,0
EEU	1,3	0,9	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,7	1,2
FSU	2,6	1,8	0,7	0,5	0,0	0,0	0,3	0,2	0,1	0,1	3,8	2,6
IND	3,5	2,5	2,5	1,7	0,3	0,2	0,1	0,1	1,2	1,2	7,6	5,6
JPN	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1
MEA	1,1	0,8	0,3	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	1,6	1,1
MEX	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,7	0,6
ODA	3,8	2,7	4,2	3,0	0,1	0,1	0,3	0,0	0,8	0,8	9,2	6,5
SKO	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
USA	4,8	3,5	2,9	2,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	7,9	5,7
WEU	3,3	2,3	0,6	0,4	0,1	0,0	0,2	0,1	0,2	0,1	4,2	2,9
Maailma EJ	32,6	23,3	19,0	13,3	1,0	0,7	3,0	0,7	6,3	6,0	61,9	44,0

Alue 2050	Viljat EJ		Öljykasvit EJ		Palkokasvit EJ		Juurikasvit EJ		Sokerikasvit EJ		Yhteensä EJ	
	Teor	Tekn	Teor	Tekn	Teor	Tekn	Teor	Tekn	Teor	Tekn	Teor	Tekn
AFR	2,3	1,6	1,2	0,8	0,2	0,1	0,9	0,0	0,4	0,4	5,0	3,1
AUS	1,4	1,0	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,4	0,4	2,2	1,6
CAN	1,6	1,1	0,7	0,5	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	1,7
CHI	5,4	3,9	2,4	1,7	0,1	0,0	0,5	0,1	0,4	0,4	8,7	6,1
CSA	1,8	1,3	3,3	2,3	0,1	0,1	0,3	0,0	2,7	2,7	8,1	6,4
EEU	1,7	1,2	0,3	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	2,2	1,6
FSU	5,1	3,6	1,4	1,0	0,1	0,1	0,7	0,3	0,2	0,1	7,5	5,1
IND	2,7	1,9	1,9	1,3	0,3	0,2	0,1	0,0	0,9	0,9	5,9	4,4
JPN	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,2
MEA	1,2	0,8	0,3	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	1,6	1,1
MEX	0,7	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	1,2	1,0
ODA	1,8	1,3	2,0	1,4	0,0	0,0	0,2	0,0	0,4	0,4	4,3	3,1
SKO	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
USA	7,5	5,6	4,6	3,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,2	12,6	9,1
WEU	4,9	3,4	0,8	0,6	0,1	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	6,4	4,4
Maailma EJ	38,5	27,5	19,4	13,6	1,1	0,8	3,3	0,9	6,4	6,0	68,7	48,8

Sivutuotteen tekninen potentiaali ei ole aina käytettävissä, sillä korjuukauden olosuhteet voivat estää joskus sen keräämisen. Kasvinjätteillä voi olla monia edullisia vaikutuksia viljelymaahan (Andrews 2006, Blanco-Canqui and Lal 2008). Ne suojaavat maata vesi- ja tuulieroosiolta ja lisäävät maan kestävyyttä liettymistä vastaan. Tutkimusten mukaan noin 30 % kasvinjätteistä (Lindstrom 1986, Andrews 2006) voidaan kyntämättömässä viljelyssä korjata pois ilman, että lisätään eroosiota. Kasvinjätteet parantavat maan rakennetta ja veden imeytymistä maahan sekä säilymistä maassa. Ne estävät veden haihtumista maan pinnalta ja pidentävät aikaa, jonka viljelykasvi kestää kuivuutta. Viileässä ilmastossa kasvinjätteet saattavat kuitenkin alentaa satoja, koska ne hidastavat maan lämpenemistä ja alhaisessa lämpötilassa itäminen on hitaampaa. Sänkimuokkaus voi vähentää tätä ongelmaa.

Kasvinjätteet lisäävät maan orgaanista hiiltä (orgaanista ainesta, humusta). Orgaaninen aine on ratkaiseva tekijä maan viljavuuden kannalta ja se vaikuttaa sekä maan kemiallisiin että fysikaalisiin ominaisuuksiin (Bot and Benites

2005, Griffin 2008). Maan orgaanisen aineksen pitoisuus on tyypillisesti 2-10 % maa-aineksen määrästä. Jos kasvintähteiden poiston seurauksena on eroosion ja huuhtoutumisen lisääntyminen, tämä vähentää voimakkaasti maan orgaanista ainesta ja ravinteita. Alueet, joilta kasvijätteiden poiskorjaaminen saattaa aiheuttaa eroosiota ym. ongelmia, kärsivät jo nyt kuivuudesta esim. Intia, Meksiko, USA, Afrikka, Lähi-Itä, Kiina ja useat muut Aasian maat (ODA) (Parry et al. 2004). Pohjoisella pallonpuoliskolla esim. Kanadassa ja Euroopassa, jossa kuivuusuhka on pienempi, sivuvirtojen suurimittainen hyödyntäminen on vielä mahdollista.

Tarvitaan ohjeistusta, ettei maan viljelykelpoisuutta vaaranneta liiallisella kasvinjätteiden poiskorjuulla. Parhaiten tutkimustietoa on saatavissa maissinviljelyalueilta ja maissin korsibiomassan käsittelystä bioenergian raaka-aineena (Wilhelm et al 2007, Varvel and Wilhelm 2008).

3.4 Euroopan bioenergian tuotanto

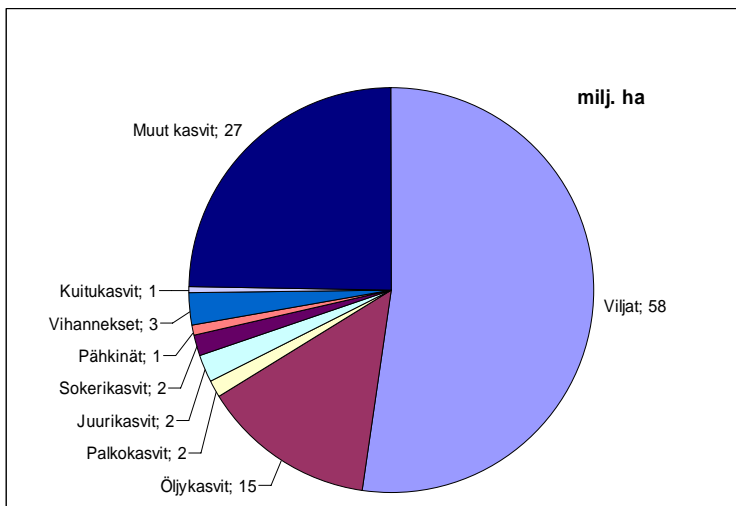
3.4.1 EU 27

Taulukossa 5 esitetään EU 27 ja Suomen peltoviljelytuotanto vuonna 2006 FAOn tilastojen ja Suomen osalta TIKEn tietojen perusteella. Tiedot nurmista esitetään vuodelta 2005, koska uudempia tietoja EU 27 maista ei löydy FAOn tilastoista (Taulukko 6). Korsiviljojen viljelyala oli vuonna 2006 noin 58 milj. ha ja vuonna 2005 noin 60 milj. ha eli 31 prosenttia. Öljykasveja viljeltiin vuonna 2006 noin 16 milj. ha ja vuonna 2005 noin 15 milj. ha (7,6 %). FAOn tilastossa v. 2005 Euroopan unioniin kuuluvien maiden maatalousmaan ala oli 192,2 miljoonaa hehtaaria (FAO 2008), josta peltoviljelyssä oli 111 milj. ha eli 57,6 prosenttia ja nurmiviljelyssä 69,1 milj. ha eli 35,9 prosenttia. Euroopan kokonaisenergian kulutus vuonna 2005 oli 71,3 EJ. Biomassan osuus energian lähteistä oli 2,6 EJ.

Tällä hetkellä suurimman bioenergian lähteen EU:ssa muodostavat jätteet (pelto, metsä, kotitalous). Niiden määrä on noin 100 Mtoe (EEA 2006) eikä kokonaisuuden ennusteta muuttuvan oleellisesti vuoteen 2030 mennessä. Varsinkin kotitalousjätteen määrän oletetaan vähenevän merkittävästi ympäristötietoisuuden vahvistuessa. Peltobiomassojen jätevirrasta merkittävin on viljan olki. Eniten olkea tuottavat EU:ssa Saksa ja Ranska, joiden yhteenlaskettu osuus on noin yksi kolmasosa. Myös Englannilla, Italialla ja Puolalla on paljon peltoa ja suuri oljen tuotantopotentiaali. Muita peltobiomassan lähteitä ovat öljykasvien, juurikasvien ja sokerijuurikkaan varret ja naatit (Taulukko 7).

Pitkällä aikavälillä suurimman potentiaalilin muodostaa runsassatoisten bioenergiakasvien lisääntyvä peltoviljely. Maankäytön muutokset ja tuotannon rajoitusten poistaminen EU:ssa edesauttavat tätä kehitystä. Ympäristön kan-

nalta kestävä bioenergian tuotannon maataloudesta ennustetaan kasvavan nykyisestä 47 Mtoe:sta 142 Mtoe:iin vuoteen 2030 mennessä (EEA 2006). Valtaosa tuotannon kasvusta tulee seitsemästä EU-valtiosta: Espanja, Ranska, Saksa, Italia, Englanti, Liettua, Puola (EEA 2006). Ympäristötekijät (maaperä, lämpötila, sade) vaikuttavat biomassan ja bioenergian tuotantoedellytyksiin EU:n eri osissa. Tuotantopotentiaalin arvioimiseksi Eurooppa voidaan jakaa 13 ympäristövyöhykkeeseen (Metzger et al. 2005). Tuotannon maksimoimiseksi kullekin alueelle valitaan sopivimmat viljelykasvit ja bioenergiakasvit (EEA 2007) (Taulukko 14).



Kuva 6. Tärkeimpien peltokasvien tuotantoalat (milj. ha) EU 27 maissa vuonna 2006 (FAOSTAT).

Taulukko 5. Tärkeimpien peltokasvien viljelyalat ja tuotantomäärät EU 27 maissa ja Suomessa vuonna 2006. (Lähteet EU27:FAOSTAT ja Suomi:TIKE)

EU27				Suomi			
Kasvilaji	Viljely-ala 1000 ha	Viljely-ala %	Tuotanto 1000 t	Kasvilaji	Viljely-ala 1000 ha	Viljely-ala %	Tuotanto 1000 t
Viljat	57602	52,1	270204	Viljat	1151	57,4	3790
Öljykasvit	15467	14,0	37251	Öljykasvit	112	5,6	155
Palkokasvit	1718	1,6	4010	Palkokasvit	4	0,2	9
Juurikasvit	2287	2,1	57185	Juurikasvit	28	1,4	576
Sokerikasvit	1876	1,7	110931	Sokerikasvit	24	1,2	952
Pähkinät	1076	1,0	1016	Pähkinät			
Vihannekset	2607	2,4	65057	Vihannekset	9	0,4	235
Kuitukasvit	571	0,5	1330	Kuitukasvit			
Muut kasvit	27389	24,7		Muut kasvit	678	33,8	

Taulukossa 6 on esitetty Euroopan ja Suomen nurmituotannon nykytilanne sekä kokonaistuotannon energiasisältö. Prochnow ym. (2007) tarkastelivat Euroopan (EU 27) nurmialan mahdollista käyttöä uusiutuvan energian tuotantoon olettaen, että nurmirehua käyttävien koti-eläinten lukumäärä on vähentynyt Euroopassa, ja siten nurmien rehututuotannosta vapautuisi alaa uusiutuvan energian tuotantoon. Heidän laskelmassaan v. 2020 olisi 9,2 milj. ha eli 13 prosenttia pysyvien laidunten alasta mahdollista käyttää vaihtoehtoiseen kuin rehukäyttöön.

Taulukko 6. Euroopan ja Suomen nurmikasvituotanto vuonna 2005.
1 EJ=277,8 TWh

Alue	Pysyvät laitumet				Lyhytikäiset nurmet			Karkearehut		Yhteensä	
	Ala maata- 1000 ha	Sato lous- maasta	Sato milj. t.ka	Energia- sisältö EJ	Sato 1000 ha	Energia- milj. t.ka	Energia- sisältö EJ	Sato milj. t.ka	Energia- sisältö EJ	Sato milj. t.ka	Energia- sisältö EJ
EU 27- 2* FAO	67176	36	375	6,8	5580	35	0,6	67	1,2	477	8,6
Suomi FAO**	26	1	0	0,0	0	0	0,0	0	0,0	0	0
Suomi TIKE***	33	1	0,1	0,0	620	2,5	0,1	0	0,0	2,6	0,1

* Kyproksen ja Maltan tiedot puuttuvat yhteenvedosta. Ne puuttuvat FAO:n tilastoista

** Suomen nurmien tuotto on laskettu vastaavasti kuin muiden maiden FAO:n tilastosta saatujen tietojen ja ohran satoon perustuvan laskelman mukaisesti.

*** Suomen nurmisadoissa on otettu huomioon myös lyhytikäiset nurmet, joita ei FAO:n tilastoihin ole rekisteröity. Nurmien biomassan tuotanto niillä on laskettu samoin perusteiden kuin muissa laskelmissa eri ohran hehtaarisadon avulla.

EUROSTATin tilastoissa EU 27 maataloustuotanto on esitetty eri tavalla kuin FAO:n tilastoissa. EUROSTATin (2008) tilastoissa lyhytikäiset nurmet lasketaan rehuksuveina mukaan peltoviljelyalaaan kuten myös vihannes- ja kasvihuoneviljely. Vuonna 2005 maatalousmaan ala oli 161,6 milj. ha ja siitä oli viljojen tuotannossa 56,6 milj. ha eli 35 prosenttia ja pitkäikäisillä nurmil- la 50,8 milj. ha (31,4 %). Lyhytikäisten nurmien (ja muiden rehuksvien) viljelyssä oli 17,7 milj. ha. Nurmiala oli siten yhteensä 68,5 milj ha eli 42,4 prosenttia maatalousmaasta.

Taulukko 7. Kasvintuotannon sivutuotteiden määrä ja niiden teoreettinen (EJ1) ja tekninen (EJ2) energiapotentiaali EU 27 maissa vuonna 2006.
1 EJ=277,8 TWh. Kuiva-aineen energia-arvo 18 MJ/kg.

