

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTON BIO- JA YMPÄRISTÖTIETEIDEN  
LAITOKSEN TIEDONANTOJA 84

Ari Lampinen ja Erja Jokinen

# SUOMEN MAATILOJEN ENERGIANTUOTANTOPOTENTIALIT

Ekologinen perspektiivi



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, 2006

Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 84  
Research reports in biological and environmental sciences 84

Ari Lampinen ja Erja Jokinen

**SUOMEN MAATILOJEN ENERGIANTUOTANTOPOTENTIALIT –  
EKOLOGINEN PERSPEKTIIVI**

Jyväskylän yliopisto, 2006

Toimittaja:

Ari Lampinen (ala@jyu.fi)

Valokuvat: Ari Lampinen (ellei muuta ole kuvatekstissä mainittu) [kuvanottovuosi on merkitty kuvatekstin lopussa]

Kansikuva: Olkietanolikäyttöinen Chevrolet Impala Flex Fuel YK:n ilmastokokouksessa joulukuussa 2005 Montrealissa. Niitä käytettiin ministerien ja muiden VIP-henkilöiden kyydittämiseen. Kanadalainen Iogen-yhtiö valmistaa etanolia oljesta liikennekäyttöön Ottawassa.

ISBN 951-39-2497-1

ISSN 1795-6900

Copyright © 2006 by University of Jyväskylä  
Jyväskylän yliopistopaino, 2006

## **ESIPUHE**

Tämä julkaisu on osa Maa- ja metsätalousministeriön rahoittamaa, syksyllä 2005 alkanutta BIOAGRE-hanketta, jossa tarkastellaan maataloilla tapahtuvan bioenergiatuotannon vaikutuksia aluetalouteen, tuotannon taloudellisia toimintaedellytyksiä ja tuotantopotentiaaleja eri alueilla sekä ympäristövaikutuksia. Hanketta koordinoi MTT Taloustutkimus ja vastuullisena johtajana on Marko Sinkkonen. Mukana ovat myös MTT Ympäristötutkimus, Oulun yliopiston Thule-instituutti, Suomen ympäristökeskus sekä Jyväskylän yliopiston Bio- ja ympäristötieteiden laitos. Hankkeen ohjausryhmässä ovat Veli-Pekka Reskola (pj., MMM), Ilpo Mattila (MTK), Marko Nokkala (VTT ja UM) ja Simo Kyllönen (SLL ja HY).

Käsillä oleva julkaisu on tuotettu BIOAGRE-hankkeen osaprojektissa, joka toteutettiin Jyväskylän yliopiston Bio- ja ympäristötieteiden laitoksella syksyn 2005 ja kevään 2006 välisenä aikana. Yliassistentti Ari Lampinen on kirjoittanut luvut 1, 2 ja 8 sekä liitteet. Ari Lampinen ja projektitutkija Erja Jokinen ovat yhdessä kirjoittaneet luvut 3-7. Erja Jokinen kirjoitti myös tämän projektin puitteissa pro gradu –tutkielman.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan rakenteellisesti maatalojen bioenergiatuotannon kansallisia ja alueellisia potentiaaleja ja tuotannon ympäristövaikutuksia tarkoituksena arvioida ekologisesti hyväksyttävä potentiaali resurssien käytölle lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä. Bioenergiapotentiaalien rinnalla arvioidaan maatalojen muiden energiaressurssien potentiaaleja sekä käydään läpi nykyiseen maatalojen energiantuotantoon ja käyttöön johtanutta kehitystä ja tulevaisuuden mahdollisuuksia, joita maatalojen energiaressurssien lisääntyvä ja monipuolistuva käyttö voi tarjota ekologisten reunaehtojen sisällä. Työ pohjautuu suurelta osin raportoituihin kansainvälisiin elinkaari pohjaisiin ympäristövaikutusten arviointeihin pääpainona ilmastonmuutosvaikutukset sekä kansainvälisiin maatalojen energiateknologian ja maatalojen energiaressursseja hyödyntävien energiateknologioiden kokemuksiin. BIOAGRE-hankkeen muut projektit keskittyvät erityisesti taloudellisten potentiaalien arviointiin ja maatalojen energiantuotannon sosioekonomisiin vaikutuksiin.

Tämän tutkimuksen tulevaisuusskenaario-osa linkittyy toiseen, alkuvaiheissa olevaan, tutkimushankkeeseen eli TEKESin Climbus-tutkimusohjelman ILMES-hankkeeseen, jossa rakennetaan Turun Kauppakorkeakoulun Tulevaisuuden tutkimuskeskuksen koordinoimana vuoteen 2050 ulottuvia tulevaisuuden tiekarttoja ilmastoystävällisen liiketoiminnan kehittämiseksi eri sektoreilla. Tämän julkaisun luku 8 kirjoitettiin siten, että se sopii suoraan pohjatyöksi ILMES-hankkeen maatalojen energiatekniikkaa koskevaa skenaariotyötä varten.

Jyväskylässä 19.5.2006

Ari Lampinen

## **TIIVISTELMÄ**

Tässä tutkimuksessa on tehty Suomen maatalojen energiaresurssien rakenteellisen potentiaaliarvion perustyö sekä kansallisella että – niiltä osin kuin se on ollut mahdollista – maakunnallisella tasolla. Pääpaino on ekologisen potentiaalin arvioinnilla eli ekologisesti hyväksyttävien rajojen asettaminen energiankäytön elinkaaren ympäristövaikutuksille, varsinkin ilmastonmuutokseen liittyen. Suomen maatalojen bioenergiaresurssien käytön ekologinen potentiaali osoittautuu moninkertaiseksi maatalojen omaan energiankulutukseen verrattuna sekä moottoripolttoaineiden (työkoneet ja liikenne), sähkön että lämmön kulutuksen osalta. Bioenergiaresurssit ovat merkittävät myös koko Suomen energiankulutukseen verrattuna. Maatalojen kaikkien energiaresurssien ekologinen potentiaali ylittää Suomen koko energiantarpeen monikymmenkertaisesti ja niiden käyttöönotto pudottaisi Suomen kasvihuonekaasujen päästöt murto-osaan nykyisestä tasosta – myös siinä tapauksessa, että Suomen energiankulutus edelleen jatkaa voimakasta kasvuaan.

Näistä resursseista huolimatta maatalojen energiaomavaraisuus on pudonnut viimeisen vuosisadan aikana noltaan lukuun ottamatta runsaan viidenneksen omavaraisuutta lämmön kulutuksessa. Tämän kehityksen osana menetettiin hyvin merkittävä kotimainen hajautetun energiantuotannon teknologiaklusteri – ja hyvin suuri määrä teknologioita. Sekä energia-, maatalous-, työllisyys-, että ympäristöpoliittisista syistä, paljolti kansainvälisen paineen seurauksena, maatalojen energiaomavaraisuus ja maatalojen energiaresurssien saaminen markkinoille (yliomavaraisuus) sekä kyseisten resurssien käyttöön liittyvän teknologiateollisuuden kehittäminen on nousemassa poliittiseen keskusteluun ja valtion rahoittamien tutkimusohjelmien aiheeksi.

Tehdyssä vuoteen 2050 ulottuvassa tiekartassa, eräässä mahdollisessa skenaariossa, maatalojen merkitys Suomen energiahuollossa nousee korkeammaksi kuin tuontien energian rooli on nykyään. Tiekartan toteuttaminen edellyttää Suomen energiateknologian diversiteetin hyvin suurta kasvattamista poliittisesti tietoisilla valinnoilla alkaen bioenergiaresurssia hyödyntävistä teknologioista, koska niillä on korkeimmat sosioekonomiset potentiaalit eli laajin hyväksyttävyyys yhdistettynä hallinnollisesti helposti toteutettavaan mikrotaloudelliseen kilpailukykyyn. Tiekartan oppaaksi on ekologisuuskriteerein muodostettu prioriteettijärjestys sekä erityyppisten bioenergiaresurssien käytöstä että niiden käyttötavoista, siis ekologisten vaikutusten eroista maatalojen intervention kohdistuessa vaihtoehtoisesti liikenteen polttoaineiden, sähkön tai lämmön tuotantoon.

Tämän raportin teknologiakartoitus osoittaa erittäin runsaan ja kypsän, kansainvälisiltä markkinoilta löytyvän, maatalojen energiaresurssien käyttöön soveltuvan ja ympäristövaikutusten kannalta myönteisen teknologisen diversiteetin olemassaolon. Mutta raportti jättää lukijan pohdittavaksi kysymyksen siitä, miten niin monen teknologian käyttö on Suomessa pystytty toistaiseksi välttämään ja onko olemassa edellytyksiä, tapaa ja syytä tehdä tulevaisuudesta toisenlainen. Kotimaisia esimerkkejä tarjotaan avuksi.

# SISÄLLYSLUETTELO

ESIPUHE .....	1
TIIVISTELMÄ.....	2
SISÄLLYSLUETTELO.....	3
TERMILUETTELO .....	6
Teho- ja energiayksiköt.....	8
Muuntokertoimet .....	8
<b>1. MAATILOJEN ENERGIANKÄYTÖN KEHITYS: HISTORIALLINEN TIEKARTTA .....</b>	<b>9</b>
1.1. GLOBAALIN KEHITYKSEN SUUNTAVIIVOJA.....	9
1.2. SUOMEN MAATILOJEN ENERGIANTUOTANNON KEHITYS.....	10
1.2.1. Paikallinen energiaomavaraisuus ja kansallinen energiateknologian omavaraisuus 1940-luvulle asti .....	14
1.2.2. Energiateknologian diversiteetin huippu 1940-luvulla .....	19
1.2.3. Maatilojen energiaomavaraisuuden ja hajautetun energiantuotannon teknologiaklusterin menettäminen 1940-luvun jälkeen .....	21
<b>2. MAATILOJEN ENERGIANTUOTANTOPOTENTIAALI.....</b>	<b>24</b>
2.1. JOHDANTO RAKENTEELLISEEN ENERGIAPOTENTIAALIANALYYSIIN .....	24
2.2. AURINKO- JA BIOENERGIARESURSSIEN POTENTIAALIT .....	26
2.2.1. Aurinkoenergia .....	27
2.2.2. Bioenergia.....	31
2.2.2.1. Biologinen potentiaali .....	31
2.2.2.2. Teknologinen, tekninen ja kemiallinen potentiaali.....	31
2.2.2.3. Ekologinen potentiaali .....	36
2.2.2.4. Muut potentiaalit .....	46
2.3. MUIDEN UUSIUTUVIEN ENERGIAMUOTOJEN POTENTIAALIT.....	48
2.3.1. Geoterminen energia .....	48
2.3.2. Tuulienergia .....	49
2.3.3. Vesivoima .....	50
2.3.4. Aaltovoima, vuorovesivoima ja merivirtavoima .....	50
2.4. UUSIUTUMATTOMIEN ENERGIAMUOTOJEN POTENTIAALIT .....	51
2.4.1. Turve.....	51
2.4.2. Fossiiliset polttoaineet.....	52
2.4.3. Ydinpolttoaineet .....	52
2.5. ENERGIAPOTENTIAALIEN YHTEENVETO.....	52
<b>3. BIOENERGIAN EDISTÄMISEN POLITIIKKA .....</b>	<b>55</b>

3.1. EU-politiikkaa .....	55
3.2. Kansallista politiikkaa .....	57
<b>4. BIOMASSASTA ENERGIAKSI .....</b>	<b>59</b>
4.1. Yleistä biomassan hyödyntämisestä .....	59
4.2. Termokemiallinen konversio .....	59
4.3. Biologinen konversio .....	61
4.4. Mekaaninen konversio .....	62
4.5. Kemiallinen konversio .....	63
4.6. Sähkökemiallinen konversio .....	63
<b>5. MAATILOJEN BIOENERGIATEKNOLOGIAT .....</b>	<b>65</b>
5.1. Lämmön erillistuotanto .....	65
5.2. Sähkön ja lämmön yhteistuotanto (CHP) .....	66
5.3. Liikenne- ja työkonepolttoaineiden tuotanto .....	70
5.3.1. Maatilakohtainen tuotanto .....	71
5.3.2. Keskitetty tuotanto .....	75
<b>6. YMPÄRISTÖVAIKUTUKSIA .....</b>	<b>79</b>
6.1. Maatalouden ympäristövaikutuksia .....	79
6.2. Energiantuotannon ympäristövaikutuksia .....	80
6.2.1. Kasvihuonekaasujen päästöt .....	80
6.2.2. Muut ilmapäästöt .....	82
6.3. Biokaasun ympäristövaikutuksia .....	84
6.4. Liikenteen biopolttoaineet .....	86
<b>7. YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET RAAKA-AINEITTAIN .....</b>	<b>93</b>
7.1. Ruokohelpi .....	93
7.1.1. Kasvihuonekaasujen päästövähennykset .....	94
7.1.2. Muut ympäristövaikutukset .....	96
7.2. Olki .....	97
7.2.1. Kasvihuonekaasujen päästövähennykset .....	98
7.2.2. Muut ympäristövaikutukset .....	101
7.3. Rypsi .....	102
7.3.1. Energiakäytön ympäristövaikutukset .....	104
7.4. Energiaviljat .....	106
7.4.1. Energiakäytön ympäristövaikutukset .....	107
7.5. Lanta .....	108
7.6. Energianurmet .....	109
7.7. Vertaileva tarkastelu .....	110
7.7.1. Energiasaanto .....	110

7.7.2. Kasvihuonekaasupäästöt .....	110
7.7.3. Muut ympäristövaikutukset .....	112
<b>8. MAATILOJEN ENERGIAHUOLLON TULEVAISUUDEN TIEKARTTA</b>	
<b>VUOTEEN 2050 .....</b>	<b>114</b>
8.1. Liikenne- ja työkonepolttoainehuolto .....	118
8.2. Sähköenergiahuolto .....	120
8.3. Lämpöenergiahuolto .....	122
8.4. Tiekartan seuraaminen: alhaisen markkinapotentiaalın ongelman ratkaisun tarve .....	124
<b>LIITTEET .....</b>	<b>127</b>
LIITE 1. Maatilojen energiainnovaatioiden kronologia .....	127
LIITE 2. Maatilojen nykyinen energiankulutus .....	131
LIITE 3. YK:n rakenteellisen potentiaalın analyysin malli ilmastonmuutosta hillitsevien teknologioiden käyttöönotolle (IPCC 2001, 329) .....	132
LIITE 4. Energiapotentiaalilaskelmia koskevat liitetaulukot .....	133
LIITE 5. Ympäristövaikutuksia koskevat liitetaulukot .....	142
LIITE 6. Uusiutuvien energialähteiden yhteiskunnallinen merkitys EU:n perspektiivistä .....	144
LIITE 7. Bioenergiälähteiden ja niiden konversioprosessien luokittelu .....	146
LIITE 8. Bioenergiateknologiat keskitetyissä laitoksissa .....	147
LIITE 9. Liikennepolttoaineiden ominaisuuksia .....	149
LIITE 10. YK:n päästökertoimet kemiallisten polttoaineiden hiilidioksidipäästöille .....	152
<b>KIRJALLISUUS .....</b>	<b>153</b>



## TERMILUETTELO

AD	anaerobinen käsittely (anaerobic digestion)
B20/B100	biodieselin ja fossiilidieselin seos eri tilavuusosuuksilla (20 % biodieseliä / 100 % biodieseliä)
bi-fuel	ajoneuvo, jossa on 2 erillistä polttoainejärjestelmää, yleensä kaasumaisille ja nestemäisille polttoaineille
BIGCC	biomassakäyttöinen kaasutus-kombivoimala (biomass integrated gasification combined cycle)
BTL	biomassasta valmistettu nestemäinen synteettinen polttoaine (biomass to liquid)
CBG	paineistettu biokaasu (metaani) (compressed biogas)
CH <sub>2</sub>	paineistettu vety (compressed H <sub>2</sub> )
CHP	sähkön ja lämmön yhteistuotanto (combined heat and power)
μCHP	mikro-CHP, rakennuskohtainen CHP-laitos, korkeintaan 100 kW <sub>e</sub>
CNG	paineistettu maakaasu (metaani) (compressed natural gas)
CO <sub>2</sub> -eq	hiilidioksidiekvivalentti, kasvihuonekaasupäästöjen ilmastovaikutus muutettuna hiilidioksidiksi, ottaa huomioon kaikkien kasvihuonekaasujen vaikutukset, merkitään myös CO <sub>2</sub> -eqv tai CO <sub>2</sub> <sup>eq</sup>
CTL	kivihiilestä valmistettu nestemäinen synteettinen polttoaine (coal to liquid)
DME	dimetyylieetteri, dieselmootoreihin soveltuva polttoaine
dual-fuel	dieselmoottori, jonka pääpolttoaine on kaasu, mutta joka sytytetään nestemäisellä polttoaineella, 2 erillistä polttoainejärjestelmää
E10/E85	bioetanolin ja fossiilisen bensiinin seos eri tilavuusosuuksilla (10 % etanolia / 85 % etanolia)
EC	ulkoisesti lämmitettävä lämpövoimakone (mäntämoottori tai turbiini) (external combustion)
ECE	ulkoisesti lämmitettävä mäntämoottori (external combustion engine)
ETBE	etyylitertiääributyylieetteri, ottomootoreihin soveltuva polttoaine, jota käytetään oktaanilukua korottavana ja happea tuovana lisäaineena
EU-15	Euroopan unioni ennen laajentumista (15 jäsenmaata)
EU-25	Euroopan unioni laajentumisen jälkeen (25 jäsenmaata)
FAEE	etanolipohjainen biodiesel (fatty acid ethyl ester)
FAME	metanolipohjainen biodiesel (fatty acid methyl ester)
FFV	useamman polttoaineen (esimerkiksi etanoli ja bensiini) suurina osuuksina tai seoksina käyttöön pystyvä ajoneuvo, jossa on 1 polttoainejärjestelmä (flexible fuel vehicle)
FINBIO	Suomen Bioenergiayhdistys ry, bioenergian ja turpeen käyttöä edistävä yhdistys
FT	Fischer-Tropsch -synteesi, eräs kaasutus pohjainen heterogeenisten synteettisten polttoaineiden (esimerkiksi FT-diesel) valmistusmenetelmä
GTL	maakaasusta valmistettu nestemäinen synteettinen polttoaine (gas to liquid)

HCl	vetykloridi eli suolahappo
HHV	polttoaineen ylempi/kalorimetrinen lämpöarvo (higher heating value)
hybridi	ajoneuvo, jossa on vähintään 2 erilaista moottoria
hytaani	metaanin ja vedyn seos (hythane)
IC	sisäisesti lämmitettävä lämpövoimakone (mäntämoottori tai turbiini) (internal combustion)
ICE	sisäisesti lämmitettävä mäntämoottori (internal combustion engine)
IPCC	YK:n ilmastonmuutoksen asiantuntijaelin, hallitusten välinen ilmastopaneeli (Intergovernmental Panel on Climate Change)
KHK	kasvihuonekaasut
CO <sub>2</sub>	hiilidioksidi
CH <sub>4</sub>	metaani
N <sub>2</sub> O	typpioksiduuli
SF <sub>6</sub>	rikkiheksafluoridi
HFC:t	fluorihiiivedyt
PFC:t	perfluorihielet
Kombivoimala	useampi kuin yksi lämpövoimakone tai polttokenno sarjassa siten, että jälkimmäinen kone tuottaa lisää sähköä edeltävän koneen hukkalämmöstä, yleisin on kaasuturbiini-höyryturbiini-yhdistelmä (combined cycle, CC)
LHV	polttoaineen tehollinen (alempi) lämpöarvo (lower heating value) (= HHV – höyrystyvän veden höyrystymislämpö)
LPG	nestekaasu (propaani + butaani) (liquified petroleum gas)
M10/M85	metanolin ja bensiinin seos eri tilavuusosuuksilla (10 % metanolia / 85 % metanolia)
non-food	maataloustuotanto, jota ei käytetä ravinnoksi
Nm <sup>3</sup>	kuutiometri kaasua normaaliolosuhteissa: 0 °C, 1 atm
NMVOC	kaasumaiset (haihtuvat) orgaaniset yhdisteet metaania lukuun ottamatta (non methane volatile organic compounds)
NO <sub>x</sub>	typen oksidit
ORC	turbiini, jossa höyryn sijasta käytetään työkaasuna orgaanista väliainetta (organic rankine cycle)
PM <sub>1</sub>	halkaisijaltaan korkeintaan 1 µm kokoiset pienhiukkaset (particulate matter)
PPO20/PPO100	kasviöljyn ja fossiilidieselin seos eri tilavuusosuuksilla (20 % kasviöljyä / 100 % kasviöljyä) (pure plant oil)
primäärienergia	luonnosta suoraan saatava energianlähde, esimerkiksi puu
REE	rypsietyyliesteri, eräs biodiesel-laji
RES-E	uusiutuvalla energialla tuotettu sähkö
RME	rypsimetyyliesteri, eräs biodiesel-laji
sekundäärienergia	primäärienergiasta muokattu energiamuoto, esimerkiksi sähkö, bensiini, vety
SNG	kaasutusperäinen metaani (synthetic natural gas)

SO <sub>2</sub> /SO <sub>3</sub>	rikin oksideja (rikkidioksidi/rikkitrioksidi)
UE	uusiutuva energia
VOC	haihtuvat orgaaniset yhdisteet (volatile organic compounds)

### Teho- ja energiayksiköt

W <sub>e</sub>	watin sähköteho
W <sub>t</sub>	watin lämpöteho
W <sub>pa</sub>	watin polttoaineteho
hv	hevosvoima = 735 W

Wh wattitunti

MWh<sub>pa</sub>/MJ<sub>pa</sub> polttoaineen energiasisältö

J joule

toe ekvivalenttinen öljytonni, raakaöljytonnin sisältämä energiamäärä

### Muuntokertoimet

	toe	MWh	GJ
toe =	1	11,63	41,87
MWh =	0,086	1	3,6
GJ =	0,02388	0,2778	1

k	kilo	10 <sup>3</sup>	T	tera	10 <sup>12</sup>
M	mega	10 <sup>6</sup>	P	peta	10 <sup>15</sup>
G	giga	10 <sup>9</sup>	E	eksa	10 <sup>18</sup>

Suomen primäärienergian kulutus v. 2004 oli 1487 PJ ≈ 1,5 EJ ≈ 410 TWh ≈ 36 Mtoe.

Suomen sähkönkulutus vuonna 2004 oli 87 TWh. Muita kulutustietoja on liitetaulukossa L4.1.

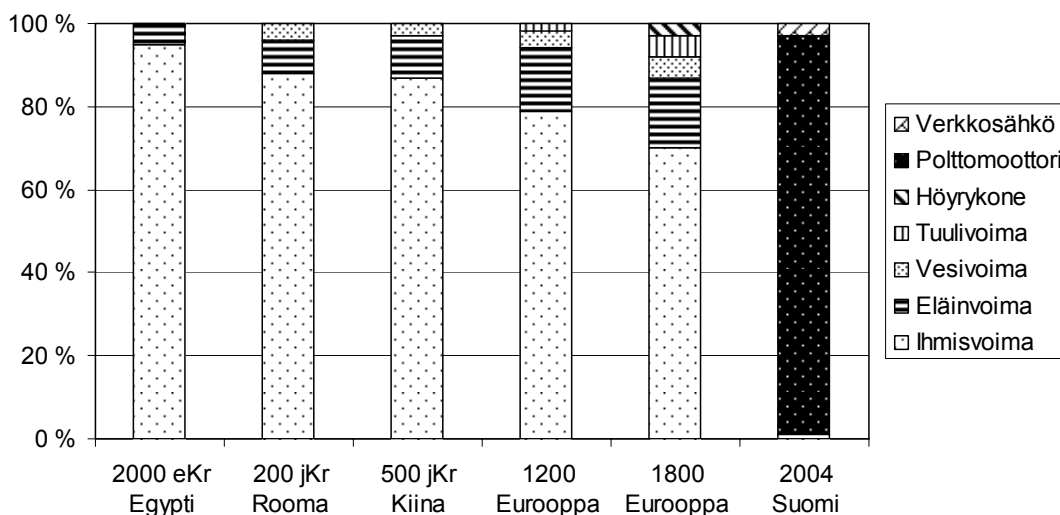
# 1. MAATILOJEN ENERGIANKÄYTÖN KEHITYS: HISTORIALLINEN TIEKARTTA

## 1.1. GLOBAALIN KEHITYKSEN SUUNTAVIIVOJA

Maatalouskulttuurin syntyessä ihmiskunnalla oli käytössään jo useita primäärienergianlähteitä, joita hyödynnettiin myös maataloilla alusta alkaen. Vuosituhansien kuluessa on sittemmin otettu käyttöön paljon uusia primäärienergianlähteitä ja energiateknologioita, kuten liitteen 1 kronologia tiivistetysti kuvaa.

Passiivinen aurinkoenergia on aina ollut tärkein ja välttämätön maatalouden energiateknikka varsinkin fotosynteesin, mutta myös kuivauksen ja lämmityksen kautta kaikkialla maailmassa. Bioenergia on ollut maanviljelyksen toinen välttämätön primäärienergianlähde maatalouskulttuurin alusta lähtien ihmisten lihasvoiman, lämmön, valon ja ruoanvalmistusenergian kautta. Myös passiivinen tuulienergia on kuivauksen kautta aina ollut osa maatilojen energiatasetta kaikkialla.

Karjatalouden syntyessä käyttöönotettu bioenergian muoto eläinvoima on ainut myöhemmin käyttöön otettu energialähde, joka saavutti lähes 100 %:n globaalien diffuusion ennen uusinta aikaa. Geoterminen energia, kivihiihi, raakaöljy, maakaasu, vesivoima, turve ja vuorovesivoima oli otettu siihen mennessä käyttöön vain maataloilla, jotka sijaitsivat lähellä kyseisiä energiareseursseja.



Kuva 1.1. Maatilojen mekaanisen energian käyttövoiman kehitys (vuoteen 1800 asti Smilin (1994) pohjalta). Vesi- ja tuulivoima tarkoittavat mekaanisia teknologioita. Polttomoottorien energialähteet ovat raakaöljypohjaisia.

Kaikilla maataloilla saatavissa olevien aurinko-, tuuli- ja bioenergian käytön teknologisia innovaatioita on tehty ja käyttöön otettu kaikkialla maailmassa esihistoriallisesta ajasta nykyhetkeen asti (Liite 1). Muiden primäärienergianlähteiden käyttömahdollisuus periaatteessa kaikkialla maailmassa tuli mahdolliseksi vasta 1800-

luvulta alkaen polttoaineiden ja sähkön laajamittaisen kaupan synnyn myötä. Lukuisista uusiutuvien energialähteiden teknologisista innovaatioista huolimatta energiakaupan laajeneminen on johtanut fossiilisten energiamuotojen dominoivaan asemaan, mikä on merkinnyt maatilojen energiaomavaraisuuden menetystä erityisesti mekaanisen energian osalta (Kuva 1.1) lukuun ottamatta niitä harvoja maatiloja, joilla on omat fossiilienergiaresurssit, esimerkiksi raakaöljyä (Kuva 1.2). Eikä niilläkään ole enää käytettävissään maatilakohtaista jalostusteknologiaa, kuten 1800-luvulla.



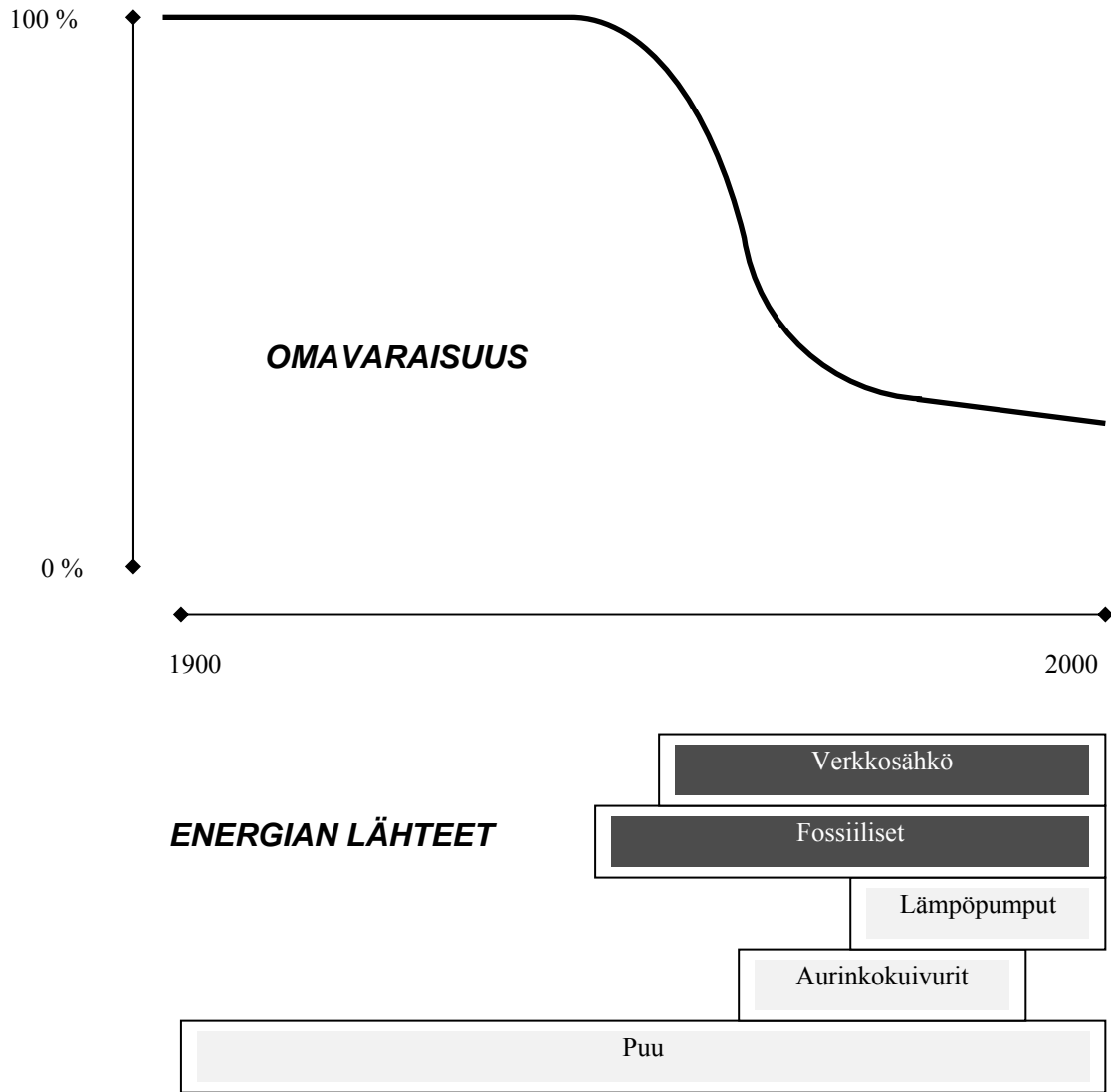
*Kuva 1.2. Maatilakohtainen raakaöljyn pumppausasema Wyomingissä USA:ssa [2004].*

## **1.2. SUOMEN MAATILOJEN ENERGIANTUOTANNON KEHITYS**

Suomen maatilojen energiantuotannon kehitys on kaksijakoinen. Aina 1940-luvulle asti oltiin lähes täysin energiaomavaraisia sekä lämmitysenergian (Kuva 1.3) että mekaanisen energian (Kuvat 1.4-6) suhteen – pientä sotien välisen ajan notkahdusta lukuun ottamatta – käyttäen paikallisia uusiutuvia energioresursseja ja pääasiassa kotimaisia hajautettuja energiateknologioita, joiden kehittämiseen ja kaupallistamiseen panostettiin paljon. Toisen maailmansodan jälkeen energiaomavaraisuus on menetetty lähes kaikilla mautiloilla mekaanisen energian suhteen ja lämmönkin omavaraisuus on pudonnut alle neljännekseen huolimatta hyvin suurista mautiloilla käytettävissä olevista omista energioresursseista ja teknologioista. Kyseinen suuri muutos johtuu siis politiikan ja arvojen muutoksesta, joka koski nimenomaan energian tuotantoa.

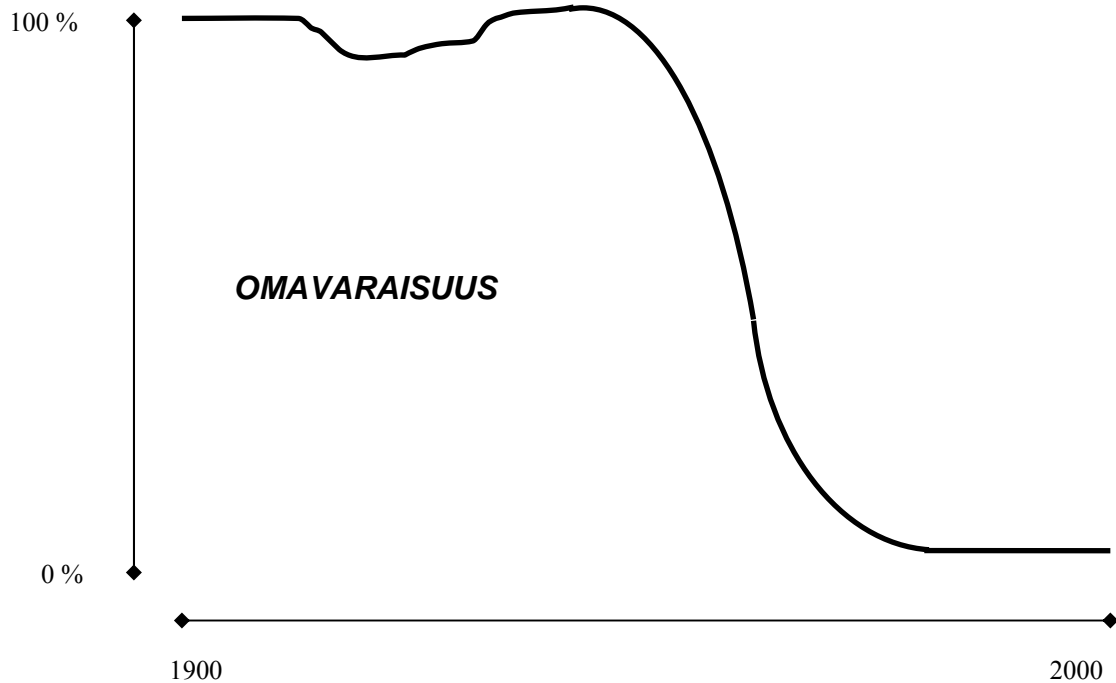
Ruokaomavaraisuuden ja –yliomavaraisuuden ylläpidon tarve sen sijaan on kaikkina aikoina ollut ja on edelleen itseisarvoista.