Kasvilaji	Tuotanto milj.t	Kuiva- aine milj t	Sivutuote milj t	EJ1	EJ2
Viljat	270	232	244	4,38	3,10
Öljykasvit	37	27	42	0,76	0,53
Palkokasvit	4	3	3	0,06	0,04
Juurikasvit	57	17	14	0,25	0,13
Sokerikasvit	111	23	12	0,22	0,11
	480	303	315	5,68	3,91

EU:n odotettavissa olevan maatalouspolitiikkareformin (CAP, Common Agricultural Policy) seurauksena sekä lisäksi nykyisin kesantona olevasta viljelymaasta tulee vapautumaan viljelymaata bioenergian tuotantoon. Myös osa pitkäikäisistä nurmista tulee bioenergiakäyttöön Euroopassa (Taulukko 6). EEA:n raportissa (2006) on arvioitu ympäristön kannalta kestävän peltoalan lisääntyvän EU:ssa noin 50 prosenttia vuoteen 2030 mennessä. Varsinaiset bioenergiakasvit poikkeavat tavanomaisista ruoka- ja rehuksveista siinä, että niiden energiapitoisuus on mahdollisimman suuri. Hyvät bioenergiakasvit ovat monivuotisia, ja joistakin kasveista voidaan saada useampi sato samana vuonna. Näin saadaan runsaampia satoja, lisätään viljelyn monimuotoisuutta ja vältetään ympäristöhaittoja. Uudet tulevaisuuden bioenergiakasvit edellyttävät jalostus- ja kehitystyötä ja jotkut niistä tullevat käytännön viljelyyn 2010-luvulla.

3.4.2 Suomi

Suomessa oli vuonna 2007 peltoa noin 2,3 milj. ha (Tike 2007). Yli miljoonalla hehtaarilla viljeltiin viljaa ja rehunurmikasveja 0,65 milj. hehtaarilla. Runsaan 0,1 milj. hehtaarin viljasato on viety jalostamattomana ulkomaille. Öljykasvien ala on vaihdellut viime vuosina 68000 - 107000 hehtaarin välillä. Kesannon määrä on EU aikana ollut 10-11 % peltoalasta. Suomessa ravinnon ja rehujen tuotantoon tarvitaan noin 1,7 - 1,8 miljoonaa hehtaaria peltoa. Energiatarkoituksiin voitaisiin käyttää silloin noin 0,5 - 0,7 milj. hehtaaria ilman, että elintarviketuotanto vaarantuisi Suomessa (Pellervon taloudellinen tutkimuslaitos 2006). Taulukossa 5 on kuvattu Suomen yleisimpien viljelykasvien alat ja tuotantomäärät vuonna 2006 ja taulukossa 6 Suomen nurmituotanto vuonna 2005. TIKEn tilastoissa nurmet jaotellaan käyttötavan mukaan kuivaheinä (107 000 ha vuonna 2005), säilörehu (398 000 ha), tuorerehu (16 000 ha), laidun (92 000 ha) ja siemennurmet (9 000 ha) sekä erillisenä yli 5 vuoden ikäiset nurmet (33 000 ha). Suomessa nurmet ovat valtaosaltaan (noin 95 prosenttia nurmista) kylvettyjä ja lyhytikäisiä (alle 5 vuotta vanhoja). MMM:n Tämä on poikkeuksellista maailman nurmituotannossa, minkä vuoksi FAO:n käyttämä tilastointitapa ei kuvaa oikein Suomen nurmituotantoa. FAO:n tilastoissa kuvataan Suomen nurmialana ainoastaan pitkäikäiset nurmet ja pinta-alatieto vuodelle 2005 on 26 000 ha. Muualla Pohjoismaissa ja maailmalla tilastojen eroavuus ei aiheuttane merkittävää virhetta nurmien pinta-aloissa. Hehtaarisadon arvioinnissa sen sijaan on suuria epävarmuustekijöitä. Suomen tilastot antavat hehtaari- ja kokonaissatoarvion myös kuivaheinälle, säilörehulle ja tuorerehutuotannolle. Satoarvion käyttökelpoisuutta vähentää kuitenkin suuri vaihtelu etenkin säilörehun kuivaainepitoisuudessa.

Suomessa peltokasveista ainoastaan ruokohelpeä viljellään pelkästään energiataroituksiin. Vuonna 2007 ruokohelven korjatun sadon arvioitiin olevan 3-3,6 t_{ka}/ha riippuen alueesta (Taulukko 8). Ruokohelven ensimmäinen sato

korjataan vasta kahden vuoden kuluttua kylvöstä ja se on yleensä pienempi kuin seuraavat sadot. Tässä laskelmassa (taulukko 8) otettiin huomioon vain vuonna 2005 tilastoidut ruokohelpialueet, sillä sitä myöhemmin kylvetyt ovat olleet vuonna 2007 liian nuoria korjattavaksi. Ruokohelven sato käytetään suorassa poltossa CHP laitoksissa (Kuva 7). Suomessa on yli 100 päästökaupan alaista laitosta, joissa ruokohelven ja oljen poltto olisi mahdollista. Lisäksi pienissä päästökauppaan kuulumattomissa lämpölaitoksissa voitaisiin polttaa ruokohelpeä. Käyttöpotentiaali olisi 5 % energiaosuudella 3 TWh eli 150 000 omakotitalon lämpöenergian tarvetta vastaava määrä. Nykysuositusten mukainen käyttö, 10 % puun joukossa ja 20 % turpeen joukossa (Vapo 2008), vastaisi 10 TWh käyttöä. Viljely on ollut kannattavaa, koska perustamisvuoden jälkeen ruokohelvi vaatii suhteellisen vähän taloudellisia panoksia, ja toisaalta ruokohelven viljelystä saatavat tuet ovat olleet hiukan suurempia kuin viljojen tuet. Kun viljan kauppahinta on samalla laskenut Suomen EU:iin liittymisen jälkeen, ruokohelven viljelystä on innostuttu yhä enemmän ja viljelyala on aivan viime vuosina kasvanut nykyiseen noin 20 000 hehtaariin.

Myös viljan olkea käytetään pieniä määriä suorassa poltossa, ja seospolttoa kivihiiilen kanssa on suunniteltu. Rypsin ja rapsin varsisato on noin kaksinkertainen verrattuna siemensatoon ja se voisi olla potentiaalinen energian lähde. Kauraa ja öljykasvien siemeniä voidaan polttaa sellaisenaan. Näin on meneteltykin, kun esim. kaurasato ei ole kelvannut elintarvikekäyttöön. Taulukossa 8 on esitetty korsibiomassojen määrä vuonna 2007. Satoindeksin avulla lasketusta kuiva-ainesadosta on vähennetty vielä puinnin yhteydessä maahan jäävän sängin (18 – 20 cm) osuus biomassasta.

Taulukko 8. Viljan, öljykasvien ja ruokohelven viljelyala, sato ja korsibiomassan energiasisältö alueittain vuonna 2007. 1 EJ=277,8 TWh. Energia-arvo korsibiomassojen kuiva-aineelle 18 MJ/kg.

2007	Viljat				Öljykasvit				Ruokohelvi		
	Ala	Jyväsato	Olkisato		Ala	Sato	Varsisato		Ala	Biomassa	
TE keskus	1000 ha	milj. kg	milj.kg _{ka}	EJ	1000 ha	milj. kg	milj.kg _{ka}	EJ	1000 ha	milj.kg _{ka}	EJ
Uudenmaa	114	452	323	0,0058	13	20	25	0,000449	0,4	0,35	0,000006
Varsinais-Suomi	119	770	499	0,0090	22	29	37	0,000673	0,4	0,35	0,000006
Satakunta	88	331	213	0,0038	5	6	8	0,000145	0,3	0,35	0,000006
Häme	113	433	275	0,0049	10	12	16	0,000284	0,6	1,14	0,000021
Pirkanmaa	89	299	194	0,0035	8	10	12	0,000221	0,2	0,35	0,000006
Kaakkois-Suomi	75	261	178	0,0032	7	9	11	0,000205	1,5	2,1	0,000038
Etelä-Savo	22	65	40	0,0007	0	0	0	0,000007	1,5	2,8	0,000050
Pohjois-Savo	45	139	82	0,0015	1	0	2	0,000035	2	2,8	0,000050
Pohjois-Karjala	26	72	45	0,0008	1	0	0	0,000002	1,5	5,25	0,000284
Keski-Suomi	36	113	72	0,0013	2	2	2	0,000042	5,6	1,75	0,000032
Etelä-Pohjanmaa	129	487	305	0,0055	12	13	16	0,000294	1,6	3,15	0,000057
Pohjanmaa	98	379	227	0,0041	8	9	11	0,000205	1	2,45	0,000044
Pohjois-Pohjanmaa	93	303	178	0,0032	2	0	2	0,000044	1,7	2,1	0,000038
Kainuu	5	14	8	0,0001	0	0	0	0,000000	0,3	0,3	0,000005
Lappi	2	5	3	0,0000	0	0	0	0,000000	0,4	0,6	0,000011
Ahvenanmaa	4	16	10	0,0002	0	0	0	0,000005	0	0	
	1057	4137	2650	0,0477	89	110	145	0,002610	19	25,84	0,000654

Yhteenveto sadosta ja korsibiomassasta sisältää eri vilja- ja öljykasvikasvilajien tiedot. Sivutuote on laskettu satoindeksin avulla (liite 2).

Ensimmäisen ja toisen sukupolven liikennepolttonesteitä voidaan valmistaa viljelykasveista. Etanolin raaka-aineeksi soveltuisivat kaikki sokeri- ja tärkelyspitoiset kasvit kuten vilja, peruna ja sokerijuurikas. Myös ruukohelvestä ja oljesta on mahdollista tehdä bioetanolia tai biodieseliä (Fisher-Tropsch). Öljykasvien (rypsi, rapsi) siemenistä puristetusta kasviöljystä voidaan valmistaa biodieseliä (RME, NExBTL).

Finbion peltoenergiastrategian mukaan vuonna 2020 energiakasvien viljelyala olisi 250 000 ha ja oljen keruuta tehtäisiin 100 000 hehtaarilta (Suominen 2007). Tämä tavoite tukee kansallista ja EU:n tavoitetta peltobioenergian lisäämiseksi Suomessa. Vuoden 2007 alussa MMM:n työryhmä asetti kansalliseksi tavoitteeksi ruukohelven viljelyn 100 000 ha alalla (MMM 2008). Peltoraaka-aineen riittävyys bioenergiaksi on kuitenkin alueellinen kysymys, sillä kasvien viljelymahdollisuudet ovat erilaiset eri osissa maata. Rypsin viljelyn lisääminen biodieselin raaka-aineeksi onnistuu parhaiten maan etelä- ja länsiosissa. Ohra viihtyy pohjoisempanakin. Ruukohelven viljely on mahdollista myös seuduilla, joissa viljan viljely on kannattamatonta, mutta heinäkasvit kasvavat hyvin. Viljan oljella voi paikallisesti olla suurta merkitystä. Oljen energiakäyttö suunnataan sen huonompien poltto-ominaisuuksien (alhainen tuhkan sulamispiste, korkea alkali- ja klooripitoisuus) takia rinnakkaispolttoon kivihiilen kanssa, jolloin oljen osuus on enimmillään kolmasosa kokonaisenergiasta. Peltobiomassan integroitujen hyötykäyttöratkaisujen käyttöönotto tarjoaa uusia mahdollisuuksia myös maaseudun muulle yritys-toiminnalle.



Kuva 7. Ruukohelpipaaleja Kokkolan voimalaitoksella vuonna 2006.
Kuva K. Pahkala

Taulukossa 9 on esitetty tulevaisuuden energiaviljelyssä käytettäviä hehtaarrimääriä, joita Finbion peltoenergiastrategiassa pidetään realistisena. Tässä teknistä potentiaalia osoittavassa laskelmassa on otettu huomioon myös mahdollinen satotason kehittyminen, satoindeksit sekä eri energiantuotantovaihi-

toehdot. Öljykasvien siemensato (ka) 1,4 t/ha vuonna 2010, 1,5 t/ha vuonna 2015 ja 1,6 t/ha vuonna 2050. Siemenet sisältävät öljyä 44 % kuiva-aineesta. Oljen (vilja ja öljykasvit keskim.) sato-oletuksena on 2,4 t_{ka}/ha. Ruokohelven ja oljen energiasisältö kuiva-aineessa on 18 MJ/kg. Ruokohelven kuiva-ainesadon oletetaan nousevan nykyisestä 3-4 tonnin keskisadosta korjuuteknologian tehostumisen ja lajikejalostuksen ansiosta seuraavasti: 4 t vuonna 2010, 5 t vuonna 2015 ja 7 t vuonna 2020.

Taulukko 9. Peltoenergian tuotantoalat ja energiasisältö Suomessa vuoteen 2020 mennessä. Tulevaisuuden viljelyalat ovat Finbion peltoenergiapotentialien mukaiset. Muut luvut on laskettu hehtaarisatojen ja kirjallisuustietojen avulla.

Energian lähde	2010	2015	2020
Ruokohelppi			
Ala 1000 ha	50	100	150
Rh 1000 t kuiva-ainetta	200	500	1 050
Energia poltossa TWh	1	2,5	5,25
Olki (vilja, öljykasvi)			
¹ Korjattu ala 1000 ha	40	70	100
Olki 1000 t _{ka}	98	171,5	245
Energia poltossa TWh	0,49	0,86	1,22
Viljan jyvät			
Viljaa energiaksi 1000 ha	70	70	70
Jyviä 1000 t _{ka}	245	245	245
EtOH 1000 t	76,0	76,0	76,0
² EtOH milj litraa	96,3	96,3	96,3
Etanolia TWh	8,2	8,2	8,2
Rypsi ja rapsi (ÖK)			
Energiaksi 1000 ha	5	15	30
ÖK 1000 t _{ka} siementä	7	22,5	45
Kasviöljyä 1000 t	3,1	9,9	19,8
³ Biodieseliä 1000 t	3,0	9,5	19,1
Biodieseliä TWh	0,41	1,32	2,65
Yhteensä 1000 ha	125	185	250
Yhteensä energiaa TWh	10	13	17

¹Olki on viljelyn sivutuote, joten sitä ei lasketa mukaan energiakasvien kokonaisalaan.

²Etanolin tiheys 0,7894 kg/l ja energiasisältö 23,6 MJ/litra

³Biodiesel: rypsiöljy tiheys 0,918 kg/l, biodiesel tiheys 0,885 kg/l ja energia 38,5 MJ/kg.