### LÄMPÖENERGIAN TUOTANNON HISTORIALLINEN TIEKARTTA SUOMEN MAATILOILLA 1900-LUVULLA

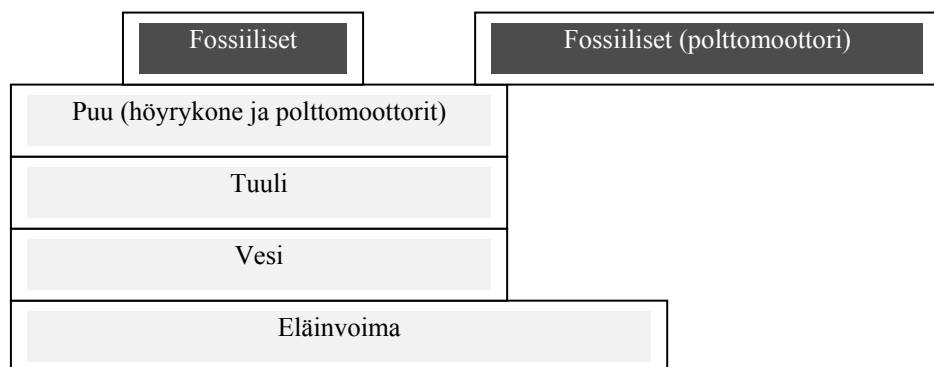


*Kuva 1.3. Lämpöenergian omavaraisuuden ja tärkeimpien energialähteiden käytön kehityksen suuntaviivat Suomen maatiloilla 1900-luvulla lukuun ottamatta passiivista aurinkoenergiaa sekä elimistön hukkalämpöä. Omavaraisuus oli 100 % vuonna 1900 ja 21 % vuonna 2004 (Taulukko L2.1). Sekä omavaraisuuskäyrä että energialähteiden käyttöajankohdat ovat suuntaa-antavia; tarkkoja tilastoja ei ole saatavilla. Teknologioiden käyttöönotto ja menettäminen eivät todellisuudessa ole jyrkkiä: tässä on pyritty kuvaamaan aikakaudet, jolloin energialähteiden käyttö on ollut merkittävää.*

## STATIONÄÄRISTEN TYÖKONEIDEN MEKAANISEN ENERGIAN TUOTANNON HISTORIALLINEN TIEKARTTA SUOMEN MAATILOILLA 1900-LUVULLA

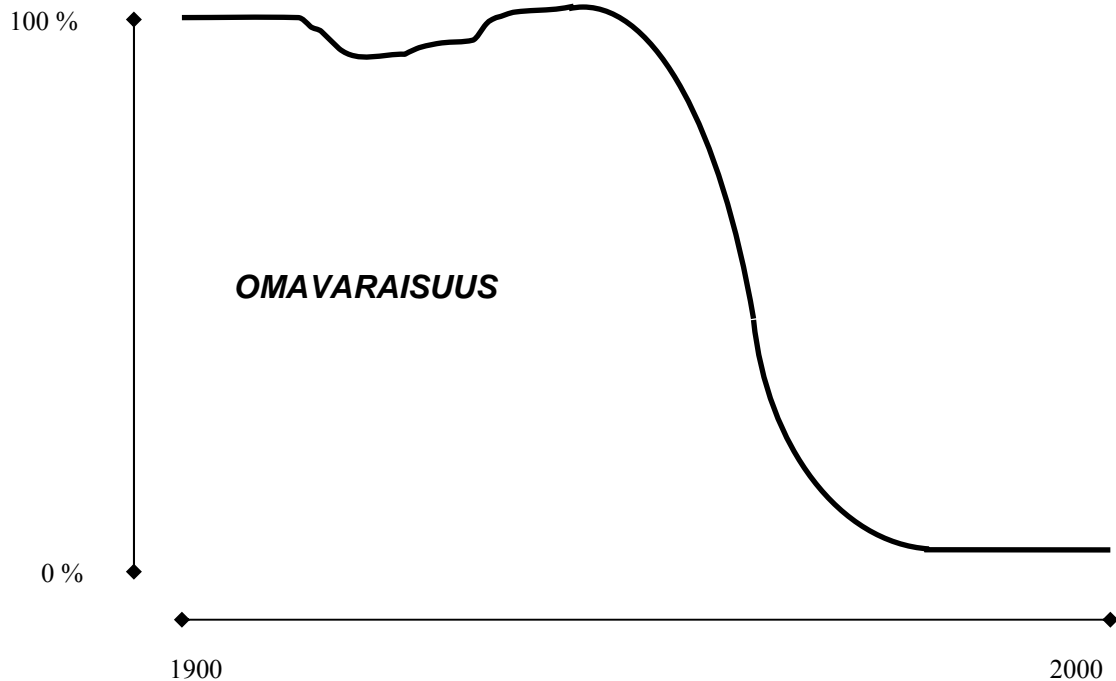


### ENERGIAN LÄHTEET

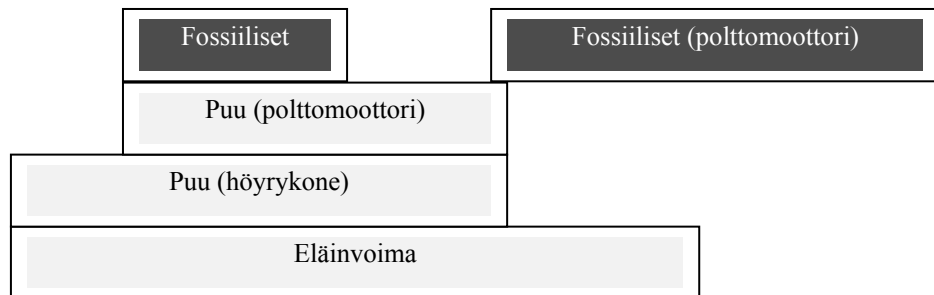


*Kuva 1.4. Mekaanisen energian omavaraisuus stationäärisissä työkyoneissa ja tärkeimpien energialähteiden käytön kehityksen suuntaviivat Suomen maatiloilla 1900-luvulla lukuun ottamatta ihmisvoimaa. Omavaraisuus oli 100 % vuonna 1900 ja 0 % vuonna 2004 (Taulukko L2.1). Sekä omavaraisuuskäyrä että energialähteiden käyttöajankohdat ovat suuntaa-antavia; tarkkoja tilastoja ei ole saatavilla. Teknologioiden käyttöönotto ja menettäminen eivät todellisuudessa ole jyrkkiä; tässä on pyritty kuvaamaan aikakaudet, jolloin energialähteiden käyttö on ollut merkittävää.*

## MAALIIKENTTEEN JA LIIKKUVIEN TYÖKONEIDEN ENERGIAN TUOTANNON HISTORIALLINEN TIEKARTTA SUOMEN MAATILOILLA 1900-LUVULLA



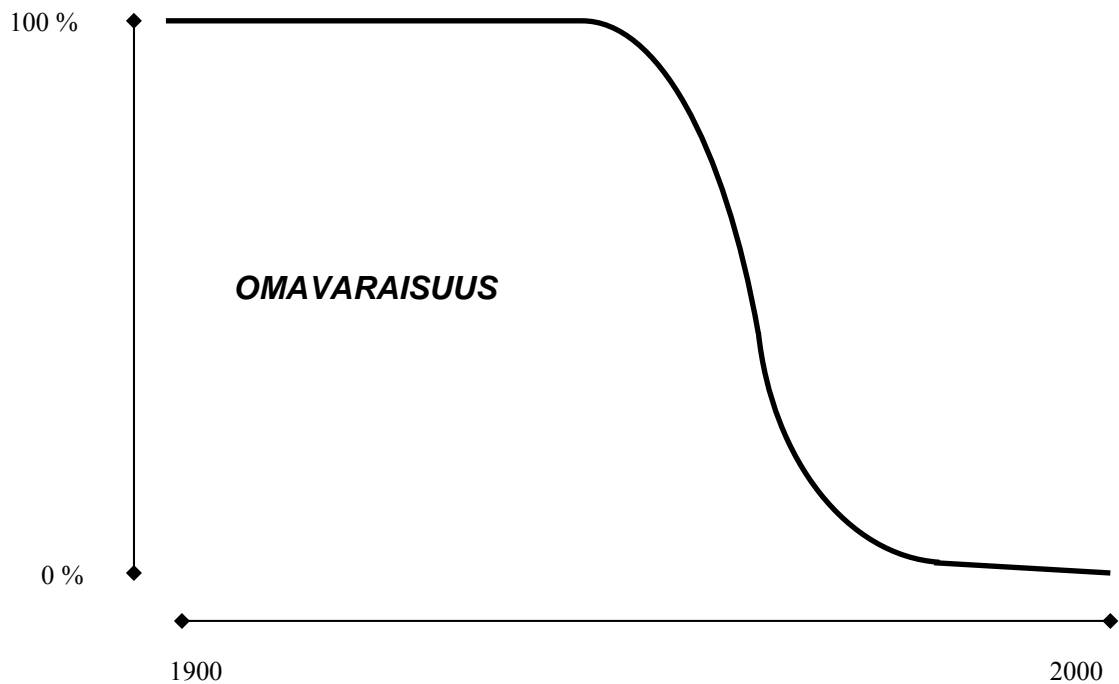
### **ENERGIAN LÄHTEET**



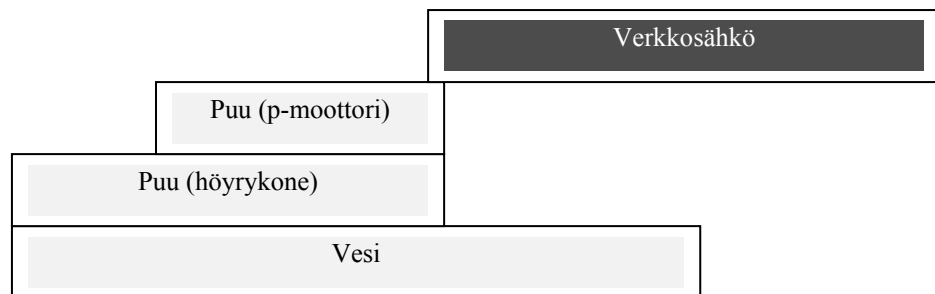
*Kuva 1.5. Maaliikenteen ja liikkuvien työkonien energian omavaraisuuden ja tärkeimpien energialähteiden käytön kehityksen suuntaviivat Suomen maatiloilla 1900-luvulla lukuun ottamatta ihmisvoimaa. Omavaraisuus oli 100 % vuonna 1900 ja 0 % vuonna 2004 (Taulukko L2.1). Sekä omavaraisuuskäyrä että energialähteiden käyttöajankohdat ovat suuntaa-antavia; tarkkoja tilastoja ei ole saatavilla. Teknologioiden käyttöönotto ja menettäminen eivät todellisuudessa ole jyrkkiä: tässä on pyritty kuvaamaan aikakaudet, jolloin energialähteiden käyttö on ollut merkittävää.*



## SÄHKÖENERGIAN TUOTANNON HISTORIALLINEN TIEKARTTA SUOMEN MAATILOILLA 1900-LUVULLA



### ENERGIAN LÄHTEET



Kuva 1.6. Sähkön omavaraisuuden ja tärkeimpien energialähteiden käytön kehityksen suuntaviivat sähköä käyttävillä maataloilla 1900-luvulla. Omavaraisuus oli 100 % vuonna 1900 ja 0 % vuonna 2004 (Taulukko L2.1). Sekä omavaraisuuskäyrä että energialähteiden käyttöajankohdat ovat suuntaa-antavia; tarkkoja tilastoja ei ole saatavilla. Teknologioiden käyttöönotto ja menettäminen eivät todellisuudessa ole jyrkkiä: tässä on pyritty kuvaamaan aikakaudet, jolloin energialähteiden käyttö on ollut merkittävää.

### 1.2.1. Paikallinen energiaomavaraisuus ja kansallinen energiateknologian omavaraisuus 1940-luvulle asti

Suomen maatilat olivat energiaomavaraisia 1900-luvun alkuun asti sekä lämmitysenergian että mekaanisen energian suhteen. Lämmitysenergian lähteinä olivat passiivinen aurinkoenergia (viljan, puun, pyykin ja tiskien kuivaus; rakennusten sijoitus, suuntaus, väri, rakenne ja eristys), bioenergian monet muodot (halot, ihmisten ja

eläinten hukkalämpö) sekä turve – ja kuivausenergian osalta passiivisella tuulienergialla oli myös merkitystä. Valaistus saatiin kiinteään (päreet ja halot sekä kynttilöissä eläinrasva) ja nestemäisen (kasviöljyt ja eläinrasvat lampuissa) bioenergian avulla. Raakaöljy tuli maatilojen käyttöön aluksi valaistukseen lamppuöljynä (kerosiini eli petroli) 1800-luvun lopulla, mutta sen käyttö oli 1900-luvun alussa erittäin harvinaista. Valaistus oli myös ensimmäinen sähkön käyttökohde maataloilla 1900-luvun alussa.

Mekaanisen energian lähteinä bioenergia ihmisten ja eläinten (hevokset, härät, porot) lihasvoiman kautta oli tärkein, mutta myös muiden energiamuotojen käyttö oli merkittävää ja jatkuvasti kasvavaa 1200-luvulta (vesimyllyt) ja 1400-luvulta (tuulimyllyt) alkaen (Myllyntaus 1993). Tuulivoimaa ja vesivoimaa on perinteisesti käytetty myös vesiliikenteessä. Vuonna 1890 maataloilla oli käytössä noin 6000 vesimyllyä ja noin 10.000 tuulimyllyä yhteiskapasiteetiltaan 50.000 hv, noin 600 vesisaha yhteisteholtaan 3000 hv sekä 200 vesi- tai tuulivoimaa käyttävää meijeriä yhteisteholtaan 800 hv (Myllyntaus 1991, 23; Keskinen 1993c). Päinvastoin kuin tuulimyllyt, veden pumppaukseen käytetyt tuulimootorit olivat valtaosin tuontitavaraa, erityisesti USA:sta (Kallio-Mannila 1993). Kotimaisia tuulimootoreita valmistivat useat yritykset yhteensä runsaat 700 kappaletta 1880-luvun ja 1940-luvun välisenä aikana (Kuva 1.7).

Mekaanista vesi- ja tuulivoimaa käytettiin vesipumppuina (Kuva 1.7) sekä myllyjen, verstaiden ja meijerien käyttövoimana. Maatilojen vesi- ja tuulivoimalaitosten kokonaisteho oli vuonna 1890 noin 55.000 hv (40 MW) eli enemmän kuin Suomen teollisuudessa tuolloin käytettävissä oleva teho 40.000 hv (Keskinen 1993c) ja se vastasi noin 400.000 miehen työtehoa, mutta laitosten käyttökerroin oli erittäin alhainen.

Mekaanisia vesivoimalaitoksia (vesipyörät ja vesiturbiinit) ja tuulivoimalaitoksia valmistivat kymmenet yritykset, mutta myös omatoiminen rakentaminen maataloilla myllymestarien johdolla oli yleistä. Vesiturbiineita valmistettiin Suomessa pääasiassa sähköntuotantoon 1840-luvulta 1980-luvulle 3500 kappaletta, yhteisteholtaan 3,2 GW (Keskinen 1993d). Maataloilla oli korkeimmillaan 1920-luvulla käytössä noin 1500 vesiturbiinia (Keskinen 1993d, 130).

Suomalaisperäinen Savonius-tuuliturbiini oli käytössä harvinaisena mekaanisen energian lähteenä 1920-luvulta alkaen, mutta kyseisen teknologian pääsovellutukseksi muodostui ilmastointimoottori, missä käytössä niitä edelleenkin on Suomessa ja ympäri maailmaa. Vesipyöriä ja vesiturbiineita valmisti Suomessa noin 30 yritystä 1830-luvulta alkaen (Keskinen 1993c). Nykyään mekaanista vesivoima- tai tuulivoimateknologiaa ei enää Suomessa valmisteta poikkeuksena ajoittaiset kehitysmaaprojektien tilaukset. Pienimuotoisia vesi- tai tuulisähkölaitoksia valmistaa 4 pientä yritystä ja 1 yritys valmistaa suuria tuuliturbiineita. Suuria vesiturbiineita ei enää valmisteta.

Tuulivoiman osalta on mainittava se erikoisuus, että sitä ei ole Suomessa koskaan käytetty maatilojen sähkön tuottamiseen, vaikka sitä käytettiin 1900-luvun alussa hyvin paljon mekaanisen energian lähteenä. Tanskassa puolestaan aloitettiin tuulisähkön tuotanto ensimmäisenä maailmassa 1890-luvulla ja nimenomaan maataloilla. Maataloilla oli 1910-luvulla käytössä 120 tuulisähköturbiinia, joiden teho oli 25 kW<sub>e</sub> eli yhteisteho oli 3 MW<sub>e</sub> (Gipe 1995, 53-54). Nykyäänkin, kun 20 % Tanskan sähköstä tehdään tuulivoimalla, turbiineista suurin osa sijaitsee maataloilla.

# Isänmaan kavaltajaa

kurjempaa ihmistä ei voi olla. Sinä olet senarvoinen mies jos ostat amerikalaisen tuulimoottorin silloin kuin

## Aino-moottoria

Suomessa valmistetaan.

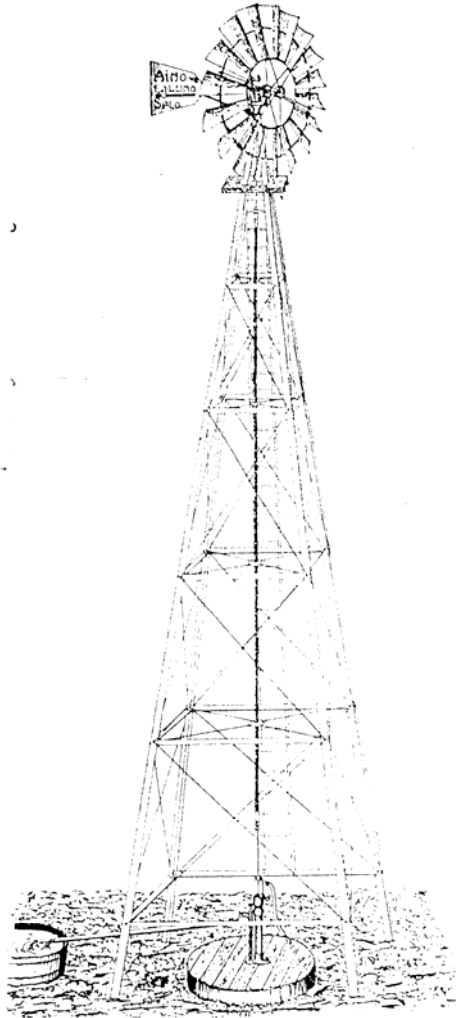
Amerikalainen valmistaja hymyilee itseksensä ja nauraa suomalaista tyhmyyttä, joka yksinään enää takaa menekkiä hänen kaukaisille teoksilleen tässä maassa.

Ja suomalaiset työmiehet muuttavat siirtolaisina maasta pois, tai näkevät täällä työnpuutetta ja nälkää.

## Vieläkö kärsit sä kauempaa?

Tutki AINO-tuulimoottoria, tarkasta sen väkevää, siroa rakennetta, kuuntele sen höyhenkevyttä käyntiä ja harkitse mielessäsi sen muita ominaisuuksia

niin totisesti on suusi kertova suomalaisen työn kunniaa!



*Kuva 1.7. Mekaanisen tuulivoimakäyttöisen Aino-vesipumpun mainos, jota julkaistiin useita kertoja Pellervo-lehdessä 1900-luvun alussa. Suomessa tämän teknologian kysyntä ja siten myös valmistus ja käyttö loppui 2. maailmansodan jälkeen, mutta "Amerikassa" ja monissa muissakin maissa kyseistä teknologiaa valmistetaan edelleen ja niitä on nykyään käytössä yli miljoona kappaletta (Gipe 1995, 128).*

Aaltovoimaa ja vuorovesivoimaa ei Suomessa ole koskaan käytetty energianlähteenä kuin demonstraatiolaitteissa. Suomalaisia patenteja aaltovoimaloista on tehty 1890-luvulta alkaen. Aurinkovoimaa on Suomessa käytetty PV-kennotekniikalla 1970-luvulta alkaen, myös maatiloilla, mutta termisiä mekaanisia tai sähköä tuottavia aurinkovoimaloita ei ole koskaan käytetty. Aktiivista aurinkolämpöä on hyödynnetty

maatiloilla aurinkokeräinten, viljakuivureiden ja lämpöpumppujen avulla. Geotermistä energiaa ei ole Suomessa koskaan hyödynnetty.

Lämpövoimakoneiden käyttö, joka alkoi maatiloilla 1860-luvulla (Sahlberg & Keskinen 1993), oli aluksi omiin energiavaroihin ja valtaosin kotimaiseen teknologiaan perustuvaa. Noin 1,5 – 15 kW:n tehoisia höyrykoneita käytettiin sekä stationäärisissä (maamoottorit) että liikkuvissa (lokomobiilit) työkoneissa sekä sähköntuotannossa valtaosin puulla. Höyrykoneita valmisti Suomessa yli 50 yritystä 1830-luvulta alkaen aina 1950-luvulle asti yhteensä yli 17.000 kappaletta, joista maamoottoreita oli 5500 (osa sähköntuotannossa) ja lokomobiileja 6000 (lopun laiva- ja veturikoneita; Sahlberg & Keskinen 1993). Höyrykoneiden käyttö maatiloilla oli laajimmillaan vuonna 1920, jolloin niitä oli pääasiassa mekaanisessa käytössä lähes 6000 kappaletta ja ne olivat valtaosin suomalaisvalmisteisia (Liskola 1993). Esimerkiksi Saksassa höyrykoneita valmistetaan edelleen pienen kokoluokan sähkön ja lämmön yhteistuotantoon ja saksalaisvalmisteisia moderneja höyrykoneita on Suomessakin nykyään käytössä, mutta ei maatiloilla.

Pieniä höyryturbiineita käytettiin mekaanisina voimanlähteinä separaattoreissa ja kirnuissa (Keskinen 1993c; Sahlberg & Keskinen 1993). Höyryturbiineita ja kaasuturbiineita, jotka ovat keskitetyssä sähköntuotannossa nykyään ylivoimaisesti tärkeimmät voimakonetyypit, ei ole koskaan kaupallisesti valmistettu Suomessa. Yksittäisiä höyryturbiineita on valmistettu koeprojekteina 1890-luvulta 1950-luvulle ja pieninä sarjoina sotakorvaustoimituksina (Sahlberg & Keskinen 1993). Kaasuturbiineita ei ole Suomessa vielä käytetty maatiloilla, mutta oletettavasti käyttöönotto tapahtuu lähiaikoina biokaasukäyttöisten mikroturbiinien avulla.

Stirling-koneita ja Ericsson-koneita (kuumailmakoneet) oli myös harvinaisina käytössä ja niiden tuottama mekaaninen energia oli 1800-luvun lopulla kilpailukykyistä pieniin höyrykoneisiin verrattuna (Keskinen 1993c). Niitä valmisti Suomessa ainakin 4 yritystä 1850- ja 1900-lukujen välisenä aikana (Kleimola 1993).

Polttomoottorit alkoivat tulla maatilojen käyttöön 1910-luvulta alkaen sekä stationäärisissä että liikkuvissa työkoneissa ja autoissa sekä sähkön tuotannossa. Niitä käytettiin sekä raakaöljypohjaisilla polttoaineilla (aluksi bensiini, kerosiini ja raakaöljy, myöhemmin myös dieselöljy) että nestemäisillä biopolttoaineilla (aluksi etanoli, myöhemmin useat muut vaihtoehdot) ja termisen kaasuttimen (häkäpöntön) avulla kiinteillä biopolttoaineilla (puu, puuhiili, peltobiomassa) ja turpeella. Yli 80 suomalaista yritystä valmisti polttomoottoreita 1890-luvulta (ottomoottorit) ja 1930-luvulta (dieselmoottorit) alkaen, pääasiassa kotimarkkinoille (Myllyntaus 1991, 186). Nykyään niistä on jäljellä enää kaksi yhtiötä, jotka molemmat valmistavat moottoreita valtaosin vientiin. Vuoteen 1985 mennessä oli Suomessa valmistettu 120.000 polttomoottoria yhteisteholtaan 16 GW (Kleimola 1993).

Taulukko 1.1 esittää yhteenvedon maatilojen voimakoneiden käytön resurssi- ja teknologiaomavaraisuuden kehityksestä keskiajasta lähtien.

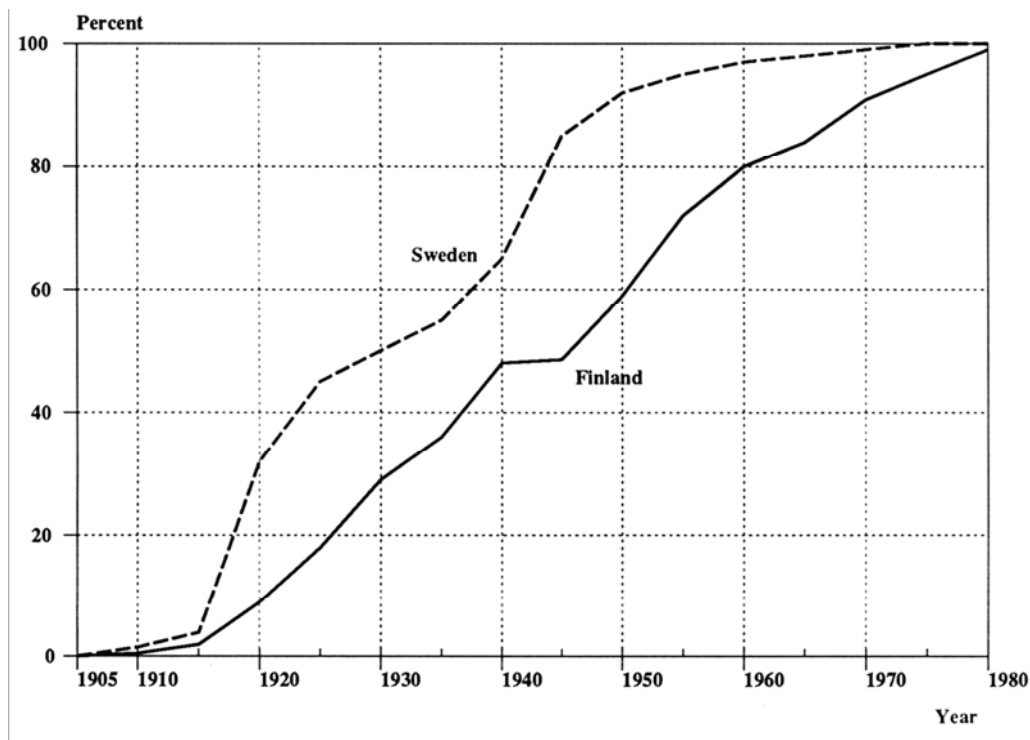
Turpeen käyttö oli 1900-luvun alussa vähäistä, joten maatilojen energiankäyttö oli tuolloin lähes täysin paikallisiin uusiutuviin energiamuotoihin ja kotimaiseen teknologiaan perustuvaa. Toiseen maailmansotaan mennessä sekä sähkön että

raakaöljyn käyttöönotto pudottivat hieman omavaraisuutta valaistuksen ja mekaanisen energian käytön osalta, mutta sota-aikana omavaraisuus palautui.

<i>Taulukko 1.1. Maatilakokoluokan voimakoneteknologian käyttö maatilan omilla uusiutuvan energian resursseilla.</i>				
	1500	1900	1945	2005
<b>BIOENERGIA</b>				
<b>1. Lihasvoima</b>				
- stationäärinen	●●●	●●●	●●●	●●●
- mobiili	●●●	●●●	●●●	●●●
<b>2. Höyrykoneet</b>				
- stationäärinen		●●	●●	○
- mobiili		●●	●●	
- sähkö		●●	●●	○
<b>3. Höyryturbiinit</b>				
- stationäärinen		●		
- sähkö			○	○
<b>4. Kaasuturbiinit</b>				
- sähkö				○
<b>5. Stirling-koneet</b>				
- stationäärinen		●●	○	○
- sähkö			○	○
<b>6. Otto-moottorit</b>				
- stationäärinen		●●	●●	○
- mobiili		●	●●	●
- sähkö		○	●●	●●
<b>7. Diesel-moottorit</b>				
- stationäärinen			●●	○
- mobiili			●	●●
- sähkö			○	○
<b>MUUT UUSIUTUVAT ENERGIALÄHTEET</b>				
<b>Vesivoima</b>				
- stationäärinen	●●●	●●●	●●●	○
- sähkö		●●	●●	●
<b>Tuulivoima</b>				
- stationäärinen	●●●	●●●	●●●	○
- sähkö		○	○	○
<b>Vuorovesivoima</b>				
- stationäärinen	○	○	○	
<b>Aurinkovoima</b>				
- sähkö				●●
●●●	Maatilakäytössä Suomessa maatilalla valmistetulla teknologialla			
●●	Maatilakäytössä Suomessa kotimaisella teknologialla			
●	Maatilakäytössä Suomessa ulkomaisella teknologialla			
○	Maatilakäytössä Suomen ulkopuolella			

Maatilojen ja yleisemmin maaseudun sähköistyminen oli Suomessa hyvin hidasta Ruotsiin (Kuva 1.8) ja muihin Länsi-Euroopan maihin verrattuna, vaikka kaupunkien sähköistys sujui Länsi-Euroopan tahdissa. Tärkeänä erona Ruotsiin verrattuna oli se, että Suomessa valtio ei 1940-luvulle asti tukenut sähköistystä rahallisesti eikä teknisesti (Myllyntaus 1991, 248). Sähköistys oli siten seurausta osuuskunta- sekä osakeyhtiötoiminnasta ja muun tyyppisistä ruohonjuuritason yhteistoimintaverkkojen tai yksittäisten maatilojen aktiivisuudesta. Sen tuloksena rakennettiin valtaosin kotimaiseen teknologiaan perustuvia vesiturbiineita tai lämpövoimakoneita käyttäviä maatilakohtaisia, useiden maatilojen yhteisiä tai kylien yhteisiä voimalaitoksia sekä paikallisia sähköverkkoja, jotka eivät olleet yhteydessä toisiinsa. Sekä teknisestä

neuvonnasta että teknologian välittämisestä huolehtivat maatalousorganisaatiot (kuten Pellervo-Seura, Työtehoseura ja Keskusosuusliike Hankkija). Huolimatta paikallistuotannon etujärjestön, vuonna 1922 perustetun Maaseudun Sähköyhtymien liiton, pyynnöistä Eduskunta ja hallitus eivät myöntäneet minkäänlaista tukea maaseudun sähköistämiseen ennen 2. maailmansotaa, lukuun ottamatta Imatran voimalaitosprojektiin liittyviä alueita.



Kuva 1.8. Maaseudun sähköistyminen Suomessa ja Ruotsissa 1905 - 1980 (Myllyntaus 1991, 252).

### 1.2.2. Energiateknologian diversiteetin huippu 1940-luvulla

Maatilojen sähköistymisaste ei kasvanut 2. maailmansodan aikana (Kuva 1.8), mutta fossiilisen tuontienergian saatavuuden loppuessa kaikki energia tuotettiin paikallisilla energiaresursseilla ja useita teknologioita otettiin uutena tai uudelleen maatilojen käyttöön. Sähköä tuotettiin edelleen valtaosin vesivoimalla ja osittain höyrykoneilla sekä myös polttomoottoreihin yhdistetyillä puukaasuttimilla. Mekaaniset vesi- ja tuulimoottorit olivat edelleen käytettävissä kuten myös eläinvoima. Höyrykoneita käytettiin edelleen sekä maamoottoreissa että liikkuvissa työkaluissa pääasiassa puulla, mutta myös puuhiili, peltobiomassa ja turve olivat mahdollisia polttoaineita.

Valaistus perustui sähkön, kasviöljyn, eläinrasvan, päreiden ja halkojen käyttöön. Lämmön tuotannon täydellinen omavaraisuus säilyi. Höyry- ja kaasuturbiineita sekä tuuliturbiineita ei hyödynnetty 1940-luvulla eikä koskaan muulloinkaan sähköntuotantoon maataloilla Suomessa, vaikka eräissä muissa maissa niitä käytetään.

Merkittävimmät sodan aiheuttamat innovaatiot ja teknologian diffuusio tapahtuivat polttomoottorien polttoainetekniikan alueella. Näistä suurimman roolin sai 1910-luvulla Suomessa käyttöön otettu puukaasutintekniikka (häkäpöntöt), jonka avulla tuotettua

puukaasua käytettiin ottomoottorilla varustetuissa – eli aiemmin bensiinillä tai petrolilla käytetyissä – autoissa ja työkoneissa polttoaineena yleensä puu tai puuhiili, mutta myös peltobiomassa ja turve. Presidentin virka-autokin varustettiin häkäpöntöllä (Kuisma 1997, 122-123). Vuosina 1941-1945 halkoja käytettiin vuosittain liikennepolttoaineena noin 12 PJ ja puuhiiltä noin 30 PJ (Valanto 1993b).

Etanolin valmistuksessa maatiloilla oli käytettävissään vuosisataiset perinteet, mutta valtio kielsi sen tuotannon. Siten omatuotantoetanolin käyttö piti tehdä salassa. Etanoli soveltuu ottomoottorien polttoaineeksi, mutta päinvastoin kuin puukaasu, joka on moottoriteknisesti selvästi bensiiniä huonompi polttoaine, etanoli on bensiiniä selvästi parempi ottomoottorin polttoaine (Taulukko 6.7, Kuva 6.8). Sulfiittiselluteollisuuden jätteistä valmistettua etanolia (sulfiittisprii) ryhdyttiin valmistamaan liikennekäyttöön, erityisesti armeijan tarpeisiin, sekoittaen sitä 25 % bensiinin joukkoon Suomessa bentyyliksi ja muualla gasoholiksi kutsuttuna seoksena (Kurki-Suonio 1993). Sama seos toimi sellaisenaan myös työkoneissa. Etanolia käytettiin sodan aikana 31.000 tonnia eli 840 TJ (Valanto 1993b).

Metanolin, joka myös soveltuu ottomoottoreihin bensiiniä paremmin kuten etanoli (Taulukko 6.7), valmistusta kokeiltiin ja tehtaan rakentaminen sellutehtaan yhteyteen aloitettiin, mutta se ei ehtinyt valmistua ennen sodan loppua (Valanto 1993a). Metanolia oli myös mahdollista valmistaa sivutuotteena maatilamittakaavassa pyrolyysillä puuhiilen valmistuksen yhteydessä sekä käymisprosessilla.

Biokaasutekniikka otettiin käyttöön ottomoottoripolttoaineiden valmistuksessa Helsingissä, jossa noin 100 ajoneuvoa kulki jätevedenpuhdistamolta saatavalla metaanilla (Valanto 1993a). Metaani on bensiiniä huomattavasti parempi ottomoottorien polttoaine (Taulukko 6.7). Metaanin liikennekäyttö sodan aikana oli 68 TJ (Valanto 1993b). Biokaasuteknologia ei kuitenkaan ehtinyt levitä maatiloille ennen sodan loppumista, vaan vasta 1970-luvulla ja moottoripolttoainevalmistuksessa vasta vuonna 2002 (Lampinen 2004b). Nykyään biokaasupohjaisen moottoripolttoaineen valmistusteknologia on Suomessa rajoittunut maatilakokoluokkaan ja vain yhdelle maatilalle ja yhdelle autolle Laukaassa, jossa tuotanto vuonna 2004 oli 70 GJ (Kuittinen ym. 2005).

Dieselmoottorit olivat tulleet käyttöön Suomessa 1930-luvulla ja ne olivat sodan aikana harvinaisia ottomoottoreihin verrattuna. Puukaasu soveltuu dieselmoottoreihin vain jos ne ovat dual-fuel-tyyppiä. Etanolin käyttö oli silloin mahdollinen vain hyvin pieninä pitoisuuksina. Mutta valaistuksessa jo kauan käytössä olleet kasviöljyt sopivat dieselmoottoreihin. Myös pyrolyysiöljy, jota saatiin puuhiilen valmistuksen yhteydessä, oli sekoituksena mahdollinen, mutta likainen diesel-korvikepolttoaine. Biodieselin valmistusteknologia, joka soveltuu erinomaisesti maatilakokoluokkaan, oli myös saatavissa. Se mahdollistaa raakaa kasviöljyä helpommin käytettävän polttoaineen valmistamisen kasviöljyistä, eläinrasvoista ja niitä sisältävistä ruoanvalmistusjätteistä dieselmoottoreihin.

Yliopistotutkijat tuottivat useita koeprojekteja synteettisten moottoripolttoaineiden valmistamiseksi varsinkin saksalaisten kokemusten pohjalta, mutta niiden käyttö jäi demonstraatiotasolle ennen sodan loppua eikä maatiloilla luultavasti ollut pääsyä niihin. Bergius-prosessia eli suoraa nesteytysprosessia sekä Fischer-Tropsch-prosessia eli synteetikaasupohjaista synteesiä kokeiltiin sekä turve- että puupohjaisten

moottoripolttoaineiden tuotantoon (Kuisma 1997, 119-125). Lukuisia otto- ja dieselmoottoreihin soveltuvia polttoaineita voidaan valmistaa kummallakin prosessilla kuten myös pyrolyysillä.

Liikenteen biopolttoaineita käytettiin sodan aikana noin 8,5 PJ vuodessa, joka vastaa yli 5 %:a Suomen tieliikenteen energiankulutuksesta vuonna 2004.

### 1.2.3. Maatilojen energiaomavaraisuuden ja hajautetun energiantuotannon teknologiaklusterin menettäminen 1940-luvun jälkeen

Toisen maailmansodan jälkeen, 1940-lopulta alkaen, valtio ryhtyi tukemaan maaseudun sähköistystä, mutta painopiste oli keskitetyssä tuotannossa. Valtion varoin rakennettiin siirtoverkot, joiden avulla sähköä saatiin suurista vesivoimaloista sekä lämpövoimaloista ja olemassa olleet paikalliset sähköverkot yhdistettiin valtakunnan verkkoon. Tärkeimpinä toimijoina olivat 1930-luvulla perustettu valtion yritys Imatran Voima sekä 1940-luvun jälkeen perustetut maakunnalliset sähköyhtiöt. (Ruostetsaari 1986, Massa ym. 1987)

Maaseudun hajautettu tuotantoteknologia ei tarvinnut pitkän matkan siirtoverkkoja, mutta ne eivät pystyneet kilpailemaan keskitetyn sähköntuotannon kanssa tilanteessa, jossa siirtoverkot rakennettiin valtion kustannuksella eivätkä niiden investoinnit sisältyneet sähkön hintaan. Lisäksi moni suurvoimala oli myös suurelta osin rakennettu valtion kustannuksella päinvastoin kuin maaseudun pienlaitokset. Se johti vähitellen pienimpien laitosten käytön lopettamiseen ja kokonainen hajautetun tuotannon teknologiaklusteri, jossa yli 100 suomalaista yritystä oli valmistanut monia paikallisia energiasursseja hyödyntäviä sähköä tai mekaanista voimaa tuottavia pienvoimaloita vuosisadan ajan, katosi. Mitään huomiota ei valtion politiikassa kiinnitetty tämän teknologiaklusterin kehittämiseen rinnan keskitetyn sähköntuotantoteknologian kehittämisen kanssa.

Nykyään Suomessa on enää alle 10 maatilaa, jotka tuottavat itse sähkönsä, joko biokaasulla tai vesivoimalla. Biokaasulla tuotti sähkönsä 2 maatilaa vuonna 2004 (Kuittinen ym. 2005). Vesivoimalla tuotti sähkönsä muutama maatila käyttäen vanhoista mekaanisista vesimyllyistä modernisoituja vesiturbiineita ja myllykäyttö oli sähkön pääkäyttökohde. Maatiloilla on lisäksi parikymmentä itse rakennettua tuuliturbiinia, joiden tuottamaa sähköä käytetään vain lämmitykseen. Pieniä kymmenien tai satojen wattien aurinko- ja tuulisähköjärjestelmiä on harvinaisena erityiskäytössä maatiloilla.

*Taulukko 1.2. Eräiden koneiden lukumäärien [kpl] kehitys maatiloilla 1929-1970 (Liskola 1993).*

Kone	1929	1941	1950	1959-60	1969-70
Höyrykone	5 000	3 300	1 600		
Polttomoottori	16 200	30 300	38 200	43 300	19 100
Sähkomoottori	14 100	23 200	51 100	122 200	198 700
Lämminilmakuivuri		18 000	25 800		36 600
Kylmäilmakuivuri					3 600
Traktori	1 900	5 900	14 400	71 500	151 800
Hevonen	357 000	386 100	420 300	250 900	89 800
Sonni	19 900	21 100	10 400	4 900	1 400
Maatalousväestö	2,0 milj.	2,0 milj.	1,7 milj.	1,4 milj.	0,8 milj.



Lisäksi tuhannet maatilat ovat joutuneet hankkimaan traktorikäyttöisen tai erillisen fossiiliöljykäyttöisen aggregaatin turvakseen Suomen jatkuvasti keskittyvän ja sen takia haavoittuvammaksi tulevan sähköjärjestelmän katkosten ja hintapiikkien takia. Sähköistymisen myötä sähkömoottorista tuli lukumääräisesti mitaten tärkein koneellisen voiman lähde maataloilla (Taulukko 1.2).

Polttomoottorien polttoaineiden suhteen kehitys oli sodan jälkeen samansuuntainen (Taulukko 1.3). Raakaöljymarkkinat avautuivat ja kaikki kotimaisiin resursseihin perustuvat lukuisat polttoaineteknologiat valmistajineen katosivat. Päätoimijana oli vuonna 1948 perustettu valtion yritys Neste. Nykyään Suomessa on enää noin 5 maatilaa, jotka valmistavat itse moottoripolttoainetta: biodieseliä, kasviöljyä tai biokaasua. Ja löytyy vain 1 energiaomavarainen maatila, joka valmistaa itse (biokaasulla) moottoripolttoaineensa ja lisäksi myös sähkön ja lämmön (Lampinen 2004b).