1 l rypsiöljyä=1 litra biodieseliä.

Suomen energiankulutus oli vuonna 2007 1,47 EJ, josta uusiutuvan energian osuus oli 25 % ja yksistään puun osuus jo 20 % (Tilastokeskus – Energian kokonaiskulutus 2008). Peltoenergian tuotanto on sidottu vahvasti poliittisiin päätöksiin. Maailmanlaajuisen huonon satovuoden 2007 jälkeen viljan maa-

ilmanmarkkinahinta nousi nopeasti. Maailmalla alettiin yhä vahvemmin puhua ruokakriisistä ja siitä, miten ruoan tuotantoa on nostettava nopeasti, jotta maailman kasvava väestö voitaisiin ruokkia. Nykyään myös Suomessa halutaan säästää hyvää peltomaata ruoan tuotantoon, vaikka Suomen elintarvikehuolto tulee toimeen n. 1,5-1,7 miljoonalla hehtaarilla.

3.5 Bioenergiakasvien tuotanto ja tuotantoalojen kehitys

Peltokasveja ja niiden sivutuotteita pidetään mahdollisina energian lähteinä ja fossiilisten raaka-aineiden korvaajina. Niitä voidaan käyttää lämmön ja sähköntuotantoon kiinteinä polttoaineina tai ne jalostetaan nestemäisiksi polttoaineiksi. Useimmat nykyisistä peltoenergian raaka-ainekasveista ovat myös ravintokasveja. Merkittävimmät nykyiset viljelykasvit, joita tuotetaan sekä elintarvikkeeksi että bioenergian raaka-aineeksi ovat:

Sokeriruoko: ruokosokeria elintarvikkeeksi ja etanolin raaka-aineeksi

Maissi (jyvät, olki, kokovilja): jyvät rehuksi ja elintarvikekäyttöön, olki muokataan maahan tai käytetään energiaksi. Energia: maissi-tärkkelys etanoliksi

Viljat (jyvät, olki, kokovilja): jyvät rehuksi ja elintarvikekäyttöön, olki muokataan maahan. Energia: tärkkelys etanoliksi, oljet mahdollista CHP laitoksissa lämmön ja sähkön tuotannossa (esim. Tanska).

Sokerijuurikas: sokeri elintarvikekäyttöön, prosessijäte (melassi) rehuksi. Energia: sokeri olisi mahdollista käyttää etanoliksi, mutta vain vähän hyödynnetty.

Öljypalmu: palmuöljyn ja palmuydinöljyn tuotanto elintarvikkeeksi. Energia: palmuöljyn tuotanto biodieseliksi

Rapsi: rapsiöljyä margariineihin ja ruokaöljyksi, rouhetta valkuaisrehuksi. Suomessa kevätropsi ja -rypsi. Energia: rapsiöljyä biodieseliksi

Auringonkukka: öljyä elintarvikekäyttöön, rouhe rehuksi. Energia: öljy biodieseltuotantoon Keski- ja Etelä-Euroopassa

Soija: rehu- ja elintarvikekäyttö. Energia: öljy biodieseltuotantoon.

Ruokohelpi: rehuksa, jota käytetään Suomessa myös kiinteänä polttoaineena CHP laitoksissa

Jos peltokasveja aletaan tuottaa energiaksi, viljelijälle on kaikkein helpointa aloittaa tuttujen ravintokasvien viljelyllä. Silloin välttyään ylimääräisiltä investoinneilta maataloudessa, ja tuotannon onnistuminen on paremmin ennustettavissa. Myös markkinointi ja kauppareitit ovat jo olemassa. Tavaran vastaanottaja huolehtisi tällöin raaka-aineen ohjaamisesta joko elintarvikemarkkinoille tai non-food -markkinoille. Esimerkiksi viljan viljely elintarvikkeeksi tai bioetanolin raaka-aineeksi on samanlaista.

Peltokasveja käytetään nykyään yhä suurempia määriä tuottaessa ensimmäisen sukupolven biopolttoaineita eli bioetanolia ja biodieseliä. Bioenergian tuotantoon tarvittava maa-ala on nyt 14 miljoonaa hehtaaria eli noin 1 % koko peltoalasta (Moreira 2008). Etanoli tuotetaan sokeri- ja tärkkelyskasveista (sokeriruoko, ja vilja) ja biodiesel öljykasvien siemenistä (esim. rapsi, auringonkukka, soija) tai öljyä sisältävistä hedelmistä (öljypalmu). Suurimmat tuottajamaat ovat USA ja Brasilia, joiden osuus on lähes 80 % biopolttoaineista lähinnä niiden suuren polttoaine-etanolituotannon takia (Taulukko 10 ja 11). USA:n etanoli valmistetaan lähes yksinomaan maissista, jonka sadosta jo 10 % kuluu polttoaine-etanolin tuotannossa (WorldWatch Institute 2007) yli 170 laitoksessa (Renewable fuels association 2008). Brasilian etanoli valmistetaan sokeriruosta, jonka tuotannosta puolet (FAO 2006) käytetään etanolituotantoon (OECD/IEA 2006).

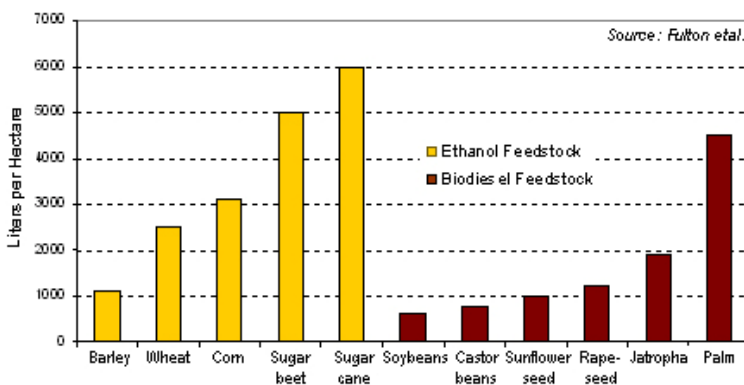
Prosessi, jolla peltobiomassa muunnetaan energiaksi, on harvoin tehokkuudeltaan samaa luokkaa kuin öljyn, hiilen tai maakaasun tuotanto (Moreira 2008). Tämän vuoksi useimmissa maissa tarvitaan valtion tukia biosähkön ja biopolttoaineiden tuotannossa. Harvoja poikkeuksiakin on esim. etanolin tuotanto Brasiliassa, jossa suuret sokeriruokosadot ovat mahdollisia, olosuhteet suotuisat, työvoima halpaa, sopivaa maata saatavilla ja pitkään kehitellyt prosessit tehokkaita. Nyt etanolia saadaan siellä 85 l/biomassatonna (Moreira 2008). Pyrkimys mahdollisimman tehokkaaseen tuotantoon ja kannattavuuteen voi aiheuttaa ongelmia ympäristölle (esim. peltojen polton aiheuttamat päästöt ja terveydelliset haitat). Myös työntekijöiden olosuhteisiin ei kiinnitetä riittävästi huomiota. Kuvassa 6 esitetään muutamien kasvien etanoli- ja biodieselsaannot hehtaarilta (WorldWatch Institute 2007).

Taulukko 10. Maailman polttoaine-etanolin tuotanto (WorldWatch Institute 2007).

Maa	Tuotanto (milj.littraa)	Osuus koko tuotannosta %
USA	18300	47,9
Brasilia	15700	41,1
EU	1550	4,1
Kiina	1300	3,4
Kanada	550	1,4
Kolumbia	250	0,7
Intia	200	0,5
Thaimaa	150	0,4
Australia	100	0,3
Keski-Amerikka	100	0,3
Koko maailma	38200	100

Taulukko 11. Maailman biodieselin tuotanto (WorldWatch Institute 2007).

Maa	Tuotanto (milj.littraa)	Osuus koko tuotannosta %
Saksa	2499	40,6
USA	852	13,8
Ranska	625	10,2
Italia	568	9,2
Tsekin tasavalta	153	2,5
Espanja	142	2,3
Malesia	136	2,2
Puola	114	1,9
UK	114	1,9
Australia	91	1,5
Itävalta	85	1,4
Tanska	80	1,3
Filippiinit	68	1,1
Brasilia	68	1,1
Kiina	68	1,1
muut maat	490	8
Eurooppa yht.	4504	73,2
Amerikka yht.	1113	18,1
Koko maailma	6153	100



Kuva 6. Eri viljelykasvien etanolin ja biodieselin saanto l/ha (WorldWatch Institute 2007).

3.6 Potentiaalisia uusia bioenergiakasveja

Varsinaiset bioenergiakasvit ovat sellaisia kasvilajeja, joita tuotetaan lähes pelkästään bioenergian raaka-aineiksi. Niiden käytännön viljely on ollut niin vähäistä, että niitä ei ole erikseen tilastoitu (ruokohelpi Suomessa on poikkeus 20000 ha pinta-alalla) ja sen vuoksi tuotantomääristäkään ei ole juuri tie-

toa. Sen sijaan tutkimustietoa on melko runsaasti saatavana useista potentiaalisista kasvilajeista. Parhaat bioenergiakasvit ovat monivuotisia, satoisia, hyvin sopeutuneita viljelypaikoilleen ja helppoja viljellä ilman muusta tuotannosta poikkeavaa kalustoa. Joistakin kasveista voidaan saada useampi sato samana vuonna. Näin saadaan runsaampia satoja, lisätään viljelyn monimuotoisuutta ja vältetään ympäristöhaittoja. Uudet tulevaisuuden bioenergiakasvit edellyttävät useiden vuosien jalostus- ja kehitystyötä ja ne tullevat käytännön viljelyyn aikaisintaan 2010-luvulla.

Useat tutkimukset (mm. Ericsson et al. 2007, Woods et al. 2006, Jensen et al. 2007) ovat päätyneet nimeämään potentiaalisiksi bioenergiakasveiksi seuraavia kasvilajeja: elefanttiheinä, luutahirssi, ruokohelppi, viljat ja niiden oljet, öljykasveista rapsi, auringonkukka ja rypsi (vain Suomi). Myös kuituhamp-pua (Ruotsi, Suomi) voidaan keväällä korjattuna pitää potentiaalisena bioenergiakasvina (Sundberg and Westlin 2005). Puuvartisista kasveista pajut, poppelit ja eukalyptus ovat nopeakasvuisuutensa vuoksi olleet kiinnostuksen kohteina.

Ruokohelppi (reed canary grass, *Phalaris arundinacea* L.)

Ruokohelppi on monivuotinen, suurikokoinen heinäkasvi, jota tuotetaan melko yleisesti nautojen rehuksi Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Se kasvaa luonnonvaraisena koko pohjoisella pallonpuoliskolla. Euroopassa sitä on kokeiltu melko laajasti energian ja kuitumateriaalin tuottajana (Olsson et al. 2004), mutta sen suurimittainen energiakäyttö on alkanut toistaiseksi vain Suomessa (Pahkala et al. 2008a). Energiaksi kasvi korjataan keväällä kuuloheinänä, jolloin sen polttoaineominaisuudet ovat hyvät. Suomessa tuotantoa on n. 20 000 hehtaarilla lähinnä Länsi- ja Itä-Suomessa (Tike 2008). Ruotsissa sen käytön laajentamista nykyisestä 1500 hehtaarista ollaan harkitsemassa. Ruokohelven biologinen satotaso on 7-11 t_{ka} , mutta käytännössä siitä saadaan talteen 3-7 t_{ka} . Kasvin kuiva-aineen energia-arvo on n. 5 MWh/t eli n. 18 GJ/t.

Kuituhamppu (fibre hemp, *Cannabis sativa* L.)

Kuituhamppu on melko vaateliias, yksivuotinen kasvi, joka tarvitsee paljon ravinteita ja kosteutta kasvaakseen kunnolla. Se on vanha kuitukasvi, jopa pellavaakin vanhempi, ja sitä voidaan viljellä 65. leveysasteelle saakka (Pahkala et al. 2008b). Kuituhamppu tuottaa Keski-Euroopan pohjoisosissa ja Skandinaviassa suuren sadon, jos olosuhteet ovat suotuisat. Ruotsissa ja Suomessa on kokeiltu kasvin energiakäyttöä siten, että se korjataan ruokohelven tavoin vasta keväällä (Pasila 2004, Sundberg & Westlin 2005), jolloin sen kosteus on alle 20 %. Kuituhampun varsisadot ovat pohjoismaissa 7–9 t/ha syksyllä ja noin 5 t_{ka} /ha keväällä korjattuna (Sundberg & Westlin 2005) Kasvin kuiva-aineen energia-arvo on n. 5 MWh/t eli n. 18 GJ/t.

Elefanttiheinä (elephant grass, *Miscanthus*)

Elefanttiheinä on kotoisin Aasiasta, missä sitä tavataan luonnonvaraisena Kiinassa ja Japanissa. Eurooppaan elefanttiheinä tuotiin koristekasviksi noin 70 vuotta sitten (Jezowski 2008). Elefanttiheinä, joka yhteyttämismekanismiltaan kuuluu C4 kasveihin. Niille on ominaista tehokas biomassan tuottaminen erityisesti lämpimillä alueilla. Satopotentiaali on suuri: koeolosuhteissa Keski-Euroopassa on saatu syyskorjuussa yli 20 t/ha kuiva-ainesatoja (Werf et al. 1993). Nykyisin viljellään lajikkeesta *M. x giganteus* muotoa, jota voidaan lisätä vain kasvullisesti juurakoista ja sen pakkasen kestävyys on heikko erityisesti ensimmäisenä vuonna, minkä vuoksi kasvin viljely ei ole yleistynyt (Jezowski 2008). Englannissa elefanttiheinän viljelyala on noin 4000 hehtaaria (NNFCC 2007). Sen kuiva-ainesato on vakiintunut noin 7-12 tonniksi/ha/vuosi keväällä korjattuna (Woods et al. 2006). Elefanttiheinää on kokeiltu myös Suomessa vuosina 1992-1993, mutta se ei kestänyt talvea (Pahkala et al. 1994).

Luutahirssi (Switch grass, *Panicum virgatum* L.)