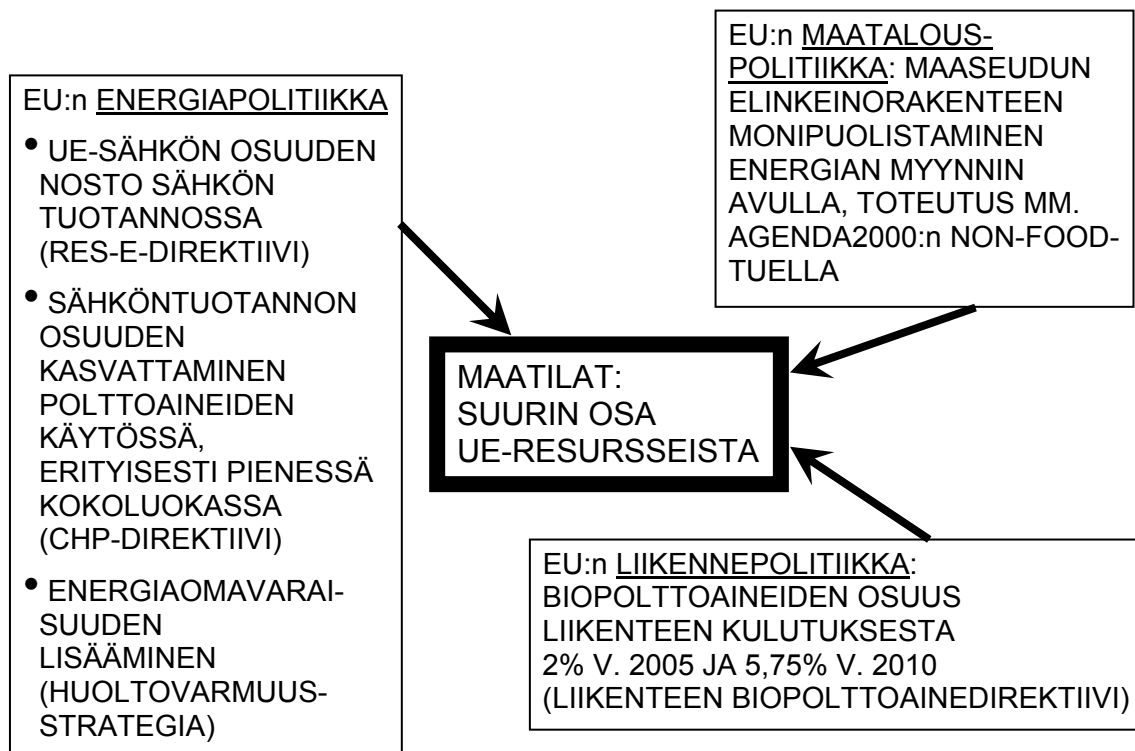
<i>Taulukko 1.3. Polttomoottorien polttoaineiden maatilakokoluokan tuotantoteknologian kehitys.</i>			
	1900	1945	2005
<b>Otto-moottori</b>			
Synteesikaasu kiinteästä biomassasta	○○	●●	○○
Etanoli tärkkelys- ja sokerikasveista	●●	●●	○○
Etanoli muista peltokasveista ja puusta		○	○
Etanoli sulfiittiselutehtaiden ja muista jätteistä	●	●	○
Metaani/biokaasu	○○	●	●●
Vety	○	○	○○
Metanoli	○	○#	○
Pyrolyysiöljy/synteettiset polttoaineet		○	○
Suora nesteytys/synteettiset polttoaineet		○#	○
Kaasutusperusteiset synteettiset polttoaineet		○#	○
Reformoidut polttoaineet, mm. ETBE		○	○
<b>Diesel-moottori</b>			
Kasviöljyt		●●	●●
Biodieselit		○○	●●
Synteesikaasu kiinteästä biomassasta		○○	○○
Metaani/biokaasu		○	○○
Etanoli			○
Pyrolyysiöljy/synteettiset polttoaineet		○	○
Suora nesteytys/synteettiset polttoaineet		○#	○
Kaasutusperusteiset synteettiset polttoaineet		○#	○
Reformoidut polttoaineet		○	○
●●	Resurssin ja polttoaineen tuotanto maatilalla Suomessa		
●	Resurssin tuotanto maatilalta Suomessa sijaitsevalle keskitetylle laitokselle		
#	Suomessa demonstraatiokäytössä		
○○	Käytössä ulkomailla; sekä resurssin että polttoaineen tuotanto maatilalla		
○	Käytössä ulkomailla; vain resurssin tuotanto maataloilla		

Energian huoltovarmuuden turvaaminen sekä alue-, sosiaali- ja maatalouspoliittiset tavoitteet olivat tietenkin valtion hyvänä tarkoituksena, kun sodan jälkeinen maaseudun energiapolitiikka luotiin (Ruostetsaari 1986). Mutta ylilyönti tapahtui, kun sähkön ja polttoaineiden keskitetyn infrastruktuurin ohella ei huolehdittu hajautetun teknologian säilyttämisestä ja kehittämisestä ja sitä kautta maaseudun energioresurssien tehokkaasta hyödyntämisestä (Luku 2). Samalla maatalouden organisaatiot, jotka ennen antoivat teknistä ja poliittista tukea hajautetulle sähkö- ja polttoaineiden tuotantoteknologioille, poistivat kyseiset toimintamuodot ohjelmastaan, joka energia-alueella sisältää enää

lämmöntuotannon teknologioita. Siten muiden kuin lämpöenergian tuottamisesta kiinnostuneet maanviljelijät joutuvat nykyään, päinvastoin kuin ennen, toimimaan yksin, ilman teknistä ja informaatiotukea.

Nykyiset energian huoltovarmuuden uhkat johtuvat nimenomaan energiahuollon keskittymisestä ja suuresta tuontienergiariippuvuudesta, joiden takia sekä EU (Kuva 1.9, Luku 3), OECD (IEA 2002) että YK (WEA 2000) painottavat tarvetta siirtyä takaisin hajautetumpaan energiainfrastruktuuriin. Kuten liitteen 6 EU-perusteluista ilmenee, myös ympäristö-, maatalous- ja työllisyyspoliittiset sekä monet muut syyt johtavat samaan tarpeeseen.

Tässä teknologisessa muutoksessa maatilojen rooli on keskeinen, koska ne hallitsevat suurta osaa hajautetuista energiaresursseista (Hyttinen 2005, Kuva 1.9). Resurssien (Luku 2) ja teknologioiden (Luvut 4-5) runsaudesta sekä EU-tason edistämistoimenpiteistä (Luku 3) huolimatta maatilojen omavaraisuuden nostaminen ja yliomavaraisuuden luominen on erittäin vaikeaa erityisen suurista ei-teknisistä rakenteellisista esteistä johtuen (Ruostetsaari 1985, Massa ym. 1987, Salo 2006). Suomen maatilojen nykyinen energiankulutusrakenne löytyy liitteestä 2.



Kuva 1.9. EU:n energia-, maatalous- ja liikennepoliittiset strategiat ja direktiivit painottavat maatilojen yliomavaraisuutta eli energiaresurssien saantia markkinoille maatilojen omavaraisuuden lisäksi.

## **2. MAATILOJEN ENERGIANTUOTANTOPOTENTIAALI**

### **2.1. JOHDANTO RAKENTEELLISEEN ENERGIAPOTENTIAALIANALYYSIIN**

Potentiaalianalyysit ovat välttämättömiä työkaluja energia-alan päätöksenteossa ylikansallisella, kansallisella, alueellisella, paikallisella ja yritystasolla. Varsinkin julkisen sektorin analyyseillä on Suomessa heikkoutena rakenteellisuuden puute. Potentiaaleja voidaan arvioida monella tasolla ja niiden arvioissa on aina lukuisia reunaehtoja. Erityisesti niin sanottujen taloudellisten potentiaalien analyyseissä, joissa vertaillaan eri energiantuotantovaihtoehtojen taloudellisuutta, tulokset vaihtelevat rajusti. Taustaoletuksista riippuen mikä tahansa vaihtoehto voi menestyä vertailussa.

Willis ja Scott (2000, 539-574) ovat analysoineet taloudellisten arvioiden objektiivisuutta maatalolle soveltuvien hajautettujen energiantuotantoteknologioiden osalta. Vaikka päätöksentekijät yleensä mieltävät asiantuntijoiden tekemät arviot objektiivisiksi, ne ovat hyvin harvoin sellaisia. Päinvastoin, niiden taustalla on yleensä jonkin tai joidenkin teknologioiden edistäminen valittuihin vaihtoehtoihin verrattuna – ja erityisesti vaihtoehtoihin, joita ei ole selvityksessä otettu huomioon. Tämä on täysin hyväksyttävää silloin, kun tehdyt oletukset on selkeästi selvitetty. Mutta se on käytännössä harvinaista.

Poliittisessa päätöksenteossa tulisi ymmärtää, millaisia reunaehtoja ja muita oletuksia on käytetty. Tällöin niitä voidaan tarvittaessa muuttaa. Objektiiviseen potentiaalianalyysiin kuuluu myös kattavuus, herkkyysanalyysin käyttö ja rakenteellinen analyysitapa. Herkkyysanalyysillä voidaan osoittaa kvantitatiivisesti reunaehtojen valintojen vaikutusta lopputulokseen. Rakenteellisella analyysillä voidaan puolestaan näyttää kunkin vaihtoehdon teoreettiset potentiaalit ja niiden pohjalta eri oletuksilla arvioidut toteuttamiskelpoiset potentiaalit.

Käsillä olevassa työssä ei tehdä kattavaa maatalojen energiantuotannon potentiaalianalyysiä, mutta tehdään pohjaa jatkotyötä varten. Kaikki oletukset on ilmoitettu, ja tulokset taulukoitu, joten tuloksia on helppo jatkotyössä laskea vaihtelevin oletuksin. Tulokset on annettu maakunnittain niiltä osin kuin se on mahdollista, joten niitä voidaan käyttää pohjana maakunnallisten ja kunnallisten energiastrategioiden laadinnassa.

YK:n hallitustenvälinen ilmastopaneeli IPCC (2001) on koonnut rakenteellisen potentiaaliarvioinnin mallin liitteessä 3 esitettyyn kuvaan, jossa kuvataan ilmastomuutosta hillitsevien teknologioiden – joihin uusiutuvat energiamuodot kuuluvat – käyttöönottopotentiaalien tasoja. Potentiaalitasojen lisäksi on kuvattu niiden aikariippuvuutta eli on oleellisen tärkeää huomata, että potentiaalit voivat kasvaa ajan funktiona. Esimerkkejä potentiaalin nostamisen tiellä olevista esteistä ja esteiden ylittämiseen käytettävissä olevista toimenpiteistä on myös mainittu. Mikään potentiaalitaso ei ole yksikäsitteinen, vaan sen tapauskohtainen määrittely riippuu voimakkaasti taustaoletuksista, jotka on oleellista ottaa huomioon potentiaalianalyysin pohjalta tehtävässä päätöksenteossa. Lisäksi joudutaan ottamaan huomioon, että potentiaalien nimityskäytäntö on kirjavaa, joten käytetyn nimen perusteella ei useinkaan

voi päätellä, millä tasolla analyysi on tehty. Kuva 2.1 esittää tärkeimmät potentiaalitasot.

Fysikaalinen potentiaali tarkoittaa teoreettista ylärajaa. Vaikka sille ei ole liitteen 3 kuvaan piirretty aikariippuvuutta, niin sekin voi muuttua. Maan pinnalle saapuva auringonsäteily – jonka suuruus nykyään tunnetaan hyvin – on sekä suoran aurinkoenergian että bioenergian fysikaalinen potentiaali, joka voi muuttua esimerkiksi ilmastonmuutoksen seurauksena kumpaan suuntaan tahansa. Sama syy voi johtaa myös vesivoiman, tuulivoiman, aaltovoiman ja merivirtavoiman fysikaalisen potentiaalin muutokseen. Monien energiamuotojen fysikaalinen potentiaali tunnetaan huonosti ja siten esimerkiksi fossiilisten energiamuotojen, geotermisen energian, geovedyn ja ydinpolttoaineiden tunnettu fysikaalinen potentiaali voi muuttua geologisen tietämyksen parantuessa. Fysikaalisella potentiaalilla voidaan tarkoittaa lisäksi fysikaalisen resurssin konversion teoreettista maksimia, esimerkiksi virtausdynaaminen Betzin hyötysuhde tuulienergian hyödyntämisessä tuulivoimaksi.

#### LUONNONTIETEELLISET POTENTIAALIT

FYSIKAALISET BIOLOGISET KEMIAALLISET TEKNISET EKOLOGISET
----------------------------------------------------------------------

#### YHTEISKUNTATIETEELLISET POTENTIAALIT

SOSIOEKONOMISET SOSIAALISET YHTEISKUNNALLISET TALOUDELLISET MARKKINAPOTENTIAALIT
----------------------------------------------------------------------------------------------

---

*Kuva 2.1. Rakenteellisen potentiaaliarvioinnin tasot.*

Biologinen potentiaali (puuttuu liitteen 3 kuvasta) on fotosynteesin hyötysuhteen asettama teoreettinen yläraja biologiselle aurinkoenergian hyödyntämiselle. Se on välttämätön osa bioenergian potentiaalianalyysiä, muttei koske muita energiamuotoja. Teknologinen potentiaali, tässä yhteydessä maatalous- ja metsätalousteknologinen, tarkoittaa tunnetulla teknologialla teoriassa tuotettavissa olevaa maksimipotentiaalia, Biologinen potentiaali (tai paremminkin mikrobiologinen potentiaali) voi kuvata myös bioenergian mikrobiologisten konversioprosessien teoreettista maksimihyötysuhdetta.

Kemiallinen potentiaali (puuttuu liitteen 3 kuvasta) tai kemiallis-fysikaalinen potentiaali kertovat polttoaineesta teoreettisesti saatavissa olevan energiamäärän kemiallisissa, lämpökemiallisissa, ydinkemiallisissa ja muissa konversioprosesseissa. Rajoitteena on esimerkiksi lämpöopin 2. pääsääntö (Carnot'n hyötysuhde) polttoprosessien hyötysuhteelle.

Tekninen potentiaali kertoo kuinka paljon fysikaalisesta, biologisesta tai kemiallisesta potentiaalista on teknisesti mahdollista hyödyntää. Se riippuu erittäin voimakkaasti käytetyistä oletuksista ja se paranee teknologisen kehityksen mukana. Käytännössä on yleensä tarkoituksenmukaista tehdä useita teknologisen potentiaalin arvioita, jotta saadaan selville suunnitteluasteen ja demonstraatioasteen teknologioiden ja toisaalta markkinoilla olevien parhaiden, huonoimpien ja yleisimpien teknologioiden yleensä huomattavan suuret erot. Tällöin voidaan arvioida teknologian tietoisien valinnan mahdollisuuksia sosioekonomisen potentiaalin analyysissä.

Sosioekonominen potentiaali kuvaa teknologian ja resurssien käytön hyväksyttävyyttä yksilöiden (sosiaalinen potentiaali) ja yhteiskunnan (yhteiskunnallinen potentiaali) kannalta. Nämä riippuvat voimakkaasti ihmisten ja yhteiskunnan arvoista, asenteista ja tiedoista sekä markkinoista. Sosioekonomiset potentiaalit voivat olla suurempia tai pienempiä kuin ekologinen ja taloudellinen potentiaali.

Ekologinen potentiaali (puuttuu liitteen 3 kuvasta) kuvaa eliömaailman sietokykyä. Puhtaasti luonnontieteellisesti arvioiden se on hyvin alhainen lähes kaikille moderneille energiantuotantomuodoille, mikäli verrattaisiin tilaan, että ihmiskuntaa ei lainkaan olisi. Käytännössä vertailupohjana on niin sanottu kestävä kehityksen taso, jota kuitenkin tulkitaan monella tavalla ja siten tämä potentiaalilaji sisältää sekä luonnontieteellisiä että arvosidonnaisia oletuksia. Ekologinen potentiaali voi olla suurempi (esimerkiksi tuulivoima) tai pienempi (esimerkiksi fossiiliset polttoaineet) kuin sosioekonomiset potentiaalit. Ekologinen potentiaali voi myös olla suurempi (esimerkiksi aurinkosähkö) tai pienempi (esimerkiksi fossiiliset polttoaineet) kuin taloudellinen ja markkinapotentiaali.

Taloudellinen potentiaali tarkoittaa energiaresurssin ja –teknologian käytön määrää, joka on taloudellisesti kannattavaa joko yhteiskunnan tai yksilön näkökulmasta, ainakin pitkällä tähtäimellä, ottaen huomioon markkinakustannusten lisäksi ympäristölle ja terveydelle koituvia haittoja eli energian käytön ulkoiskustannuksia sekä rahamääräisesti vaikeasti arvioitavia arvoja, kuten energiaomavaraisuus, energiahuollon luotettavuus, laatu ja joustavuus, imagoarvo ja työllistävyys.

Markkinapotentiaali kertoo kuinka paljon energiaresurssia ja –teknologiaa pystytään todellisuudessa markkinoilla hyödyntämään. Se riippuu erittäin voimakkaasti paikallisista, kansallisista ja kansainvälisistä markkinoista, yhteiskunnan taloudellisesta ohjauksesta sekä markkinatoimijoiden arvoista, asenteista ja tiedoista. Sitä pystytään lainsäädännöllisin ja hallinnollisin toimin yleensä nostamaan huomattavasti.

## **2.2. AURINKO- JA BIOENERGIARESURSSIEN POTENTIAALIT**

Aurinkoenergia on tärkein ja ainut välttämätön maatalojen energianlähde, jonka osuus energiaintensiivisenkin maatilan energiataseesta on vähintään 90 % (Naylor 1996). Perinteisesti ja myös nykyisin sitä käytetään lähinnä passiivisesti eli fotosynteesin kautta kasvien kasvuun sekä lisäksi kasvien kuivaukseen (yhdessä passiivisen tuulienergian kanssa) ja talojen lämmitykseen. Perinteisesti maanviljelyksen mekaaninen työ on ollut epäsuoraa aurinkoenergiaa, bioenergiaa, ihmisten ja eläinten lihasvoiman kautta. Nykyään aktiivinen aurinkolämpötekniikka mahdollistaa

kuivauksen ja talojen lämmityksen tehostamisen ja aurinkosähkötekniikat antavat mahdollisuuden myös sähköntuotantoon. Bioenergiatekniikat mahdollistavat lämmityksen, sähköntuotannon ja mekaanisen työn myös työkone- ja liikennepolttoaineiden tuotannon kautta.

Maahan absorboituva auringonsäteily antaa fysikaalisen potentiaalin sekä suorille aurinkoenergiateknologioille että osalle epäsuorista, nimittäin bioenergia sekä lämpöpumpuin hyödynnettävät maa-, järvi-, joki- ja merilämpö (ilmalämpö on osittain suoraa hyödyntämistä). Globaalisti vuosittain maan pinnalle saapuva aurinkoenergian määrä on noin 3.900.000 EJ (WEA 2000) eli noin 9000-kertainen maailman energiankulutukseen verrattuna (Taulukko L4.1). Auringon säteilyintensiteetti vaihtelee maailmassa paljon, joten potentiaalianalyseissä on käytettävä paikallisia mittaustuloksia. Liitteen 4 taulukkoon L4.3 on koottu Ilmatieteen laitoksen mittausasemien keskimääräiset auringonsäteilyn intensiteetit vuosina 1961-1990. Niiden avulla on taulukkoon L4.4 laskettu maakunnittain maatilojen fysikaalinen vuosittainen aurinkoenergiaresurssi käyttäen hyväksi taulukkoon L4.2 koottuja maatilojen maakunnallisia maankäyttötietoja. Kunkin maakunnan keski-intensiteetti on arvioitu maakunnan alueella olevien mittausasemien tuloksista. Yksittäisen maatilan mittaus ei todennäköisesti poikkea merkittävästi maakunnan keskiarvosta, joten maatilan alueella suoritettava mittaus ei ole potentiaaliarvion välttämätön edellytys.

Maatilojen omistuksessa on noin 6,6 miljoonaa hehtaaria maata eli 19 % Suomen pinta-alasta. Maatilojen yhteenlaskettu vuosittainen aurinkoenergiaresurssi on 210.000 PJ eli 140-kertainen Suomen energiankulutukseen verrattuna (Taulukko L4.4).

### **2.2.1. Aurinkoenergia**

Teknisesti tuosta määrästä voidaan parhaimmillaan hyödyntää lämpönä 70 % käyttäen moderneja tyhjiöputkiaurinkokeräimiä eli hyödynnettävää lämpöä voitaisiin parhaalla nykytekniikalla tuottaa 150.000 PJ vuodessa. Sähköä voidaan Suomen olosuhteissa, jossa vain puolet aurinkoenergiasta tulee suorana säteilynä, tuottaa korkeintaan 20 %:n hyötysuhteella käyttäen moderneja puolijohdeaurinkokennoja. Se tarkoittaa 12.000 TWh:n potentiaalia, joka on 140-kertainen Suomen sähkönkulutukseen verrattuna (Taulukko L4.1), toisin sanoen 0,7 %:lla (47.000 ha) maatilojen omistuksessa olevasta maasta voitaisiin nykytekniikalla tuottaa Suomen nykyinen sähkötarve. Termisesti voidaan Stirling-koneiden ja paraboloidipeilien avulla nykyään saavuttaa 30 %:n sähköntuotannon hyötysuhde, mutta keskittäviin peileihin perustuvat teknologiat eivät pysty hyödyntämään hajasäteilyä, päinvastoin kuin aurinkopaneelit. Sekä aurinkokeräimien että erityisesti aurinkopaneelien hyötysuhteiden odotetaan edelleen paranevan tulevaisuudessa. Tekniset potentiaalit on laskettu taulukkoon L4.5 maakunnittain erikseen lämmön ja sähkön osalta. Näitä potentiaaleja ei voi laskea yhteen, sillä ne ovat fysikaalisen potentiaalin vaihtoehtoisia hyödyntämistapoja.

Ekologinen potentiaali on mitä suurimmassa määrin vaikeasti määritettävä. Osa aurinkoenergiateknologiasta voidaan sijoittaa siten, että nettopinta-alaa ei käytetä lainkaan: katoille, katoksille ja etelään suunnatuille seinille sijoitetut paneelit ja keräimet, maan alle tai vesistöihin sijoitetut lämpöpumput, sekä rakennuksiin sijoitetut ilmalämpöpumput. Muualle sijoitettaessa pinta-alan käyttö on erittäin alhainen verrattuna energiakasviviljelyyn ja tekoaltaita käyttävään vesivoimaan, vaikka paneelien välinenkin alue luettaisiin mukaan (Taulukko L5.1). Koska paneelit ja keräimet

suunnataan etelään, todellinen jalustojen viemä alue on vain 1 %:n luokkaa koko keräinkentän pinta-alasta (Kuva 2.2). Loppuosa alueesta on käytettävissä esimerkiksi laidunmaana tai niittymuotoisena ekosysteeminä. Sitä voidaan käyttää lisäksi ilman merkittäviä nettoalahäviöitä myös tuulivoiman ja maalämmön tuotantoon. Keräin- tai paneelientä voidaan tarvittaessa nostaa katolle tai katokselle, ja siten vapauttaa alaa rakennuskäyttöön ilman energiantuotantohäviöitä.



*Kuva 2.2. Yhden hehtaarin (10.000 m<sup>2</sup>) tehollisen alan aurinkokeräinkenttä pellolla Kungälvissä Göteborgin pohjoispuolella Ruotsissa. Se tuottaa paikalliseen kaukolämpöverkkoon hyödynnettävää lämpöenergiaa yhtä paljon kuin 100 hehtaaria energiakasviviljelystä. Koska keräimet on suunnattu kaltevasti etelään, jalustojen maapinta-alan tarve on prosenttien luokkaa keräinkentän pinta-alasta ja muu osa jää matalakasvuisen niittyekosysteemin käyttöön. Kenttää käytetään lampaiden laidunmaana, jolloin keräimet toimivat suojana sekä auringolta että sateelta. Kaukolämpöverkon päälämmityslähde on hake. [2003]*

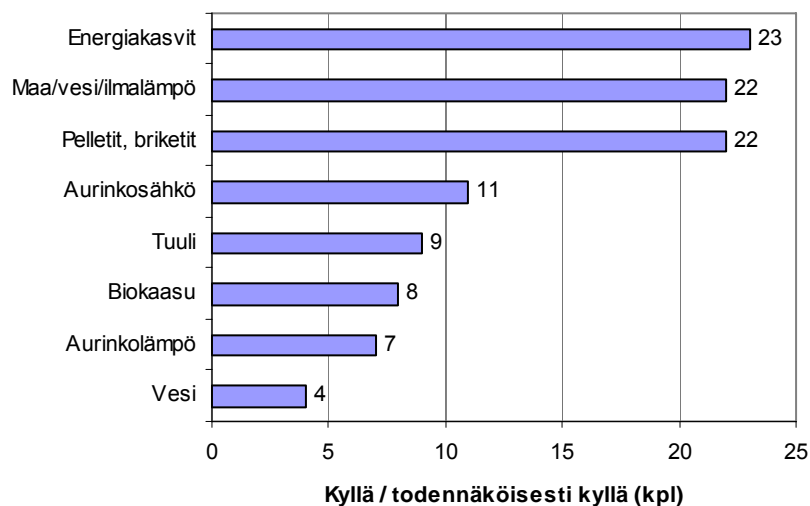
Energeettinen takaisinmaksusuhde eli tuotetun energiamäärän suhde laitoksen rakentamisen ja ylläpidon energiantarpeeseen on aurinkosähköllä kilpailukykyinen moniin energiantuotantomuotoihin verrattuna, poislukien erityisesti vesivoima (Taulukko L5.2). Aurinkokennojen valmistuksessa voi syntyä myrkkypäästöjä, mutta kaikkien tavanomaisten päästöjen osalta kyseisen teknologian elinkaaripäästöt ovat erittäin alhaiset kaikkiin tavanomaisiin sähköntuotantomuotoihin verrattuna (Boyle ym. 2003, IEA 1998). Kaikkien ympäristövaikutusten suhteen aurinkokeräimet ovat selvästi aurinkopaneeleita parempia.

Kun kyseisiä teknologioita sijoitetaan maatalojen maille, käytetään joutomaata tai monokulttuurikäytössä olleita maita. Kun niille sijoitetaan aurinkokeräinkenttiä, joiden kokonaispinta-alasta edelleen 99 % jää matalakasvuisen niittytyyppisen ekosysteemin käyttöön, biodiversiteetissä ei tapahdu merkittävää muutosta. Ekologisin perusteluin ei ole syytä rajata potentiaalia ainakaan alle 10 %:n tason teknologiseen verrattuna. Tällä arvolla on laskettu taulukkoon L4.5 ekologinen potentiaali maakunnittain sekä sähkön että lämmön tuotannolle. Yhteenlaskettuna potentiaali sähkölle on 1200 TWh ja lämmölle 15.000 PJ. Jo 0,7 % maatalojen maista riittää Suomen nykyiseen sähköntarpeeseen, ja siis korvaamaan suurempien ympäristövaikutusten sähköntuotantomuotoja. Toisaalta aurinkosähkö on parhaimmillaan hajautettuna tuotantomuotona, eikä ole tarvetta ylituotantoon ja myyntiin ulkomaille olettaen, että myös ulkomailla tullaan hyödyntämään pääasiassa ekologisesti parhaita sähköntuotantomuotoja.

Passiiviset aurinkoenergiateknologiat (rakennustekniset parannukset sekä eräät Suomessa käyttämättömät sovellutukset kuten viljan kuivaus) ovat ekologiselta kannalta korkeimmalla prioriteettitasolla, mutta ne rajoittuvat paikalliseen käyttöön, joten niiden potentiaali jää alle maatilojen lämpöenergian kulutuksen. Teknisesti on osoitettu (Tanskassa), että myös passiivista aurinkolämpöä voidaan tuottaa paikalliseen kaukolämpöverkkoon, mutta kyseinen käytäntö ei varmaankaan voi tulla yleiseksi.

Sosiaalisen potentiaalin eli teknologian sosiaalisen hyväksyttävyyden arviointi edellyttää joko kyselytutkimusta tai historiallisen käyttäytymisen selvitystä. Huttusen (2004) kyselytutkimuksessa kysyttiin pohjoisen Keski-Suomen maatilojen kiinnostusta uusiutuvan energian käytön lisäämiseen. Yhdelläkin tilalla ei ollut käytössä aurinkokeräimiä eikä aurinkosähköä, mutta yhdellä tilalla oli maalämpöpumppu. Vastaajista 5,9 % ilmoitti olevansa kiinnostunut aurinkosähkön käytöstä 5 vuoden sisällä. Vastaavasti 3,7 % ilmoitti kiinnostuksensa aurinkokeräimiin ja 12 % lämpöpumppeihin (188 vastaajaa, Kuva 2.3). Vastaavassa kyselytutkimuksessa Etelä-Pohjanmaalla aurinkosähköstä oli kiinnostunut 3,7 %, aurinkokeräimistä 11 % ja lämpöpumpuista 8,6 % (81 vastaajaa; Rintamäki & Rouhunkoski 2004).

**Mahdollisuus hyödyntää paikallisia energialähteitä**



*Kuva 2.3. Pohjoisen Keski-Suomen maatilojen lukumäärä, jotka ilmoittavat että heillä on tai on todennäköisesti mahdollisuus hyödyntää tiettyjä uusiutuvia energialähteitä tilallaan energiantuotannossa viiden vuoden sisällä (N = 188) (Huttunen 2004).*

Näistä tutkimuksista ei selviä, kuinka suuren osuuden sähkön ja lämmön tarpeestaan maatilat olisivat kiinnostuneita aurinkosähköllä ja aktiivisella aurinkolämpötekniikalla kattamaan. Oletetaan tässä, että sosiaalinen valmius on 100 %:n käyttöön. Lämpöpumpputekniikalla päästään kuitenkin käytännössä vain noin 65 %:n aurinkolämpöosuuteen, jolloin loppu on sähköä. Näillä oletuksilla voitaisiin laskea sosiaaliset potentiaalit Keski-Suomelle ja Etelä-Pohjanmaalle, jos maatilojen energiankulutustiedot olisivat tarpeeksi tarkasti tiedossa. Koska niin ei ole ja koska muista maakunnista ei yllä mainittuja tietoja ole toistaiseksi olemassa, on potentiaalit laskettu taulukkoon L4.5 vain Suomelle yhteensä käyttäen Keski-Suomen ja Etelä-Pohjanmaan teknologian hyväksyttävyyden keskiarvoja sekä Suomen maatilojen



yhteenlaskettuja energiankulutustietoja (Taulukko L2.1). Tällöin lämmityksestä yhteensä 14 % (2,1 PJ) ja sähköstä 4,8 % (0,12 TWh) voitaisiin kattaa aurinkoenergialla. Tavanomaisen passiivisen aurinkolämpötekniikan (kuten tavanomainen eristys) sosiaalinen hyväksyttävyyys on suuri, mutta parannusten (kuten rakennusten suuntaus) osalta sitä ei ole selvitetty.

Toinen tapa sosiaalisen potentiaalin arviointiin saadaan historiallisten käyttötottumusten kautta. Joitakin harvinaisia poikkeuksia lukuun ottamatta aurinkosähköä ja lämpöpumppuja ei ole käytetty Suomen maataloilla eikä myöskään aurinkokeräimiä tilälämmitykseen, lämpimän käyttöveden valmistukseen tai viilennykseen. Mutta vielä 1980-luvun alussa ilmakiertoisia lasikatteettomia keräimiä käytettiin varsin yleisesti viljan kylmäilmakuivureissa. Niitä oli parhaimmillaan 1500 maatilalla, pinta-alaltaan yhteensä 75.000 – 100.000 m<sup>2</sup> ja vuotuinen hyödynnettävä lämpöenergian tuotanto oli 0,007 – 0,018 PJ (KTM 1999). Tällä sovelluksella on globaalisti merkittävä potentiaali maataloudessa. IEA:n (2000) mukaan tällä teknologialla voitaisiin tuottaa vuodessa 657 – 1530 PJ, jolla korvattaisiin nykyään kuivaukseen käytettävää polttoöljyä. Kyseisen teknologian uudelleentuleminen on tietenkin tulevaisuudessa mahdollinen myös Suomessa. Tässä sovelluksessa käyttöaste on alhainen, mutta kyseisen pinta-alan käyttö keräimille on joka tapauksessa osoittautunut hyväksyttäväksi. Mikäli tuo pinta-ala käytettäisiin tyhjiöputkikeräimille, vuotuinen lämpöenergiantuotto olisi 0,2 PJ.

Taloudellinen potentiaali lämmityksessä koostuu useista lähteistä, joista suurin on passiivinen aurinkolämpö. Sen hyödyntämistä voidaan lisätä etenkin tilälämmityksessä rakennusteknisin menetelmin ja lisäksi se voidaan teknisesti ottaa käyttöön esimerkiksi kuivureissa. Sitä ei tässä käsitellä määrällisesti. Aktiivisen aurinkolämmön potentiaalia on viljan kuivauksessa vähintään se määrä, joka 20 vuotta sitten oli käytössä, sillä öljyn reaalihintana on nykyään korkeampi kuin silloin ja on edelleen nousemassa. Lisäksi noin puolet vuotuisen lämpimän käyttöveden tarpeesta on taloudellisesti kilpailukykyistä toteuttaa tasoaurinkokeräimillä, jotka antavat korkeintaan 40 %:n kokonaishyötysuhteen (jopa 70 %:n hyötysuhteen tyhjiöputkikeräimet eivät nykyään ole niiden kanssa taloudellisesti kilpailukykyisiä, mikäli vapautuvaa asennuspinta-alan tarvetta ei hinnoitella). Vuotuisen tarpeen 50 %:n maksimiosuus johtuu siitä, että tällä hetkellä kausivarastointi (kesällä kerätyn lämmön varastointi ja käyttö talvella) ei ole kilpailukykyistä, vaikka se on teknisesti toimiva. Sen sijaan vuorokausivarastointi ja lyhytaikainen varastointi ovat kilpailukykyisiä. Myös merkittävä tilälämmityksen osuus edellyttää pitkäaikaista varastointia. Tilanne Ruotsissa on aivan toinen samanlaisesta ilmastosta huolimatta. Siellä kausivarastointi on käytössä ja sieltä löytyy useita suuria keräinkenttiä, jotka tuottavat lämpöä myytäväksi kaukolämpöverkon kautta muille, jolloin maatila voi siis olla yliomavarainen aurinkolämmön suhteen ja saada siitä myyntituloja (Kuva 2.2). Se tietenkin edellyttää keräinkentän sijaintia taajaman tai kaupungin läheisyydessä ja sitä, että kaukolämpöverkkoon syötetään lämpöä myös kemiallisista polttoaineista (Ruotsissa yleensä hake) tai lämpöpumpuista. Taloudellista potentiaalia voidaan Suomessakin nostaa, jos niin halutaan, esimerkiksi maatalouspoliittisista syistä, ja siten mahdollistaa sekä aurinko- että bioenergialla tuotetun lämmön myynti kaukolämpöverkon kautta. Uusia teknisesti mahdollisia käyttökohteita sekä aurinko- että biolämmölle ovat esimerkiksi viilennysenergian tuottaminen absorptiolämpöpumpputekniikalla, veden puhdistus haihdutustekniikalla ja biokaasureaktorin lämmitys (jos halutaan maksimoida tuotetun metaanin määrä moottoripolttoaineena).

Ruotsissa lämpöpumppujen avulla hyödynnettävä aurinkolämpö on merkittävä osa monien kaupunkienkin lämmitystä, esimerkiksi Tukholma. Suomenkin nykyisessä tilanteessa lämpöpumpuilla voitaisiin maataloilla kattaa kilpailukykyisesti 100 % sekä tilalämmityksen että lämpimän käyttöveden tarpeesta, jolloin maasta, järivistä, joista tai merestä kerätty aurinkoenergiaosuus olisi 65 % (ilmalämpöpumppuja käytettäessä vain puolet siitä). Taloudellinen potentiaali on taulukossa L4.5 asetettu tuon 65 %:n pohjalta koko Suomelle, mutta ei erikseen maakunnille.

Taloudellinen potentiaali aurinkosähkölle on marginaalinen, sillä se ei pysty kilpailemaan (hinta nykyään 10-kertainen) verkkosähkön kanssa ja lähes kaikki maatilat on kytketty verkkoon. Näissä on aurinkosähkölle kannattavia mahdollisuuksia kaukana pääarakennuksista sijaitsevista kohteista kuten sähköaidoissa, sää- ja muissa mittauslaitteissa sekä erillisarannoissa. Niiden kokonaismäärä on kuitenkin nykyisissä oloissa lähellä nollaa (Taulukko L4.5).

Markkinapotentiaali on nykyään sähkön lisäksi lähellä nollaa myös lämmön osalta, mukaan lukien passiivisen aurinkolämmön käytön parantaminen. Tilastokeskuksen (2005/taulukko 6.3) mukaan maatalousrakennuksia lämmitettiin lämpöpumpuilla 0,01 PJ vuonna 2004. Aurinkokeräinkylmäilmakuivureiden käyttöä ei ole tilastoitu, mutta edellä mainittujen historiallisten markkinoiden takia niille asetetaan 0,01 PJ:n taso. Siten kokonaismääräksi Suomessa muodostuu 0,02 PJ (Taulukko L4.5).

Sekä sosiaalisen, taloudellisen että markkinapotentiaalın osalta maakunnalliset arviot edellyttävät erillisiä tutkimuksia.

## **2.2.2. Bioenergia**

### ***2.2.2.1. Biologinen potentiaali***

Bioenergian biologinen potentiaali perustuu fotosynteesin teoreettiseen hyötysuhteeseen, joka on C4-kasveille (pääasiassa lämpimissä ilmastoissa kasvavat, esimerkiksi sokeriruoko ja maissi) noin 6,7 % ja C3-kasveille (pääasiassa viileämissä ilmastoissa kasvavat, kuten puut ja viljakasvit) noin 3,3 % (Hall ym. 1993, 599). Biologiset potentiaalit on laskettu C3-kasvien primäärienergian vuosituotannolle Suomen maataloille maakunnittain taulukkoon L4.6. Yhteismäärä 7080 PJ on lähes 5-kertainen Suomen primäärienergiankulutukseen verrattuna (Taulukko L4.1).

Luonnon kasveilla todellinen hyötysuhde vaihtelee läheltä nollaa 2 %:iin ja globaali keskiarvo on noin 0,13 %. Maatalousteknologisesti viljelyssä, sekä maalla että meressä, on lämpimissä maissa saavutettu korkeintaan 5 %:n taso (Sørensen 2000, 312) eli 75 % C4-kasvien biologisesta potentiaalista. Tämä taso edellyttää sekä optimaalisia kasvatusolosuhteita että kasvien jalostusta, mukaan lukien biotekniikan hyväksikäyttöä. Maatalousteknologinen potentiaali on siis parhaimmillaan maailmassa jopa 75 % biologisesta potentiaalista. Mikäli sellainen taso saavutettaisiin Suomessa, se vastaisi keskimäärin 800 GJ/ha energiasatoa. Kuten jäljempänä nähdään, Suomessa on saavutettu noin kolmasosa siitä tasosta.