Luutahirssi, joka tunnetaan bioenergiakasvina paremmin nimeltä "switch-grass", on suurikokoinen, monivuotinen heinä. Se kasvaa USA:n kaakkoisosissa ja preerialla (Great Plains) luonnonvaraisena, ja selviää syvälle ulottuvan juuristonsa avulla hyvin kuivuudesta karussakin maaperässä (Jensen et al. 2007). Heinä kuuluu C4 kasveihin, jotka menestyäkseen tarvitsevat lämpimän kesän ja useiden kuukausien hallattoman kauden. Muuten sen ominaisuudet muistuttavat ruokohelpeä. Luutahirssiäkin voidaan korjata jopa 10 vuotta, ja sen potentiaalia energian raaka-aineena on tutkittu etanolin valmistukseen sekä kiinteänä polttoaineena ja myös hiilen kanssa seoksena (McLaughling et al 1997, Jensen et al. 2007). Luutahirssin aktiivista tutkimus- ja lajikejalostustyötä tehdään USA:ssa, missä on kehitetty ja laskettu markkinoille synteettisiä lajikkeita, joiden keskisato on koeolosuhteissa ollut 16 t/ha typpilannoituksen ollessa 50 – 120 kg/ha (McLaughling et al. 2005). Luutahirssin sato on uusimmissa käytännön olosuhteissa tehdyissä kokeissa ollut 5,2 -11,1 t/ha kuiva-ainetta (Schmer et al. 2008). Kokeet tehtiin Etelä-Dakotassa, Nebraskassa ja Pohjois-Dakotan eteläosissa. Typpilannoitus suosituksen mukaan oli keskimäärin 74 kg N/ha eli 10 kg N/ha odotettavissa olevaa satotonnaa kohden. Kasvin kuiva-aineen energia-arvo on samaa luokkaa kuin ruokohelven n. 18 GJ/t.

Sida (Virginia mallow, *Sida hermaphrodita* L.)

Sida on monivuotinen, ruhovartinen kasvi, joka kasvaa luonnonvaraisena USA:n koillisosissa ja keskilännen jokivarsilla harvinaistuneena tai uhanalaisena lajina (Spooner et al. 1985). Sen taloudellista merkitystä maan kunnan ylläpitäjänä, rehukasvina, mehiläisten hunajakasvina ja jopa paperin raaka-ainekasvina on tutkittu 1930 luvulla Ukrainassa (Spooner et al. 1985) ja nyt uudelleen energian raaka-aineeksi Puolassa (Borkowska et al. 2008). Sen kuiva-ainesato on 9-20 t/ha riippuen maanlaadusta ja kuiva-aineen energia-arvo on 18,7 MJ/kg (Borkowska et al. 2008). Kasvin on havaittu kestävän

alhaisia lämpötiloja ja talvehtivan hyvin esimerkiksi Puolan olosuhteissa. Jos halutaan erityisesti kuivaa biomassaa kasvi korjataan maaliskuuhun ja varastoidaan paaleina (Borkowska et al. 2008).

Jatropha (physic nut, *Jatropha curcas* L.)

Jatropha on trooppinen 1,5-8 m korkea puu/pensas, jonka alkuperä on trooppinen Keski- ja Etelä-Amerikka (El Bassam 1998). Se on yleinen nykyään myös muualla trooppisella ja subtrooppisella alueella mm. Afrikassa ja Aasiassa (Openshaw 2000). Kaikki kasvinosat ja myös öljy ja puristusjäte ovat myrkyllisiä, ja siksi öljyn sisältämiä estereitä on käytetty tuholaisten torjuntaan (mm. etanat) (El Bassam 1998). Jatrophaa on käytetty tiheinä istutuksina viljelmien aitoina estämään karjan ja villieläinten pääsy pelloille sekä reunustettu teitä ja rautateitä sitomaan eroosioherkkää maata. Malissa Jatrophaa käytetään juuri aidanteina, joista saadaan myös siemensatoa noin 800 – 1000 kg/km (2,5-3,5 t/ha/vuosi) (Openshaw). Kuivilla alueilla (vuotuinen sademäärä alle 200 mm) puu kykenee selviämään hengissä pudottamalla välillä lehtensä, mutta sen hedelmien tuotanto on niukkaa. Kun vuotuinen sademäärä on suuri (1500 – 1700 mm) ja kasveja lannoitetaan, voidaan saada runsaasti hedelmiä. Jatropha on täydessä tuotantokunnossa 6 vuoden iässä, josta eteenpäin tuotanto on 7,5 t hedelmiä/ha (3,45 t siemeniä, 1,8 t kuoria, 2,25 hedelmän kuoria). Tonnista hedelmiä saadaan 440-460 kg siemeniä ja 110-180 kg niistä puristettua öljyä (Openshaw 2000), jonka energia-arvo on 40,7 MJ/kg. Jatrophan viljelyssä on edelleen epävarmuustekijöitä, vaikka sitä on istutettu jo 0,9 milj. hehtaaria (Emerging Markets Online 2008). Tiedot kasvin sadontuotosta ja tuotannon vaikutuksista ympäristöön vaihtelevat edelleen suuresti (Achten et al. 2008). Jatrophan käytännön viljelyprojekteja on meneillään tai suunnitteilla Intiassa 1 milj. ha, Indonesiassa 200 000 ha, Mosaambikissa 300 000 ha, Brasiliassa 100 000 ha ja Kambodzassa 20 000 ha, Malesiassa 22 000 ha, Malawissa 55 000 ha, Madagaskarilla 17 000 ha, Etelä-Afrikassa 15 000 ha, ja Burkina-Fasossa 25 000 ha.

Pajut (*Salix*) ym. nopeakasvuiset puulajit

Pajun viljelyä peltomaalla on harjoitettu etupäässä Etelä-Ruotsissa, jossa on myös pajun lajikejalostusta. Sen viljelyala on suurimmillaan ollut 15 000 ha. Jonkin verran myös muualla Euroopassa on viljelty pajua, mutta etelämpänä lähinnä Eucalyptus ja erilaiset haapalajit ovat olleet kiinnostavampia. Paju istutetaan 20 cm pituisista pistokkaista. Ensimmäinen sadonkorjuu on neljän vuoden päästä, jonka jälkeen joka neljäs vuosi aina 25 – 30 vuoden ikään saakka. Viljelystä lannoitetaan vuosittain: typpeä 90 – 150 kg/ha, kalia 80 ja fosforia 30 kg/ha (Danfors et al. 1998). Myös Suomessa sitä on kokeiltu pajunviljelyä, mutta maamme pohjoinen sijainti ja koripajun hallanarkuus ja vaativuus maanlaadun suhteen ovat rajoittaneet suurimittaisen viljelyn aloittamista. Ongelmaksi on myös koettu, että pajun juuret kasvavat helposti salaajiin ja estävät veden virtaamisen niissä (Danfors et al. 1998).

Puuvartisia öljykasveja

Intiassa ja Kiinassa etsitään aktiivisesti paikallisia potentiaalisia öljykasveja. Esimerkiksi *Michelia champaca* ja *Garcinia indica* puiden siementen öljyitoisuus on noin 45 %, josta öljy- ja linolihappo muodostavat pääosan (Hosamani et al. 2008). Kiinan alueella on mainittu jopa kymmenen erilaista puuta, joita voitaisiin hyödyntää biodieselin valmistuksessa. Intiassa on mainittu mm. *Pongamia pinnata*, *Caryophyllum* ja *Simarouba*.

3.7 Maailman peltobioenergian tuotanto vuonna 2050

Maailma pystyy teoriassa ruokkimaan itsensä ravitsevalla ruoalla niin nyt kuin tulevaisuudessakin (GE per henkilö on sekä nyt että vuonna 2050 vähintään 800, taulukot 12 ja 13). Maailman eri alueet kuitenkin poikkeavat ruokahuollon suhteen. Esim. Afrikassa ruoan määrä henkilöä kohti riittää tällä hetkellä vain kasvisruokavalioon, ja tulevaisuudessa väestömäärän kasvaessa ravinnon määrä henkeä kohti vähenee puoleen. Taulukossa 12 on esitetty bioenergiakasvien potentiaalinen viljelyala maailmassa ja eri alueilla nyt (2006) ja Taulukossa 13 vuonna 2050. Viljelyalan laajuus vaihtelee riippuen ihmisten ruokavaliosta. Mitä enemmän lihaa syödään, sitä enemmän tarvitaan peltoalaa ruoan tuotantoon ja sitä vähemmän peltoalaa jää bioenergian tuotantoon. Mahdollisesti vapautuvalle peltoalalle soveltuvat bioenergiakasvit ja niiden arvioitu energiasaanto (GJ) hehtaaria kohti on esitetty Taulukossa 14. Tällä hetkellä bioenergiakasveja ei viljellä taulukossa 12 esitetyllä alalla. Myös vuoden 2050 lukemat ovat teoreettisia. Sekä nykyhetken että tulevaisuuden bioenergiapotentiaalin arviossa oletetaan, että koko nykyinen peltoala on käytössä ja elintarvikkeita tuotetaan ja kulutetaan ilman hävikkiä. Tällä hetkellä esim. Kanadassa, USA:ssa ja entisen Neuvostoliiton (FSU) alueella vain n. 60 % peltoalasta on käytössä. Lisäksi raaka-aineen varastohävikit sekä valmiiden elintarvikkeiden hävikit kaupassa ja kulutuksessa ovat huomattavia. Tulevaisuuden tilannetta arvioitaessa oletetaan myös, ettei maatalousmaata menetetä, vaan kaikki nykyisin olemassa oleva maatalousmaa on käytössä vuonna 2050.

Taulukoissa 12 ja 13 vapaa peltoala jaettiin potentiaalisille bioenergiakasveille, joiden hehtaarisato ja energiasisältö on laskettu vuosille 2006 ja 2050 taulukossa 14. Taulukkojen 12 ja 13 perusteella valittiin ne alueet, joissa peltoa mahdollisesti olisi käytettävissä bioenergiakasvien viljelyyn (AUS, CAN, CSA, MEX, WEU, EEU, FSU, USA).

Taulukko 12. Potentiaalinen bioenergiakasvien tuotantoala ja tuotettava energiamäärä (EJ) vuonna 2006 nykyisin käytössä olevalla peltoalalla lasketuna väkiluvun ja tarvittavan viljaekvivalentin (GE*2) mukaan. 1 EJ=277,8 TWh. GE=viljaekvivalentti, per capita=henkeä kohden, GE suhteutettuna lihapitoinen dieetti vastaa 1535, sekadieetti 860 ja kasvisdieetti 490 GE vuodessa (Penning de Vries et al. 1997). Alueet: kts. liite 1.

Alue	Väestö (milj)	GE/alue (*10 ⁹)	GE per capita	Ylimäärä GE (*10 ⁹)			Peltoa käytössä milj. ha			Energian tuotanto EJ		
				kasvis	seka	liha	kasvis	seka	liha	kasvis	seka	liha
AFR	964	509	528									
AUS	25	218	8729	193	175	141	43	38	30	12	11	8
CAN	33	117	3558	85	60	16	33	23	6	4	3	1
CHI	1336	643	481									
CSA	462	1249	2705	796	455		73	39		35	19	
EEU	119	133	1114	16			3			0		
FSU	285	412	1445	133			62			4		
IND	1169	572	489									
JPN	128	23	176									
MEA	275	121	440									
MEX	107	199	1871	95	16		11	0,2		5	0	
ODA	1007	344	342									
SKO	48	7	138									
USA	310	865	2791	561	332		114	67		35	21	
WEU	404	405	1003	9								
Maailma	6671	5816	872	1889	1038	157	339	167	36	96	53	9

Taulukko 13. Potentiaalinen bioenergiakasvien tuotantoala ja tuotettava energiamäärä vuonna 2050 nykyisellä peltoalalla, kun ilmastonmuutoksen seurauksena tuotanto on muuttunut eri alueilla Taulukon 1 mukaisesti lasketuna väkiluvun ja tarvittavan viljaekvivalentin (GE*2) mukaan. 1 EJ=277,8 TWh. GE=grain equivalent, per capita=henkeä kohden, GE suhteutettuna lihapitoinen dieetti vastaa 1535, sekadieetti 860 ja kasvisdieetti 490 GE vuodessa (Penning de Vries et al. 1997). Alueet: kts. liite 1.

Alue	Väestö (milj)	GE/alue (*10 ⁹)	GE per capita	Ylimäärä GE (*10 ⁹)			Peltoa käytössä milj. ha			Energian tuotanto EJ		
				kasvis	seka	liha	kasvis	seka	liha	kasvis	seka	liha
AFR	1996	484	242									
AUS	33	229	6871	196	171	126	41	35	24	12	11	7
CAN	43	129	3010	87	55		31	19		5	3	
CHI	1418	627	442									
CSA	632	1249	1975	629	161		56	10		27	5	
EEU	97	265	2730	170	98		24	13		6	3	
FSU	249	1647	6615	1403	1219	883	170	147	105	47	41	29
IND	1658	543	328									
JPN	103	24	231									
MEA	456	115	252									
MEX	132	189	1432	60			7			3		
ODA	1510	344	228									
SKO	42	7	173									
USA	407	822	2019	423	122		90	25		26	7	
WEU	414	689	1664	283			27			6		
Maailma	9191	7362	801	3251	1826	1009	446	249	129	132	69	37

Bioenergiakasvit, joiden oletetaan edelleen olevan käytössä 2050, ovat todennäköisesti samoja kuin nykyäänkin tai kasveja, joiden pitkäaikaisissa tutkimuksissa on saatu lupaavia tuloksia. Taulukossa 14 on esitetty näiden kasvien koko biomassasato käyttäen alueen nykyisiä hehtaarisatoja. Lisäksi on arvioitu energiakasvien osuutta kullakin alueella ja käytetty saatua arviota hehtaarin energiasaannon laskemisessa. Sadon energia-arvot on laskettu myös koko biomassalle olettaen, että koko sato käytetään energiaksi. Vuoden 2050 luvut energiasisällölle on laskettu käyttäen taulukon 1 kertoimia.

Taulukko 14. Potentiaaliset bioenergiakasvit, niiden osuus vapautuvalla peltoalalla ja energiasisältö (GJ/ha) vuonna 2006 ja vuonna 2050. Alueet: kts. liite 1. AUS: tuotantopotentiaalin arvio perustuu vuosien 1997-2006 keskiarvoon, muilla alueilla vuoden 2006 tuotantoon.