### ***2.2.2.2. Teknologinen, tekninen ja kemiallinen potentiaali***

Muiden potentiaaliluokkien määrittämiseksi on taulukkoon L4.7 arvioitu energiasatoja eräille Suomessa energiatuotantoon soveltuvilla kasveilla: viljat, heinät, sokerijuurikas,

rypsi ja rapsi. Taulukossa mainittujen lisäksi esimerkiksi järviruoko, pellava, sinappi ja hampuu voivat tulevaisuudessa olla merkittäviä peltoenergiakasveja. Vuotuisen energiasadon vaihteluvälin epävarmuuksista taulukossa on mukana ainoastaan maakunnalliset erot vuosina 2002-2005. Ne suurenevät tarkasteltaessa pitemmällä aikavälillä. Epävarmuutta aiheuttavat lisäksi tonneina ilmoitetut sadot, jotka ovat osittain kysely- ja osittain arviopohjaisia, sekä sadon kosteudet, jotka ovat kokonaan arviopohjaisia. Maakuntien sisällä sato sekä kasvien energiasisältö vaihtelevat viljelymaan ominaisuuksien ja viljelykäytäntöjen mukaan. Ruokohelven satoisuusarvioiden vaihteluväli on peräisin MTT:n ja Vapon kasvatuskokeista luonnon lajikkeilla, joiden havaittu maksimisato on 14 tonnia kuiva-ainetta hehtaarilta ja normaali vaihteluväli 6-8 t/ha (Lindh.y.m. 2001, Pahkala y.m. 2005). Jalostustutkimukset osoittavat, että energiasatoa on mahdollista parantaa tulevaisuudessa oleellisesti (Sahramaa 2004). Tärkeimmät tulokset on koottu taulukkoon 2.1. Kaikki taulukoiden L4.7 ja 2.1 arvot ovat bruttoarvoja eli viljelyyn käytettyä energian kulutusta ei ole niihin sisällytetty.

*Taulukko 2.1. Eräiden energiantuotantoon soveltuvien kasvien bruttoenergiataso (LHV). Tulokset on koottu peltokasvien osalta Taulukon L4.7 pohjalta vuoden 2005 tilastoihin perustuen. Vuoden 2005 sadot olivat keskimääräistä paremmat. Puun osalta tiedot perustuvat vuosien 2000-2004 keskiarvoihin (Tilastokeskus 2005a).*

Kasvi/kasviryhmä	Viljelyala 2005 [ha]	Keskimääräinen energiataso [GJ/ha]	Primääri- energiataso [PJ]	Energian tuotantoon [%]
<b>Peltokasvit</b>				
Viljan oljet	1 168 400	65	76	0,1
Viljan jyvät	1 168 400	50	58	
Sokerijuurikas ja sen naatti	31 200	230	7	
Kuivaheinät	107 100	56	6	
- Ruokohelpi	10 200	140	1,4	100
Rypsin ja rapsin siemenet ja olki	76 500	80	6	
<b>Puu</b>				
- koko Suomessa	20 341 000	19	390	
- maataloilla	3 321 585	19	63	7,6
<b>Biojätteet</b>				
Lanta (ala=rehukasvit+laidun)	1 529 380	19	29	

Taulukkoon 2.1 valittujen peltokasvien primäärienergiataso oli noin 150 PJ vuonna 2005. Puun ja lannan tuotanto mukaan laskien maatilojen bioenergian tuotto oli 240 PJ eli 5-kertainen maatilojen primäärienergiankulutukseen verrattuna ja 16 % Suomen primäärienergian kulutuksesta (Taulukko L4.1). Energiakäyttöön tästä käytettiin 2,5 % eli 6 PJ. Siitä 4,8 PJ käytettiin maataloilla (polttopuu) ja 1,2 PJ vietiin keskitettyyn tuotantolaitokseen (ruokohelpi). Oljen energiakäyttö on noin 6000 tonnia vuodessa (Lindh 2001) eli promille 5,4 miljoonan tonnin tuotannosta. Muiden energiakäyttöosuus on alle promillen.

Puun primäärienergiatuotanto on arvioitu perustuen Suomen runkopuuston keskikasvuun vuosina 2000-2004 (86,7 miljoonaa m<sup>3</sup>/v; Tilastokeskus 2005a/Taulukko 138), oksiston keskikasvuun (30 miljoonaa m<sup>3</sup>/v; VTT 2004) ja varsinaisen metsämaan pinta-alaan (20,34 miljoonaa ha; Tilastokeskus 2005a/Taulukko 134). Keskimääräinen hehtaarit tuotanto oli siis 5,74 m<sup>3</sup>/ha vuosina 2000-2004. Puun kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo (LHV) on keskimäärin noin 19 MJ/kg, tiheys keskimäärin noin 400 kg/m<sup>3</sup> ja kosteuspitoisuus keskimäärin noin 55 % (Alakangas 2000). Kuiva-ainesato on siis noin 1 t/ha ja energiasato noin 19 GJ/ha.

Puiden primäärienergiatuotantoa voidaan huomattavasti lisätä. Paju, jota viljellään energiakasvina Ruotsissa, ja jolla myös Suomessa on tehty energiakasvatuskokeita, voi ylittää yli 7-kertaiseen satoon Suomen nykyisen puiden keskiarvoon verrattuna eli 140 GJ/ha (BENET 2002).

*Taulukko 2.2. Eräiden polttoaineiden energiansaantosuhde Tahvanaisen (1995; paju), Sørensenin (2000; lanta), WEA:n (2000; sokerijuurikas, rypsi ja rapsi), Reinhardtin (2005; vehnäetanoli), Ansøn & Buggen (2001; PPO/rypsiöljy), LBS:n (2002; biokaasu, ETBE, MTBE), JRC:n (2004; CNG, muut liikennepolttoaineet) ja Wihersaaren (1996; muut) pohjalta laskettuna ilman kuljetusta käyttöpaikalle (tai käyttö tuotantopaikalla) sekä sisältäen kuljetuksen käyttöpaikalle. Kuljetusetäisyys on ilmoitettu suluissa.*

Polttoaine	Energiatuotos/panos	
	Ilman kuljetusta	Sisältäen kuljetuksen
Turve (pala- ja jyrsin-) (80 km)	84 – 204	53 – 71
Kivihiili	40 – 200	20 – 67
Olki paalattuna (20 km)	111	77
Lanta biokaasuna	8 – 143	
Metsäjätepuu hakkeena (40 km)	32 – 71	28 – 53
Maakaasu	22 – 38	6 – 7
Paju	19	
Ruokohelpi paalattuna (20 km)	19	17
Sokerijuurikas	10 – 20	
Raskas ja kevyt polttoöljy	9 – 11	8 – 10
Rypsi ja rapsi (sis. olki)	4 – 10	
<b>LIIKENNEPOLTTOAINEET (energiatuotos/fossiilienergiapanos)</b>		
Tuulisähkö	∞	∞
CBG (biokaasu)	∞	
Vety biokaasusta	∞	
Metanoli puusta	25	16 – 17
DME puusta	25	16 – 17
BTL (synteettinen diesel puusta)	20 – 25	14 – 17
Vety puusta	17 – ∞	4,3 – 17
Rypsiöljy (PPO)	11 – 25	
Puusähkö	11 – 20	8,3 – 13
Bensiini raakaöljystä	6,7 – 10	5,9 – 8,3
Vety puu- ja tuulisähköllä		5,3 – 8,3
Diesel raakaöljystä	6,3 – 8,3	5,6 – 7,1
CNG (maakaasu, Venäjältä 4000 km)	4,6 – 6,3	4,5 – 5,9
LNG (nestekaasu)	3,1 – 4,3	3,0 – 4,0
Etanoli puusta	4,3	3,8
Etanoli sokerijuurikkaasta	1,1 – 3,7	1,1 – 3,3
MTBE (maakaasu)	3,6	
RME (biodiesel rypsistä)	2,4 – 2,7	2,3 – 2,6
Etanoli vehnästä	1,1 – 2,4	
DME maakaasusta (4000 km)	1,7 – 1,8	1,6 – 1,7
Metanoli maakaasusta (4000 km)	1,4 – 1,6	1,4 – 1,5
ETBE (sokerijuurikasetanoli)	1,3 – 1,5	
Metanoli kivihiilestä	0,99 – 1,2	0,96 – 1,1
GTL (synteettinen diesel maakaasusta, 4000 km)	0,89 – 1,0	0,88 – 1,0
Maakaasusähkö (4000 km)	0,93	0,90
Kivihiilisähkö	0,65	0,63
Vety maakaasusähköllä (4000 km)		0,35 – 0,41
Vety kivihiilisähköllä		0,27 – 0,32

Energiasatoisimmat nykyisistä peltokasveista ovat sokerijuurikas ja ruokohelpi. Ruokohelpeä voidaan viljellä koko Suomessa, mutta sokerijuurikas soveltuu viljelyyn

vain Etelä- ja Keski-Suomessa. Sokerijuurikasta käytetään nykyisin Suomessa vain sokerin tuottamiseen keskimääräisen tuoton ollessa 4,5 tonnia/ha, energiasisällöltään 72 GJ/ha. Naatteja käytetään rehuna. Korkein Suomessa tuotantoviljelyssä millään kasvilla saavutettu sato on 290 GJ/ha sokerijuurikkaalla Ahvenanmaalla vuonna 2005. Se tarkoittaa noin 24 % biologisesta potentiaalista ja 0,8 %:n hyötysuhdetta auringon säteilyenergian hyödyntämisessä. Ruokohelven koeviljelyksillä on pohjoisempaan päästy lähes vastaavalle tasolle (yli 14 t kuiva-ainetta/ha; Pahkala ym. 2005, Sahramaa 2004) ja se on Ruotsin kokemusten perusteella mahdollinen myös pajulla (BENET 2002). Nykyinen maatalousteknologinen potentiaali primääribioenergian tuotannossa Suomessa on siis luokkaa 24 % biologisesta potentiaalista. Se on laskettu maataloilta maakunnittain taulukkoon L4.6. Yhteismäärä 1700 PJ ylittää Suomen primäärienergiakulutuksen.

Teknisesti tästä saavutetaan nykyään tuotantoviljelyssä keskimäärin Etelä-Suomessa yli puolet ja Pohjois-Suomessa alle puolet. EU:n komission tilaamissa EU:n bioenergiaresurssiselvityksessä on oletettu Suomelle vuoteen 2020 mennessä energiakasvituotannossa keskimäärin 9,5 - 12 tonnin kuivasato hehtaarilta ja 18 GJ:n keskimääräinen energiasisältö kuivatonnilta (Nikolaou ym. 2003; BTG 2004).

Nettopotentiaaliarvoissa tuotetusta energiamäärästä poistetaan viljelyyn kuluva energia, joka esimerkiksi ruokohelvelle on noin 5,4 %, toisin sanoen viljelyn energiapanos saadaan takaisin 18,5-kertaisena (Wihersaari 1996, 81). Arvioita eräiden muiden polttoaineiden energiansaantosuhteista on taulukossa 2.2. Taulukon arvot liikennepolttoaineille tarkoittavat energiansaantosuhdetta fossiilienergiapanokseen verrattuna. Mikäli arvo on alle 1, fossiilienergiaa käytetään enemmän kuin tuotetun polttoaineen energiasisällön verran eli kyseisellä polttoaineella sanotaan olevan negatiivinen energiataase. Se on käytännössä mahdollinen vain fossiilisille polttoaineille.

BTG:n (2004, 97) Suomelle vuonna 2020 arvioima keskimääräinen 9,5 tonnin kuivasato tarkoittaisi 9 tonnin nettoenergiatasoa eli 162 GJ/ha, joka on noin 14 % biologisesta potentiaalista ja 0,48 % fysikaalisesta potentiaalista.

Tekninen nettopotentiaali vuoden 2020 energiakasvien tuotantoviljelyssä on siis luokkaa 60 % teknologisesta potentiaalista eli hyötysuhde auringon säteilyenergian suhteen on noin 0,5 %. Tällä perusteella lasketut maakunnalliset potentiaalit löytyvät energiatasoina taulukosta L4.6. Keskimäärin Suomessa tekniseksi nettoenergiatasopotentiaaliksi primääribioenergian tuotannolle maataloilla saadaan siis noin 160 GJ/ha. Yksittäisillä maataloilla tulos voi vaihdella useita kymmeniä prosentteja kumpaankin suuntaan riippuen käytetyistä kasveista, maaperästä, sääolosuhteista ja viljelymenetelmistä.

Kemialliset (termokemialliset) potentiaalit on laskettu teknisestä nettopotentiaalista erikseen lämmön, sähkön ja liikennepolttoaineiden tuotannolle maakunnittain taulukkoon L4.6 ja koko Suomelle taulukkoon L4.8.

Kemiallinen potentiaali lämmön tuotannolle on laskettu olettaen 90 %:n nettokonversiohyötysuhde primäärienergiasta hyödynnettäväksi lämmöksi maatalakohtaisessa keskuslämmityslaitoksessa. Koko Suomelle tulos on 945 PJ, joka on yli 3-kertainen koko Suomen rakennusten lämmityksen energiankulutukseen verrattuna (Taulukko L5.4). Hyötysuhde nousee 95 %:iin, mikäli käytetään rakennuskohtaista

lämpökattilaa ja putoaa kaukolämpöverkkoa käytettäessä, suuren kaupungin verkon tapauksessa mahdollisesti 70 %:n tasolle asti.

Kemiallinen potentiaali sähkön tuotannolle on laskettu olettaen 57 %:n nettokonversiohyötysuhde kiinteästä primäärienergiasta hyödynnettäväksi sähköksi keskitetyssä BIGCC-kaasutuskombivoimalaitoksessa. Se edustaa parasta pitkän tähtäimen teknologiaa YK:n RIGES-skenaariossa (Johansson ym. 1993, 1095). Koko Suomelle tulos on 166 TWh eli lähes 2-kertainen koko Suomen sähkönkulutukseen verrattuna (Taulukko L5.3).



*Kuva 2.4. Maatilakohtainen sähkön ( $30 \text{ kW}_e$ ) ja lämmön ( $60 \text{ kW}_t$ ) yhteistuotantolaitos Kalmarin tilalla Laukaassa. Mikro-CHP-laitteena on biokaasukäyttöinen Sisun ottomoottori, joka on muunnos traktorikäyttöön Valtralle valmistettavasta dieselmoottorista. Biokaasureaktori näkyy taustalla (Lampinen 2004b). [Jeremias Kalmari 2002]*

Maatilakohtaisesti voidaan nykyään saavuttaa noin puolet siitä tasosta käyttäen termistä kaasutusta tai biokaasutusta yhdistettynä dual-fuel-diesel-koneeseen tai suoraa polttoa yhdistettynä stirling-koneeseen. Mitään näistä teknologioista ei ole käytössä Suomessa, mutta Saksan maataloilla dual-fuel-dieselit ovat yhtä yleisiä kuin ottomoottorit ja muutkin kyseiset teknologiat ovat käytössä. Käytettäessä ottomoottoreita, tavanomaisia dieselmoottoreita tai mikroturbiineita maatilakohtaisesti valmistettavilla kaasumaisilla – biokaasu ja puukaasu – tai nestemäisillä biopolttoaineilla – kasviöljyt, biodieselit ja etanoli – kokonaishyötysuhde sähkölle ei ylitä kolmannelta RIGES-tasosta. Kuvassa 2.4 on esimerkki suomalaisesta maatilakohtaisesta sähkön ja lämmön ottomoottori-pohjaisesta yhteistuotantolaitoksesta ( $\mu$ CHP-laitos). Sähkön tuotannon yhteydessä

syntyy teknisestä toteutuksesta riippuen hyödynnettävää lämpöä 0 – 65 %. Biokaasulaitoksessa reaktorin lämmitysenergia, joka on noin 10 - 15 % tuotetusta energiasta, otetaan sähköntuotannon hukkalämmöstä, joten sähkön tuotannon hyötysuhde ei kärsi lämmitystarpeesta.

Maatilakohtaista sähkön tuotantoa voidaan nostaa, mikäli kombivoimalateknologia tulee markkinoille nykyistä pienemmässä kokoluokassa eli luokkaa 100 kW<sub>e</sub>. Tällä hetkellä pienimmät kombivoimalat ovat Ruotsissa kaatopaikkakaasukäyttöisenä tehotasolla 500 kW<sub>e</sub>. Tällainen teknologia sopisi sellaisenaan maatalojen yhteisten biokaasulaitosten sähköntuotantoon. Suomessa kombivoimalatekniikkaa käytetään nykyään vain yli 100 MW<sub>e</sub> kokoluokassa maakaasulla, jolloin sähköntuotannon hyötysuhde (ei sisällä polttoaineen tuotantoa) on noin 60 % ja sen ennakoitaan USA:n Vision21-skenaariossa nousevan yli 75 %:n tasolle ensi vuosikymmenen loppuun mennessä (DoE 2000).

Kemiallinen potentiaali liikenteen ja työkonien polttoaineiden tuotannon osalta on laskettu olettaen 71,5 %:n nettokonversiohyötysuhde primäärienergiasta hyödynnettäväksi polttoaineeksi keskitetyssä tuotantolaitoksessa. Se edustaa parasta pitkän tähtäimen teknologiaa YK:n RIGES-skenaariossa (Johansson ym. 1993, 1095). Koko Suomelle tulos on 750 PJ, joka on yli 4-kertainen koko Suomen liikenteen energiankulutukseen verrattuna (Taulukko L5.5). Maatilakohtaisesti voidaan saavuttaa noin 50 %:n taso esimerkiksi biokaasuteknologian avulla. Polttoaineiden tuotannon yhteydessä syntyy teknisestä toteutuksesta ja raaka-aineesta riippuen hyödynnettävää lämpöä 0 – 20 % ja/tai muita sivutuotteita kuten lannoitteita, rehua tai kiinteitä polttoaineita.

Biokaasutekniikassa maatilakokoluokassa oletetaan tuotettavan polttoaineen lisäksi myös sähköä (ja lannoitteita) polygeneration-konseptin mukaisesti (Lampinen 2004b). Sähkön tuotannon yhteydessä syntyy tavanomaisilla tekniikoilla enemmän hukkalämpöä kuin voidaan hyödyntää maatilalla ja siten reaktorin lämmitys ei aiheuta efektiivistä energiahävikkiä sähkön ja polttoaineiden tuotannossa. Hävikkiä tulee luokkaa 10 - 15 %, mikäli tuotetaan pelkästään polttoaineita ja reaktori lämmitetään biokaasulla. Hävikkiä voidaan pienentää aurinko- ja puulämmityksellä, eristyksellä sekä välttämällä polttoainetuotantoa talven aikana.

Joillakin yksittäisillä mautiloilla on mahdollista jopa kaksinkertaistaa energiakasvien sato verrattuna yllä laskettuihin arvoihin ja siten myös kaksinkertaistaa hyödynnettävän energian määrä käytetyllä teknologialla. Tuotantoa on mahdollista nostaa myös yhteismädättämällä lantaa, energiakasveja, teollisuusjätteitä ja yhdyskuntajätteitä.

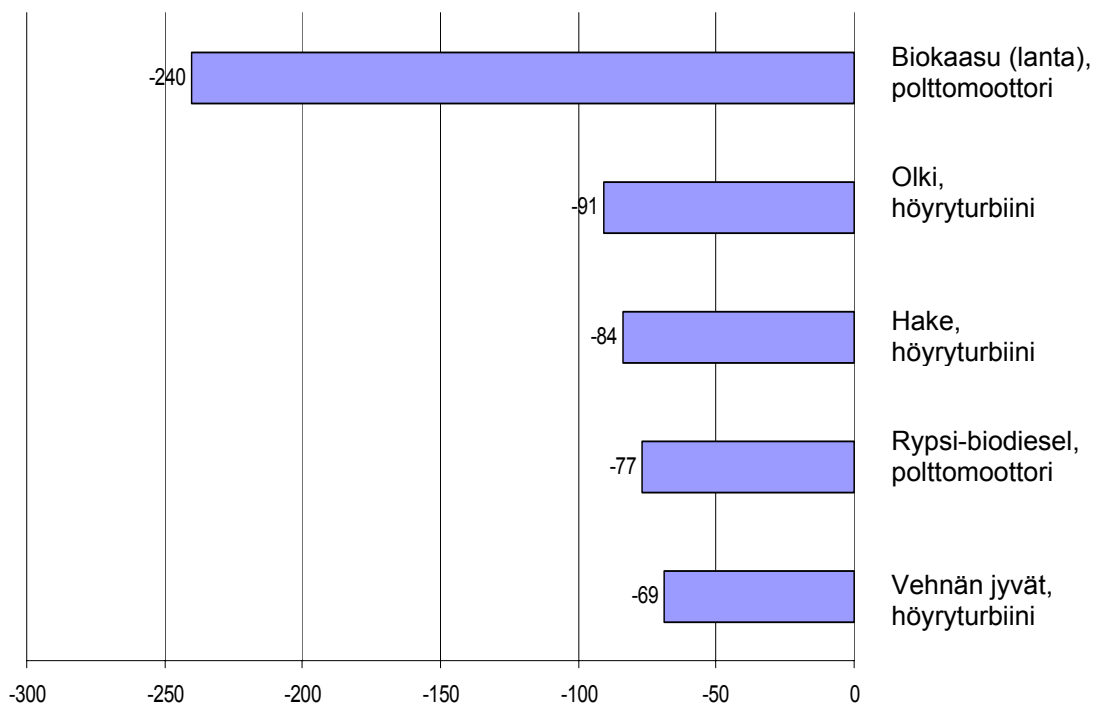
### **2.2.2.3. Ekologinen potentiaali**

Maatalojen bioenergian käytön ekologinen potentiaali olisi tiukasti ajatellen tietenkin nolla ja sama pätee ruokatuotannolle ja metsätalouden tuotannolle, koska aivan ilmeisesti koskematon luonto on monokulttuureja ekologisesti arvokkaampi ja maankäytön muutokset ovat olleet tärkein ihmisten aiheuttama biodiversiteetin menetyksen syy. Lähtökohdan täytyy käytännössä olla toinen eli tulee vertailla energiaviljelyn vaikutuksia nykytilanteeseen verrattuna ottaen huomioon sekä paikalliset alueen ja biopolttoaineiden käytön vaikutukset että fossiilisen energian korvaamisen globaalit vaikutukset. Se tarkoittaa, että erilaisille energiaresursseille sekä energian käyttötavoille saadaan ekologisuuden suhteen prioriteettijärjestys. Käsitellään

aluksi energiaresurssien ja sen jälkeen niiden käytön priorisointia. Ekologinen potentiaali on yhteensä 185 PJ eli 18 % teknisestä potentiaalista. Ekologiset potentiaalit on laskettu erikseen taulukkoon L4.8 liikenne- ja työkonepolttoaineille (oletuksena 50% keskimääräinen nettokonversiohyötysuhde), sähkölle (oletus nettohyötysuhde 25 %) ja lämmölle (oletus nettohyötysuhde 90 %).

**Resurssiprioriteetti 1 = nopeasti hajoavat biojätteet (haisevat jätteet): 14 PJ**

Tämä tarkoittaa maataloilla erityisesti lantaa, mutta hieman resursseja on myös WC-jätteessä ja osassa keittiöjätteitä. Nämä jätteet täytyy hävittää joka tapauksessa ja normaalisti niiden ainut hyödyntämistapa on lannoitus. Biokaasutus eli mädätys on teknologia, joka sallii kyseisten jätteiden energiasisällön hyödyntämisen parantaen samalla mädätysjäännöksen lannoitusominaisuuksia, vähentäen patogeeniä kiertoa ja vähentäen hajuhaittoja raakajätteen lannoituskäyttöön verrattuna. Koska osa kyseisten jätteiden hiilestä palaa normaalisti ilmakehään metaanin muodossa, eli 20 - 60 kertaa hiilidioksidia voimakkaampana kasvihuonekaasuna, metaanin poltto hiilidioksidiksi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä eli tällainen energiantuotanto on ilmastotaseeltaan jopa energian säästöä parempi, kuten kuvan 2.5 elinkaarianalyysituloksista ilmenee. Ja koska metaani on poltto-ominaisuksiltaan erityisen puhdas, sen energiäkäyttö korvatesa mitä tahansa muuta polttoainetta vetyä lukuun ottamatta vähentää myös useimpia tavanomaisia paikallisia ja alueellisia ilmapäästöjä häkää lukuun ottamatta (Taulukko 2.3).



*Kuva 2.5. Elinkaarikasvihuonekaasupäästöjen CO<sub>2</sub>-eq-alenema [%] verrattuna kevyen polttoöljyn käyttöön sähkön ja lämmön yhteistuotannossa (Jungmeier & Spitzer 2001). Lämmityskäytössä tulos on vastaava. Yli 100 %:n vähenemä biokaasulla johtuu lannan metaanipäästöjen loppumisesta ja mädätysjäännöksen energia-arvosta sen korvatesa keinolannoitteiden, erityisesti typpilannoitteiden, energiäkulutusta. Myöskin muiden polttoaineiden sivutuotteiden energiä-arvot on hyvitetty, mukaan lukien kevyen polttoöljyn.*



Tämän resurssin hyödyntäminen antaa siis suuren positiivisen ekologisen vaikutuksen ilman ekologisia haittoja. Lantaresurssin vuosituotanto on noin 29 PJ (Taulukko 2.1), josta on saatavissa metaania noin 4,3 TWh eli 15,5 PJ (Lampinen 2003). Erityisesti eläinsuojelusyistä on toivottavaa, että ainakin puolet lantaresursseista päätyy suoraan laidunmaille ja ne oletetaan menetettävän energiakäytöstä ravinnekiertoon. Jäljelle jäävä primäärienergiaresurssi on 14 PJ. Maatilojen biokaasureaktorit voivat ottaa yhteismädätettäväksi myös yhdyskuntien ja teollisuuden biojätettä, jolloin resurssin potentiaali kasvaa noin 60 %:lla ja laitosten taloudellisuus paranee. Muitakin teknologioita tämän resurssin energiahyödyntämiseen on, kuten poltto ja suora nesteytys sekä eräiden jätejakeiden osalta myös vaihtoesteröinti (biodiesel) ja käyminen (etanoli). Suora nesteytys on biojätepohjaisten moottoripolttoaineiden valmistuksessa USA:ssa kaupallista teknologiaa (Lemley 2006).

Polton ekologiset hyödyt eivät ole niin suuret kuin mädätyksen ja lisäksi se aiheuttaa ekologisia haittoja resurssin lannoitearvon alenemisen ja polton päästöjen kautta. Vaihtoesteröinti, käyminen ja suora nesteytys tuottavat nestemäisiä biopolttoaineita, joita on helpompi käyttää olemassa olevissa koneissa ja autoissa, tosin metaania suuremmin päästöin. Toisaalta biokaasutekniikalla tuotettu metaani sopii myös nestemäisten polttoaineiden valmistuksen raaka-aineeksi.

### ***Resurssiprioriteetti 2 = kasvijätteet: 89 PJ***

Kasvijätteet muodostuvat sivutuotteina muuta tarkoitusta (ruoka, selluloosa ym.) varten viljeltävistä kasveista. Ne eivät siis aiheuta viljelyn energian, keinolannoitteiden eikä kasvi- ja hyönteismyrkkien tarvetta päästöineen eivätkä ne kilpaile ruokatuotannon kanssa. Niillä saavutetaan erittäin suuret kasvihuonekaasujen elinkaaripäästövähennykset, kuten oljen ja hakkeen arvot kuvassa 2.5 osoittavat. Verrattuna nopeasti hajoaviin jätteisiin niillä on kuitenkin muitakin käyttömahdollisuuksia, kuten rehu, ja toisaalta niiden käyttämättä jättäminen ei aiheuta ekologista haittaa, sillä ne hajoavat valtaosin lahoamisen kautta. Peltokasvien lannoitearvo voidaan täysin säilyttää energiakäytöstä huolimatta mädätystekniikalla, jolloin niiden metaanipotentiali on noin 24 PJ (Lampinen 2003). Koko EU:n maatalousjätteiden metaanipotentiali, sekä nopeasti hajoavien että muiden, on noin 2000 PJ, joka riittäisi 28 miljoonan auton kulutukseen (Lampinen ym. 2004).

Polttokäyttökin mahdollistaa lannoitearvon säilymisen suurelta osin, mikäli tuhka palautetaan pellolle ja neulasten sekä lehtien annetaan kuivua ja palauttaa ravinteet maahan ennen kuljetusta polttopaikalle. Typpi kuitenkin menetetään täysin päinvastoin kuin mädätyksessä. Puujätteet eivät nykytekniikalla sovellu mädätykseen, joten niiden avulla ei voi saavuttaa yhtä suuria ekologisia etuja kuin peltokasvijätteiden tapauksessa. Puuta ja peltokasveja poltettaessa eräät päästölajit ovat korkeampia kuin öljyä poltettaessa (pelletti Taulukossa 2.3). Suurin ero on pienhiukkaspäästöissä. Koska pienpolton pienhiukkaset eivät leviä laajalle alueelle, niiden vaikutukset kohdistuvat kattilan lähiympäristöön eli tuottavat paikallisia terveyshaittoja. Ekologiselta kannalta pienhiukkaspäästöt eivät ole suuri huolen aihe, sillä niiden vaikutus rajoittuu ihmisten asuinalueisiin, jotka ovat jo muutenkin ekologisesti köyhiä. NO<sub>x</sub>-päästöt vaikuttavat laajalla alueella, joten sen suhteen puun ja peltokasvien poltto on ekologisesti haitallista öljyn polttoon verrattuna. Rikin oksidien päästöt puolestaan vähenevät bioenergiaa, varsinkin puuta poltettaessa fossiilisiin verrattuna.

Kaikista kasvijätteistä voidaan suoran polton lisäksi tehdä monilla teknologioilla nestemäisiä tai kaasumaisia polttoaineita esimerkiksi liikenteen ja työkoneiden tarpeisiin, jolloin ne korvaavat raakaöljyn käyttöä.

*Taulukko 2.3. Biokaasu-, polttoöljy- ja pellettikäyttöisten talokohtaisten lämmityskattiloiden käytönaikaiset päästöt [mg/MJ] eräillä Ruotsissa kaupallisilla kattiloilla (Norén & Thunell 2001). Tämä pätee myös CHP-käyttöön.*

	Biokaasu: 8-24 kW <sub>t</sub> Viessmann VITODENS 300	Kevyt polttoöljy: 18-27 kW <sub>t</sub> Viessmann VITOLA 300	Pelletti: 4-16 kW <sub>t</sub> Hargassner HSV 14 & 15
CO <sub>2</sub> (netto)	0	76 000	0
CO	< 5	< 1,5	< 20
NO <sub>x</sub>	< 3	< 20	< 80
Pienihiukkaset	< 0,005	< 0,005	< 10

Viljan olkien vuosituotanto on noin 76 PJ, sokerijuurikkaan naattien 2,5 PJ ja rypsin ja rapsin olkien 2,4 PJ eli peltokasvijätteet yhteensä noin 81 PJ (Taulukot 2.1 ja L4.7). Vuonna 2002 hakkuutähdettä tuotettiin Suomessa 25 Mm<sup>3</sup> (VTT 2004, 369) eli noin 190 PJ. Maatilat omistavat 16 % metsistä, joten niiden arvioitu hakkuujätetuotanto on 30 PJ. Tässä ei ole mukana kantojen osuutta eikä myöskään halkojen valmistukseen käytettyä 5 Mm<sup>3</sup>:a runkopuuta.

Kasvijätteiden käytön ekologisuus edellyttää, että tuhka palautetaan metsiin. Sillä on myös eräitä tapauskohtaisia negatiivisia vaikutuksia, mutta ne tiedetään ja osataan välttää. Ekologisuusvaatimus edellyttää myös, että hakkuutähdettä ei viedä pois vihreänä, vaan ruskeana, jolloin se ehtii palauttaa maahan paitsi ravinteet myös osan energiasisällöstä. Kummankin vaatimuksen täyttäminen on nykyään Suomessa erittäin harvinaista.

Kaikkea nämä ehdot täyttävää haketta ei teknisesti pystytä keräämään, eikä se ole tarpeenkaan, mutta toisaalta osa kannoista voidaan hyödyntää sen kompensoimiseksi. Mikäli yllä olevat ehdot täytetään, jopa 80 % 111 PJ:n kokonaispotentiaalista eli 89 PJ voitaisiin saada ekologisesti positiiviseen energiakäyttöön. Luonnollisesti kilpailu näiden resurssien muiden käyttötapojen kanssa karjatiloiilla alentavat energiakäyttöön saatavissa olevaa määrää.

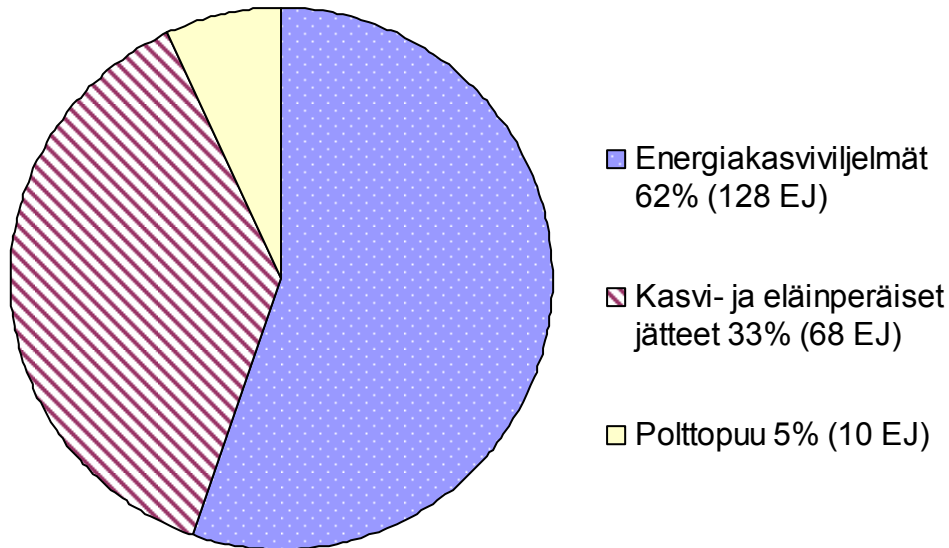
### **Resurssiprioriteetti 3 = energiakasvituotanto: 82 PJ**

Tämä on teknisesti suurin resurssi, mutta ekologisesti kaikkein kyseenalaisin ja arvovalintojen tarpeen takia kaikkein subjektiivisin. YK:n Rion vuoden 1992 (Johansson ym. 1993) ja Johannesburgin vuoden 2002 (WEA 2000) ympäristöhuippukokouksia varten teettämässä laajoissa selvityksessä suurin osa globaalista ekologisesti tuotettavasta bioenergiaresurssista saadaan energiakasviviljelmiltä, jotka perustetaan kehitysmaissa maatalouden köyhdyttämille maille ja teollisuusmaissa ylituotantomaille, yhteensä 429 Mha vuonna 2050 (Kuva 2.6). Toiseksi suurin potentiaali tulee metsien hakkuujätteistä, peltokasvijätteistä ja eläinperäisistä jätteistä. Loppuosa tulee metsätalouden viljelymetsistä (polttopuu kuvassa 2.6). Vanhoja metsiä ei käytetä lainkaan ja kasvava ruokatuotannon tarve on otettu huomioon.

Käytettäessä maatalouden köyhdyttämiä maita energiakasvituotantoon eroosiota voidaan vähentää ja jopa ennallistaa maaperää. Tällä toimenpiteellä on positiivinen

vaikutus myös biodiversiteettiin. Autiomaita riittää runsaasti energiaviljelyyn esimerkiksi jatrophan avulla biodieselin tuotannossa, kunhan huolehditaan siitä, että kaikkia alkuperäisiä autiomaakosysteemejä jää myös suojelun piiriin. Brasilian esimerkin mukainen sokeriruokoviljelmien laajentaminen laidunmaille ja karjanhoidon korvaaminen etanolin tuotannolla on ekologisesti myönteistä johtuen lihantuotannon erittäin alhaisesta hyötysuhteesta ja sen moninaisista ympäristöhaitoista.

Maatalouden ylituotantomaita käytettäessä korvataan normaalisti yksivuotiset ruokakasvit monivuotisilla energiakasveilla. Tällöin vähennetään maanmuokkausta siihen liittyvine kasvihuonekaasupäästöineen ja pellon ekosysteemiin kohdistettua häiriötä. Biodiversiteetti nousee esimerkiksi lintujen osalta poikkeuksena erittäin laajat monokulttuurit (Anderson ym. 2004). Biodiversiteetin kannalta valtaosin haitallista on villiintyneiden peltojen ottaminen energiakäyttöön (kuten myös ruokaviljelyyn). Ne korvaavat nykyisessä maanhoitokulttuurissa aiemmin luonnollisten palojen synnyttämiä ekosysteemejä.



*Kuva 2.6. Globaali ekologinen potentiaali bioenergian tuotannolle vuonna 2050 Rion ympäristökokousta varten tehdyssä RIGES-skenaariossa (Renewables Intensive Global Energy Scenario); yhteismäärä on 206 EJ (Johansson ym. 1993). Autiomaiden ja merien käyttö eivät ole mukana näissä potentiaaleissa.*

Merillä on erittäin suuri toistaiseksi käyttämätön bioenergian tuotantokapasiteetti, josta huomattavan suuri määrä voi osoittautua myös ekologisesti hyväksyttäväksi. Esimerkkinä ovat vetyä auringonvalon ja meriveden avulla aineenvaihdunnassaan tuottavat levät alueilla, jotka ovat lannoitepäästöjen ja muiden ihmistoiminnan vaikutuksien vuoksi kuolleet.

Suomessa on merkittävä ja kansantaloudellisesti kallis maatalouden ylituotanto-ongelma erityisesti lihan, munien ja meijerituotteiden tuotannossa ja niihin liittyvässä rehun tuotannossa. Kauran, ohran ja vehnän yliomavaraisuus on suuruudeltaan 170.000 peltihehtaaria (KTM 2006). EU-tason yliomavaraisuuden vuoksi joidenkin kasvien viljelyä tullaan rajoittamaan, vaikka Suomessa ei olisi yliomavaraisuutta. Tällä hetkellä siinä asemassa on sokerijuurikas.

Suomen sokerituotanto tullaan puolittamaan eli tuotanto Suomen toisessa sokeritehtaassa – ilmeisesti Salo – tullaan lopettamaan. Sokerijuurikkaan tuotanto voitaisiin kuitenkin säilyttää ennallaan, mikäli Salon tehtaassa tai muualla ryhdyttäisiin valmistamaan polttoaine-etanolia sokerin sijaan. Etanolin tuotantopotentiaali Suomessa on noin 3440 l/ha (BTG 2004), energiasisältönä 72 GJ/ha. Käyttämällä puolet 31.200 hehtaarin viljelyalasta etanolia varten vuosituotanto olisi 54 miljoonaa litraa eli 1,1 PJ. Se on 1,4 % bensiinin ja 0,67 % koko tieliikenteen energiankulutuksesta Suomessa (Taulukko L5.5). Toisin sanoen EU:n 5,75 % biopoltoainetavoitteen saavuttaminen pelkällä sokerijuurikasetanolilla edellyttäisi noin 130.000 hehtaarin viljelyalaa. Sokerijuurikkaan energiasadosta saadaan etanoliksi noin 30 % eli suurin piirtein saman verran kuin raakaöljystä pystytään tuottamaan bensiiniä. Molemmissa prosesseissa tulee sivutuotteita, joita voidaan käyttää energiantuotantoon tai muihin tarkoituksiin.