Alue	Kasvi	Biomassa	Biomassa	Kasvin	Kasvi	Energiakasvit yht.GJ/ha	
		kg _{ka} /ha	GJ/ha	osuus alueella		GJ/ha	2006
AUS	vehnä	3386	61	0,7	43	286	300
	sokeriruoko	45067	811	0,3	243		
CAN	rapsi	4448	93	0,3	28	135	148
	maissi	13259	239	0,3	72		
CSA	vehnä	4948	89	0,4	36	475	475
	sokeriruoko	35445	638	0,7	447		
MEX	soija	4405	94	0,3	28	490	466
	sokeriruoko	37099	668	0,7	467		
EEU	soija	1496	75	0,3	23	116	127
	ruokohelpi	7000	126	0,2	25		
	miscanthus	8000	144	0,2	29		
	rapsi	5403	113	0,4	45		
FSU	aurionkukka	3840	82	0,2	16	70	76
	ruokohelpi	7000	126	0,1	13		
	rapsi	2647	57	0,2	11		
	aurionkukka	3206	68	0,4	27		
USA	ohra	3385	61	0,3	18	308	292
	maissi	14635	263	0,5	132		
	sokeriruoko	36178	651	0,2	130		
	luutahirssi	8500	153	0,3	46		

Biomassan energiasisältö: sato 18 MJ/kg, paitsi soija, rapsi ja auringonkukka 26 MJ/kg. Sivutuote: 18 MJ/kg

4 Tulosten tarkastelu

4.1 Kasvintuotannon sivuvirrat bioenergian lähteenä

Kasvintuotannon sivuvirrat muodostavat erityisesti korkeilla leveysasteilla mahdollisen bioenergiapotentiaalin. Edullisilla alueilla viljan tai öljykasvien tuotannon lisääntyessä myös sivutuotteeksi katsotun korsimateriaalin määrä lisääntyy tulevaisuudessa. Sen saaminen hyötykäyttöön parantaa kasvintuotannon taloutta ja energiatasetta. Esimerkiksi suorassa poltossa korsimateriaa-

lin koko energiasisältö saadaan hyödynnettyä. Toisen sukupolven polttoainesten tuotannossa korsimateriaalin prosessointi on toistaiseksi hyvin energi-intensiivistä vähentäen koko tuotantoketjun energiatehokkuutta.

Viljelyn kannalta kestävä kasvinjätteiden korjuumäärä bioenergiaksi riippuu viljelymenetelmästä, sadon määrästä, maalajista ja paikan maantieteellisestä sijainnista. Mallintamista voidaan käyttää apuna turvallisen korjuumäärän arvioinnissa. Vaikka loivat pinnanmuodot ja korkeat sadot antavat mahdollisuuden satojätteiden poiskorjuulle, niin monilla alueilla maan laadun/viljavuuden säilyttäminen vaatii kasvinjätteiden pellolle jättämistä enemmän kuin nykyisin tehdään (Andrews 2006). Näillä alueilla lisääntyneen eroosion ja maan orgaanisen aineksen kulumisen vähentämiseksi voidaan käyttää maan laatua suojelevia viljelymenetelmiä kuten sänkimuokkausta (conservation tillage). Myös aluskasvien (cover crops) viljely on monilla alueilla toimiva vaihtoehto. Riippumatta kasvinjätteiden käsittelytavasta peltojen tilaa eroosion ja kuorettumisen suhteen joudutaan tarkkailemaan säännöllisesti. Määräajoin toistettavat maan hiilipitoisuuden määritykset auttavat myös pellon viljavuuden seurannassa. Kasvinjätteiden poistaminen suhteutetaan maassa tapahtuviin muutoksiin. Jos eroosio lisääntyy tai maan hiilipitoisuus alenee, vähennetään sivuvirtojen hyödyntämistä maan laadun säilyttämiseksi.

Kotieläintuotannon sivutuotteiden kuten lannan käytöllä biokaasun tuotantoon voi olla paikallista merkitystä. Viljan hinnan ollessa korkea maksimoidaan nurmirehujen tuotanto. Tämä saattaa johtaa intensiivisissä tuotantoympäristöissä hyvinä vuosina ajoittaiseen nurmisadon ylijäämään, jonka hyödyntäminen bioenergiaksi olisi mahdollista.

4.2 Bioenergiakasvien potentiaalinen tuotantoala vuonna 2050

IPCC:n päästöskenaarioreportin (IPCC 2000) ja viimeisimmän YK:n väestöreportin (United Nations 2007) mukaan maailman väkiluku nousee parhaimmassakin B1-skenaariota tapauksessa yli 9 miljardiin vuoteen 2050 mennessä. Tämä tarkoittaisi ruoantuotannon lisäystarvetta 1,5-kertaiseksi, jos ihmisten ruokavalio säilyisi nykyisenä. Koko maailman ruoan tuotanto riittäisikin lisääntyneen väkimäärän tarpeisiin, jos tuotanto olisi jakautunut tasaisesti ja jos ihmiset käyttäisivät joko kasvisruokaa tai sekaruokaa, jossa lihan käyttö olisi kohtuullista (Taulukot 12 ja 13). Kiinan ja Intian kasvava elintaso kuitenkin näyttäisi johtavan eläintuotteiden, kuten sian- ja naudanlihan yhä suurempaan osuuteen dieetissä. Tästä seuraa yhä suurempi viljelyalan tarve, sillä lihapitoisen ruokavalion tuotanto vaatii kasvispitoiseen verrattuna suuremman peltoalan. Koska ruoan tuotantoedellytykset kaikkein väkimmäillä alueilla ovat huononemassa (Taulukko 1), peltomaan käyttö bioenergian tuotantoon näyttää yhä epätodennäköisemmältä näissä osissa maailmaa. Lisäksi

suuressa osassa maailmaa, mm. Afrikassa, tuotantoteknologian olisi nopeasti kehityttävä vastaamaan lisääntyvän väestön tarpeita, jotta alueen väkimäärä pystyttäisiin ruokkimaan edes kasvispitoisella ruoalla.

Investoinnit tuotannon tehostamiseen kuten keinokasteluun, uusiin viljelymenetelmiin, kestäviin kasvilajikkeisiin, kasvinsuojeluun ja lannoituksen tehostamiseen voisivat vähentää peltomaan tarvetta ruoan tuotannossa. Joidenkin skenaariolaskelmien mukaan nykyisestä peltoalasta tarvittaisiin vain 20 % ruoantuotantoon vuonna 2050, jos tuotantoa pystyttäisiin tehostamaan ja ruokavalio siirtyisi kasvisruoan suuntaan (Wolf et al. 2003). Vaikka liharuokaakin nautittaisiin kohtuullisesti, tuotannon tehostaminen vapauttaisi peltoalaa siten, että 64 % nykyisestä maatalousalasta (3,16 mrd. ha) voisi olla bioenergiakäytössä vuonna 2050 sillä oletuksella, että väestö kasvaa B1-skenaarion mukaisesti (9,2 mrd. vuonna 2050) (Wolf et al. 2003). Ongelmana tämän tavoitteen saavuttamisessa on tuotannon tehostamisen resurssointi: vaikeimmilla tuotantoalueilla usein myös tulotaso on liian heikko tuotantopanosten nostoon ja joskus myös poliittisen tilanteen epävakaus aiheuttaa ongelmia. Niissä maissa, joissa tuotanto on jo nykyään tehokasta ja resursseja riittävästi sen edelleen tehostamiseen (esim. Pohjois-Eurooppa), peltomaata voitaisiin käyttää enemmän bioenergian tuotantoon. Tämä näyttäisi todennäköiseltä vaihtoehdolta varsinkin korkeilla leveysasteilla, missä ilmastonmuutos lisäksi tulee parantamaan kasvintuotannon potentiaalia lähitulevaisuudessa, jos päästöjen määrä pysyy suhteellisen pienenä ja maapallon keskilämpötilan nousu 1,2-1,3 °C:ssa skenaario B1:n mukaisesti (Taulukko 1). Täyden tuotantopotentiaalin saavuttaminen parhailla tuotantoalueilla edellyttää kuitenkin tuotannon mittavaa tehostamista alueilla, joilla satotasot ovat huomattavasti pienemmät kuin potentiaalinen sato (Olesenin and Bindi 2002, Ewert et al. 2005).

Tässä tutkimuksessa suurin mahdollinen peltobioenergian tuotantopotentiaali oli vuonna 2006 140 EJ ja tulevaisuudessa (v. 2050) 181 EJ. Arviomme sijoittuu alle kirjallisuudessa esitettyjen arvojen (50-650 EJ) puolivälin. Monissa arvioissa on laskettu tuotantopotentiaali luonnonolojen ja maaperätekiöiden mukaisena biomassatuotannon potentiaalina. MTT:n arvio perustuu korjattujen satojen todellisiin määriin ja tulevaisuudessa myös satopotentiaalin realistiseen täyttymiseen Euroopan suotuisilla alueilla. Tarkkaa arviota on vaikea antaa poliittisten, taloudellisten ja luonnontieteellisten olojen vaihteluiden takia. Jos esim. Afrikan parhailla alueilla panostettaisiin kastelujärjestelmien rakentamiseen nykyistä tehokkaammin, alueen tuotanto todennäköisesti riittäisi väestön ruokkimiseen ja vielä bioenergian tuotantoonkin (Hoogwijk et al. 2005). Peltobioenergian tuotantoarvioihin on yleensä otettu mukaan sekä peltomaa, joka tällä hetkellä ei ole tehokkaassa tuotannossa että maa joka vapautuu bioenergian tuotantoon kun ruoan tuotannossa oleva maa-ala pienenee tehostumisen myötä (Berndes et al. 2003, Wolf et al. 2003, Hoogwijk et al. 2005). Ruoantuotannosta vapautuvan peltomaan käyttö onkin varmasti mahdollista ilman suuria ylimääräisiä panostuksia. Kaiken pelto-

maan, etenkin jo nyt kuivuudesta kärsivän ja ravinneköyhän laidun- tai joutomaan, tehokas käyttö vaatii kuitenkin kalliita tuotantopanoksia. Suuressa osassa maapalloa viljelyn onnistuminen nykyisillä laidunalueilla vaatisi keinokastelua, jonka laajamittainen käyttöönotto tulee olemaan vaikeaa useissa maissa. Jo nyt vettä säännöstellään suuressa osassa maapalloa ja tulevaisuudessa kuivuusongelmat yhä kärjistyvät (IPCC 2007b). Niinpä kuivuudesta kärsivien alueiden ottaminen bioenergiakasvien tuotantoon ei näyttäisi todennäköiseltä. Jos skenaario B1:n mukainen kehitys toteutuu, maailman eri osat ovat yhä suuremmassa vuorovaikutuksessa toistensa kanssa. Yhteistyö kehittyneiden ja kehittyvien maiden välillä voi johtaa työnjakoon, jossa ruokaa tuotetaan parhailla alueilla ja kulutetaan globaalitasolla tasaisemmin kuin nykyään. Tämä kehitys vähentäisi bioenergiaan käytettävää alaa myös parhailla tuotantoalueilla.

Nurmien osalta arvioimme, että vuoteen 2050 mennessä ei kehity merkittävää potentiaalia hyödynnettäväksi bioenergian tuotantoon. Jos viljan hinta pysyy korkeana, nurmien sato käytetään eläinten rehuksi eikä nurmen viljelyalaa vapaudu vaihtoehtokäyttöön. Pysyvien, laajojen laidunalueiden tuotannon tehostaminen lannoitusta ja kastelua lisäämällä ja satoisampia kasvilajeja käyttöön ottamalla vaatii niin paljon kalliita investointeja, että tuotanto bioenergiaksi ei niillä liene taloudellisesti kannattavaa. Korkeat lannoitteiden ja muiden tuotantopanosten hinnat johtavat viljan hinnan nousuun ja siten nurmirehun maksimikäyttöön. Jos energian hinta on edullinen, niin oletettavasti myös nurmien tuottamasta bioenergiasadosta saatava hinta on alhainen eikä välttämättä kannusta viljelyyn. Myös ao. vaatimattomissa olosuhteissa menestyvien bioenergiakasvien kehittäminen, jalostaminen, lisäysaineiston tuottaminen ja viljelyyn ottaminen laajassa mittakaavassa on niin paljon aikaa ja suuria panostuksia vaativa tehtävä, että vuoteen 2050 mennessä tuskin merkittävää etenemistä olisi odotettavissa. Oletettavissa olevan väestön kehityksen ja ruuan tuotannon tarpeet huomioon ottaen on todennäköistä että nurmien sato käytetään kotieläinten kautta. Tässä tutkimuksessa käytetyllä laskelmaperusteella maailman nurmituotannon määräksi saatiin 12 miljardia tonnia kuiva-ainetta, joka on varsin lähellä Riverosin (päivämäärätön julkaisu) antamaa arviota nykyisin tuotetusta nurmisadosta. Nurmituotannon potentiaali olisi hänen mukaansa kolminkertainen ja sadon lisäämiselle olisi siten runsaasti mahdollisuuksia. Bioenergian tuotannon kannalta olennaista on kuinka suurta panostusta sadon lisäämiseen tarvitaan suhteessa lisäsadosta saatavaan tuottoon. Oletamme, että nurmituotannon kehittäminen kotieläintalouteen on kannattavaa, mutta todennäköisesti ei bioenergian tuotantoon.

4.3 Bioenergiakasvit eri osissa maailmaa

Bioenergian tuotanto peltokasveista on energiatehokasta, sillä kasveista saatu energiamäärä pinta-alaa kohden on huomattavasti suurempi kuin viljelyyn käytetty energia. Vaikka prosessointi kuluttaa nyky menetelmillä paljon ener-

giaa, suomalaisten tutkimusten mukaan (Mäkinen et al. 2006) energiataase peltoenergian tuotannossa on edelleen positiivinen.