Ylituotantoalueen siirtäminen energiakasvituotantoon toisi monia kansantaloudellisia hyötyjä. Suomessa on lisäksi tarjolla energiakasviviljelyyn myös turvesuotutannolta vapautuneet alueet, joita nytkin kyseiseen tarkoitukseen käytetään ruokohelven avulla. Elintarvikkeiden markkinahintojen alhaisuus voi johtaa siihen, että energiakäyttö on kannattavampaa kuin ruokakäyttö. Nykyesimerkkinä on alhainen viljan hinta, joka on johtanut jyvien käyttöön energian tuotannossa ja jopa viljelyyn nimenomaan energiataroituksiin. Vuonna 2005 energiakasvituettua viljelyalaa oli noin 9200 ha (Taulukko 2.4).

<b>Kasvi</b>	<b>Viljelyala [ha]</b>
Ruokohelpi	8746
Kaura	327
Rypsi	80
Kevättruis	24
Ohra	14
Syysruis	3
Paju	2
<b>Yhteensä</b>	<b>9196</b>

Valtioneuvoston maatalouspoliittisessa selonteossa (MMM 2005a) energiakasvien viljelyä pidetään merkittävänä tulevaisuuden vaihtoehtona peltoviljelyssä. MMM:n peltoviljelytyöryhmä (2005b) laati bioenergiaskenaarion, jonka mukaan 510.000 hehtaaria peltoalaa olisi saatavissa energiakasviviljelyyn vaarantamatta ravinnon tuotantoa (Taulukko 2.5). Kesantoalaa jäisi 90.000 hehtaaria ja muuta maatalousmaata 1,7 miljoonaa hehtaaria. Sokerijuurikasta ei tässä skenaariossa käytetä lainkaan energiantuotantoon, vaan vähennetään viljelyalaa sokerin tuotantovähennyksen vaatimamäärä (12.000 ha). Liikennepolttoaineita tuotettaisiin rypsistä, rapsista ja ohrasta siten, että niillä saataisiin toteutettua EU:n 5,75 %:n tavoite vuodelle 2010. Sivutuotteena saataisiin 450.000 tonnia valkuaispitoista rehua, joka korvaa erillistä rehun tuotantoa sekä soijan tuontia, sekä olkea, jota voidaan käyttää myös energian tuotantoon.

Taulukko 2.5. MMM:n bioenergiaskenaarion mukainen energiakasvien viljelyala vuonna 2012 (MMM 2005b) sekä energiantuotantopotentiaali (Mäkinen ym. 2005, KTM 2006).

Kasvi	Viljely- ala [ha]	Primääri- energian tuotanto [PJ]	Liikenne- polttoaineen sato		Liikennepolttoaineen tuotanto ja osuus v. 2004 tieliikenteen bensiinin tai dieselin kulutuksesta	
			[kg/ha] [l/ha]	[GJ/ha]	[PJ]	[%]
Rypsi ja rapsi (biodiesel)	250 000	20	610 700	23	5,8	6,7
Ohra (etanoli)	160 000	18	1000 1300	27	4,3	5,5
Ruokohelpi (lämpö ja sähkö)	100 000	14			0	0
Sokerijuurikas (etanoli)	0	0	2800 3600	76	0	0
Yhteensä	510 000	52			10	6

Kyseinen energiakasvituotanto käyttää nykyistä (2005) ravinnon ylituotantoalaa ja rehuntuotantoalaa 310.000 ha, jouto- ja metsämaata 50.000 ha sekä kesantoalaa 150.000 ha. Korvattaessa ylituotanto- ja rehuntuotantoa rypsilä, rapsilla ja ohralla ei tapahdu merkittäviä biodiversiteetin muutoksia, mutta monivuotisella ruokohelvellä korvaaminen on biodiversiteetin kannalta positiivista. Kesantoalan ja joutomaan käyttö puolestaan on pääsääntöisesti biodiversiteetin kannalta negatiivista. Kun otetaan huomioon, että tuotetuilla kasveilla korvataan fossiilisia polttoaineita ja siten vähennetään ilmastonmuutoksen biodiversiteetille aiheuttamaa tappiota, kesanto- ja joutoalankin käyttö voi olla ekologisesti hyväksyttävää, mutta vastakkain vaikuttavien tekijöiden painottaminen on subjektiivinen valinta.

Toisaalta energiakasveja voitaisiin viljellä myös nykyisellä metsäalalla. Hoitometsien biodiversiteetti on suuri peltoihin verrattuna, joten metsän raivaus pelloiksi olisi normaalisti ekologisesti negatiivista. Suomessa kuitenkin on erityisen paljon monokulttuurihoitometsää, jonka biodiversiteetti puolestaan on hyvin alhainen vanhaan metsään verrattuna. Tulevaisuudessa suurin ekologinen potentiaali Suomessa on saatavissa hoitometsistä. Vanhojen metsien käyttö energiakasviviljelyyn on puolestaan katsottava ekologisesti selkeästi negatiiviseksi. Sitä ei tule sallia, eikä sitä mikään taho ole esittänyt.

Taulukon 2.5 valinnat tarjoavat sosiaalisesti ja poliittisesti hyväksyttävän ratkaisun EU:n liikenteen biopolttoainedirektiivin vaatimusten toteuttamiseksi nopeasti, koska käyttöön esitetään niin sanottuja tavanomaisia (tai 1. sukupolven) biopolttoaineita, joita on erittäin laajassa käytössä maailmalla jo nyt ja siten tuotannon ja käytön kaikki vaiheet ovat helppoja toteuttaa. Kyseiset polttoaineet vähentävät olennaisesti kasvihuonekaasupäästöjä fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna (Kuva 2.8).

Kyseisellä peltoalalla voitaisiin kuitenkin tuottaa huomattavasti enemmän energiaa käyttämällä esimerkiksi ruokohelpeä ja niin sanottuja 2. sukupolven biopolttoaineteknologioita. Niiden avulla päästöjä saadaan laskettua olennaisesti tavanomaisiin biopolttoaineisiin verrattuna (Kuva 2.8). Mahdollisella keskisadolla 160 GJ/ha primäärienergiatuotanto olisi 82 PJ. Tämä arvo on valittu energiakasvien ekologisiksi potentiaaleiksi mautiloilla. Sen hyödyntäminen liikennepolttoaineiden tuotannossa ei ole mahdollista riittävän nopeasti EU:n vuoden 2010 tavoitteiden

toteuttamiseksi, mutta sen jälkeen uudet synteettisten biopolttoaineiden teknologiat ottanevat pääroolin.

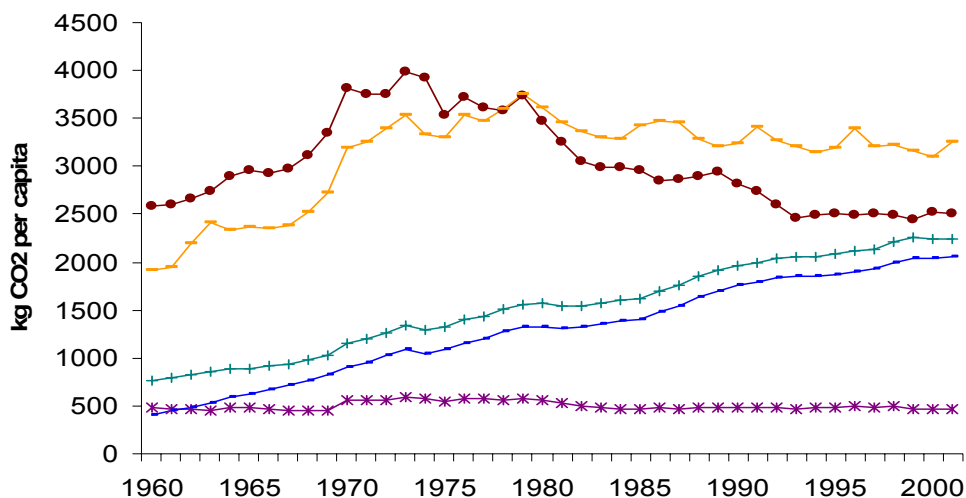
### **Käyttöprioriteetti 1 = liikenne**

Tieliikenne on Suomessa lähes täysin raakaöljyriippuva, joten käytettyä energiayksikköä kohti liikenteen hiilidioksidipäästöt ovat 5-kertaiset verrattuna sähkön tuotantoon ja 70 % korkeammat kuin lämmön tuotannossa (Taulukko 2.6). Siten bioenergiaresurssin käyttö liikenteen energianlähteenä on arvokkaampaa päästövähennyksessä kuin sähkön ja lämmön tuotanto. Lisätuna on, että liikennepolttoaineiden tuotanto on mahdollinen korkeammalla energia- ja exergiahyötysuhteella kuin sähkön tuotanto.

*Taulukko 2.6. Primäärienergian käyttömuotojen hiilidioksidipäästöt Suomessa (Taulukot L5.3-5) ja primääribioenergian konversion hyötysuhteet sekundäärienergiaksi: liikenteen polttoaine, sähkö tai lämpö.*

Käyttötapa	Päästöt [tCO <sub>2</sub> /TJ] = [kgCO <sub>2</sub> /GJ] = [gCO <sub>2</sub> /MJ]	Primääribioenergiakonversion 1. ja 2. pääsäännön hyötysuhde	
		Energiahyötysuhde η [%]	Exergiahyötysuhde ε [%]
Liikenne	73,2	30-70	30-70
Sähkö	14,8	10-50	30-60
CHP		70-95	30-50
Lämmitys	43,6	70-95	0

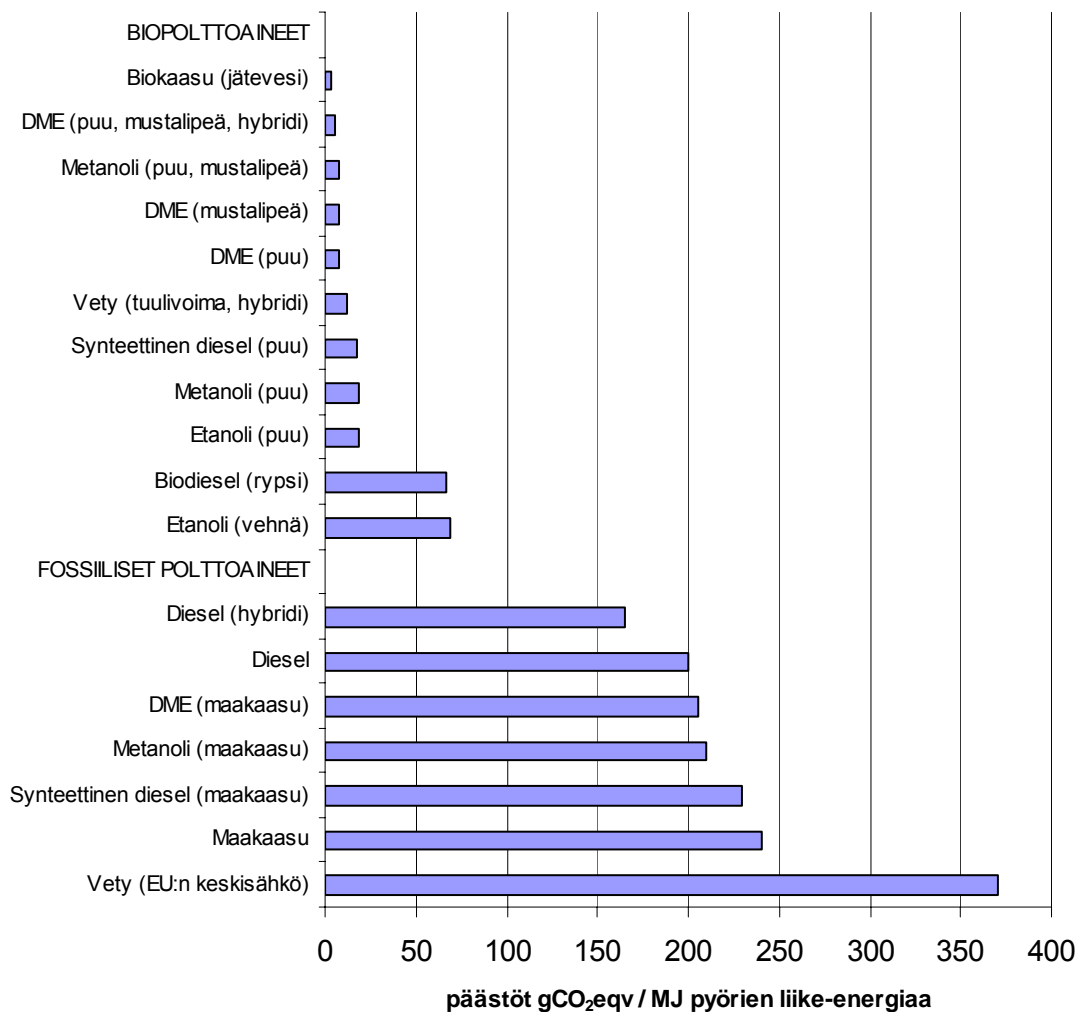
EU:ssa hiilidioksidipäästöjen kasvu on ollut 1970-luvulta lähtien liikenteen dominoima (Tapio 2002, IEA 2003, Kuva 2.7), joten toimenpiteet sillä sektorilla ovat korostetun tärkeitä. EU:n liikenteen biopolttainedirektiivi (2003/30/EC) ja polttoaineverodirektiivi (2003/96/EC) ovat esimerkkejä EU:n toimenpiteistä.



*Kuva 2.7. Hiilidioksidipäästöjen kehitys henkeä kohti EU15:ssa sektoreittain 1960-2001. Sektorit vuonna 2001 ylhäältä alas ovat: muut sektorit, teollisuus ja rakentaminen, kaikki liikenne, tieliikenne, muu energiateollisuus. Liikenne on ainut sektori, joka on lisännyt päästöjä 1970-luvun lopulta alkaen. (IEA 2003)*

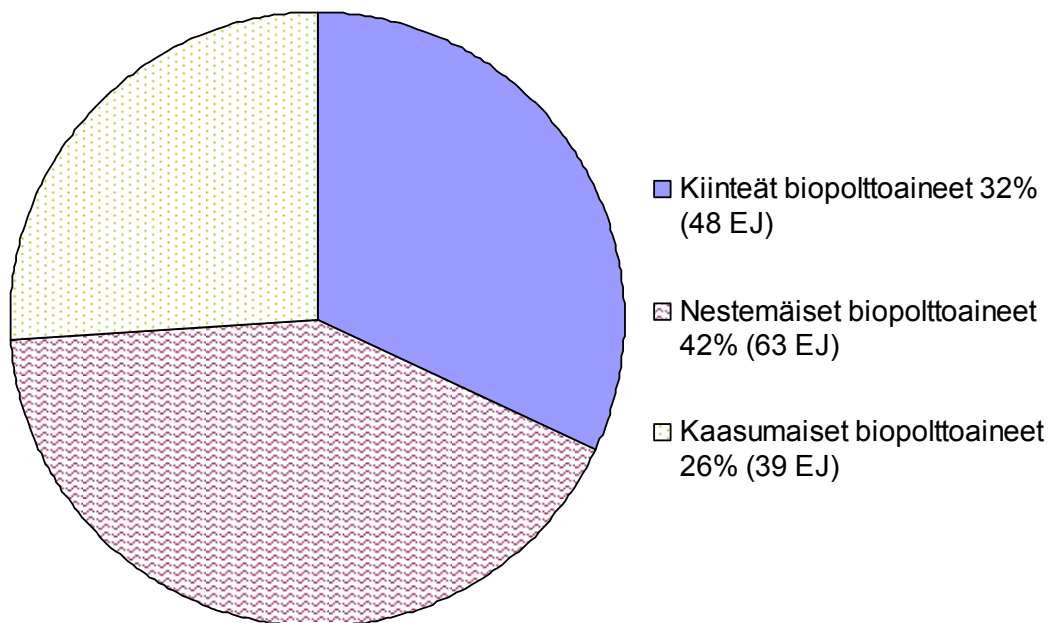
Elinkaarivertailuissa, jossa otetaan huomioon polttoaineen kaikki kasvihuonekaasupäästöt tuotannosta ajoneuvon käyttöön asti, kaikki biopolttaineet

tarjoavat huomattavan suuren vähennyspotentiaalin fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna, jopa verrattaessa biopolttoaineita hybridiajoneuvoissa käytettäviin fossiilisiin polttoaineisiin. Esimerkkinä on kuvassa 2.8 Volvon vertailu raskaille ajoneuvoille. Vastaavia vertailututkimuksia on tehty kymmeniä ja tulokset ovat samansuuntaisia lukuun ottamatta David Pimentelin ja hänen tutkimusryhmänsä laskelmia (IFEU 2004, Reinhardt 2005). Pimentel on toistuvasti 1970-luvulta lähtien kertonut liikenteen biopolttoaineiden, varsinkin bioetanolin, tuotannon kuluttavan enemmän fossiilienergiaa kuin mitä tuotetusta etanolista saadaan hyödynnettyä. Se tarkoittaisi, että biopolttoaineella olisi negatiivinen energiatase eli elinkaarikasviuonekaasupäästöt ylittäisivät fossiilisten liikennepolttoaineiden päästöt päinvastoin kuin esimerkiksi kuvassa 2.8 ja kaikissa muissakin julkaistuissa vertailututkimuksissa. Näin epärealistinen tulos on mahdollinen ainoastaan rikkomalla lukuisia elinkaarianalyysin standardeja ja hyviä tapoja ja siten sellaisilla on tieteellisesti vain kuriositeetin arvo. Poliittisesti kyseisillä tuloksilla on kuitenkin erittäin suuri arvo puolustettaessa fossiilisten polttoaineiden asemaa. Suomessa Pimentelin laskelmiin perustuva argumentointi on hyvin yleistä ja sen seurauksena hänen tuloksensa tunnetaan paljon paremmin kuin tieteelliseen metodiin perustuvien lukuisten tutkimusten tulokset. Kuten taulukosta 2.2 nähdään, negatiivisiakin energiataseita eräillä polttoaineilla on, mutta ne ovat kaikki fossiilisia.



Kuva 2.8. Eräiden polttoaineiden elinkaarikasviuonekaasupäästöt raskaassa liikenteessä (Volvo 2004).

Raakaöljyn hinnan nousu ja tuotantohuipun läheisyys ovat suurin globaali energiahuoltovarmuusriski. Energian käyttömuodoista liikenne on kaikkein raakaöljyriippuvain ja kaikkein vaikeimmin korvattavissa muilla energiamuodoilla. Syynä on nestemäistä tai kaasumaista polttoainetta vaativien polttomoottorien täysin vallitseva asema. Bioenergia tarjoaa kaikista ei-fossiilisista energiamuodoista selvästi helpoimman tien nestemäisiin ja kaasumaisiin polttoaineisiin. Siten YK:n RIGES-skenaariossa bioenergia oletetaan tulevaisuudessa käytettävän valtaosin nestemäisenä tai kaasumaisena (Kuva 2.9). Kyseisessä skenaariossa oletetaan lisäksi, että vedyn tuotanto muilla uusiutuvilla energiamuodoilla on jo merkittävää vuonna 2050, mutta ei vielä yllä bioenergian tasolle liikenteen polttoaineiden osuudessa. Jatkossa se kuitenkin tarjoaa ylivoimaisesti suurimman ekologisen potentiaalin liikenteen polttoaineiden tuotantoon.



Kuva 2.9. Bioenergiamuotojen jakautuminen vuonna 2050 Rion ympäristökousta varten tehdyssä RIGES-skenaariossa; yhteismäärä on 150 EJ, jonka tuottamiseen käytetään 206 EJ primääribioenergiaa (Johansson ym. 1993).

### **Käyttöprioriteetti 2 = sähkö**

Sähkön kulutus on sekundäärienergiamuodoista kaikkein voimakkaimmin kasvava ja siten erityisen tärkeä sektori vähäpäästöisten tuotantoteknologioiden lisäämispolitiikassa. Kuitenkin päinvastoin kuin liikenteen polttoaineiden tapauksessa, sähkön tuotanto on helppo toteuttaa bioenergian lisäksi monilla muillakin vähäpäästöisillä resursseilla ja teknologioilla. Koska bioenergiapotentiaali on alhainen useimpiin muihin uusiutuvan energian potentiaaleihin, sen käyttö tulisi globaalisti priorisoida liikenteeseen, jossa päästöt Suomessa nykyään ovat 5-kertaiseksi sähköntuotantoon verrattuna (Taulukko 2.6). Suomessa kuitenkin on poikkeuksellisen suuri bioenergiapotentiaali per capita, joten sähkönkin tuotantoon on tarjolla runsaasti resursseja, puujäte niistä selvästi tärkeimpänä. Sähkön tuotannossa syntyvä hukkalämpö



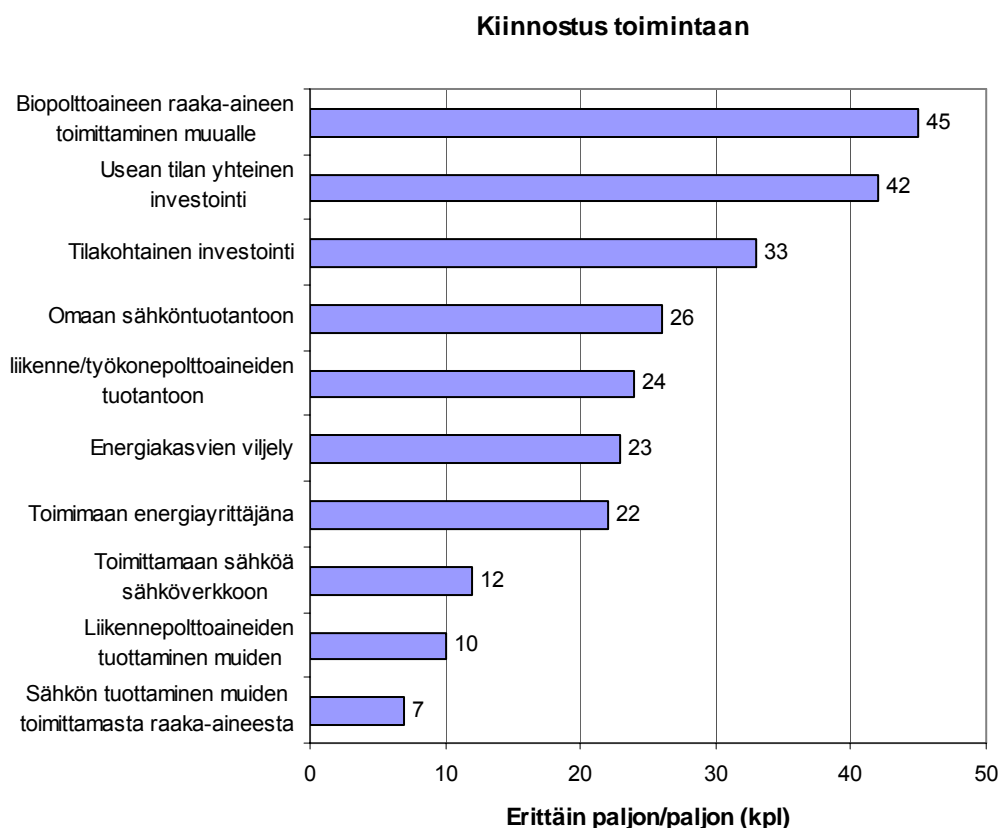
tulee pääsääntöisesti hyödyntää CHP-laitostekniikalla lämmityksessä, jolloin sekä energia- että exergiahyötysuhde ovat korkeat (Taulukko 2.6).

### ***Käyttöprioriteetti 3 = lämpö (erillistuotanto)***

Lämmön kulutus ei ole Suomessa kasvanut 1970-luvun alusta ja se on kaikkein vähiten ongelmallinen energiankulutussektori. Suomessakin yleinen erillinen lämmön tuotanto on kuitenkin termodynamiikan 2. pääsäännön seurauksena fundamentaalisen tuhlaavaa polttoaineen käyttöä, koska resurssin mahdollistama työnteon potentiaali menetetään kokonaan – eli 2. pääsäännön hyötysuhde, exergiahyötysuhde, on nolla (Taulukko 2.6). Bioenergian lämmityskäytön tulevaisuuden kehityksen täytyy siten painottaa pienimuotoisen CHP-tekniiikan käyttöönottoon. Kuitenkin bioenergialla on nyt ja tulee olemaan jatkossakin tärkeä rooli erityisesti varalämpöjärjestelmissä, mutta myös joissakin muissa sovelluksissa erillistuotantotekniikalla.

#### ***2.2.2.4. Muut potentiaalit***

Maanviljelijän kannalta energiaresurssin tuottaminen ei eroa ruoan tuotannosta ja siten sosiaalinen potentiaali on kohtalainen. Pohjoisessa Keski-Suomessa tehdyssä kyselyssä 24 % maatiloista osoitti kiinnostuksen primäärisen bioenergian tuotantoon muualle toimitettavaksi ja 12 % maatiloista osoitti kiinnostuksensa energiakasvien viljelyyn (Kuva 2.10).



*Kuva 2.10. Pohjoisen Keski-Suomen maatilojen lukumäärä, jotka ilmoittavat olevansa erittäin paljon tai paljon kiinnostuneita erilaisesta uusiutuvan energian hyödyntämisestä (N=188) (Huttunen 2004).*

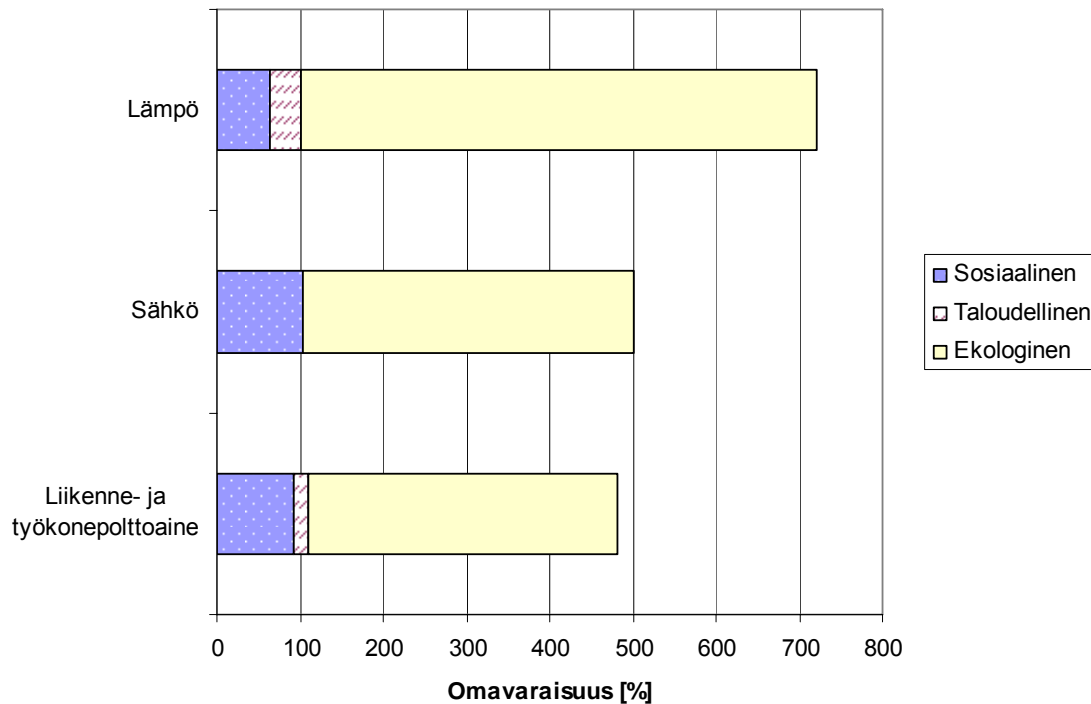
Vaikka primääribioenergian jalostaminen maatilalla sekundäärienergiamuodoiksi, erityisesti liikenne- ja työkonepolttoaineiksi sekä sähköksi, on nykyisin Suomessa äärimmäisen harvinaista (Luku 1), 14 % maataloista ilmoitti kiinnostuksensa sähkön tuotantoon ja 13 % maataloista olisi kiinnostunut liikenne- ja työkonepolttoaineiden tuotannosta. Sosiaaliset potentiaalit näiden sekundäärienergiamuotojen osalta on laskettu taulukkoon L4.8 olettaen kyseisten maataloosuuksien pätevän koko Suomelle ja puolet peltopinta-alasta käytettävän energiakasviviljelyyn, mutta ei lainkaan muita alueita (muut alueet kattavat 66 % maatalojen pinta-alasta). Kasvi- ja eläinperäistä jätettä oletetaan käytettävän suhteutettuna ekologisen potentiaalin arvioon ja konversiohyötysuhteet oletetaan samoiksi kuin ekologisen potentiaalin arvioissa.

Pohjoisen Keski-Suomen maatilakyselyssä (Huttunen 2004) selvisi, että rakennusten lämmitys on bioenergiapohjainen jo 78 %:ssa maataloista ja lähes kaikilla muillakin on kiinnostusta siirtyä biolämpöön. Siten taulukossa L4.8 on oletettu rakennusten lämmityksen sosiaalisesti potentiaaliksi täydellinen omavaraisuus, mutta muiden lämmityskohteiden osalta edelleen nykyinen 0 % omavaraisuus (Taulukko L2.1).

Taloudellinen potentiaali rakennusten lämmityksessä sekä muussakin lämmityksessä vastaa maatalojen täydellistä omavaraisuutta, sillä puulämmitys ja biokaasulämmitys ovat nykyään täysin kilpailukykyisiä. Lämmityksen markkinapotentiaali vastaa kuitenkin vain rakennusten lämmityksen omavaraisuutta, sillä muiden lämmitystarpeiden osalta markkinat eivät nykyään tarjoa teknologiaa (Taulukko L4.8).

Jäteperäinen biokaasu on nykyään kilpailukykyinen sähkön sekä liikenne- ja työkonepolttoaineiden tuotannossa sekä maatalon omaan käyttöön että myyntiin (Hagström ym. 2005, Kalmari 2006). Lisäksi kasviöljy ja biodiesel ovat kilpailukykyisiä maatalon työkonekäytössä. Veropolitiikka ja hallinnolliset esteet eivät toistaiseksi salli muiden teknologioiden ja resurssien taloudellisesti kannattavaa sähkön ja mekaanisen energian maatalatuotantoa. Taloudellinen potentiaali on laskettu olettaen omavaraisuus työkoneiden energiakäytössä (13 PJ sekundäärienergiaa) öljykasvien avulla ja sen lisäksi maatalojen oman nopeasti hajoavan biojätteen (15,5 PJ sekundäärienergiaa) käyttö joko sähkön tai mekaanisen energian tuotannossa (Taulukko L4.8). Maatalojen biokaasulaitosten talous ja tuotanto paranevat, mikäli ne hyödyntävät myös ulkopuolelta tulevaa biojätettä, mutta se ei ole mukana tässä potentiaalilaskelmassa. Markkinapotentiaali on nykyään lähellä nollaa sekä sähkön että mekaanisen energian tuotannossa. Teknologian tuottajia ylipäänsä on vähän ja osa teknologioista puuttuu kokonaan, varsinkin käyttöteknologian alueella.

Kuva 2.11. antaa yhteenvedon sosiaalisesta, taloudellisesta ja ekologisesta potentiaalista maatalojen omavaraisuudelle ja yliomavaraisuudelle.



Kuva 2.11. Maatilojen energiaomavaraisuuden nykyinen sosiaalinen, taloudellinen ja ekologinen potentiaali omilla bioenergiaresursseilla taulukon L4.8 pohjalta. Resurssin käyttötavat ovat vaihtoehtoisia. Potentiaalit eivät voi toteutua yhtä aikaa, mutta sähkön ja polttoaineiden tuotannossa syntyvä hukkalämpö on käytettävissä lämmitykseen.

## 2.3. MUIDEN UUSIUTUVIEN ENERGIAMUOTOJEN POTENTIAALIT

### 2.3.1. Geoterminen energia

Geotermistä energiaa on saatavissa kaikkialla – siis ei ainoastaan vulkaanisilla alueilla – ja sen globaali fyysikaalinen potentiaali on jopa suurempi kuin aurinkoenergian eli 140.000.000 EJ (Palmerini 1993, WEA 2000). Suurin osa siitä kuitenkin sijaitsee erittäin syvällä tai on lämpötilaltaan liian alhainen hyödynnettäväksi. Globaali tekninen potentiaali on arvioitu 5000 EJ:n suuriseksi olettaen sähkön tuotantoon riittävä vähintään 120 °C:n lämpötila, korkeintaan 5 km:n syvyys ja hyödyntämisteknologian olemassaolo (Palmerini 1993). Normaali nykyinen kaupallinen öljynporausteknologia soveltuu 6 km:n syvyyteen asti.

Suomessa on selvitetty geotermisen energian vuota maanpinnan läheisyydessä, mutta ei ole arvioitu energian tuotannon potentiaaleja (Kukkonen 1989) – siitä huolimatta, että esimerkiksi Lundissa Ruotsissa, Pariisissa Ranskassa ja Southamptonissa Englannissa geotermistä energiaa on hyödynnetty jo kauan. Outokummussa on Suomen ainut keskisyvä 2,5 km:n porausreikä, mutta syviä kairauksia ei ole tehty. Suomen potentiaalit on arvioitu taulukkoon L4.9 maatiloille maakunnittain globaalien arvioiden pohjalta olettaen, että poraussyvyyttä voidaan kasvattaa vähintään 6 km:iin. Resurssina on kuuma graniitti, josta lämpö voidaan ottaa talteen HDR- eli hot dry rock –tekniikalla. Kyseisen resurssin hyödyntäminen ei ole mahdollista maatilakohtaisella teknologialla,

vaan se edellyttää keskitettyä tuotantolaitosta. Koko Suomelle tekninen potentiaali on 12.400 PJ ja maatiloille 2400 PJ (Taulukko L4.9).

Geotermisen energian hyödyntäminen vie erittäin vähän maapinta-alaa (Taulukko L5.1) ja päästöt binäriyppisissä voimaloissa, joita HDR-teknologiassa käytetään, ovat lähes nolla. Siten koko teknisen potentiaalin hyödyntäminen on ekologisesti hyväksyttävää. Taulukkoon L4.9 on laskettu ekologinen potentiaali sähkön tuotannolle olettaen konversiohyötysuhteeksi 25 %. Tulos on 170 TWh kaikille Suomen maatiloille yhteensä. Sosiaalista, taloudellista ja markkinapotentiaalia ei nykyään ole. Sähkön tuotannon yhteydessä on saatavissa CHP-lämpöä noin 2-kertainen määrä sähkөөn verrattuna. Tätä ei ole kirjattu taulukkoon L4.9.

### 2.3.2. Tuulienergia

Noin 1 % ilmakehään absorboituvasta auringon säteilyenergiasta muuntuu tuuleksi (Sørensen 2000, 124). Tuulivoiman globaali fysikaalinen potentiaali on siten noin 38.000 EJ.

Suomen maatilojen tekninen potentiaali on laskettu käyttäen keskimääräistä asennettua tehoa  $14 \text{ MW/km}^2$  (Eurec 2002, 157). Se saadaan esimerkiksi 900 kW:n turbiineilla, jotka on asennettu ruudukkoon 250 metrin väleillä (eli 5 kertaa roottorin halkaisija) toisistaan. Käyttökertoimeksi on oletettu keskimäärin 0,15, ottaen huomioon melko läheisestä sijoittamisesta aiheutuvat turbiinien varjostusmenetykset. Tuuliolosuhteet vaihtelevat huomattavasti ja parhailla sisämaan paikoilla käyttökerroin voi olla yli 2-kertainen. Koko maatilojen pinta-ala oletetaan käytettäväksi, mukaan lukien metsäalueet, joilla turbiinin tornin on oltava huomattavasti korkeampi kuin pelloilla.



*Kuva 2.12. Yli 3000 tuuliturbiinin puisto laidunmaalla Palm Springsissä Kaliforniassa. Tämä pääosin 1980-luvulla rakennettu, Kalifornian kolmanneksi suurin tuulipuisto koostuu keskimäärin 100 kW:n turbiineista. Se on myös huomattava turistinähtävyys. [2004]*

Potentiaali tarkoittaa keskimääräistä sähkön hehtaarisatoa  $180 \text{ MWh/ha}$  eli  $660 \text{ GJ/ha}$ , mutta turbiinit ja niiden infrastruktuuri vievät vain 0,5-1 % kyseisestä pinta-alasta jättäen loput muuhun käyttöön (Kuva 2.12). Laskelmassa ei ole otettu huomioon, että pohjoisessa käyttökertoimet ovat korkeampia kuin etelässä.

Erittäin alhaisesta maankäytön tarpeesta (Taulukko L5.1), korkeasta energian takaisinsaantosuhteesta (Taulukko L5.2) ja tuotannon päästötömyydestä johtuen ekologinen potentiaali vastaa koko teknistä potentiaalia (Taulukko L4.10). Joidenkin ihmisten kokemana subjektiivinen tuulivoimaloiden maisema- tai meluhaitta eivät ole ekologisia haittoja. Lintujen tai lepakoiden törmäyksetkin ovat käytännössä merkityksetön ongelma verrattuna liikenteen ja rakennusten aiheuttamiin törmäyksiin, lukuun ottamatta tiettyjä hyvin harvinaisia alueita, erityisesti muuttolintujen levähtämisalueita, joille turbiineita aivan ilmeisesti ei pidä sijoittaa. Tuulivoima on kaupallisista sähköntuotantomuodoista pääsääntöisesti ekologisesti paras vaihtoehto muihin uusiutuviinkin energianlähteisiin verrattuna.

Tuulivoiman sosiaalinen potentiaali on varsin alhainen pohjoisessa Keski-Suomessa (Kuva 2.3), mutta se saattaa olla seurausta teknologian täydellisestä puuttumisesta. Vuosisata sitten tuuliturbiineita oli mekaanisessa käytössä (Kuva 1.7) 10.000 kpl eli se tarkoittaisi nykyään yhtä turbiinia jokaista seitsemää maatilaa kohti (Luku 1). Ottaen huomioon modernien maatilatuuliturbiinien yleisyys Saksassa, Tanskassa ja Ruotsissa sosiaalisen potentiaalin voi olettaa Suomessakin nousevan vuosisadan takaiselle tasolle, kunhan tieto naapurimaidemme esimerkeistä leviää ja saadaan muutamia kohteita myös Suomeen. Mekaanisten turbiinien teho vaihteli yleensä välillä 1,5-4 kW. Moderni turbiini on noin 2 MW<sub>e</sub>:n tehoinen. Niiden vähäisestä lukumäärästä johtuen ne käytännössä sijoitettaisiin paremmille paikoille kuin koko Suomea koskevassa potentiaalilaskelmassa edellä oletetaan. Ne eivät myöskään kärsisi toisten turbiinien varjostusvaikutuksesta. Siten oletuksena on keskimääräinen käyttökerroin 0,2. Sosiaalinen potentiaali on tällöin mautiloille yhteensä 35 TWh. Tämä on sijoitettu maakunnittain niiden mautilojen pinta-alaosuuksien suhteessa taulukkoon L4.10. Taloudellista potentiaalia ei tässä yritetä arvioida. Markkinapotentiaali on nykyään Suomessa lähellä nollaa naapurimaiden merkittävästä maatilakäytöstä huolimatta.