Mahdollisuudet pelkästään bioenergiaksi käytettävien kasvien viljelyyn ovat suorassa yhteydessä ruoan tuotantoon käytettävän maa-alan riittävyteen. Olemme arvioineet vuoden 2050 bioenergiakasvien valikoimaa melko varovaisesti nykyisen tietämyksen perusteella (Taulukko 14). On täysin mahdollista, että myös muita kasveja viljellään energiataroituksiin paikallisesti. Öljypalmun tuotantoa jatketaan luultavasti nykyisillä alueilla trooppisessa Aasiassa ja viljelyä saatetaan laajentaa jonkin verran myös Afrikkaan ja Etelä-Amerikkaan. Öljypalmun viljely luonnontilaisia metsiä kaatamalla on saanut paljon kritiikkiä. Tulevaisuudessa sen viljelyä harjoitetaan todennäköisesti jo aikaisemmin muille kasveille viljelyyn otetuilla alueilla, mutta sen ensisijainen käyttö tulee silloin olemaan ravintokasvina. Nykyään on kiinnostuttu *Jatropha* puusta, öljykasvista, jonka viljelyalue on trooppisella ja subtrooppisella alueella laajempi kuin öljypalmun. Sen koeviljelyä on jo yli 1 miljoonalla hehtaarella. Alueet sijaitsevat pääasiassa jo nyt vedenpuutteesta kärsivillä alueilla, jossa kasvin sadontuotto on vaatimatonta. Suuremmat sadot vaativat kastelua ja keinolannoitusta. Sato kypsyy vähitellen ja joudutaan ainakin nykyään korjaamaan vielä käsin. Kasvinjalostuksella pystyttäisiin todennäköisesti parantamaan sen mahdollisuuksia bioenergiakasvina, mutta puuvartisten jalostustyö on vielä hitaampaa kuin ruohovartisten kasvien. Sokeriruoko on tulevaisuudessakin tärkeä bioenergiakasvi ja ravintokasvi.

Euroopassa satoisampien syysmuotoisten kasvilajien (syysviljat, syysrapsi) viljely yleistyy ja siirtyy pohjoisemmaksi, jossa niiden viljely bioenergiaksi tulee mahdolliseksi ruoantuotannosta ylijäävällä peltoalalla. Toisen sukupolven polttoaineiden valmistusteknologian kehittyessä suurisatoisten peltokasvien biomassaa ja myös selluloosapitoiset sivutuotteet ovat kiinnostavia raaka-aineita, sillä niiden biomassaa on helpompi prosessoida kuin esimerkiksi puuta. Tällaisia kasveja voisivat olla esimerkiksi Euroopassa *Miscanthus* ja *Sida*, ja Skandinaviassa edelleen ruokohelvi, ja mahdollisesti maissikin jo menestyy alueen eteläosissa. *Miscanthuksen* hallan kestävyys on heikko ja perustamiskustannukset kalliit, joten sen viljely onnistuu parhaiten maissin viljelyalueella, jossa sen sadontuottokyky pääsee oikeuksiinsa.

Puuvartisten bioenergiakasvien kasvattaminen pellolla merkitsee käytännössä pellon metsittämistä. Jos pelto halutaan ottaa uudelleen ruoan tuotantoon, juurakot joudutaan nostamaan ja ojitus uusimaan. Useimmat nopeakasvuiset puulajit käyttävät paljon vettä, mikä rajoittaa niiden viljelyä kuivilla alueilla. Bioenergiakasvien tuotanto vaatii aina lannoittamista ja kasvinsuojelua, mikä aiheuttaa kasvihuonekaasupäästöjä. Jos bioenergiakasveja käyttämällä halutaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, on satotason oltava korkea ja koko biomassaa hyödynnettävä tavalla tai toisella. Fossiilisten tuotantopanosten määrää viljelyssä ja prosessoinnissa tulisi vähentää nykyisestään.

5 Johtopäätökset ja yhteenveto

Kun alueellinen ruokahuolto otetaan huomioon, varsinaisia bioenergiakasveja voitaisiin tuottaa tällä hetkellä Australiassa, Kanadassa, Keski- ja Etelä-Amerikassa, Meksikossa, USA:ssa ja Euroopassa (FSU, EEU ja WEU), jos dieettinä olisi kasvisruoka; Australiassa, Kanadassa, Keski- ja Etelä-Amerikassa, Meksikossa ja USA:ssa, jos dieettinä olisi liha-kasvisruoka; ja ainoastaan Australiassa ja Kanadassa, jos dieetti olisi lihavaltainen. Sivutuotteita sen sijaan olisi saatavilla teoriassa kaikilla alueilla. Maailman bioenergian tuotanto tällä hetkellä voisi olla yhteensä n. 53 (lihadieetti)-140 (kasvisdieetti) EJ vuodessa (Taulukko 15).

Tulevaisuudessa bioenergiakasvien potentiaalisia tuotantoalueita olisi Australiassa, Kanadassa, Keski- ja Etelä-Amerikassa (CSA), Meksikossa, USA:ssa ja Euroopassa (EEU, FSU, WEU), jos dieettinä olisi kasvisruoka, Australiassa, Kanadassa, Keski- ja Etelä-Amerikassa, USA:ssa, entisen Neuvostoliiton alueella (FSU) ja Itä-Euroopassa (EEU) jos dieettinä olisi liha-kasvisruoka ja ainoastaan Australiassa ja entisen Neuvostoliiton alueella, jos dieetti olisi lihavaltainen. Lisäksi joka alueella voidaan teoriassa korjata peltokasvituotannon sivuvirtoja teknisen potentiaalin verran. Maailman bioenergian tuotanto vuonna 2050 voisi näillä edellytyksillä olla yhteensä n. 85 (lihadieetti)-181 (kasvisdieetti) EJ vuodessa.

Tulevaisuuden tilanne näin arvioituna saattaa olla melko optimistinen bioenergian tuotannon kannalta. Kasvintuotannon sivutuotteita ei voida korjata joka vuosi tai kaikilta alueilta täysimääräisesti, kuten tässä olemme oletaneet. Tutkimustietoa on saatavissa hyvin rajallisesti siitä, kuinka paljon sivutuotteita voidaan korjata ja kuinka usein. Lisäksi hävikit elintarvikeketjun eri vaiheissa lisäävät kehittyneissä maissa ruoan tuotantoon tarvittavaa maa-alaa ja siten vähentävät bioenergian potentiaalista tuotantoalaa. Vaikka B1-skenaarion mukaan maailmasta tulisi tulevaisuudessa yhtenäisempi, tässä tutkimuksessa on pidetty todennäköisempänä, että ruokahuolto hoidetaan alueellisesti, ja yli jäävä tuotantokin myydään maailmanmarkkinahintaan. Näin laskettuna tietyille alueille jää yli maata bioenergian tuotantoon. Koko maapallon ruoantuotanto nykyisellä peltoalalla riittäisi tasan jaettuna vielä vuonna 2050 ravitsemaan ruokaan jokaiselle maapallon asukkaalle (GE henkilöä kohti n. 800). Jos tuotanto tasattaisiin näin, bioenergian tuotannolle ei jäisi ollenkaan peltoalaa.

Taulukko 15. Pellolla tuotettavan biomassan potentiaaliset energiamäärät (EJ) nyt ja tulevaisuudessa eri ruokavalioidella. 1 EJ=277,8 TWh.

2006	Sivutuote EJ	Bioenergiakasvit EJ			Yhteensä EJ 2006		
	tekninen potentiaali	kasvis	seka	liha	kasvis	seka	liha
AFR	2,8	0,0	0,0	0,0	2,8	2,8	2,8
AUS	0,7	12,2	10,8	8,4	12,8	11,5	9,1
CAN	0,9	4,5	3,1	0,8	5,4	4,1	1,7
CHI	7,2	0,0	0,0	0,0	7,2	7,2	7,2
CSA	6,0	34,7	18,6	0,0	40,7	24,6	6,0
EEU	1,2	0,3	0,0	0,0	1,5	1,2	1,2
FSU	2,6	4,3	0,0	0,0	6,9	2,6	2,6
IND	5,6	0,0	0,0	0,0	5,6	5,6	5,6
JPN	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
MEA	1,1	0,0	0,0	0,0	1,1	1,1	1,1
MEX	0,6	5,4	0,1	0,0	6,0	0,7	0,6
ODA	6,5	0,0	0,0	0,0	6,5	6,5	6,5
SKO	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
USA	5,7	35,1	20,5	0,0	40,8	26,3	5,7
WEU	2,9	0,0	0,0	0,0	2,9	2,9	2,9
Maailma EJ	44	96	53	9	140	97	53

2050	Sivutuote EJ	Bioenergiakasvit EJ			Yhteensä EJ 2050		
	tekninen potentiaali	kasvis	seka	liha	kasvis	seka	liha
AFR	3,1	0,0	0,0	0,0	3,1	3,1	3,1
AUS	1,6	12,3	10,5	7,3	13,9	12,1	8,9
CAN	1,7	4,5	2,9	0,0	6,2	4,6	1,7
CHI	6,1	0,0	0,0	0,0	6,1	6,1	6,1
CSA	6,4	26,8	4,7	0,0	33,2	11,1	6,4
EEU	1,6	5,5	3,0	0,0	7,0	4,5	1,6
FSU	5,1	47,3	40,9	29,4	52,4	46,1	34,5
IND	4,4	0,0	0,0	0,0	4,4	4,4	4,4
JPN	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2
MEA	1,1	0,0	0,0	0,0	1,1	1,1	1,1
MEX	1,0	3,1	0,0	0,0	4,1	1,0	1,0
ODA	3,1	0,0	0,0	0,0	3,1	3,1	3,1
SKO	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
USA	9,1	26,3	7,2	0,0	35,4	16,3	9,1
WEU	4,4	6,3	0,0	0,0	10,7	4,4	4,4
Maailma EJ	49	132	69	37	181	118	85

6 Kirjallisuus

- Achten, W.M.J., Verchot, L., Franken, Y.J., Mathijs, E., Singh, V.P., Aerts, R., Muys, B. 2008. *Jatropha* bio-diesel production and use. *Biomass and Bioenergy* 32: 1063–1084.
- Andrews, S.S. 2006. Crop residue removal for biomass energy production: Effects on soils and recommendations (White Paper, 15 p., Updated February 22, 2006). http://soils.usda.gov/sqi/management/files/AgForum_Residue_White_Paper.pdf
- Berndes, G., Hoogwijk, M., van den Broek, R. 2003. The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy* 25: 1-28.
- Blanco-Canqui, H., Lal, R. 2008. Corn stover removal impacts on micro-scale soil physical properties. *Geoderma* 145 (3-4): 335-346.
- Borkowska, H., Styk, B., Molas, R. 2008. Virginia mallow – Huge potential for one of the most promising perennial biomass crops. *World of Renewables*. <http://www.worldofrenewables.com> (Luettu 16.11.2008).
- Bot, A., Benites, J. 2005. The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food and production. *FAO Soils Bulletin* 80. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2005. <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/sb80e.pdf>
- Carter, T.R. 1998. Changes in the thermal growing season in Nordic countries during the past century and prospects for the future. *Agricultural and Food Science in Finland* 7: 161-179.
- Country Pasture Profiles: <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/pasture/forage>
- Danfors, B., Ledin, S., Rosenqvist, H. 1998. Short rotation willow coppice. Growers manual. Swedish Institute of Agricultural Engineering. Uppsala, Sweden. 40 p.
- Department of Primary Industries and Water. 2008. Soil organic matter. <http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/WebPages/TPRY-5YW6YZ?open>
- EEA (European Environment Agency) 2006. How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? EEA Report 7/2006.
- EEA (European Environment Agency) 2007. Estimating the environmentally compatible bioenergy potential from agriculture. EEA Technical report 12/2007.

- El Bassam, N. 1998. Energy plant species. Their use and impact on environment and development. James & James Science Publisher Ltd, London, UK. 321 p.
- Emerging Markets Online 2008. Biodiesel 2020. Global market survey, feedstock trends and market forecasts. www.emerging-markets.com
- Ericsson, K., Rosenqvist, H., Nilsson, L.J. 2007. Future energy crop production costs in the EU. Proceedings of 15th European Biomass Conference & Exhibition, 7-11 May 2007. Berlin, Germany. pp 2203-2207.
- EUROSTAT 2008, Eurostat Pocketbooks, Agricultural statistics Main results – 2006-2007, 2008 edition. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-ED-08-001/EN/KS-ED-08-001-EN.PDF (11.11.2008)
- 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.
- FAO, FAOSTAT <http://faostat.fao.org/> (20.10.2008).
- 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.
- Griffin, T. 2008. Soil Organic Matter. University of Maine Cooperative Extension, Bulletin #2288. <http://www.umext.maine.edu/onlinepubs/htmpubs/2288.html>.
- Hagström, M., Vartiainen, E., Vanhanen, J. 2005. Biokaasun maatalatuotannon kannattavuusselvitys. Gaia Group Oy. <http://www.mmm.fi/fi/index/julkaisut/tyoryhmamuistiot.html>
- Hakala, K. 1998. Growth and yield potential of spring wheat in a simulated changed climate with increased CO₂ and higher temperature. *European Journal of Agronomy* 9: 41-52.
- Hoogwijk, M., Faaij, A., Eickhout, B., de Vries, B., Turkenburg, W. 2005. Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios. *Biomass and Bioenergy* 29: 225-257.
- Hosamani, K.M., Hiremath, V.B., Keri, R.S. 2008. Renewable energy sources from *Michelia champaca* and *Garcinia indica* seed oils: A rich source of oil. *Biomass and Bioenergy*. doi:10.1016/j.biombioe.2008.05.010 (in press)
- IEA 2008. IEA Statistics. International Energy Agency. World Energy statistics.

- IPCC 2000. Emissions scenarios. In: Nakicenovic, N., Swart, R. (eds) Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, England. 570 p.
- IPCC 2007a. Summary for policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC 2007b. Summary for policymakers. In: Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 7-22.
- Jensen, K., Clark, C.D., Ellis, P., English, B., Menard, J., Walsh, M., de la Torre Ugarte, D. 2007. Farmer willingness to grow switchgrass for energy production. *Biomass and Bioenergy* 31 (11-12): 773-781.
- Jylhä, K., Tuomenvirta, H., Ruosteenoja, K. 2004. Climate change projections for Finland during the 21st century. *Boreal Environment Research* 9: 127
- KOM(2005) 628 lopullinen. Komission Tiedonanto: Biomassaa koskeva toimintasuunnitelma. Bryssel 07.12.2005.
- KOM(2006) 848 lopullinen. Komission tiedonanto neuvostolle ja Euroopan parlamentille "Vihreän kirjan seurantoimi — Kertomus edistymisestä uusituvista energialähteistä tuotetun sähkön käytössä.
- Lal, R. 2005. World crop residues production and implications of its use as a biofuel. *Environment International* 31: 575-584.
- Lampinen, A., Jokinen, E. 2006. Suomen maatalojen energiantuotantopotentiaalit 2006. Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 84. 160 p.
- Lindh, T., Kärki, J., Impola, R., Paappanen, T., Leino, T., Kallio, E., Rinne, S., Lötjönen, T., Kirkkari, A.-M. 2007. The development of reed canary grass fuel chain. In: Mia Savolainen (ed.). *Bioenergy 2007*, 3.- 6.9.2007, Jyväskylä, Finland: Book of proceedings. FINBIO publication 36: 329-336.
- Lindstrom, M.J. 1986. Effects of residue harvesting on water runoff, soil erosion and nutrient loss. *Agriculture Ecosystems & Environment* 16: 103-112.
- McLaughlin, S.B., Adams Kszos, L. 2005. Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States. *Biomass and Bioenergy* 28: 515–535.

- McLaughlin, S., Bouton, J., Bransby, D., Conger, R., Ocumpaugh, W., Parish, D., Taliaferro, C., Vogel, K., Wulschleger, S. 1997. Evaluating and improving switchgrass as a bioenergy crop. In: R.P. Overend, E. Chornet (eds), Making a business from biomass in energy, environment, chemicals, fibres and materials vol. 2, Pergamon, Montreal, Canada (1997), pp. 137–141.
- 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 (6): 549-563.
- Moreira 2008. Biomass for energy: Uses, present market, potential and costs. In: Hohmeyer, O., Trittin, T. (eds) IPCC scoping meeting on renewable energy sources. Proceedings. Lübeck, Germany, 20-25 January, 2008. Intergovernmental panel on climate change. p. 13-31. <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg3.htm>
- Mäkinen, T., Soimakallio, S., Paappanen, T., Pahkala, K., Mikkola, H. 2006. Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit. VTT tiedotteita 2357. 134 p. <http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2357.pdf>
- Nikolaisen, L. (ed.) 1998. Straw for energy production. Technology-Environment-Economy. Second edition. Centre for Biomass Technology, Denmark. 53 p.
- NNFCC 2007. Area statistics for non-food crops. National Non-Food Crops Centre. <http://www.nnfcc.co.uk>
- OECD/IEA 2006. The outlook for biofuels. In: World Energy Outlook 2006. International Energy Agency. pp. 385-417.
- 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.
- Openshaw, K., 2000. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. *Biomass and Bioenergy* 19: 1–15.
- Pahkala, K., Aalto, M., Iso-lahti, M., Poikola, J., Jauhiainen, L. 2008a. Large-scale energy grass farming for power plants—A case study from Ostrobothnia, Finland. *Biomass and Bioenergy* 32: 1009 – 1015.
- Pahkala, K., Kontturi, M. 2008. Korsibiomassojen laatu bioetanolin raaka-aineena. In: Hopponen, A. (ed.) Maataloustieteen Päivät 2008, 10.11.1.2008. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 23: 6 p. http://www.smts.fi/mpol2008/index_tiedostot/Esitelmat/es044.pdf
- Pahkala, K., Kontturi, M., Kallioinen, A., Myllymäki, O., Uusitalo, J., Siika-Aho, M., von Weymarn, N. 2007. Production of bio-ethanol from barley

- straw and reed canary grass: a raw material study. In: 15th European Biomass Conference & Exhibition, from research to market deployment: Proceedings of the International Conference held in Berlin, Germany, 7-11 May 2007. Berlin: ETA-Renewable Energies. pp. 154-157.
- Pahkala, K, Mela, T., Laamanen, L. 1994. Agrokuidun tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Suomessa: alustavan tutkimuksen loppuraportti 1990-1992. Maataouden tutkimuskeskus. Tiedote (1994):12/94, 55 p.
- Pahkala, K., Pahkala, E., Syrjälä, H. 2008b. Northern limits to fibre hemp production in Europe. Journal of Industrial Hemp, Vol. 13(2): 104-116.
- 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.
- Pasila, A., 2004. The dry-line method in bast fibre production. Diss: University of Helsinki, Faculty of Agriculture and Forestry. 66 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
- Prochnow, A., Plöchl, M., Jacobs, H., Heiermann, M., Idler, C. 2007. Potential of grass-land in the EU to renewable resources. NJF Report 3 (4): 31-36. <http://www.njf.nu/site/redirect.asp?p=1342>
- Renewable fuels association 2008. U.S. Fuel ethanol industry biorefineries and production capacity. <http://www.ethanolrfa.org/industry/locations/> Last update 23.10.2008. (24.10.2008)
- Riveros, F. (päiväämäärätön). FAO Grassland Group Document. www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/PUBLICAT/GRASSLAND/3.pdf
- Schmer, M.R., Vogel K.P., Mitchell R.B. Perrin, R.K. 2008. Net energy of cellulosic ethanol from switchgrass. PNAS 105, 2: 464–469. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0704767105 (Luettu 24.11.2008)
- Spooner, D.M., Cusick, A.W., Hall, G.H., Baskin, J.M. 1985. Observations on the distribution and ecology of *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby (Malvaceae). SIDA 11(2): 215-225.
- Staniforth, A.R. 1979. Cereal straw. Oxford University Press, UK. 175 p.
- Sundberg, M., Westlin, H., 2005. Hampa som bränsleråvara. Förstudie. JTI rapport. Lantbruk & Industri 341. 28 p.
- Suominen, M. 2007. Finbion peltoenergiavisio 2020. Bioenergiapäivät 2007. (21.-22.11.2007). Finbion julkaisu 38: 39-41.

- Tike 2007. Käytössä oleva maatalousmaa vuonna 2007. MMM:n tietopalvelukeskus www.matilda.fi
- Tike 2008. Käytössä oleva maatalousmaa vuonna 2008 MMM:n tietopalvelukeskus. 11.12.2008. www.matilda.fi
- Tilastokeskus 2008. Energian kokonaiskulutus. http://www.stat.fi/til/ekul/2007/ekul_2007_2008-12-12_tie_001.html Julkaistu 12.12.2008. Luettu 28.12.2008.
- United Nations 2007. World Population Prospects: The 2006 Revision.
- Vapo 2008. Ruokohelpi polttoaineena. Paikalliset polttoaineet. <http://www.vapo.fi/filebank/3260-polttoesite.pdf>. Luettu 29.12.2008.
- Varvel, G.E., Wilhelm, W.W. 2008. Soil carbon levels in irrigated western Corn Belt rotations. *Agronomy Journal*, 100 (4): 1180-1184.
- van der Werf, H.M.G., Meijer, W.J.M., Mathijssen, E.W.J.M., Darwinkel, A . 1993 Potential dry matter production of *Miscanthus sinensis* in The Netherlands. *Industrial Crops and Products* 1: 203–210.
- von Weymarn, N. (toim.) 2007. Bioetanolina maatalouden selluloosavirroista . VTT tiedotteita 2412. 44 p. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/t2412.pdf>
- Wilhelm, W.W., Johnson, J.M.E., Karlen, D.L., Lightle D.T. 2007. Corn stover to sustain soil organic carbon further constrains Biomass supply. *Agronomy Journal* 99 (6): 1665-1667.
- Wolf, J., Bindraban, P.S., Luijten, J.C., Vleeshouwers, L.M. 2003. Exploratory study on the land area required for global food supply and the potential global production of bioenergy. *Agricultural Systems* 76: 841-861.
- Woods, J., Tipper, R., Brown, G., Diaz-Chavez, R., Lovell, J., de Groot, P. 2006. Evaluating the sustainability of co-firing in the UK. Themba Technology Ltd and the Edinburgh Centre for Carbon Management. DTI Report URN 06/1960. 63 p. <http://www.berr.gov.uk/files/file34448.pdf>, Luettu 11.11.2008.
- WorldWatch Institute 2007. Biofuels for transport. Earthscan, London and Sterling VA. 452 p.

7 Liitteet

Liite 1.

Luettelo energia-arvojen laskemista varten muodostetuista alueista ja maista (Global Times).

AFR Afrikka

Algeria, Angola, Benin, Kamerun, Kongo, Kongo Republic, Egypti, Etiopia, Gabon, Ghana, Norsunluurannikko, Kenia, Libya, Marokko, Mosambik, Nigeria, Senegal, Etelä-Afrikka, Sudan, Tansania, Tunisia, Zambia, Zimbabwe, Botswana, Burkina Faso, Burundi, Cape Verde, Keski-Afrikan tasavalta, Chad, Djibouti, Päiväntasaajan Guinea, Gambia, Guinea, Guinea-Bissau, Lesotho, Liberia, Madagaskar, Malawi, Mali, Mauritania, Mauritius, Niger, Reunion, Ruanda, Sao Tome and Principe, Seychellit, Sierra Leone, Somalia, Swazimaa, Togo, Uganda.

AUS Australia ja Uusi-Seelanti

CAN Kanada

CHI Kiina

CSA Keski- ja Etelä-Amerikka: Argentiina, Bolivia, Brazil, Chile, Colombia, Costa Rica, Kuuba, Dominikaaninen Tasavalta, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Haiti, Honduras, Jamaika, Alankomaiden Antillit, Nicaragua, Panama, Paraguay, Peru, Trinidad-Tobago, Uruguay, Venezuela, Antigua ja Barbuda, Bahamas, Barbados, Belize, Bermuda, Dominica, Ranskan Guayana, Grenada, Guadeloupe, Guyana, Martinique, St. Kitts and Nevis, St. Lucia, St. Vincent and Grenadines, Surinam.

EEU Itä-Eurooppa: Albania, Bosnia-Herzegovina, Bulgaria, Kroatia, Tsekin tasavalta, Unkari, Makedonia, Puola, Romania, Slovakia, Slovenia, Jugoslavia

FSU Entisen Neuvostoliiton maat: Armenia, Azerbaidzhan, Valko-Venäjä, Viro, Georgia, Kazakstan, Kirgisia, Latvia, Liettua, Moldova, Venäjä, Tadzikistan, Turkmenistan, Ukraina, Uzbekistan

IND Intia

JPN Japani

MEA Lähi-Itä: Bahrain, Kypros, Iran, Irak, Israel, Jordan, Kuwait, Libanon, Oman, Qatar, Saudi Arabia, Syyria, Turkki, Yhdistynyt Arabiemiirikuntien liitto, Jemen

MEX Meksiko

ODA Muut Aasian maat: Bangladesh, Brunei, Kiina Taipei, Indonesia, North Korea, Malesia, Myanmar, Nepal, Pakistan, Filippiinit, Singapore, Sri Lanka, Thaimaa, Vietnam, Afganistan, Bhutan, Fiji, French Polynesia, Kiribati, Malediivit, Uusi Kaledonia, Papua-New-Guinea, Samoa, Salomonsaaret, Vanuatu.

SKO Etelä-Korea

USA Yhdysvallat

WEU Länsi-Eurooppa: Itävalta, Belgia, Tanska, Suomi, Ranska ja Monako, Saksa, Gibraltar, Kreikka, Grönlanti, Islanti, Irlanti, Italia +San Marinoja Vatikaani, Luxemburg, Malta, Alankomaat, Norja, Portugali, Espanja, Ruotsi, Sveitsi ja Liechtenstein, Iso-Britannia ja Pohjois-Irlanti

Liite 2.

Tutkimuksen sivuvirta-analyseissä käytettyjen kasvien satoindeksit ja kuiva-ainepitoisuus (KA%) kirjallisuusviitteineen.