### **2.3.3. Vesivoima**

Vesivoiman potentiaaleja ei voi määrittää ilman kentällä suoritettavia mittauksia. Suomen mautilojen vesivoimaresurssia ei ole arvioitu. Sosiaalinen potentiaali voidaan kuitenkin määrittää samanlaisilla oletuksilla kuin tuulivoiman osalta tehtiin. Vuosisata sitten Suomen mautiloilla oli käytössä noin 6600 mekaanista vesiturbiinia, joiden keskiteho oli noin 3 kW (Luku 1). Mikäli samoihin paikkoihin rakennettaisiin modernit sähköturbiinit, niiden keskiteho olisi ainakin 6 kW<sub>e</sub> eli yhteisteho olisi 40 MWe. Olettaen niille keskimääräinen käyttökerroin 0,6, vuotuinen sähköntuotanto olisi 0,2 TWh. Tämä on myös ekologisesti myönteistä, sillä kyseiset mikrovesivoimalat eivät vaadi tekoallasta ja patoa eivätkä siis muuta ekosysteemeitä eivätkä aiheuta metaanipäästöjä tekoaltaan alle jäävästä kasvillisuudesta. Ne käyttävät vain osan virtaamasta eivätkä estä kalojen vaelluksia. Mikäli koko virtaama käytetään, kalatiet ovat ekologisuuuden vähimmäisedellytyksenä. Markkinapotentiaalia ei tällä hetkellä Suomessa ole, mutta muualla kaupallista mikrovesivoimateknologiaa on tarjolla noin 0,05 kW<sub>e</sub> kokoluokasta alkaen.

### **2.3.4. Aaltovoima, vuorovesivoima ja merivirtavoima**

Näitä resursseja ei ole koskaan Suomessa hyödynnetty. Meren ja järven ranta-omistavilla mautiloilla on aaltovoima- ja vuorovesivoimapotentiaalia, mutta niiden arviointi edellyttäisi kentällä suoritettavia mittauksia. Luultavasti ei ole löydettävissä suomalaista maatilaa, jossa kyseiset resurssit olisivat nykyään merkittävät. Ilmastomuutos voi kuitenkin pitkällä tähtäimellä muuttaa tilannetta varsinkin

merenpinnan nousun takia, jolloin Jäämeren rantaviiva voi ulottua Suomeen. Jäämeren rannalla on huomattavan suuret aalto-, vuorovesi- ja tuulivoimapotentiaalit ja uutena resurssina myös merivirtavoimapotentiaalia. Ilmastonmuutos voi vaikuttaa potentiaaleihin myös Itämeren rantaviivalla, joka myös voi siirtyä huomattavasti. Pienimuotoisia demonstraatioita lukuun ottamatta ei ole luultavaa, että maataloilla otettaisiin näitä resursseja käyttöön tällä vuosisadalla.

## **2.4. UUSIUTUMATTOMIEN ENERGIAMUOTOJEN POTENTIAALIT**

### **2.4.1. Turve**

Turve ei kuulu bioenergiamuotoihin samasta syystä kuin fossiiliset energiamuodot eivät kuulu bioenergiamuotoihin, vaikka kaikki ovat biologista alkuperää. Ne kaikki ovat luonnon nopeasta hiilen kierrosta poistunutta eli varastoitunutta hiiltä, joka ilman ihmistoimintaa ei pääsisi – ainakaan nopeasti geologisessa mittakaavassa – ilmakehään. Päinvastoin kuin bioenergia, joka on peräisin kasvi- tai eläinlajeista, turve on orgaaninen maaperälaji. Turve on myös kivihiilen esiaste; kivihiilen muodostuksessa turve on aina ensimmäinen askel (Miller 2005, 2-4). Näiden turpeen tunnettujen ominaisuuksien vuoksi sen poltto aiheuttaa hiilidioksidin nettopäästöjä ja todellista haittaa ilmastonmuutoksen voimistamisen kautta päinvastoin kuin bioenergian polttaminen. Jälkimmäisessä tapauksessa poltettu hiili kuuluu hiilen nopeaan kiertoon, joka on sitoutunut fotosynteesin avulla poltettuun biomassaan ja joka sitoutuu jälleen uuteen biomassan kasvuun, mikäli kasvillisuuden pinta-alaa ei vähennetä. Siksi YK:n ilmastopöytäkirjan vaatimissa kansallisissa kasvihuonekaasujen inventaarioissa turpeen hiilidioksidipäästöt lasketaan kansallisiin päästöihin, mutta bioenergian polton hiilidioksidipäästöjä ei lasketa, mikäli kasvillisuuden pinta-alaa ei vähennetä (Liite 10).

Suopelto käyttäytyy kuitenkin ihmisten aiheuttaman muutoksen seurauksena poikkeavasti luonnonsoihin verrattuna eli se ei enää pysty toimimaan hiilen varastona, vaan päinvastoin menettää luonnollisesti varastoituneen hiilen (Crill ym. 2000). Siksi kyseisen turpeen käyttö on ilmastonsuojelumielessäkin hyväksyttävää. Maataloilla on nykyään käytävissä noin 240.000 ha suopeltoa eli soista kuivatettua orgaanista peltoa, joista noin 67.000 ha soveltuu teknisesti energiaturpeen tuotantoon (Selin 1999). Kyseinen uusiutumaton energioresurssi on noin 1000 PJ. Suopellon sisältämä hiili poistuu ilmakehään luonnollisestikin, joten sen polttaminen ei efektiivisesti lisää päästöjä. Suopelloilla ei myöskään ole erityisiä ekologisia arvoja, joten ekologinen potentiaali yhtyy tekniseen potentiaaliin, joka on 20 PJ vuodessa olettaen, että resurssi käytettäisiin 50 vuodessa. Se mahdollistaa seuraavat vaihtoehtoiset ekologiset vuosituotantopotentiaalit: lämpö 18 PJ, sähkö 1,4 TWh ja nestemäiset polttoaineet 10 PJ. Turpeen poistamisen jälkeen kyseinen alue soveltuu esimerkiksi energiakasvien tuotantoon.

Suopeltojen turvekerrokset ovat ohuempia ja yksittäisten suopeltojen pinta-alat keskimäärin pieniä verrattuna luonnonsoihin. Siksi suopeltojen hyödyntäminen on kalliimpaa kuin luonnonsoiden. Vain 750 hehtaaria suopeltoa on varattu tuotantokäyttöön eli nykyinen markkinapotentiaali on noin 1 % teknisestä potentiaalista.

Teknologiaa ollaan parhaillaan kehittämässä tämän resurssin edullisempaan hyödyntämiseen.

#### **2.4.2. Fossiiliset polttoaineet**

Suomessa ei ole lainkaan tunnettuja fossiilisia energiavaroja, joten fysikaalinen potentiaali on nolla.

#### **2.4.3. Ydinpolttoaineet**

Fissiopolttoaineista urania ja toriumia on maaperässä kaikkialla, myös maatiloilla, mutta alueellinen vaihteluväli on suuri. Maatilojen fysikaalinen potentiaali on varmasti merkittävä, mutta sille on vaikea arvioida numeerista arvoa. Teknistä potentiaalia ei nykyään Suomessa ole.

Fuusiopolttoaineista vetyä on erittäin runsaasti kaikkialla, myös maatiloilla, ja sen fysikaalinen potentiaali ylittää kertaluvuilla kaikkien muiden energiaresurssien potentiaalit. Teknistä potentiaalia sen käyttöön ei tällä hetkellä ole, sillä fuusiovoimatekniikkaa ei ole pystytty kaupallistamaan. Se ei luultavasti koskaan tule olemaan saatavissa maatilakokoluokassa.

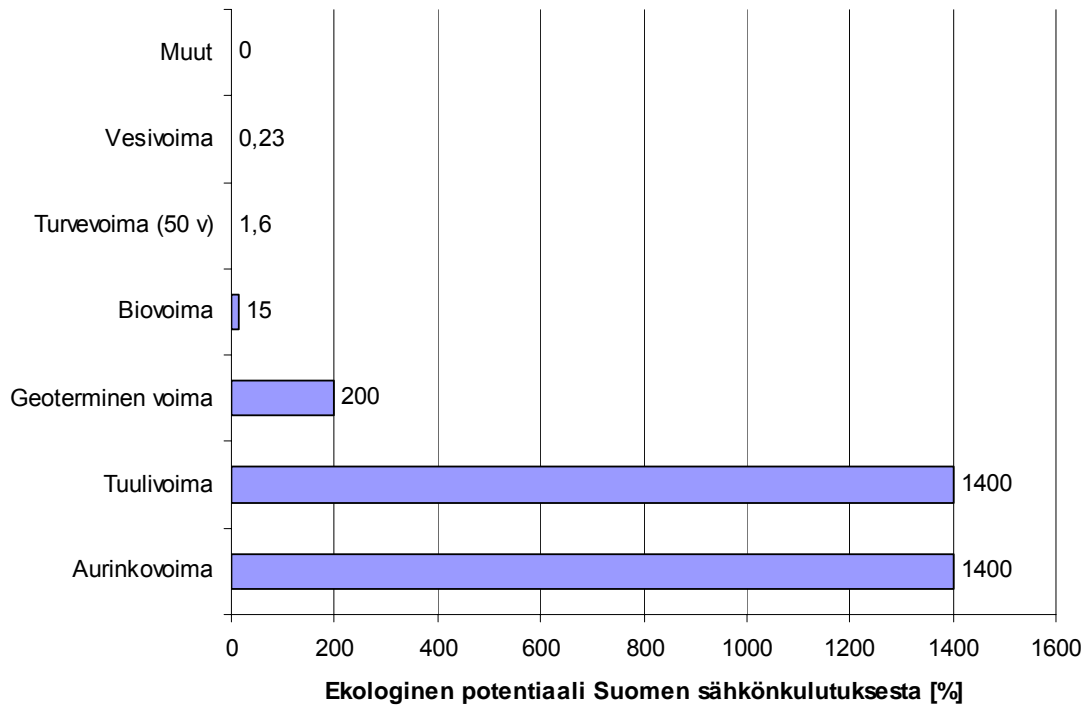
Vetyä voidaan kuitenkin käyttää muutenkin kuin fuusiopolttoaineena: se tarjoaa potentiaalisesti hyvin merkittävän sekundäärienergiamuodon esimerkiksi liikennepolttoaineena. Primäärienergiaresurssina voi olla mikä tahansa edellä käsitellyistä energiamuodoista.

### **2.5. ENERGIAPOTENTIAALIEN YHTEENVETO**

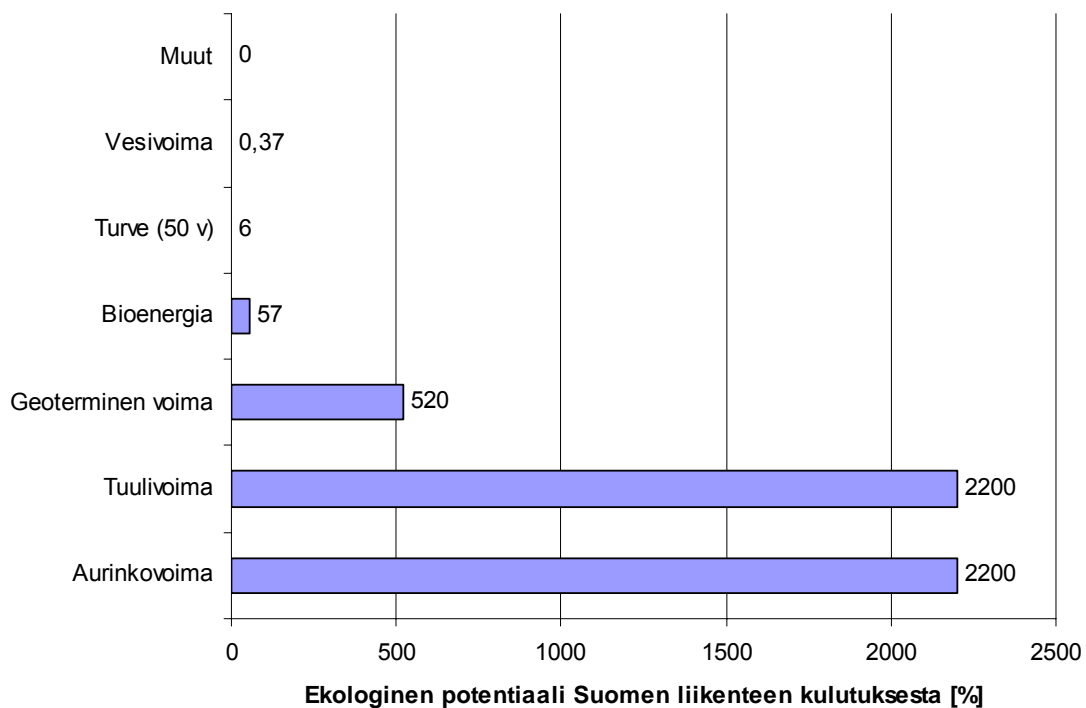
Maatilojen energiaresurssien ekologinen potentiaali sähkön tuotannossa on 30-kertainen Suomen sähkön kulutukseen verrattuna (Kuva 2.13) ja 700-kertainen maatilojen omaan sähkönkulutukseen verrattuna erityisesti aurinko- ja tuuliresurssien ansiosta. Bioresurssien ekologinen potentiaali on 15 % Suomen ja 500 % maatilojen sähkön kulutuksesta ja samalla syntyy noin kaksinkertainen määrä paikallisesti hyödynnettävissä olevaa lämpöä.

Bio-, tuuli-, turve- ja vesivoimaresurssin hyödyntäminen on taloudellisesti mahdollista jo lyhyellä tähtämellä maatilakohtaisesti. Aurinkovoimaresurssi on teknisesti mahdollista jo nykyään, mutta taloudellisesti vasta pitkällä tähtämellä. Geotermisen voiman potentiaalia ei luultavasti koskaan saada Suomessa maatilakohtaisen teknologian hyödynnettäväksi.

Maatilojen liikennepolttoaineresurssien ekologinen potentiaali koko Suomen liikenteen energiankulutuksesta on laskettu kuvan 2.14 diagrammiin. Bioenergian ja turpeen potentiaalit ovat kuten aiemmin laskettu, perustuen 2. sukupolven liikennepolttoaineteknologioihin. Muiden energiamuotojen osalta on laskettu vedyn tuotantopotentiaali vedestä elektrolyyttisesti käyttäen kyseisten energiamuotojen ekologista sähköntuotantopotentiaalia. Elektrolyysin hyötysuhteena on käytetty 85 %:a (Ogden & Nitsch 1993). Näiden potentiaalien toteuttaminen on mahdollista tulevaisuudessa keskitetyllä tuotantotekniikalla.



Kuva 2.13. Maatilojen energiaresurssien ekologinen sähköntuotannon potentiaali verrattuna koko Suomen sähkönkulutukseen on noin 30-kertainen.



Kuva 2.14. Maatilojen energiaresurssien ekologinen liikennepolttoaineiden tuotannon potentiaali verrattuna koko Suomen liikenteen kulutukseen on noin 50-kertainen.

Maatilojen ekologinen potentiaali on 50-kertainen koko Suomen liikenteen energiankulutukseen verrattuna ja 400-kertainen maatilojen työkoneiden ja liikenteen energiankulutukseen verrattuna.



Bioenergiaresurssin hyödyntäminen on taloudellisesti mahdollista jo lyhyellä tähtämellä maatilakohtaisesti. Elektrolyysi on teknisesti mahdollista jo nykyään maatilakohtaisesti (Kuva 2.15), mutta taloudellisesti vasta pitkällä tähtämellä. Maatilakohtaisesti tuotettuna polttoainetuotannon hyötysuhde on teknisistä syistä selvästi alhaisempi kuin edellä on laskettu.



*Kuva 2.15. Kotimainen maatilakokoluokan elektrolyyserilaitteisto vedyn valmistamiseksi vedestä (oikealla) sekä kotimainen vedyn varastointisäiliö (vasemmalla). Tällä laitteistolla valmistetaan tuuli- ja aurinkosähköllä vetyä liikennekäyttöön Jyväskylän yliopistossa. [2005]*

## 3. BIOENERGIAN EDISTÄMISEN POLITIIKKAA

### 3.1. EU-politiikkaa

Bioenergian ja muiden uusiutuvien energiamuotojen kannalta merkittävin EU:n strategioista on uusiutuvan energian edistämishjelma COM(97)599 (Liite 6). Maatalouden bioenergian käyttöä tukee myös EU:n energianhuoltovarmuusstrategian luonnos COM(2000)769, jonka tavoitteena on lisätä kotimaisten energialähteiden käyttöä sekä edistää hajautettua energiantuotantoa. Muita maatalouden bioenergiaa ohjaavia strategioita ovat maatalousstrategia Agenda-2000, energiastrategia COM(95)682 sekä liikennestrategia COM(2001)370 (Kuva 1.9). EU:n ohjelmista uusiutuvien energiamuotojen sekä maatalouden bioenergian käyttöön liittyviä ohjelmia ovat sähkön ja lämmön yhteistuotannon (CHP) edistämishjelma COM(97)514, vaihtoehtoisten liikennepolttoaineiden ohjelma COM(2001)547, ilmasto-ohjelma COM(2001)580, bioenergia-ohjelma COM(2005)628 sekä liikenteen biopolttoainehjelma COM(2006)34.

Euroopan unionin direktiiveistä uusiutuvien energiamuotojen käyttöä edistävät:

- o Uusiutuvilla energiamuodoilla tuotetun sähkön edistämisdirektiivi (RES-E-direktiivi) (2001/77/EC)
- o Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (2002/91/EC)
- o Polttoaineiden standardointidirektiivi (2003/17/EC)
- o Liikenteen biopolttoainedirektiivi (2003/30/EC)
- o Sähkömarkkinadirektiivi (2003/54/EC)
- o Kaasumarkkinadirektiivi (2003/55/EC)
- o Päästökauppadirektiivi (2003/87/EC)
- o Polttoaineverodirektiivi (2003/96/EC)
- o CHP-direktiivi (2004/8/EC)

Euroopan unionin uusiutuvan energian strategiassa COM(97)599 asetetaan tavoitteeksi uusiutuvien energiamuotojen osuuden kaksinkertaistaminen EU:n energiankulutuksesta vuoden 1995 6 %:sta 12 %:iin vuoteen 2010 mennessä. Biomassan osuus lisäystavoitteesta (52 %) on huomattava (Taulukko L6.1). Bioenergian tuotannon odotetaan lisäävän maaseudun elinvoimaisuutta sekä tuovan uusia tulonhankkimismuotoja maataloille.

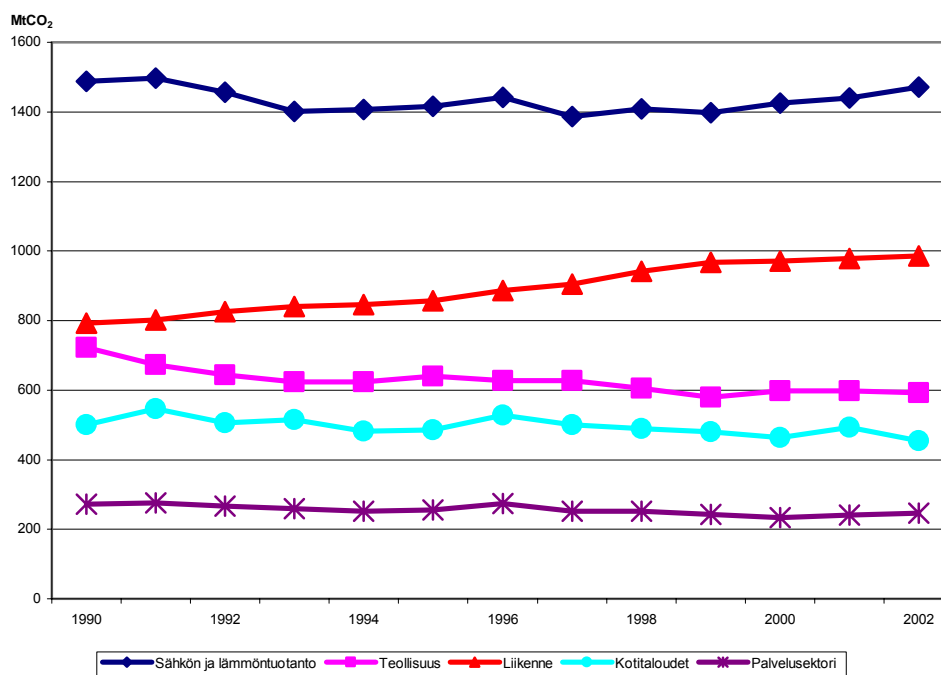
RES-E-direktiivi (2001/77/EC) eli uusiutuvilla energiamuodoilla tuotetun sähkön edistämisdirektiivi asettaa vähimmäistavoitteet jäsenmaille UE-sähkön tuotantoon. Suomelle tavoitteeksi määriteltiin 6,8 %-yksikön lisäys vuoden 1997 tasosta tavoitevuoteen 2010 mennessä. Tavoitteen toteutuminen nostaisi uusiutuvilla tuotetun sähkön osuudeksi 31,5 % kokonaissähköstä, josta bioenergialla tuotetun sähkön osuus olisi merkittävä.

Sähkön ja lämmön yhteistuotannon edistämistä ohjaa CHP-direktiivi (2004/8/EC). Erityispainotus on pienikokoisilla (< 1 MW<sub>e</sub>) ja mikro-CHP:llä (< 50 kW<sub>e</sub>). Direktiivi vaatii jäsenmailta CHP-sähkön osuuden lisäämistä sähkön kulutuksessaan. Direktiivi pohjautuu CHP-edistämishjelmaan, jossa on asetettu tavoitteeksi lisätä CHP:llä tuotetun sähkön osuutta EU:ssa 18 %:iin vuoteen 2010 mennessä. Tavoitteiden

mukainen kehitys vähentäisi CO<sub>2</sub>-päästöjä 65 Mt/vuosi. Mikro-CHP soveltuu hyvin maatilakokoluokan energiaratkaisuihin, ja näin ollen sen avulla voitaisiin vastata hyvin direktiivin vaatimuksiin.

Myös päästökauppadirektiivi (2003/87/EC) vaikuttaa bioenergiamuotojen käyttöä lisäävästi. Direktiivi koskee energiantuotannon osalta suuria yli 20 MW polttolaitoksia, jotka direktiivin mukaan tarvitsevat kasviuonekaasujen päästöluvan toimintaansa. Korvaamalla fossiilisia polttoaineita tai turvetta bioenergiamuodoilla, joiden hiilidioksidipäästöjen päästökerroin on nolla, voimalaitokset pystyvät vähentämään kasviuonekaasupäästöjään sekä mahdollisesti myymään säästyneitä päästöoikeuksia.

Liikenteen biopolttoainedirektiivin (2003/30/EC) vaatimusten mukaisesti jäsenmaiden tulisi lisätä biopolttoaineiden osuutta liikennepolttoaineiden kulutuksesta 2 %:iin vuoteen 2005 ja edelleen 5,75 %:iin vuoteen 2010 mennessä. Suomessa polttoaineen nykykulutuksen perusteella vastaavat biopolttoaineiden käyttömäärät olisivat 3,3 PJ vuonna 2005 ja 9,4 PJ vuonna 2010 (Taulukko L5.5). Taustalla ovat erityisongelmat nimenomaan liikenteen päästöjen hallinnoissa EU:ssa (Kuva 3.1).



Kuva 3.1. Euroopan Unionin energiasektorin CO<sub>2</sub>-päästöt (EU-25, milj. tonnia CO<sub>2</sub>) (EC 2004).

Euroopan unionin ilmastomuutosohjelmassa (ECCP 2003) on arvioitu direktiivien päästövähennyspotentiaaliksi 200 – 230 MtCO<sub>2</sub>-eq vuoteen 2010 mennessä EU-15:ssa. Uusiutuvilla energiamuodoilla tuotetun sähkön vähennyspotentiaali olisi arvioiden mukaan suurin, 100 – 125 MtCO<sub>2</sub>-eq. Biomassapohjaisella CHP:llä päästöt vähenisivät 65 MtCO<sub>2</sub>-eq ja liikenteen biopolttoaineilla 35 – 40 MtCO<sub>2</sub>-eq.

## 3.2. Kansallista politiikkaa

EU-tason voimakkaasta bioenergian edistämispolitiikasta huolimatta kansallisen tason toimilla on tällä hetkellä suurempi merkitys, ja ne vaihtelevat erittäin paljon jäsenmaiden välillä (Kautto 2005). Suomessa uusiutuvan energian tuotantoa ja käyttöä ohjaa uusiutuvan energian edistämishjelma (KTM 2002). Uusiutuvan energian edistämishjelma on osa laajempaa energiasektoriin vaikuttavaa kansallista ilmastostrategiaa. Ilmastostrategiassa määritellään Kioton sopimuksen toimeenpanoa ja kansallisten päästövelvoitteiden saavuttamista, joissa uusiutuvilla energiamuodoilla on keskeinen asema.

Ilmastostategiaa ollaan parhailaan uusimassa ja hallituksen esitys on Eduskunnan käsittelyssä. Siinä on asetettu tavoitteet uusiutuvien energiamuotojen lisäykselle. Strategian toimenpiteiden avulla arvioidaan metsä- ja peltobiomassa sekä biokaasun käytön lisääntyvän energiantuotannossa siten, että se kasvaisi 65 % vuosina 2003 – 2015. Vuoteen 2025 mennessä kasvu olisi arvioiden mukaan 80 % (VN 2005). Metsä- ja peltobiomassojen käyttöä pyritään lisäämään erityisesti päästökaupan ulkopuolisissa pienissä aluelämpökeskuksissa sekä yksittäisten rakennusten lämpökeskuksissa, koska niiden päästöjä ei pystytä rajoittamaan päästöoikeuksien avulla.

Peltobiomassojen käytön edistämisessä keskeisessä asemassa ovat maatalouspoliittiset tukitoimet, joiden avulla voidaan parantaa peltobioenergioiden käytön ja tuotannon kannattavuutta. Peltobiomassojen osalta pyritään ratkaisuihin, joiden avulla raaka-aineiden kuljetustarve pyritään minimoimaan. Myös teknologioiden kehittäminen on keskeinen peltobiomassojen käyttöä edistävä toimenpide (VN 2005).

Maatalous on valtakunnallisesti suhteellisen pieni energiankuluttaja, mutta sen energiaratkaisujen sivuvaikutukset voivat olla merkittäviä. Energiantuotanto tarjoaa uusia tulonlähteitä maaseudulle ja maatalouden bioenergian tuotannon avulla voidaan torjua ilmastonmuutosta.

Uusiutuvan energian edistämishjelmassa (KTM 2002) on asetettu lisäystavoitteet peltobiomassojen, biokaasun ja liikenteen biopoltonesteiden osalta (Taulukko 3.1). Maataloussektori vastaa peltobiomassojen lisäksi osasta liikennepoltonesteiden ja biokaasun lisäystavoitteesta.

Taulukko 3.1. Maatalouden bioenergiälähteiden käyttö primäärienergiana sekä uusiutuvan energian edistämishjelman mukaiset lisäystavoitteet (KTM 2002).

Polttoaine/ energiälähde	Tilanne 2001 [PJ]	Tavoite 2005 [PJ]	Tavoite 2010 [PJ]	Visio 2025 [PJ]
Biokaasu	0,75	2,3	4,2	8
Peltobiomassat	0	0,9	2,1	5
Liikenteen biopoltonesteet*	0	1,4	3,1	9

\*tavoite alustava, tarkennetaan myöhemmin

FINBIO:n asiantuntijoiden mukaan peltobiomassojen lisäyspotentiaali olisi asetettua tavoitetta suurempi. He ovat arvioineet, että peltobiomassojen käyttö vuonna 2010 voisi olla jopa 9 PJ, josta ruokohelven osuus olisi 7,3 PJ ja oljen 1,76 PJ (Alakangas 2002).

Liikenne on yksi ongelmallisimpia energiasektorin osa-alueita ilmastonmuutoksen hillitsemisen kannalta. Huolimatta parantuneesta teknologiasta liikenteen kasvihuonekaasupäästöt ovat nousussa (EEA 2004). Kuten kuvista 3.1 ja 2.7 voidaan nähdä, liikenne on ainut sektori, jolla ei ole pystytty pysäyttämään CO<sub>2</sub>-päästöjen kasvua. Maatalouden peltobiomassoista tuotetut biopolttoaineet mahdollistaisivat kasvihuonekaasupäästöjen hillitsemistä liikennesektorilla (Kuva 3.2).

Maatalouden bioenergian edistämiseen vaikuttaisi olevan mielenkiintoa niin valtakunnan kuin ruohonjuuritasolla. Maanviljelijöiden keskuudessa bioenergian hyödyntämisen lisääminen nähdään tulevaisuudessa todennäköisenä (Huttunen 2004). Erityisesti energiakasvien käytön lisääminen koetaan mahdolliseksi. Ongelmana ja esteenä bioenergian hyödyntämiseen koetaan investointien hinta ja teknologioiden toimivuuden epävarmuus sekä tiedon puute (Huttunen 2004). Lisäksi energialähteen terveys- ja ympäristövaikutukset koettiin melko tärkeiksi. On kuitenkin kansallisesta poliittisesta ohjauksesta kiinni saadaanko olemassa olevaa sosiaalista potentiaalia realisoiduksi käytännön investointeina.



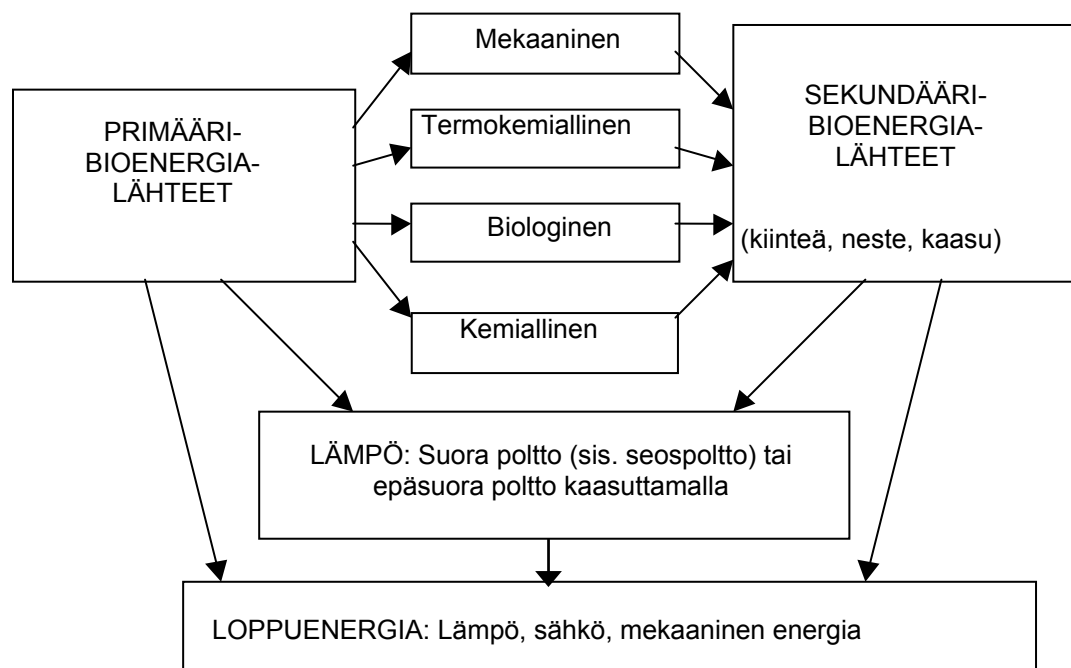
*Kuva 3.2. Kansanedustajat tutustumassa Suomen ainoaan (edelleen ainoa keväällä 2006) biokaasukäyttöiseen ajoneuvoon, Erkki Kalmarin Volvo V70 Bi-fueliin joulukuussa 2002. Bi-fuel-malli pystyy käyttämään sekä metaania (tässä CBG100, mutta myös CNG100) että bensiiniä. Biokaasu tuotetaan maatilareaktorilla Laukaassa (Kuva 7.8). (Lampinen 2004b) [2002]*

## 4. BIOMASSASTA ENERGIAKSI

### 4.1. Yleistä biomassan hyödyntämisestä

Biomassa on uusiutuva energiamuoto, kun sen käyttö on kestävä eli käyttö ei ylitä biomassan kasvua. Bioenergialla tarkoitetaan biomassaan sitoutuneen kemiallisen energian konversiota lämmöksi, sähköksi tai mekaaniseksi energiaksi (Brown 2003).

Primäärisiä bioenergiälähteitä ovat kasvit sekä eläin- ja ihmisperäiset jätteet. Sekundääriset energialähteet ovat kiinteitä, nestemäisiä tai kaasumaisia polttoaineita, jotka on valmistettu primäärienergiälähteistä tai muista sekundäärienergiälähteistä mekaanisesti, termokemiallisesti, biologisesti, kemiallisesti tai muulla konversiotavalla (Kuva 4.1, Huttunen & Lampinen 2005). Primääri- ja sekundääribioenergiälähteet on jaoteltu tarkemmin liitteen 7 taulukossa L7.1.



Kuva 4.1. Bioenergian konversioteknologiat ja loppukäyttö. Kuvasta puuttuu energialähteiden kuljetus (Huttunen & Lampinen 2005).

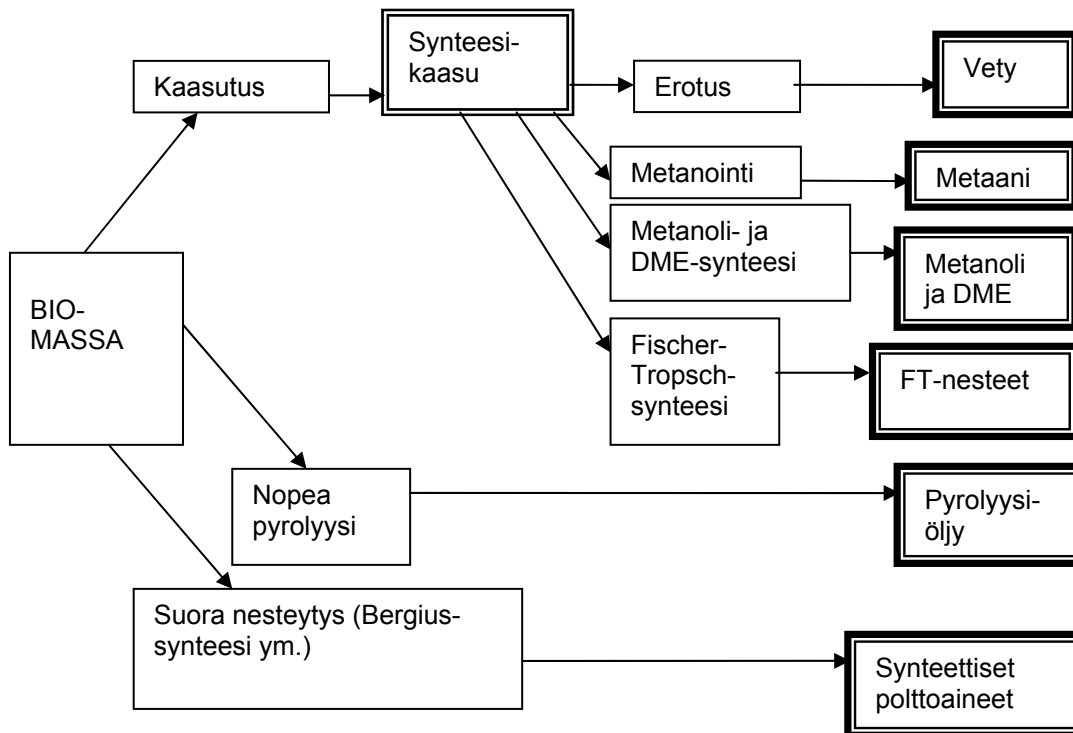
### 4.2. Termokemiallinen konversio

Termokemiallinen biomassan muunnos energiaksi voidaan suorittaa polttamalla, kaasuttamalla, pyrolyysin avulla tai nesteyttämällä. Edellä mainitut tekniikat soveltuvat kaikille biomassatyypeille.

Biomassan poltto on kivikaudelta asti periytyvä tapa hyödyntää biomassan sisältämää energiaa. Perusperiaate poltossa on suora hapetusprosessi, jossa biomassan sisältämä

hiili hapettuu hiilidioksidiksi, vety vedeksi, rikki rikkidioksidiksi ja typpi typpioksideiksi. Polttoa voidaan hyödyntää lämmöntuotannossa hyvin pienimuotoisesta kotitalouskäytöstä aina suurimittakaavaisiin keskitettyihin lämmityslaitoksiin. Sähköntuotannossa pienimmät kaupalliset biomassan polttoon soveltuvat teknologiat ovat noin 50 kW<sub>e</sub> (Huttunen & Lampinen 2005).

Poltto on edelleen käytetyin ja monipuolisin tapa hyödyntää biomassaa energiantuotannossa. Muita tuotantotapoja käytetään, jos halutaan saada aikaan korkeampi sähköntuotannon hyötysuhde (kaasutus) tai tuottaa nestemäisiä tai kaasumaisia polttoaineita varastointia tai kuljetusta varten (kaasutus, pyrolyysi, nesteytys) (Kuvat 4.2-3).

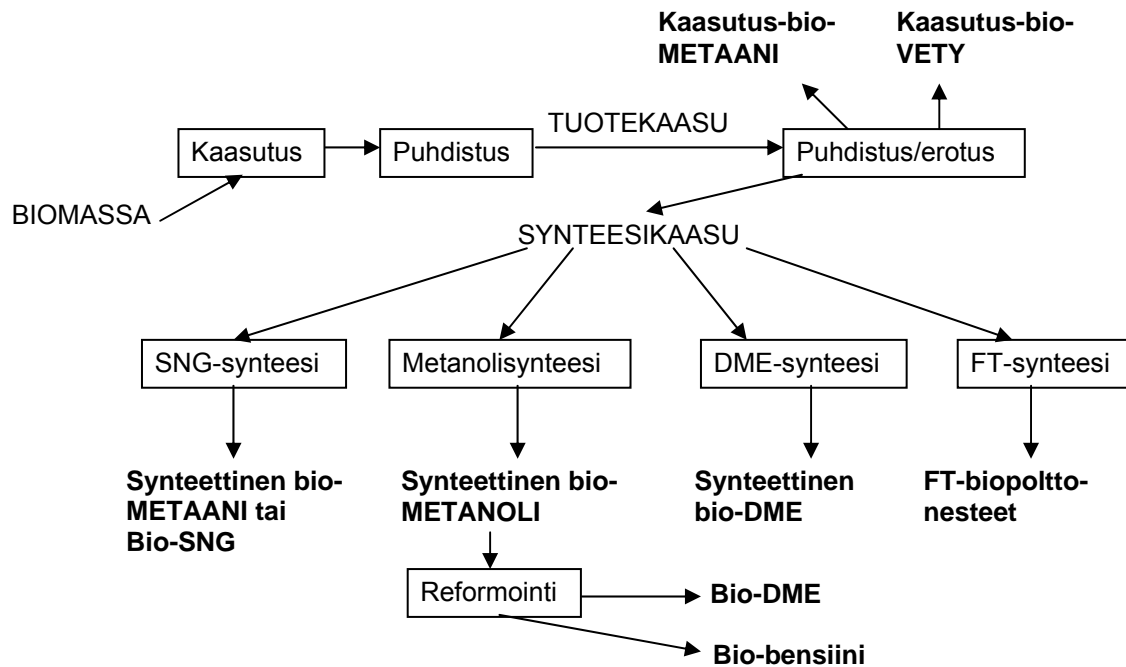


Kuva 4.2. Synteettisten biopolttoaineiden valmistusprosessit. BTL (biomass to liquid) on yhteisnimitys biomassasta valmistetuille nestemäisille synteettisille polttoaineille.

Kaasutuksessa biomassaa muunnetaan korkeassa lämpötilassa vähähappisissa olosuhteissa tuotekaasuksi kutsutuksi kaasuseokseksi, esimerkiksi puu- ja olkikaasu, joka sisältää hiilimonoksidia, hiilidioksidia, typpeä, vetyä sekä metaania ja muita hiilivetyjä. Kaasuseos voidaan käyttää suoraan polttoaineena esimerkiksi kaasuturbiineissa tai polttomoottoreissa tai siitä voidaan erottaa vetyä tai metaania muualla tapahtuvaa käyttöä varten. Kaasutustekniikkaa voidaan käyttää joko lämmön tuotantoon tai sähkön tuotantoon alkaen hyvin pienistä 1 kW<sub>e</sub> sovelluksista.

Tuotekaasu voidaan myös puhdistaa synteesi-kaasuksi (CO + H<sub>2</sub>) käytettäväksi Fischer-Tropsch- (FT), metaani-, metanoli- tai DME-synteeseissä. FT-synteesi on katalyyttinen polymeraatioprosessi, jossa tuotetaan heterogeenisiä nestemäisiä polttoaineita kuten synteettistä dieseliä.

Pyrolyysi on prosessi, jossa orgaaninen materiaali kuumennetaan nopeasti hapettomissa oloissa korkeaan lämpötilaan. Prosessissa syntyy kaasua (pyrolyysikaasu), nesteitä (pyrolyysiöljy) ja puuhiiltä. Pyrolyysikaasu käytetään prosessin omaan lämmöntarpeeseen. Pyrolyysiöljyä voidaan käyttää lämmitysöljyä korvaamaan tai jalostaa sekundäärisiksi polttoaineiksi raakaöljyn tavoin.



Kuva 4.3. Kaasutuspohjaisten synteettisten biopolttoaineiden valmistusprosessit kiinteästä biomassasta. Synteetikaasua voidaan valmistaa myös biokaasusta höyryreformoinnilla. Tuotekaasu on puukaasua, kun käytetty biomassa on puuta. SNG (synthetic natural gas) tarkoittaa kaasutuspohjaista metaania (SNG-synteesi = metanointi).

Suorassa nesteytyksessä biomassa muutetaan nestemäiseksi vedyn tai veden sekä korkean lämpötilan ja paineen avulla. Katalyyttinen vetykrakkaus (Bergius-prosessi) on suoran nesteytyksen eniten sovellettu tyyppi. Pyrolyysin ja kaasutuksen tapaan nesteytyksellä voidaan muodostaa monia nestemäisiä hiilivetyjä. Nesteytyksen etuna pyrolyysiin verrattuna on kuitenkin sen suurempi tuotto ja nesteen korkeampi energiasisältö sekä alhaisempi happipitoisuus, mikä tekee lopputuotteesta stabiilimman (Huttunen & Lampinen 2005).

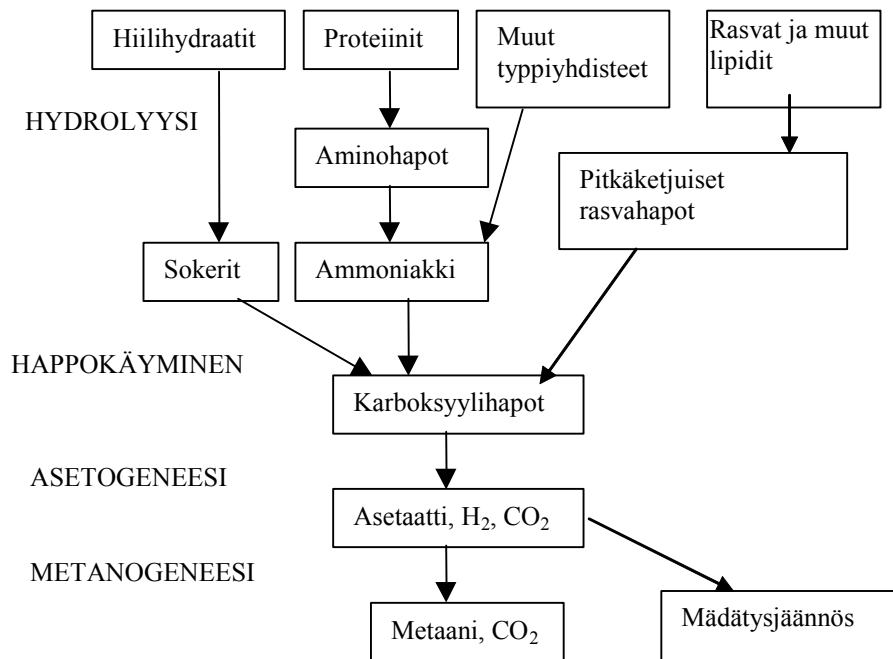
### 4.3. Biologinen konversio

Biologisessa konversiossa mikro-organismit muokkaavat biomassasta energiantuotantoon soveltuvia biopolttoaineita. Biomassan prosessointi tapahtuu kahta eri mikrobiologista prosessia hyödyntäen: mätäneminen ja käyminen.

Mädätyksellä eli anaerobisella käsittelyllä (Kuva 4.4) voidaan tuottaa bioenergiaa nopeasti hajoavista eli mätänevistä biojätteistä kuten lannasta, teurastusjätteistä, teollisuuden ja yhdyskuntien biojätteestä sekä jätevedestä. Myöskin peltokasveja ja



kasvijätteitä voidaan hyödyntää. Lietteen mädätys tapahtuu hapettomissa oloissa tiiviissä reaktorissa, ja se perustuu anaerobisten bakteereiden orgaanisen aineen hajotustoimintaan. Käsittelyssä syntyy biokaasua, joka sisältää pääasiassa metaania sekä hiilidioksidia. Biokaasusta voidaan tuottaa lämpöä ja sähköä tai puhdistuksen jälkeen liikennepolttoainetta metaaniajoneuvoihin (Kuva 3.2). Anaerobisella prosessilla voidaan tuottaa metaanin sijasta myös vetyä, mutta tämä teknologia ei ole vielä kaupallisesti saatavilla.



Kuva 4.4. Mädätysprosessikaavio (Lampinen 2004a).

Käymisreaktion lähtöaineeksi soveltuvat parhaiten viljelykasvit, joilla on korkea sokeri- tai tärkkelyspitoisuus, esimerkiksi sokerijuurikas ja viljat. Myös muita resursseja, kuten puuta ja olkea, voidaan hyödyntää happo- tai entsyymiesikäsittelyn jälkeen (Kansikuva). Prosessissa mikrobin (hiivat tai bakteerit) tuottamat entsyymit pilkkovat orgaanista ainetta muodostaen lopputuotteena etanolia.

#### 4.4. Mekaaninen konversio

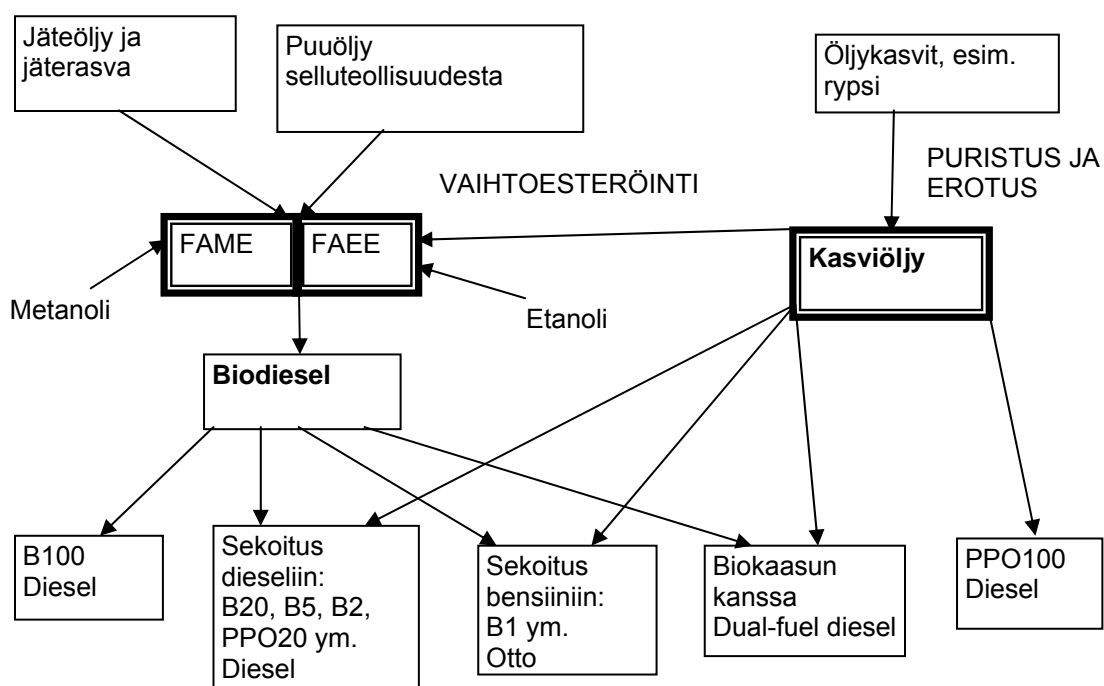
Mekaanisen konversion avulla voidaan tuottaa kiinteitä sekä nestemäisiä biopolttoaineita. Kiinteiden bioenergiälähteiden pilkkominen (mm. halot, pilkkeet) ja mekaaninen puristaminen esimerkiksi pelleteiksi, briketeiksi, risutukeiksi tai olkipaaleiksi (Kansikuva) ovat paljon käytettyjä muokkaustapoja. Samalla myös energiatiheys kasvaa.

Nestemäisiä biopolttoaineita voidaan tuottaa öljykasveista mekaanisesti puristamalla ja laskeuttamalla. Puristuksessa saatua kasviöljyä voidaan käyttää sellaisenaan tai siitä voidaan jatkojalostaa vaihtoesteröimällä biodieseliä (kemiallinen konversio) (Kuva 4.5).

## 4.5. Kemiallinen konversio

Kemiallinen konversio, reformointi ja reformulointi tarkoittavat lukuisia kemiallisia prosesseja, joiden avulla lähtöaineista saadaan muokattua paremmin erityisiin käyttötarkoituksiin soveltuvia polttoaineita tai lisäaineita. Esimerkkejä ovat ETBE-eetterin tuottaminen etanolista, MTBE-eetterin tuottaminen metanolista ja DME-eetterin tuottaminen metanolista. Höyryreformointi on monikäyttöinen konversioprosessi, jolla voidaan tuottaa esimerkiksi metanolia, vetyä ja synteetikaasua metaanista.

Vaihtoesteröinnillä voidaan kasviöljyistä, eläinrasvoista, jäterasvoista sekä mänty- ja muista puuöljyistä tuottaa dieselmootoreihin sopivia biodiesel-polttoaineita. Sekä biodieseleitä että kasviöljyjä voidaan käyttää muissakin moottorityypeissä (Kuva 4.5), kaasuturbiineissa sekä lämmityslaitteissa kevyen polttoöljyn sijaan.

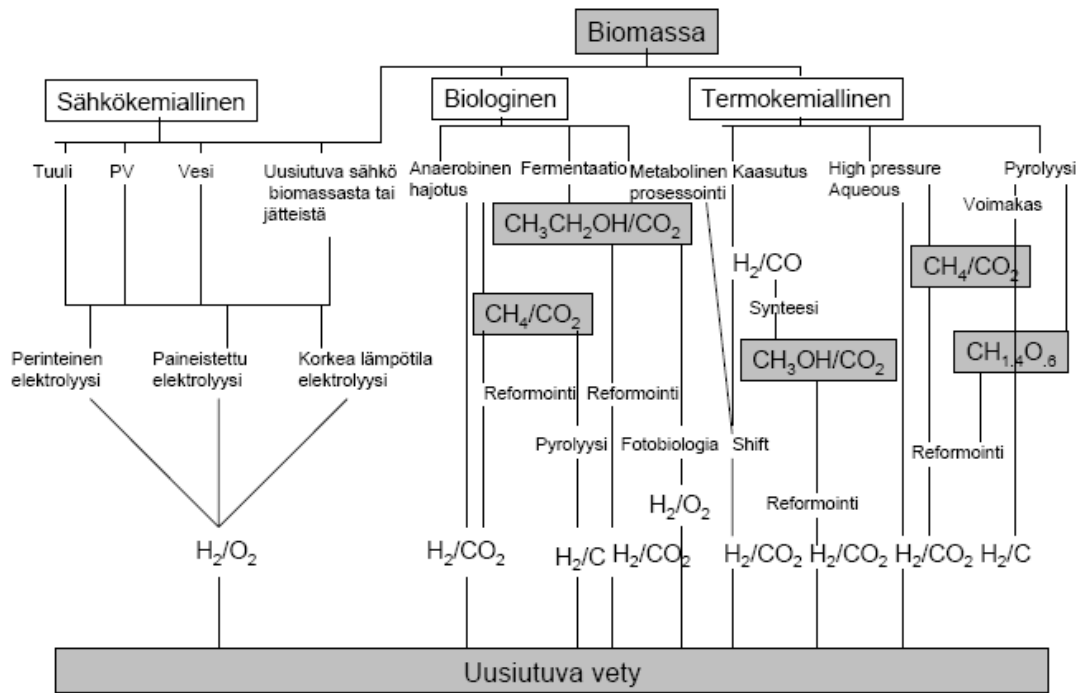


Kuva 4.5. Kasviöljyjen ja biodieseliä tuotanto- ja käyttömahdollisuuksia eri moottorityypeissä. FAME (fatty acid methyl ester) ja FAEE (fatty acid ethyl ester) ovat biodiesel-tyyppejä. B(nro) tarkoittaa polttoainetta, jossa on (nro):n ilmoittama prosenttiosuus biodieseliä. PPO(nro) (pure plant oil) tarkoittaa polttoainetta, jossa on (nro):n ilmoittama prosenttiosuus kasviöljyä.

## 4.6. Sähkökemiallinen konversio

Elektrolyysin avulla vetyä voidaan valmistaa vedestä sähköllä. Mikäli sähkö on tehty bioenergialla, tuotettu vety on biovetyä. Biovetyä voidaan tuottaa lukuisilla muillakin tavoilla kuten kuvasta 4.6. ilmenee. Millään muulla polttoaineella ei ole tarjota niin monipuolista tuotantovalikoimaa. Elektrolyysin tarvitsema vety voidaan tuottaa myös muilla uusiutuvilla energiamuodoilla, jolloin kasvihuonekaasutase ja energiatehokkuus on vähintään yhtä hyvä kuin biosähköllä tuottaessa. Erityisesti tuuli- ja aurinkovoimaa hyödyntävä vedyn tuotantopotentiaali on paljon suurempi kuin kaikilla

bioenergiapohjaisilla polttoaineilla yhteensä, myös Suomen maataloilla kuten kuvasta 2.14 selviää. Vety on jo nykyään kaupallinen polttoaine (Kuva 4.7).



Kuva 4.6. Bioenergiapohjaisen vedyn tuotantotapoja (muokattu Milne ym. 2001).



Kuva 4.7. Vedyn yleinen tankkausasema Reykjavikissa (yläkuva) ja kaupunkibussin tankkausasema Tukholmassa (alakuva). [2003] [2005]

## 5. MAATILOJEN BIOENERGIATEKNOLOGIAT

Maatilojen bioenergiateknologiat ovat kokoluokaltaan pieniä, yleensä alle 100 kW<sub>e</sub> sähköntuotannossa (eli mikro-CHP). Suuremman kokoluokan teknologiaratkaisut voivat tulla kysymykseen keskitetyissä, esimerkiksi useamman tilan yhteisissä, laitoksissa. Maatilakokoluokkaan soveltuvat kaupallisesti saatavilla olevat teknologiat on listattu taulukkoon 5.1. Keskitetyn tuotannon teknologioita, joita varten maatilat voivat tuottaa primääribioenergiaa ja joista ne voivat saada käyttöönsä sekundääribiopolttoaineita, sähköä, kaukolämpöä ja kaukokylmää, on käsitelty liitteessä 8 (Taulukot L8.1-2). Bioenergiälähteiden ja niiden konversioprosessien luokittelu löytyy liitteestä 7 (Taulukko L7.1).

*Taulukko 5.1. Maatilakokoluokan kaupalliset bioenergiateknologiat, sähköteho ≤ 100 kW<sub>e</sub>, kokonaisenergiantuotantoteho ≤ 1 MW<sub>th</sub> (Huttunen & Lampinen 2005).*

Käyttömuoto	Teknologia	Bioenergiälähde
Lämmitys	Biomassakattilat (arina)	Kaikki kiinteät kasvibiomassat ja lanta
	Kaasu- ja nestepolttoainetta käyttävät polttimet	Kaikki sekundääriset kaasumaiset ja nestemäiset biopolttoaineet
Sähkö ja mikro-CHP (sisältää myös lämmityksen)	Höyrykone	Kaikki kiinteät kasvibiomassat
	ORC-turbiini	Kaikki kiinteät kasvibiomassat
	Kaasutus + Otto- tai Diesel-moottori	Kaikki kiinteät kasvibiomassat
	Kaasutus + mikroturbiini	Kaikki kiinteät biomassat
	Otto-, Diesel-, Wankel- ja Stirling-moottorit	Kaikki sekundääriset kaasumaiset ja nestemäiset biopolttoaineet
	Mikroturbiini	Kaikki sekundääriset kaasumaiset ja nestemäiset biopolttoaineet
	Polttokenno	Biovety
Kaasumaiset ja nestemäiset biopolttoaineet	Biokaasu (mädätys)	Karjan lanta, oljet, energiakasvit, elintarviketuotannon jätteet, keittiöjätteet
	Etanoli (käyminen)	Sokeri- ja tärkkelyskasvit
	Kasviöljyt (puristus)	Öljykasvit
	Biodiesel (esteröinti)	Öljykasvit, elintarviketuotannon jäterasvat
	Vety (elektrolyysi)	Biosähkö ja vesi

### 5.1. Lämmön erillistuotanto

Lämpöä voidaan tuottaa biomassasta suoraan polttamalla tai kaasuttamalla. Maatalouden peltobiomassoista lämmön tuotantoon soveltuvat kaikki BIOAGRE-hankkeeseen valitut bioenergiälähteet (ruokohelpi, olki, rypsi, energiaviljat, energianurmet ja karjan lanta) joko suoraan primäärienergiana tai sekundäärienergiamuodoiksi jalostettuina. Maatiloilla tuotettua lämpöä voidaan käyttää mm. tilan rakennusten ja veden lämmitykseen, kasvihuoneiden lämmitykseen ja viljan kuivaukseen.

Lämmön tuotantoon käytetyistä teknologioista yleisimpiä ovat erilaiset biomassakattilat. Biomassalle soveltuvissa kattiloissa käytetään neljää eri polttotapaa: arinapoltto, leijupetipoltto, pölypoltto ja kaasutuspoltto. Näistä arinapoltto on kustannustehokkain sovellus kiinteiden polttoaineiden polttoon maatilakokoluokassa.

Arinapoltossa palamisilma syötetään arinalle useasta eri kohdasta. Primääri-ilma, jonka avulla varsinainen palaminen tapahtuu, johdetaan prosessiin arinan alta. Kiinteän polttoaineen palamisessa vapautuvat kaasut poltetaan sekundääri-ilman avulla ylempänä kattilassa. Arinoiden rakenteet riippuvat kattiloiden koosta ja polttoaineesta. Erilaisia arinatyyppisiä ovat kiinteä tasoarina, kiinteä viistoarina, mekaaninen viistoarina, ketjuarina sekä kiertävä kekoarina, jossa arina on jaettu pyöriviin vyöhykkeisiin. Usein käytössä on em. tyyppien yhdistelmiä. Kiinteiden arinoiden edullisuuden vuoksi ne ovat käytetyimpiä pienten kokoluokkien kattiloissa. Pienet arinakattilat jaetaan yläpalo- ja alapalokattiloihin polttoaineen syöttötavan mukaan. Yläpalokattiloissa polttoaine syötetään kerralla kattilan tulipesään, jolloin palamisolosuhteet vaihtelevat jatkuvasti ja päästöt ovat suurempia kuin muissa kattilatyypeissä (Vartiainen ym. 2002). Alapalokattiloissa polttoaineen lisääminen ja palaminen on jatkuvaa, minkä vuoksi palamisolosuhteet pysyvät vakiona ja päästöt ovat pienemmät. Arinapolton käyttöä helpottaa automatisointi. Stokeripolttimet ovat kiinteitä polttoaineita hyödyntäviä laitteistoja, joissa polttoaineen annostelu ja palaminen on pitkälle automatisoitua.

Biomassakattiloita käytetään jo laajasti energiantuotannossa maataloilla. Erilaisia biomassakattilavaihtoehtoja on kaupallisesti saatavilla ja alan teknologiatoimittajia toimii kotimaisilla markkinoilla useita. Tällä hetkellä Suomessa käytössä ja kaupallisesti saatavilla olevat biomassakattilat hyödyntävät pääasiassa puuperäisiä polttoaineita kuten pilkkeitä, haketta ja pellettejä. Energiaviljat soveltuvat rajoitetusti polttoaineeksi Suomen markkinoilla oleviin biomassakattiloihin. Tarjolla on muutamia kaupallisia sovelluksia, joihin energiaviljat soveltuvat ongelmitta polttoaineeksi. Muissa maissa, esimerkiksi Tanskassa ja Englannissa, on markkinoilla peltobiomassoille, kuten oljelle, tarkoitettuja biomassakattiloita.

Lämmityskattiloissa käytettävä polttoöljy voidaan korvata biomassapohjaisilla nestemäisillä polttoaineilla, esimerkiksi biodieselillä tai pyrolyysiöljyllä ja muilla synteettisillä polttoaineilla. Maataloilla tuotettuja kiinteitä polttoaineita voitaisiin käyttää keskitetyissä laitoksissa valmistettujen synteettisten polttoaineiden raaka-aineena ja käyttää sitten tuotettua sekundaarista energialähdettä omassa energiantuotannossa.

## **5.2. Sähkön ja lämmön yhteistuotanto (CHP)**

CHP-teknologiassa hyödynnetään tuotetun sähkön lisäksi myös prosessissa syntyvä lämpö, mikä parantaa prosessin tehokkuutta (Kuva 2.4). Tuotettu sähkö voidaan käyttää maatilalla tai myydä sähköverkkoon. Lämpö voidaan hyödyntää kuten pelkässä lämmöntuotannossa tai syöttää kaukolämpö-, kaukokylmä- tai höyryverkkoon.

Mikäli maatilakokoluokan teknologia saadaan markkinoille, se pääsee hyödyntämään sarjavalmistusetua, joka antaa suurten laitosten skaalaetua paljon suuremman potentiaalisen teknologian ja tuotetun energian hintojen alentamiselle. Ja energiaa saadaan tuotettua halvemmalla kuin nykyisessä keskitetyssä järjestelmässä. Taulukko 5.2 antaa esimerkin sarjavalmistusedun merkityksestä, kun verrataan suuria voimalaitoksia auton moottoriin. Siirryttäessä hajautettuun sähkön (mikro-voima) ja sähkön ja lämmön yhteistuotantoon (mikro-CHP) voidaan hyödyntää samaa markkinamekanismia, jolla auton moottorin hinta on saatu laskemaan. Sama mekanismi näkyi myös

tietokoneteknologian murroksessa, kun siirryttiin keskustietokoneista mikrotietokoneisiin.

*Taulukko 5.2. Energialaitosten rakennusinvestointikustannuksia.*

Laitostyyppi	Käyttökerroin <sup>1</sup>	Investointikustannus (€/kW)
Ydinvoimala	0,9	1500-2500
Vesivoimala	0,6 - 0,7	800-1000
Tuulivoimala	0,2 - 0,3	800-1000
Kivihiihilauhdevoimala	0,2 - 0,4	800-1000
Auton moottori	-	35

<sup>1</sup>Tarkoittaa keskimääräisen vuotuisen tuotantotehon ja nimellistehon eli maksimitehon suhdetta. Esim. tietty nimellisteho ydinvoimaa tuottaa vuodessa 3 kertaa enemmän energiaa kuin sama nimellisteho tuulivoimaa. Ilmoitetut käyttökerrointen arvot ovat Suomessa tyypillisiä arvoja.

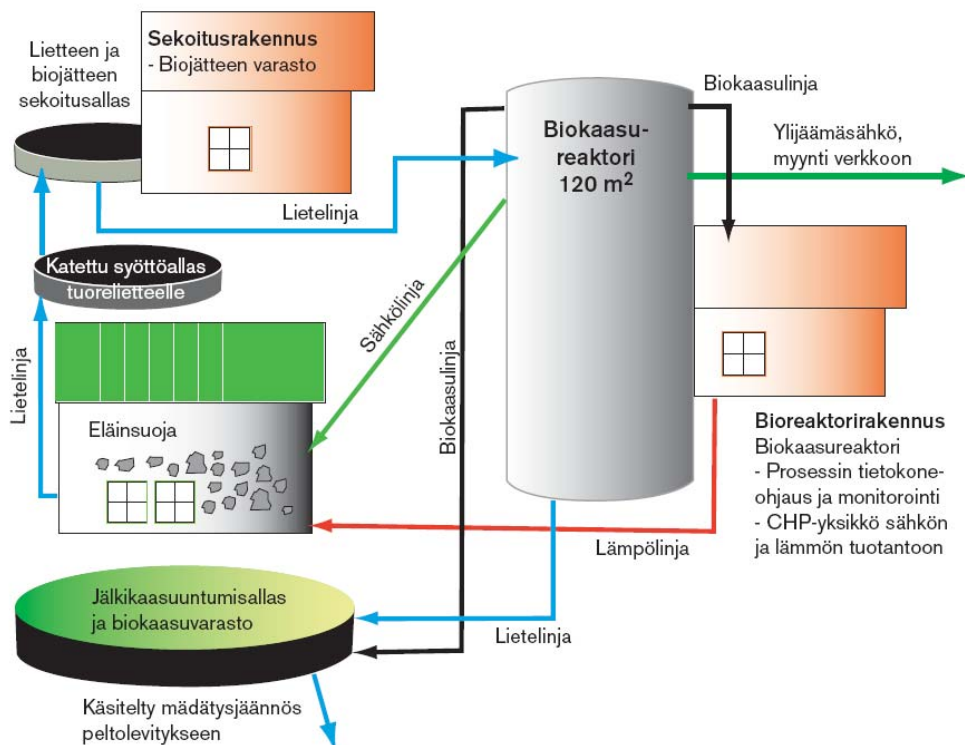
Pienimuotoisen CHP-tuotannon polttoaineiksi soveltuvat yleensä kaasumaiset tai nestemäiset sekundääriset polttoaineet, mutta useat teknologiat mahdollistavat myös kiinteiden primääristen polttoaineiden käytön. Seuraavassa esitellään lyhyesti tärkeimmät pieneen kokoluokkaan soveltuvat teknologiat. Yhteenvedo ominaisuuksista on taulukossa 5.3. Laajempi vaihtoehtojen valikko löytyy taulukoissa L8.1 ja L8.2.

*Taulukko 5.3. Maatilojen CHP-käyttöön soveltuvien teknologioiden luokittelu ja ominaisuudet.*

Luokka	Tyyppi	Teho	Hyötysuhde maatilakokoluokassa (< 300 kW <sub>e</sub> )
IC-moottorit	Otto	100 W – 1 MW	< 25 %
	Otto-hybridi	50 kW – 300 kW	< 35 %
	Diesel	1 kW – 50 MW	< 30 %
	Diesel-hybridi	50 kW – 300 kW	< 40 %
	Wankel	1 kW – 500 kW	< 30 %
EC-moottorit	Stirling	50 W – 500 kW	< 45 %
	Höyrykone	10 kW – 1 MW	< 15 %
IC-turbiinit	Mikroturbiini	10 kW – 500 kW	< 35 %
EC-turbiinit	Höyryturbiini	100 kW – 2000 MW	< 40 %
	ORC- ja muut vapour-turbiinit	10 kW – 10 MW	< 25 %
	Kuumailmaturbiini	100 kW – 10 MW	
Polttokennot	Vetypolttokennot	1 W – 5 MW	< 60 %

#### *Sisäisesti lämmitettävät mäntämoottorit (ICE)*

Sisäisesti lämmitettäviä mäntämoottoreita ovat otto-, diesel- ja kiertomäntämoottorit (Wankel). Ne koostuvat mäntämoottorista ja siihen liitetystä generaattorista (Kuvat 2.4, 5.1 ja 5.3). Prosessissa voidaan hyödyntää sähköntuotannon ohella myös syntyvä lämpö. Polttoaineiksi sisäisesti lämmitettäviin mäntämoottoreihin soveltuvat kaasumaiset tai nestemäiset sekundaariset biopolttoaineet. Dual-fuel-dieselmootorit ovat dieselmootoreita, joissa kompressoidaan kaasua, esimerkiksi biokaasua, ilman sijaan ja sytytys tapahtuu nestemäisellä polttoaineella. Pienissä moottoreissa niiden tuottamasta energiasta on peräisin kaasusta noin 90 %, suurissa enemmän.



Kuva 5.1. Kaavio maatilakohtaisesta biokaasulaitoksesta, joka tuottaa sähköä, lämpöä ja lannoitetta. CHP-yksikkö on yleensä IC-moottori, mutta voi olla myös EC-moottori, IC-turbiini tai polttokenno. Liikennepolttoainetuotanto edellyttää lisäksi puhdistimen ja kompressorin. (Lampinen 2004a)

#### Ulkoisesti lämmitettävät mäntämoottorit (ECE)

Stirlingmoottorit (Kuva 5.2) ja höyrykoneet ovat ulkoisesti lämmitettäviä mäntämoottoreita. Ulkoinen lämmöntuotanto mahdollistaa kaikista lämpövoimakoneista suurimman joustavuuden lämmön lähteen valinnassa. Maatilakokoluokassa stirlingmoottorit tarjoavat vaihtoehdon otto- ja dieselmoottoreille. Niiden etuina ovat alemmat päästöt ja melutaso, ulkoisen polton mahdollistama pidempi huoltoväli ja korkea hyötysuhde. Maatiloilla stirlingmoottoreiden polttoaineiksi soveltuvat esimerkiksi biokaasu, kasviöljyt ja pelletit.

Kuva 5.2. Omakotitalo- ja maatilakokoluokkiin CHP-käyttöön valmistettava uusiseelantilainen stirlingmoottori. [2006]

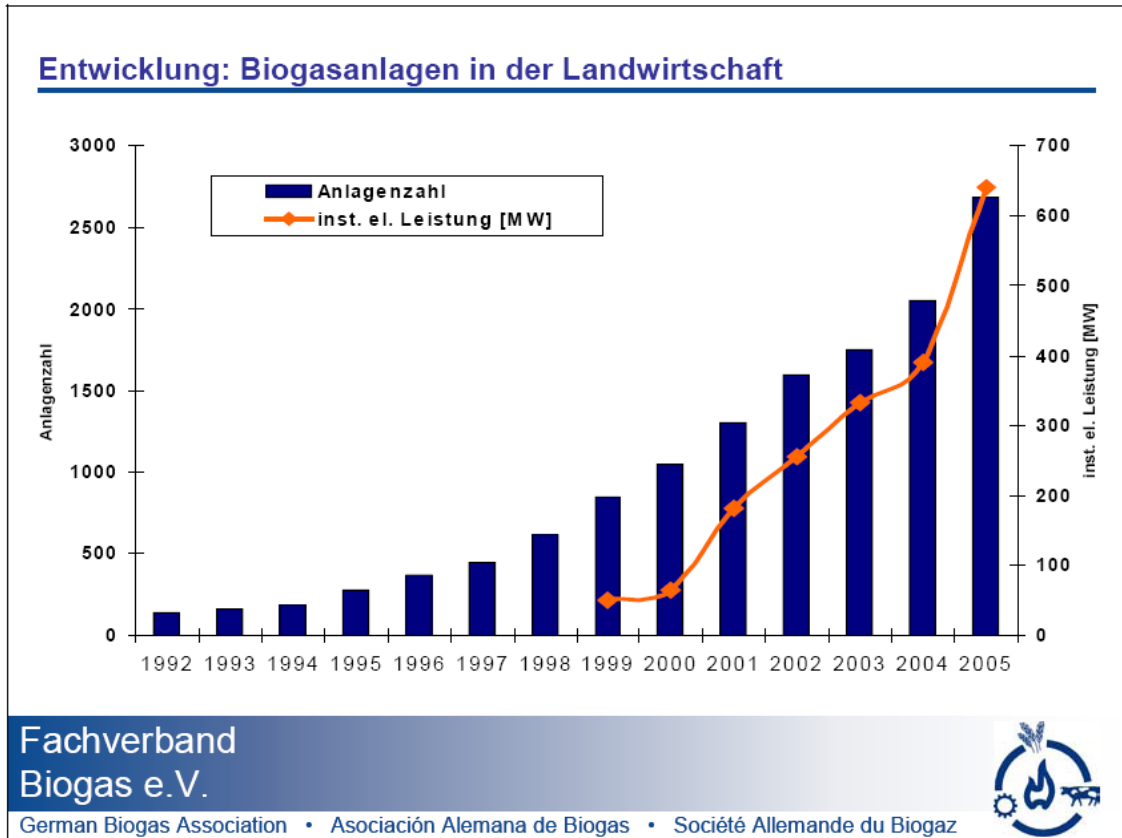


Höyrykoneprosessissa käytetään korkeapaineista höyryä liikuttamaan sylinterissä mäntää, joka on yhdistetty kampiakselilla generaattoriin tuottamaan sähköä (Vartiainen ym. 2002). Käytettävä höyry tuotetaan erillisessä kattilassa, mikä mahdollistaa useiden erilaisten polttoaineiden käytön. Höyrykoneen polttoaineeksi soveltuu mikä tahansa kiinteä, nestemäinen tai kaasumainen polttoaine, yleisimmin käytössä on kuitenkin

kiinteitä polttoaineita. Seospoltossa höyrykoneisiin soveltuvat myös polttoaineiksi myös peltobiomassat.

### Turbiinit

Höyryturbiinissa paineistettu höyry kulkee turbiinin siipien läpi pyörittäen generaattoria. ORC- ja muissa vapour-turbiineissa höyrystyvä aine on veden sijaan jokin muu orgaaninen tai epäorgaaninen yhdiste. Mikroturbiineilla tarkoitetaan yleensä kaasuturbiineja, joiden teho on 25 – 250 kW<sub>e</sub> (Vartiainen ym. 2002). Mikroturbiinien polttoaineeksi soveltuvat sekä kaasumaiset (biokaasu, kaasutettu biomassa) että nestemäiset polttoaineet (mm. metanoli, etanoli, bioöljyt).



*Kuva 5.3. Saksan maatilabiokaasureaktoreiden lukumäärän (pylväät ja vasemmanpuoleinen pystyakseli) ja asennetun CHP-sähköntuotantotehon (viiva ja oikeanpuoleinen pystyakseli) kehitys vuosina 1992 – 2005. Lukumäärän odotetaan nousevan yli 40.000:n vuoteen 2020 mennessä. CHP-käytössä on ottomootoreita, dual-fuel-dieselmootoreita, mikroturbiineita ja stirlingmootoreita. Maatilareaktorit ja niitä tukeva teollisuus työllistivät Saksassa vuonna 2005 yli 5000 henkilöä. (Saksan biokaasuyhdistys)*

### Polttokennot

Sähkön tuotanto on mahdollista myös polttokennoilla, joissa polttoaineen kemiallinen energia muunnetaan suoraan sähköksi. Polttokennojen korkea hyötysuhde johtuu siitä, että se ei ole lämpövoimakone eikä sitä rajoita termodynamiikan 2. pääsäännön seuraus Carnot'n hyötysuhde. Polttokennoissa yleisimmin käytetty polttoaine on vety, jota voidaan tuottaa biomassasta useita eri tapoja käyttäen (Kuva 4.6). Myös metaanin,



metanolin ja DME:n suora käyttäminen on mahdollista. Muita polttoaineita käytettäessä tarvitaan reformaattori, joka tuottaa polttokennon tarvitseman polttoaineen.

#### *CHP-laitosten polttoaineet*

Eri polttoaineiden soveltuvuus CHP-tekniikoille on esitetty taulukossa 5.3. Soveltuvuustarkastelu on tehty teknologisesti näkökulmasta. Monet polttoaineet ovat teknologisesti käyttökelpoisia eri CHP-tekniikoille, mutta niiden käyttö kaupallisesti saatavissa tekniikoissa ei ole vielä mahdollista.

*Taulukko 5.3. Eri polttoaineiden soveltuvuus CHP-tekniikoille (Vartiainen ym. 2002).*

	<b>Kaasu- ja dieselmoottorit</b>	<b>Mikro-turbiinit</b>	<b>Stirling-moottorit</b>	<b>Polttokennot</b>	<b>Höyry-turbiinit ja -koneet</b>
Hiili			•		•••
Turve			•		•••
Kierrätys-polttoaineet	•• (kaasutus)	•• (kaasutus)	•	• (kaasutus)	•••
Kiinteä biomassa	•• (kaasutus)	•• (kaasutus)	••	• (kaasutus)	•••
Dieselöljy	•••	•••	••		•
Bensiini	•	••	••	••	•
Raskas polttoöljy	•••	•	•		•
Metanoli	•	••	••	••	•
Etanoli	•	••	••	••	•
Bioöljyt	••	••	••		•
Nestekaasu	••	•••	••	••	•
Vety	••	••	••	•••	•
Maakaasu	•••	•••	•••	•••	•
Biokaasu	•••	••	••	••	•

••• = nyt kaupallisesti merkittävä polttoaine  
 •• = tulevaisuudessa mahdollisesti kaupallisesti merkittävä polttoaine  
 • = teknisesti mahdollinen, mutta ei todennäköisesti kaupallisesti merkittävä polttoaine

### **5.3. Liikenne- ja työkonepolttoaineiden tuotanto**

Seuraavassa kappaleessa käsiteltävät liikenne- ja työkonepolttoaineet on jaoteltu sellaisiin, joita voidaan tuottaa maatilakohtaiseksi sekä sellaisiin, jotka edellyttävät keskitettyä tuotantolaitosta. Tässä käsiteltyä laajempi luettelo löytyy liitteestä 8. Nämä polttoaineet soveltuvat liikennekäytön lisäksi myös sähkön- ja lämmöntuotannon polttoaineiksi. Liitteeseen 9 on koottu tietoa liikennepolttoaineiden luokittelusta ja ominaisuuksista.