Nimi	English	Tieteellinen nimi	Satoindeksi	Viite	KA% Viite
Viljat					
ohra	spring barley	Hordeum vulgare L.	0,55	0,491 ¹ ; [0,515 (2-row)-0,553 (6-row)] ³ ; [0,55-0,63 (UK), 0,33-0,49 (Canada)] ⁴ ; 0,5/0,49 ⁷	86 86 ^{42,43}
syysohra	winter barley	Hordeum vulgare L.	0,55	0,43-0,57 ⁴	86 86 ⁴³
kevätvehnä	spring wheat	Triticum aestivum L.	0,45	0,39 ¹ ; 0,40-0,55 ² , 0,401 ³ , (0,31-0,51, 0,38-0,41, 0,37-0,47) ⁴	86 86 ⁴³
syysvehnä	winter wheat	Triticum aestivum L.	0,45	0,43-0,54 ⁴	86 86 ⁴³
riisi	rice, wetland	Oryza sativa L.	0,55	0,55-0,62 with shell ⁴ ; 0,35-0,59 ⁴	86 86 ³⁸ ; 85 ⁴⁴
kaura	oats	Avena sativa L.	0,50	0,52 ¹ ; 0,40-0,55 ² ; 0,464 ³	86 86 ⁴³
ruis	rye	Secale cereale L.	0,40	0,35 ¹ ; [0,48 (hybr), 0,39 (pop.)] ⁵ ; [Hybr 0,40-0,52, Riihi 0,30-0,41] ⁸	86 86 ⁴³
maissi	corn, maize	Zea Mays L.	0,55	0,52 ¹ ; 0,40-0,55 ² ; [0,36-0,46, 0,42-0,49, 0,47-0,57] ⁴	86 86; 87 ⁴³
ruisvehnä	triticale	Triticale	0,45	0,45-0,47 ⁴	86 86
durra (hirssi)	sorghum, black millet	Sorghum bicolor (L.) Moench	0,50	0,52 ¹ ; 0,40-0,55 ²	86 86; 87 ⁴³
Kanarian helpi	canary seed	Phalaris canariensis L.	0,23	(0,23) ¹⁶	86 86
hirssi	millet	Panicum miliaceum L.	0,50	no ref (HI estimate 0,5)	86 86; 87 ⁴³
tattari	buckwheat	Fagopyrum esculentum Moench.	0,30	0,19/0,49 ⁷ ; 0,3 ¹⁴ .	86 86
Palkokasvit					
papu	beans	Phaseolus vulgaris L., V.faba	0,55	0,55 ¹ ; 0,45-0,55 ² ; [Phaseol: 0,4-0,5] ³¹	89 89 87 ⁴⁴
heme	peas	Pisum sativum L.	0,50	0,45-0,55 ² ; 0,53 ²⁵ ; 0,45 ³²	85 86; 85 ³⁹
kikheme	chickpea	Cicer arietinum L., winter	0,44	0,28-0,36 ⁴ ; 0,52 ²⁵ ; 0,3 ³¹ ; 0,44 ³²	86 86
lehmänpapu	cowpea	Vigna unguiculata L.	0,54	[det: 0,44-0,64 indet: 0,15-0,29] ⁴ ; 0,3-0,4 ³¹	86 86
linssi	lentils	Lens esculenta Moench.	0,50	0,45-0,55 ² ; 0,57 ²⁵ ; 0,46 ³²	86 86
härkäpapu	faba bean	Vicia faba L.	0,55	0,5 ²⁹ ; 0,6 ³⁰	89 86, 89 ³⁹ ; 87 ⁴⁴
lupiini	narrow-leaved lupin	Lupinus angustifolius L.	0,42	0,44 ²⁵ ; 0,41 ³²	86 86
virnat	vetches	Vicia ssp	0,45	(0,14-0,47) ³³	86 86
kyyhkynherne	pigeon pea	Cajanus cajan (L.) Millsp.	0,50		86
Öljykasvit					
auringonkukka	sunflower	Helianthus annuus L.	0,40	0,40 ^{1,28} ; 0,30-0,35 ²	91 91
öljypellava	linseed	Linum usitatissimum L.	0,50	0,5 ⁶ ; 0,16/0,30 ⁷	91 91; 92 ⁴⁴
rapsi	oilseed rape	Brassica napus L.	0,35	0,22-0,38 ⁴	91 91; 92 ⁴⁴
kitupellava	camelina	Camelina sativa (L.) Crantz	0,35	0,30/0,29 ⁷	91 91
kevättrypsi	turnip rape	Brassica rapa L.	0,35	0,27-0,46 ⁹	91 91; 92 ⁴⁴
soija	soybean	Glycine max L.	0,40	0,42 ¹ ; 0,25-0,35 ² ; 0,35-0,53 ⁴ ; 0,46 ²⁸	89 86, 87 ⁴⁴ ; 87-90 ⁴⁵
öljypuu (oliivipuu)	olives	Olea europaea L.	0,70	[31 kg ka/100 kg olives] ¹⁰	30 30
maapähkinä	groundnuts	Arachis hypogaea L.	0,45	[kuoret 31% 0,21] ¹⁷ ; 0,45 ²⁶	
risiini	Castor oil seed	Ricinus communis L.	0,01	(0,01) ¹⁸	91
melooni	Melonseed	Citrullus vulgaris Schrad.	0,25	0,20-0,25 ¹⁹	91
puuvilla	seed cotton	Gossypium hirsutum L.	0,31	(0,31) ²⁰	91 92 ⁴⁴
puuvilla	cottonseed	Gossypium hirsutum L.	0,31	(0,31) ²⁰	91 92 ⁴⁴
saffori	Safflower seed	Carthamus tinctorius L.	0,30	0,17-0,32 ²¹ ; 0,16-0,26 (n. 0,2) ²³ ; 0,38 ²⁴	91 92 ⁴⁴
seesami	Sesame seed	Sesamum indicum L.	0,22	0,21-0,23 ²²	91
öljypalmu	Oil palm fruit	Elaeis guineensis Jacq.	0,22		35
Juurikasvit					
maniokki	cassava	Manihot esculenta Cranz	0,55	0,30-0,65 ⁴ ; [0,5-0,6] ¹¹ ; 0,31-0,58 ¹²	35 35 ¹¹
peruna	potato	Solanum tuberosum L.	0,55	0,55 ¹ ; 0,47-0,62 ⁴	30 21-33 ³⁹
bataatti	sweet potato	Ipomoea batatas (L.) Lam.	0,68	[0,68 dm%27] ¹³ ; 0,25 ¹⁵	27 23,8-33 ¹³
taro	taro	Colocasia esculenta (L.) Schott	0,90	0,57 ¹⁵ ; >0,9 ²⁷	
yams	jamssi	Dioscorea spp.	0,81	0,81 ⁴⁶	40 32,5 ³⁸
Sokerikasvit					
sokerijuurikas	Sugar beet	Beta vulgaris L. subsp. vulgaris	0,66	(0,66) ³⁵	21 24 ⁴¹
sokeriruoko	Sugar cane	Saccharum officinarum L.	0,68	(0,68) ³⁵	49 49 ³⁵ ; [30-31] ⁴⁰

Kirjallisuus

1. Ecological Archives E086-098-A1.
2. www.bsyste.wsu.edu/cropsyst/manual/parameters/crop/harvest.htm
3. Peltonen-Sainio, P., Muurinen, S., Rajala, A., Jauhainen, L. 2008. Variation in harvest index of modern spring barley, oat and wheat cultivars adapted to northern growing conditions. *The Journal of Agricultural Science* 146, 1: 35-47.
4. Hay, R.K.M. 1995. Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology. *Annals of Applied Biology* 126:197-216.
5. Hakala, K. and Pakkala, K. 2003. Comparison of central and northern European winter rye cultivars grown at high latitudes. *The Journal of Agricultural Science* 141: 169-178.
6. Sankari, H. 2000. Linseed (*Linum usitatissimum* L.) cultivars and breeding lines as stem biomass producers. *Journal of Agronomy and Crop Science* 184:225-231.
7. Hakala, K. 2008. MONIKASVI-tutkimus, peltokoe (2004) ja astiakoe (2003). Julkaisemattomat tulokset. Unpublished results.
8. Pakkala, K., Laine, A., Vuorinen, M., Niskanen, M., Hakala, K., Huusela-Veistola, E., Jalli, H., Avikainen, H., Euroala, M., Salmenkallio-Marttila, M. 2004. Kylvöajan ja kasvinsuojelun vaikutus rukiin versoutumiseen, sadonmuodostukseen ja laatuun.
In: Simo Hovinen et al. Rukiin jalostuksen ja viljelyn tehostaminen pohjoisilla viljelyalueilla. Maa- ja elintarviketalous 48: s. 50-90. <http://www.mtt.fi/met/pdf/met48.pdf>
9. Pakkala, K. 2008. Rypsin viljelyvarmuuden parantaminen. Peltokokeet 2002-2004. Julkaisemattomat tulokset. Unpublished results.
10. TDC Olive. By-product reusing from olive and olive oil production. EU project: FOOD-CT-2004-505524. Technologia Transfer Zentrum, Bremenhaven. <http://www.biomatnet.org/publications/1859bp.pdf> (5.12.2007)
11. Rajan, K.S., Shffiasaki, R. & Takagi, M. 1995. Simulating Agricultural Land Use Changes in Thailand. Proceedings of the 16th Asian Conference on Remote Sensing November 20-24, 1995. Nakhon Ratchasima, Thailand. <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1995/>
12. Asante, K., Dixon, A.G.O. 2006. Field screening of Cassava (*Manihot esculenta* Cranz) germplasm for desirable traits by the use of augmented design. http://www.wajae.org/papers/papers_vol10/field_screening_of_cassava_full.pdf
13. Li, H. M 1990. Sweet potato varietal trial. ARC Training. 4 p. [http://www.arc-avrde.org/pdf_files/Lihongmin\(8-N\).pdf](http://www.arc-avrde.org/pdf_files/Lihongmin(8-N).pdf)
14. Schulte auf'm Erley, G., Kaul, H.-P., Kruseb, M., Aufhammerb, W. 2005. Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization. *European Journal of Agronomy* 22: 95-100.
15. Hartemink, A.E., Johnston, M., O'Sullivan, J.N. & Poloma, S. 2000. Nitrogen use efficiency of taro and sweet potato in the humid lowlands of Papua New Guinea. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 79: 271-280.
16. Ford, J.F., Norton R.M., Knights, S.E., Flood, R.G. 2001. High Sowing Rates Reduce Seed Weight in Canary Seed (*Phalaris canariensis* L.). The Australian Society of Agronomy. <http://www.regional.org.au/au/asa/2001/6/b/ford.htm>
17. Duke, J.A. & duCelliers J. 1993. CRC Handbook of alternative cash crops. CRC Press, London. P. 49-54.
18. Vanaja, M., Jyothi, M., Ratnakumar, P., Vagheera, P., Reddy, P. R., Lakshmi, N. J., Yadav, S.K., Maheshwari, M., Venkateswarlu, B. 2008. Growth and yield responses of Castor bean (*Ricinus communis* L.) to two enhanced CO₂ levels. *Plant Soil Environ.*, 54, (1):38-46.
19. Loy, JB. 1990. Hull-less seeded pumpkins: a new edible snackseed crop. In J.Janick and JE Simon (eds.) *Advances in new crops*. Timber Press Portland, OR. last update 4.9.1997. luettu 18.3.2008
20. Venugopalan, M.V., Pundarikakshudu, R. 1999. Long-term effect of nutrient management and cropping system on cotton yield and soil fertility in rainfed vertisols. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 55: 159-164, 1999. <http://www.springerlink.com/content/t6570n564xu72261/fulltext.pdf>
21. Koutroubas, S. D., Papakosta, D. K., Doitsinis A. 2004. Cultivar and seasonal effects on the contribution of pre-anthesis assimilates to safflower yield. *Field Crops Research* 90:263-274
22. El-Habbasha, S.F., Abd El Salam, M.S., Kabesh, M.O. 2007. Response of Two Sesame Varieties (*Sesamum indicum* L.) to Partial Replacement of Chemical Fertilizers by Bio-organic Fertilizers. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 3, (6):563-571.
23. Yau, S.K. 2007. Winter versus spring sowing of rain-fed safflower in a semi-arid, high-elevation Mediterranean environment. *European Journal of Agronomy* 26:249-256.
24. Lovelli, S., Perniola, M., Ferrara, A. & Di Tommaso, T. 2007. Yield response factor to water (Ky) and water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum melongena* L. *Agricultural Water Management* 92:73-80.
25. Ayaz, S., Mckenzie, B. A., Hill, G. D., Mcneil, D. L. 2004. Variability in yield of four grain legume species in a subhumid temperate environment I. Yields and harvest index. *The Journal of Agricultural Science* 142: 9-19.

26. Kiniry, J. R., Simpson, C. E., Schubert, A. M., Reed, J. D. 2005. Peanut leaf area index, light interception, radiation use efficiency, and harvest index at three sites in Texas. *The Journal of Field Crop Research* 91: 297-306.
27. Lu, H. Y., Lu, C. T., Chan, L. F., Wei, M. L. 2001. Seasonal variation in linear increase of taro harvest index explained by growing degree days. *The Agronomy Journal* 93:1136-1141.
28. Johnson, J. M.-F., Allmaras, R. R., Reicosky, D. C. 2006. Estimating source carbon from crop residues, roots and rhizodeposits using the national grain-yield database. *The Agronomy Journal* 98:622-636.
29. Turpin, J. E., Robertson, M. J., Hilcoat, N. S., Herridge, D. F. 2002. Fababean (*Vicia faba*) in Australia's northern grains belt: canopy development, biomass, and nitrogen accumulation and partitioning. *Australian Journal of Agricultural Research* 53:227-237
30. López-Bellido, R. J., López-Bellido, L., López-Bellido, F. J., Castillo J. E. 2003. Fababean (*Vicia faba* L.) response to tillage and soil residual nitrogen in a continuous rotation with wheat (*Triticum aestivum* L.) under rainfed Mediterranean conditions. *The Agronomy Journal* 95:1253-1261.
31. Tesfaye, K., Walker, S., Tsubo, M. 2006. Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. *The European Journal of Agronomy* 25:60-70
32. Ayaz, S., Moot, D. J., Mckenzie, B. A., Hill, G. D., Meneil, D. L. 2004. The use of a principal axis model to examine individual plant harvest index in four grain legumes. *Annals of Botany* 94:385-392.
33. Siddique, K. H. M., Loss, S. P., 1996. Growth and seed yield of vetches (*Vicia* spp.) in south-western Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 36, 5:587-93
34. Chin, C. M., Wahid, M. B., 2007. Biomass resources from the Malaysian palm oil industry. 15th European Biomass Conference & Exhibition, 7-11 May 2007, Berlin, Germany.
35. Ho, K. 2006. The potential of bagasse-based cogeneration in the US. Columbia University. <http://www.columbia.edu/~kjh2103/US-Bagasse-Cogen-Potential.pdf>
36. Jölli, D., Giljum, S., 2005. Unused biomass extraction in agriculture, forestry and fishery. SERI Studies, Sustainable Europe Research Institute (SERI), Vienna, Austria.
37. Min, L.H. 1990. Sweet potato varietal trial. ARC Training Report 1990. 1-4. [http://www.arc-avrdc.org/pdf_files/Lihongmin\(8-N\).pdf](http://www.arc-avrdc.org/pdf_files/Lihongmin(8-N).pdf)
38. Holland, B., Welch, A.A., Unwin, I.D., Buss, D.H., Paul, A.A. and Southgate, D.A.T. 1991. McCance and Widdowson's. The composition of foods, 5th edition, Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
39. Fineli®. Elintarvikkeiden koostumustietokanta. Versio 8. Helsinki 2007. Kansanterveyslaitos, ravitsemusyksikkö. <http://www.fineli.fi/>
40. Pate, F.M. 1981. Fresh chopped sugar cane in growing - finishing steer diets. *Journal of Animal Science* 53: 881-888. <http://jas.fass.org>
41. Juurikassarka 2006. 1: 12.
42. Official Statistics Sweden. 2008. Production of cereals, dried pulses, oilseed crops, potatoes and temporary grasses in 2007. Final statistics. JO 16 SM 0801
43. Komission asetus (EY) N:o 687/2008. 18.7.2008, maksajavirastojen tai interventioelinten suorittamaan viljan haltuunottoon soveltuvista menettelyistä sekä menetelmistä viljan laadun määrittämiseksi. Euroopan unionin virallinen lehti 192: 20-48.
44. Milbrandt, A. 2005. A geographic perspective on the current biomass resource availability in the United States. NREL Technical Report 560-39181, Appendix A.
45. Herbek, J.H. and Bitzer, M.J. Soybean Production in Kentucky, Part V: Harvesting, Drying, Storage, and Marketing, AGR-132, University of Kentucky Publications <http://www.ca.uky.edu/agc/pubs/agr/agr132/agr132.htm>
46. Goenaga, R.J., Irizarry, H. 1994. Accumulation and partitioning of dry matter in water yam. *Agronomy Journal* 86: 1083-1087.

Liite 3

Energian muuntokertoimet

	toe	MWh	GJ	Gcal
toe	1	11,638	41,868	10,00
MWh	0,086	1	3,600	0,860
GJ	0,0239	0,2778	1	0,239
Gcal	0,100	1,163	4,187	1

Etuliitteet

k	kilo	10^3	1000
M	mega	10^6	1 000 000
G	giga	10^9	1 000 000 000
T	tera	10^{12}	1 000 000 000 000
P	peta	10^{15}	1 000 000 000 000 000
E	eksa	10^{18}	1 000 000 000 000 000 000