### 5.3.1. Maatilakohtainen tuotanto

#### *Metaani (biokaasu)*

Metaania on tuotettu biokaasutekniikalla vähintään satojen vuosien ajan (Liite 1). Suurin osa maailman nykyisistä yli 10 miljoonasta reaktorista on pieniä omakotitalokokoluokan järjestelmiä. Saksassa on eniten maatilareaktoreita, noin 2700 kpl vuonna 2005, tuotantoteholtaan yhteensä noin 650 MW. Kuva 5.3 esittää Saksan maatilareaktoreiden lukumäärän ja asennetun sähköntuotantotehon kehityksen.

Maatiloilla voidaan tuottaa biokaasua kasvi-, eläin- tai ihmisperäisistä jätteistä ja energiakasveista (Kuva 7.8). Biokaasua tuotetaan mädätyksellä eli anaerobisella prosessilla, jossa bakteerit hajottavat orgaanista materiaalia hapettomissa oloissa muodostaen metaania ja hiilidioksidia. Biokaasu sisältää yleensä 60 – 70 % metaania ja 30 – 40 % hiilidioksidia sekä pieniä määriä muita kaasuja.

Tuotettua biokaasua voidaan käyttää puhdistuksen jälkeen kuten maakaasua liikennepolttoaineena metaaniajoneuvoissa - mukaan lukien bi-fuel-ajoneuvot, joissa voidaan käyttää metaanin lisäksi myös bensiiniä sekä dual-fuel-ajoneuvot, joissa metaania käytetään yhdessä dieselin kanssa. Suomessa on tällä hetkellä yksi biokaasua käyttävä henkilöauto (Kuittinen ym. 2005). Lisäksi Helsingissä on liikenteessä useita maakaasua käyttäviä autoja. Biokaasua voidaan hyödyntää myös lämmityksessä, CHP-laitteistoissa tai mekaanisen energian tuotannossa työkoneissa (Kuva 5.1).

Suomessa maatiloilla toimivia biokaasulaitoksia oli toiminnassa kuusi kappaletta vuonna 2004 (Kuittinen ym. 2005). Biokaasun tuotannon kiinnostavuutta lisäävät sen positiiviset vaikutukset käsitellyn orgaanisen aineen ominaisuuksiin. Anaerobinen käsittely parantaa raaka-aineen hygieenisyyttä sekä lannoitusarvoa ja vähentää hajuhaittoja. Lisäksi tuotetun biokaasun avulla on mahdollista saada taloudellista hyötyä laitoksesta. Maatilareaktorit ovat taloudellisesti kannattavimmat silloin, kun yhteismädätetään lantaa ja muuta jätettä (Hagström ym. 2005, Kalmari 2006) ja tuotetaan useita tuotteita (Lampinen 2004b).

#### *Etanoli*

Etanolia on osattu tuottaa tuhansien vuosien ajan (Liite 1), useimmiten pienessä kokoluokassa, mutta nykyään liikenne-etanoli tuotetaan valtaosin keskitetyissä laitoksissa. Etanolin moottorikäyttö alkoi 1700-luvulla. Nykyään tämän teknologian suurimmat hyödyntäjät ovat USA ja Brasilia, joissa molemmissa käyttö vuonna 2005 ylitti Suomen liikenteen energiankulutuksen ja sekä etanoli että sen valmistuksen vaatimat kasvit tuotettiin kotimaassa.

Etanolia tuotetaan mikrobiologisen käymisreaktion ja tislauksen avulla sokeri- ja tärkkelyskasveista tai selluloosaa sisältävistä kasveista. Etanolin tuotanto on mahdollista kaikissa kokoluokissa alkaen pienistä kotitaloussovelluksista aina suuriin teollisiin tuotantolaitoksiin. Alkoholipolitiikasta johtuen on mahdollista, että polttoaine-etanolin valmistusta ei Suomessa tulevaisuudessakaan sallita maatilakokoluokassa.

Peltobiomassoista etanolin valmistukseen soveltuvat muiden muassa sokerijuurikas ja energiaviljat. Kuitua sisältävistä peltobiomassoista voidaan myös tuottaa etanolia, mutta niiden sisältämä selluloosa pitää ensin pilkkoa sokeriksi happo- tai entsyymiavusteisessa hydrolyysireaktiossa. Tämä hydrolyysireaktio on hyvin

mielenkiintoinen, sillä se mahdollistaa halpojen kuitukasvien kuten puu (Kuva 5.4) käytön etanolin tuotannossa, jossa juuri raaka-aineena käytetyn biomassan hinta on ratkaisevassa asemassa taloudellisuuden kannalta. Tämä teknologia on osattu 1800-luvulta lähtien (Liite 1). Hydrolyysiesikäsittely mahdollistaa myös olkien käytön etanolin valmistukseen jyvien ohella (Kansikuva). Nämä teknologiat soveltuvat kuitenkin vain keskitettyyn tuotantoon.



*Kuva 5.4. Paikallisesti puusta (hakkeesta ja sulfiittilipeästä) 2 eri teknologialla valmistettua etanolia käyttävä kaupunkibussi Örnsköldsvikissa Ruotsissa. [2005]*

Etanolia voidaan käyttää sellaisenaan ottomootoreissa tai sekoittaa tavalliseen bensiiniin. Tavalliset ottomootorit pystyvät käyttämään 20 % etanolia sisältävää bensiiniä ilman muutoksia. FFV-ajoneuvot (flexible fuel vehicles) – kuten kansikuvassa - voivat käyttää mitä tahansa seosta bensiinistä aina 85 % etanoliin eli E85:een asti (tai jopa E100:aa). Suomessa näitä autoja ei ole vielä markkinoilla, mutta Ruotsissa niitä oli vuonna 2005 käytössä yli 23.000 (Miljöfordon 2006). Ne maksavat saman verran kuin tavanomaiset korkeintaan E20:aa käyttämään pystyvät ajoneuvot. Etanolia voidaan käyttää myös dieselajoneuvoissa 93 %:n tai pienempinä osuuksina, kuten Ruotsissa tehdään.

Suomessa valmistetaan etanolia viljasta 25 miljoonaa litraa vuodessa elintarvikekäyttöön (MMM 2006). Osaan kotimaassa myytävästä bensiinistä lisättiin vuosien 2002–2004 aikana etanolia koemielessä enintään 5 % ja samoin on tehty huhtikuusta 2006 alkaen. Suomessa ei kuitenkaan käytetä kotimaista etanolia, vaan lisätty etanoli tuotettiin EU:n ylijäämäviinistä.

#### *Kasviöljyt ja biodieselit*

Kasviöljyjä ja eläinrasvoja on käytetty energiantuotannossa kivikaudesta alkaen (Liite 1). Biodieselin valmistustaito opittiin 1800-luvulla (Liite 1). Kasviöljyjen ja biodieseleiden käyttömahdollisuuksia on esitelty kuvassa 4.5.

Kasviöljyjen (PPO) liikennekäyttö on varsin harvinaista. Se on suurimmillaan Etelä-Saksassa, josta dieselmoottori on alun perin kotoisin ja jossa se myös aikanaan kaupallistettiin. Alkuperäinen dieselmoottori suunniteltiin kasviöljyille (Liite 1) ja ne käyvät nykyistenkin moottorien polttoaineeksi, mutta dieselöljylle suunniteltujen ajoneuvojen oheisjärjestelmissä tarvitaan joitakin muutoksia (Kuva 5.5). Kasviöljyjen tuotannon hyötysuhde on parempi kuin biodieselin, sillä sen jalostus on vähemmän

energiaintensiivistä kuin vaihtoesteröinnin vaativalla biodieselillä. Näin ollen sen elinkaaren aikaiset CO<sub>2</sub>-päästöt ovat myös alhaisemmat. Pöytyällä Ekolaiho-sinappiyritys valmistaa sinapinsiemenistä kasviöljyä. Sinappiöljy käytetään maatilan traktorin ja henkilöauton polttoaineena 60 % seoksena mineraalidieselin kanssa.



*Kuva 5.5. Kasviöljyjen (PPO100) käyttöön pystyvä dieselauto, johon on asennettu saksalainen Elsbett-konversiosarja. Moottoriin on merkitty lapuilla noin 10 osaa, jotka konversiossa on lisätty tai vaihdettu. Konversiosarjan hinta kuvan VW Jettaan on noin 800 €. Konversiosarjoja on saatavissa myös maatalouskoneisiin. Konversion jälkeen jää mahdollisuus käyttää myös fossiili- ja biodieseliä. [2004]*

Biodieseliä käytetään paljon varsinkin Keski-Euroopassa. EU:ssa käytettiin vuonna 2005 biodieseliä määrä, joka vastaa yli 70 %:a Suomen tieliikenteen energiankulutuksesta. Sekä biodieselin että sen vaatimien öljykasvien ja jätteiden tuotanto tapahtui kotimaassa.

Biodieselillä tarkoitetaan kasviöljyjen estereitä (FAME/FAEE), joiden pääasiallinen raaka-aine Suomen oloissa olisi rypsi. Raakarypsiöljy vaihtoesteröidään metanolilla, jolloin saadaan rypsimetyyliesteriä (RME); mikäli vaihtoesteröintiin käytetään etanolia, on lopputuotteena rypsietyyliesteriä (REE). Biodieselin (B100) käyttö ei eroa tavallisen dieselin käytöstä ja se soveltuu tietyin varauksin tavallisten dieselmoottoreiden

polttoaineeksi. Ainoastaan laitteiston luonnonkumiset tiivisteet ja letkut täytyy korvata paremmin biodieselin liuottavaa vaikutusta kestävillä osilla.



*Kuva 5.6. Kalifornialaisen biodiesel-osuuskunnan julkinen B100-biodieselin tankkausasema. Osuuskuntaan kuuluvien maatilojen öljykasvit jalostetaan yhteisessä jalostamossa ja kuljetetaan käyttöä varten sekä maatiloille että julkisille asemille. Pumpun päällä on pulloissa näytillä 3 erilaista raakakasviöljyä, joista biodiesel tuotetaan. Kaupallinen hinta tällä asemalla kesällä 2004 oli \$3,50 gallonalta eli 0,73 € litralta. Etualalla B100-käyttöinen urheiluauto. [2004]*

Biodieselin tuotanto ja käyttö maatilakokoluokassa on kokeiluasteella muutamilla kotimaisilla tiloilla. Elimäellä toimii biodieselin jalostuslaitteita valmistava yritys ja Keuruulla rypsiä sekä elintarviketuotannon jäterasvoista jalostetaan maatalan työkoneiden polttoainetta. Kotimaisilla markkinoilla on tarjolla biodieselin valmistukseen soveltuvia laitteistoja. Laitetoimittajan antamien tietojen mukaan kesällä 2005 laitteistoja oli käytössä 13 tilalla ja kiinnostus niitä kohtaan on korkea. Esimerkki kalifornialaisesta maatilojen muodostaman osuuskunnan biodiesel-tankkausasemasta on kuvassa 5.6.

#### *Tuotekaasu, puukaasu ja synteetikaasu*

Kiinteistä bioenergiälähteistä (esim. puu, olki, peltokasvit) kaasuttamalla muodostettua kaasua voidaan käyttää polttoaineena ottomoottoriajoneuvoissa sekä CHP-laitteissa. Liikennekäyttö edellyttää kaasuttimen (häkäpöntön) kuljettamista mukana. Tämä teknologia voi olla liikennekäytössä merkittävä vain kriisiaikoina. Viime sodan aikana se oli Suomessa tärkein liikenteen energianlähde (Luku 1).

Puukaasu on tällä hetkellä tärkein kotimainen liikenteen biopolttoaine Suomessa. Nykyisistä Suomen alle 30:stä biopolttoaineajoneuvosta noin 20 on puukaasukäyttöisiä.

Biokaasu- ja kasviöljyjajoneuvoja on molempia yksi ja loput käyttävät biodieseliä. Vastaavasti Ruotsissa oli vuonna 2005 yli 30.000 valtaosin E85:a, E93:a ja biokaasua käyttävää biopolttoaineajoneuvoa (Miljöfordon 2006).

CHP-käytössä tätä teknologiaa ei maatilakokoluokassa Suomessa nykyään enää ole, mutta muualta maailmasta sitä löytyy. Sillä on suuri potentiaali Suomen maataloilla, koska se pystyy hyödyntämään puuta sähkön tuotannossa.

#### *Biovety*

Vetyä on käytetty energiantuotannossa osana kaupunkikaasua 1600-luvulta lähtien ja vety oli ensimmäinen polttomootoreissa käytetty polttoaine (Liite 1). Biomassasta voidaan tuottaa vetyä useilla eri tavoilla (Kuva 4.6). Näistä vain elektrolyysi soveltuu maatilakokoluokan tuotantoon ja muut ovat saatavissa keskitettyihin laitoksiin. Vetyä voidaan käyttää polttoaineena polttokennoilla tai ottomootorilla varustetuissa autoissa.

### **5.3.2. Keskitetty tuotanto**

Maataloista voidaan tuottaa biomassaa keskitettyihin polttoaineiden tuotantolaitoksiin, esimerkiksi osuuskuntaomisteisiin (Taulukko L8.1, Kuva 5.6) tai teollisuuslaitoksiin (Taulukko L8.2). Sellaisissa laitoksissa voidaan tuottaa paljon useampia polttoaineita kuin maatilakokoluokassa on mahdollista. Niillä voidaan saavuttaa erittäin hyvä energiatase (Taulukko 2.2) ja kasvihuonekaasutase (Kuva 2.8) käyttäen resursseja, joita maataloilla on eniten tarjolla eli hakkuutähteitä (Kuva 5.4) ja olkea (Kansikuva).

Ruotsissa tuotetaan monia biopolttoaineita keskitetysti. Niitä on saatavissa puhtaina (esimerkiksi B100) tai suurina pitoisuuksina (esimerkiksi E85) monilta huoltoasemilta kuten taulukosta 5.4 ja kuvasta 5.7 nähdään. Lisäksi Ruotsissa on lähes kaikkeen tavalliseen bensiiniin sekoitettu 5 % etanolia (eli E5) ja osaan dieseliä 2 % biodieseliä (B2). Suomessa on huhtikuusta 2006 alkaen osassa myytävästä bensiinistä 2-5 % etanolia tai ETBE:tä.

*Taulukko 5.4. Biopolttoaineiden ja muiden vaihtoehtoisten liikennepolttoaineiden julkiset tankkausasemat Ruotsissa ja Suomessa vuoden 2006 alussa.*

	Ruotsi	Suomi
<b>Biopolttoaineet</b>		
Etanoli E85	324	0
Biokaasu CBG	49	0
Biodiesel B100	20	0
Biovety CH2	2	0
<b>Muut vaihtoehtoiset polttoaineet</b>		
Maakaasu CNG	30	1
FT-diesel (GTL)	1	0



*Kuva 5.7. Tukholmalainen huoltoasema, joka myy 100 % biodieseliä (B100, RME100), 100 % biokaasua (CBG100) ja 85 % etanolia (E85). [2003]*

#### *Synteettiset polttoaineet*

Synteettisten polttoaineiden tuotantovaihtoehtoja on esitelty kuvassa 4.2 ja kaasutus pohjaisia synteettisiä polttoaineita yksityiskohtaisemmin kuvassa 4.3.

Kaasutusta on käytetty kaupunkikaasun tuotantoon 1600-luvulta alkaen, aluksi lämmitykseen ja valaistukseen, ja 1800-luvulta alkaen myös moottoripolttoaineena puu- ja kivihiilikaasuna (Liite 1). Kaasutus pohjaisten nestemäisten polttoaineiden valmistus alkoi 1920-luvulla, aluksi kivihiilellä (Liite 1).

Fischer-Tropsch (FT) -polttoaine on synteetisikaasusta katalyyttisesti jalostettua synteettistä liikenteen biopolttoainetta. Se oli hyvin suurimittaisessa käytössä 2. maailmansodan aikana, varsinkin Saksassa. Nykyään tämän teknologian johtava käyttäjä on Etelä-Afrikka, jossa sillä tuotetaan kivihiilipohjaisia nestemäisiä polttoaineita 7 Mtoe vuodessa. Myös kiinteitä biomassoja voidaan käyttää myös FT-

prosessin lähtöaineena, mutta tämä teknologia on nykyään kokeiluasteella, eikä suuria kaupallisia tuotantolaitoksia ole vielä käytössä. Ruotsissa on markkinoilla maakaasupohjainen (eli GTL-polttoaine) FT-diesel (Kuva 5.8). Bioenergiaperäinen (biokaasu tai metaanisynteesi) metaani soveltuu sellaisenaan GTL-teknologioiden raaka-aineeksi.



*Kuva 5.8. Maakaasusta valmistetun Fischer-Tropsch-dieselin (GTL-polttoaine, tuotenimi Ecopar) julkinen jakeluasema Uppsalassa Ruotsissa. Ecoparia käytetään Sundsvallin ja Göteborgin kaupunkibusseissa. Tarkoituksena on saada markkinoille Värnamössä tuotettu hakeperäinen FT-diesel (BTL-polttoaine) Växjön kaupunkibusseissa vuonna 2008. [2005]*

DME (dimetyylieetteri) on synteettinen kaasutus pohjainen polttoaine, jota voidaan käyttää tavallisissa dieselmootoreissa korvaamaan fossiilisia polttoaineita. Sen käyttö vaatii kuitenkin poikkeavan polttoainejärjestelmän. Esimerkiksi Volvo kehittää DME-pohjaisia ratkaisuja, koska DME:n tuotannon hyötysuhde on paras kaikista biopolttoaineista (Kuva 6.5). Ruotsissa on havaittu erityisesti mustalipeän olevan suuren potentiaalinen raaka-aine synteettisen DME:n valmistukseen (Kuvat 5.9 ja 6.6-7).

Metanoli on ottomootoreihin sopiva nestemäinen polttoaine, jota myöskin voidaan valmistaa kaasutus pohjaisesti yhtä hyvällä hyötysuhteella kuin DME:tä. Suomen olemassa olevissa sellutehtaissa voitaisiin tuottaa mustalipeän kaasutustekniikalla sivutuotteena liikennepolttoaineita määrää, joka vastaa puolta Suomen tieliikenteen energiankulutuksesta (Ekbom 2003, Kuva 5.9).

Suora nesteytys on synteettisten liikennepolttoaineiden valmistusmenetelmä, joka on peräisin 1910-luvulta (Liite 1). Sekin oli suuren mittakaavan tuotantokäytössä 2. maailmansodan aikana hiilipohjaisena, kuten FT-tekniikkakin. Nykyään sen pääkäyttö



on öljynjalostamoilla, mutta se on kaupallisessa käytössä myös kiinteillä biomassoilla USA:ssa (katalyyttinen lämpökrakkaus; Lemley 2006). Suomessa valmistuu tähän teknologiaan perustuva kasviöljy- ja jäterasvapohjainen Nesteen synteettisen biodieselin (katalyyttinen vetykrakkaus; tuotenimi NExBTL) tuotantolaitos Porvooseen vuonna 2007.



*Kuva 5.9. Mustalipeän kaasutukseen perustuva liikennepolttoaineiden, erityisesti metanoli ja DME, tuotannon 3 MW:n demonstraatiolaitos sellutehtaan yhteydessä Piteåssa Ruotsissa. [2005]*

Kolmas synteettisen biopolttoaineiden valmistusmenetelmä on pyrolyysi. Pyrolyysiöljyä voidaan valmistaa kaikista kiinteistä bioenergiälähteistä. Pyrolyysiöljy kuitenkin edellyttää liikennekäytössä jatkojalostusta esimerkiksi olemassa olevissa öljynjalostamoissa.

#### *Muut*

Metaania voidaan tuottaa paitsi biologisesti myös termokemiallisesti (Liite 8, Kuvat 4.2-3), mutta vain keskitetyissä tuotantolaitoksissa. Keskitetyissä laitoksissa metaanista on myös mahdollista tuottaa kemiallisen konversion kautta monia muita polttoaineita kuten metanoli, vety, DME ja FT-diesel.

Biomassapohjaisesta etanolista voidaan jatkojalostaa ETBE:tä (etyylitertiäributyylieetteri), jota voidaan käyttää polttoaineena otto-moottoreissa. ETBE valmistetaan etanolista reformoimalla etanoli isobuteenin kanssa. ETBE:tä käytetään bensiinin oktaanilukua kohottavana ja hapettavana lisäaineena 5 – 10 % osuudella.

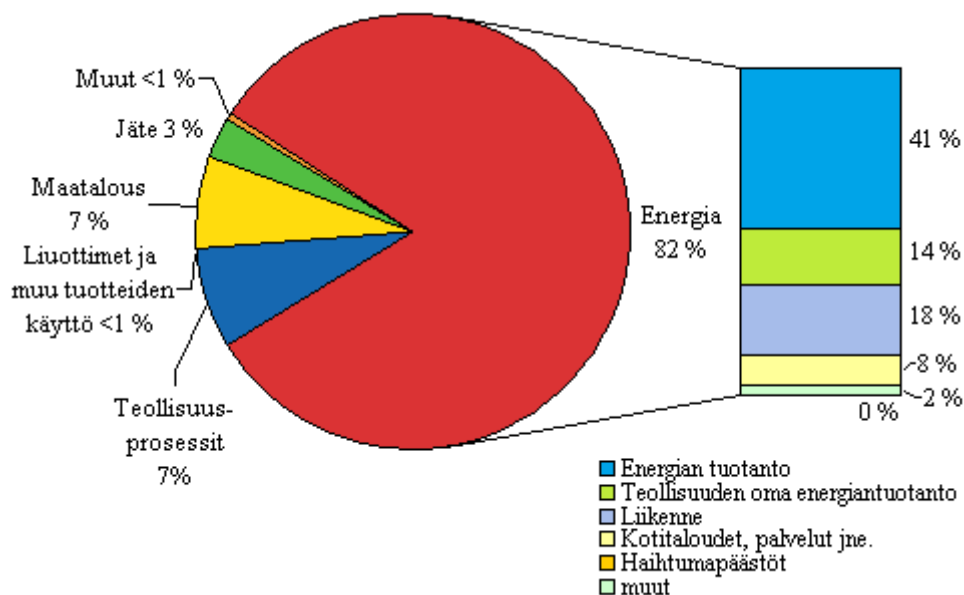
## 6. YMPÄRISTÖVAIKUTUKSIA

Bioenergian käytöllä on sekä positiivisia että negatiivisia ympäristövaikutuksia. Energiantuotantolaitosten kasviuonekaasupäästöjen väheneminen perinteisiä fossiilisia polttoaineita korvattaessa on merkittävin positiivinen bioenergian ympäristövaikutus. Negatiivisia ovat keinolannoitteiden, viljelyn, kuljetuksen ja polttoaineiden jalostuksen ympäristövaikutukset. Näitä vaikutuksia on käsitelty myös luvussa 2 ekologisen potentiaalin käsittelyn yhteydessä.

### 6.1. Maatalouden ympäristövaikutuksia

Peltoenergian viljelyn ympäristövaikutukset ovat yleensä positiivisia, kun siirrytään ruoantuotannosta energiantuotantoon. Peltoenergiakasvien lannoitustarve on pienempi kuin viljakasveilla ja ne pystyvät usein hyödyntämään orgaaniset lannoitteet viljoja tehokkaammin. Tämä pienentää pelloista vapautuvan typpioksiduulin (N<sub>2</sub>O) määrää sekä vähentää typen ja fosforin huuhtoumaa (Itä-Suomen energiatoimisto 2004). Eroosioriski vähenee, koska peltoenergiakasvit ovat usein monivuotisia, jolloin maan muokkausta ei tarvitse tehdä joka vuosi. Pitkäaikainen kasvipeite myös parantaa maan rakennetta ja lisää humusta.

Energiakasvien viljelyllä on myös positiivisia maisemallisia vaikutuksia. Sen avulla voidaan estää peltojen metsittymistä ja säilyttää maaseudun avoin kulttuurimaisema perinteisen maanviljelyn mahdollisesti vähentyessä. Energiakasveista ruokohelppi tarjoaa mahdollisuuden hyödyntää tulevia ja entisiä turvetuotantoalueita biomassan tuotantoon. Ruokohelpeä voidaan kasvattaa suolla sen kuivatuksen aikana sekä turvetuotannon loppumisen jälkeen, mikä auttaa alueiden maisemointia sekä ehkäisee ravinteiden ja humuksen huuhtoutumista alueelta. Turvesuon valmistelun aikaiset kuivatusvedet voidaan johtaa ruokohelpikasvustoon, joka käyttää hyväkseen ravinteet sekä haihduttaa kuivatusvesiä.



Kuva 6.1. Suomen kasviuonekaasupäästöt sektoreittain vuonna 2004 (Tilastokeskus 2006a).

Maatalous on merkittävä kasvihuonekaasujen päästölähde (Kuva 6.1). Suomen kasvihuonekaasupäästöt olivat 81,8 miljoonaa hiilidioksiditonnia (MtCO<sub>2</sub>-ekvivalenttia) vuonna 2004 (Tilastokeskus 2006a) ylittäen Kioton pöytäkirjan tavoitetason yli 14 prosentilla (n. 10 miljoonalla tonnilla). Suurin osa (85 %) Suomen kasvihuonekaasupäästöistä on hiilidioksidia, joka on peräisin lähinnä polttoaineiden energiakäytöstä. Energiasektori onkin suurin kasvihuonekaasujen tuottaja 82 % osuudellaan. Maatalouden kasvihuonekaasupäästöt olivat 7 % kokonaispäästöistä, mikä tekee maataloudesta energiasektorin jälkeen toiseksi suurimman KHK-päästöjen tuottajan Suomessa. Suurin osa päästöistä on peräisin maatalousmaan viljelemisen dityppioksidipäästöistä (N<sub>2</sub>O) sekä eläinten ruoansulatuksen metaanipäästöistä (CH<sub>4</sub>). Myös lannan käsittely aiheuttaa dityppioksidi- ja metaanipäästöjä. Maatalouden päästöt ovat vähentyneet vuoden 1990 tasosta viidenneksen johtuen lähinnä karjatalouden supistumisesta, typpilannoitteiden käytön vähenemisestä sekä lannankäsittelyn tehostumisesta (Tilastokeskus 2005c).

## **6.2. Energiantuotannon ympäristövaikutuksia**

### **6.2.1. Kasvihuonekaasujen päästöt**

Bioenergian kuten myös fossiilisten polttoaineiden ympäristövaikutuksia tarkastellessa tulisi huomioida koko tuotantoketjun aikaiset vaikutukset, eikä vain poltossa syntyviä päästöjä. Viljelyn aikainen energiankulutus voi olla huomattavaa, samoin viljelyn negatiiviset ympäristövaikutukset. Biomassan sadonkorjuu, kuljetus ja jalostus kuluttavat myös energiaa ja aiheuttavat päästöjä. Biopolttoaineiden tuottamiseen käytetty energia on usein peräisin fossiilisista polttoaineista, jolloin niiden aiheuttamat päästöt alentavat bioenergian kasvihuonekaasujen päästövähennyksiä. Tulevaisuudessa tilanne voi olla toinen, jos bioenergian tuotannossa käytettävät työkoneet tai jalostusmenetelmät käyttävät myös bioenergiaa.

Bioenergia tarjoaa mahdollisuuden vähentää energiantuotantolaitosten kasvihuonekaasupäästöjä. Bioenergian käytönaikaiset hiilioksidin nettopäästöt ovat nolla, jos käyttö on kestävä eli kulutus ei ylitä biomassan kasvua. Jungmeierin (1999) tekemän laajan selvityksen mukaan bioenergian koko elinkaaren aikaiset KHK-päästövähennyspotentiaalit korvatessa niillä fossiilisia energiamuotoja ovat seuraavat:

- sähkön tuotannossa 82 – 85 %
- lämmön tuotannossa 88 – 93 %
- sähkön ja lämmön yhteistuotannossa 87 – 92 %

Taulukko 2.6:n mukaisesti Suomessa hiilidioksidipäästöjä saataisiin parhaiten pudotettua käyttämällä bioenergiaa liikenteen polttoaineena. Seuraavaksi eniten vähennystä saataisiin lämmityksessä ja vähiten sähkön tuotannossa, koska sähkön tuotannon keskimääräiset ominaispäästöt Suomessa ovat melko alhaiset (Taulukko L5.3).

Jungmeierin (1999) tekemässä selvityksessä tarkasteltiin 243:a eri bioenergian tuotantolaitosta EU:n alueella. Vertailukohtana oli 96 fossiilisia polttoaineita käyttävää

energiatuotantolaitosta. Kasvihuonekaasupäästöt hiilidioksidiekvivalenttina osoittivat lähes aina merkittävää vähennystä siirryttäessä fossiilisista bioenergiaan. Muiden kasvihuonekaasujen kuin hiilidioksidin osalta vähenemä on pienempi ja N<sub>2</sub>O-päästöt saattavat jopa nousta joissain tapauksissa (Jungmeier 1999).

Suomen oloissa bioenergian korjuusta ja kuljetuksesta aiheutuva energiankulutus on noin 2 – 6 % polttoaineen energiasisällöstä (Wihersaari 1996). Peltobiomassojen kuljetusetäisyydeksi näissä laskelmissa on arvioitu olevan 20 km. Energiankulutus luonnollisesti nousee, jos bioenergian jalostus otetaan mukaan laskelmiin. Jatkojalostus sekundäärisiksi polttoaineiksi laskee sekä bioenergian että fossiilisen energiatuotos/panossuhdetta (Taulukko 2.2).

Wihersaaren (2005) arvioiden mukaan maatalouden sivutuotteiden kuten oljen tuotantoketjun aikaiset kasvihuonekaasupäästöt olisivat 1,1 – 5,6 gCO<sub>2</sub>-eq/MJ<sub>pa</sub>. Oljen kasvihuonekaasupäästöt syntyvät paalauksen ja kuljetuksen aikaisista fossiilisen polttoaineen kulutuksesta, sillä viljatuotannon jätteenä viljelyn aikaiset päästöt rajataan oljen elinkaaritarkastelun ulkopuolelle. Vastaavasti energiakasvien tuotannon KHK-päästöt olisivat 4,7 gCO<sub>2</sub>-eq/MJ<sub>pa</sub>. Jatkojalostettujen biopolttoaineiden KHK-päästöt olisivat 1,7 – 23,9 gCO<sub>2</sub>-eq/MJ<sub>pa</sub>. Luvut eivät sisällä varastoinnin aikana syntyneitä mahdollisia kasvihuonekaasupäästöjä.

USA:ssa maissiperäisen etanolin hiilidioksidin nettopäästöjen elinkaarilaskelmat vaihtelevat rajusti, välillä 15-71 g/MJ<sub>pa</sub>, kun vertailuna bensiinin aiheuttamat päästöt ovat Brownin (2003, 226) mukaan 76 g/MJ<sub>pa</sub>. Selluloosapohjaisen bioetanolin elinkaaren päästöt sitä vastoin jäävät huomattavasti alhaisemmiksi (8 – 15 g/MJ<sub>pa</sub>). Bioetanolin kokonaispäästöjä voidaan alentaa käyttämällä viljelyssä ja jalostuksessa fossiilisen energian tilalla uusiutuvia energiamuotoja. Liikennekäytön koko elinkaaren aikaiset KHK-päästöt bensiinille, etanolille ja monille muille polttoaineille on esitetty kuvassa 2.8.

Sekundääristen biopolttoaineiden jalostuksessa syntyy myös käyttökelpoisia sivutuotteita, joiden tuottamat hyödyt tulisi huomioida bioenergian elinkaareissa. Yllä mainitut maissietanolin suuret elinkaaripäästöt ovat seurauksia laskelmista, joissa sivutuotteiden energiasisältöjä ei ole otettu huomioon. Esimerkiksi etanolin käymisreaktiossa syntyy eläinten rehuksi sopivaa jätettä, mikä pitäisi sisällyttää positiivisena tekijänä elinkaaritarkasteluun. Samoin biodieselin valmistuksen yhteydessä syntyvä proteiinipitoinen eläinten rehuksi kelpaava puristusjäte on arvokas polttoainetuotannon sivutuote.

Hajautetulla energiantuotannolla on mahdollista vähentää sähkön jakelun siirtohäviöitä. Vuonna 2000 siirtohäviöiden osuus Suomessa oli 3,5 % (2,8 TWh) sähkön kokonaiskulutuksesta. Tämä merkitsisi noin 0,6 Mt CO<sub>2</sub>-päästöjä sähköntuotannon keskimääräisellä 200 kgCO<sub>2</sub>/MWh<sub>e</sub>:n ominaispäästöillä (= 55,6 gCO<sub>2</sub>/MJ) (Vartiainen ym. 2002).

Maatilojen pienimuotoisilla, hajautetuilla energiaratkaisuilla olisi mahdollista saavuttaa lisää kasvihuonekaasujen päästövähennyksiä bioenergian käytön tarjoaminen päästövähennysten ohella. Vartiainen ym. (2002) laskelmien mukaan hajautetulla biomassapohjaisella lämmöntuotannolla olisi mahdollista saavuttaa noin 1,5 Mt ja

hajautetun, pienimuotoisen CHP-tuotannon avulla jopa yli 4,0 Mt kasvihuonekaasujen päästövähennykset vuoteen 2020 mennessä.

## 6.2.2. Muut ilmapäästöt

Bioenergiälähteet sisältävät ilmapäästöjä aiheuttavia aineita kuten typpeä, rikkiä ja klooria. Fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna niiden määrät ovat kuitenkin vähäisiä. Typpeä ja rikkiä bioenergiamuodot sisältävät keskimäärin puolet hiilen sisältämästä määrästä. Sitä vastoin klooria on bioenergiälähteissä enemmän kuin hiilessä (Brown 2003).

### *Suolahappo*

Polttoaineen sisältämä kloori muodostaa poltossa suolahappoa (HCl), joka aiheuttaa korroosiota polttolaitoksen rakenteissa. Bioenergiälähteistä olki sisältää niin paljon klooria, että se voi muodostua ongelmaksi joissakin polttolaitoksissa. Tähän ongelmaan on kuitenkin kehitetty kaupallisia ratkaisuja, jotka mahdollistavat oljen käytön polttoaineena sille suunnitelluissa laitoksissa.

Bioenergiälähteiden korkeat klooripitoisuudet voivat myös aiheuttaa dioksiini- ja furaanipäästöjä polttolaitoksista. Kasvibiomassan sisältämä kloori on kuitenkin pääasiassa epäorgaanista klooria, joka ei poltossa muodosta dioksiineja. Ongelmaksi dioksiinit voivat muodostua käytettäessä orgaanista klooria sisältäviä jättepolttoaineita.

Bioenergiälähteistä öljykasvien olki sisältää klooria 0,22 % kuiva-aineesta ja viljakasvien olki 0,14 – 0,97 % kuiva-aineesta, ruokohelpi sisältää klooria vain 0,09 – 0,5 % kuiva-aineesta (Alakangas 2000). Oljen klooripitoisuutta voidaan laskea korjuuajankohdan valinnalla. Jos oljen annetaan olla pellolla sateen huuhtottavana, sen kloori- ja alkalipitoisuudet laskevat huomattavasti. Aikaisin korjatun oljen (keltainen olki) klooripitoisuus on lähes nelinkertainen myöhään korjattuun olkeen (harmaa olki) verrattuna. Fossiilisista energiamuodoista kivihiili sisältää klooria alle 0,1 % ja turve 0,02 – 0,06 % kuiva-aineesta (Alakangas 2000).

### *Rikkidioksidi*

Rikin määrä bioenergiälähteissä on yleensä pieni, joten niiden poltosta ei juuri synny SO<sub>2</sub>-päästöjä. Fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna tämä on merkittävä etu, sillä niiden sisältämä rikki on usein ongelma poltossa ja vaatii tehokasta savukaasujen puhdistusta. Taulukossa 6.1 on esitetty eräiden energialähteiden rikkipitoisuuksia.

<b>Energiälähde</b>	<b>Rikkipitoisuus</b>
Kivihiili	0,5 – 3 % (kuiva-aineesta)
Raskas polttoöljy	1 % (suurin sallittu pitoisuus)
Turve	0,3 % (kuiva-aineesta)
Kevyt polttoöljy	< 0,2 %
Maakaasu	< 1 mg/m <sup>3</sup>
Öljykasvien olki	0,17 % (kuiva-aineesta)
Ruokohelpi	0,1 – 0,17 %
Puuperäiset polttoaineet	< 0,05 % (kuiva-aineesta)
Viljan olki	0,01 – 0,03 % (kuiva-aineesta)
Bioöljyt	0 – 0,05 %
RME	0,001 %

Bioenergiälähteiden avulla on mahdollista alentaa polttolaitoksien rikkidioksidipäästöjä myös seospoltossa. Biomassan sisältämät muut alkuaineet kuten kalsium, magnesium ja kalium sitovat poltossa syntyvää rikkidioksidia tuhkaan, jolloin rikki ei pääse vapautumaan savukaasuihin. Erityisesti polttoaineen sisältämät kalsiumyhdisteet ovat tehokkaita rikkidioksidipäästöjen alentajia, sillä ne reagoivat SO<sub>2</sub>:n ja SO<sub>3</sub>:n kanssa muodostaen kalsiumsulfaatteja (Alakangas 2000).

#### *Typen oksidit*

Typpipäästöihin vaikuttaa polttoaineen sisältämää typpeä ratkaisevammin käytetty polttoprosessi. Siten bioenergiälähteiden typpipäästöihin voidaan vaikuttaa kuten muussakin poltossa säätelemällä polttolämpötilaa ja palamisilman määrää. Typpipäästöjä voidaan alentaa eniten happipolton avulla.

Energiälähteiden sisältämä typpi vaikuttaa kuitenkin jonkin verran syntyviin typpipäästöihin. Eri energialähteiden typpipitoisuudet on esitetty taulukossa 6.2.

<b>Energiälähde</b>	<b>Typpipitoisuus</b>
Turve	0,6 - 3 % (kuiva-aineesta)
Kivihiili	0,8 – 2 % (kuiva-aineesta)
Maakaasu	< 1 %
Raskas polttoöljy	0,4 %
Kevyt polttoöljy	0,01 – 0,03 %
Ruokohelpi	0,9 – 1,3 % (kuiva-aineesta)
Öljykasvien olki	0,8 % (kuiva-aineesta)
Viljan olki	0,4 – 0,6 % (kuiva-aineesta)
Puuperäiset polttoaineet	0,1 – 0,8 % (kuiva-aineesta)
Bioöljyt	0 – 0,2 %

#### *Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)*

Epätäydellinen palaminen aiheuttaa VOC-päästöjä (VOC = volatile organic compounds, haihtuvat orgaaniset yhdisteet). Nämä yhdisteet voivat olla ongelma huonosti kontrolloidussa pienpoltossa.

#### *Raskasmetallit*

Bioenergiälähteet saattavat sisältää pieniä määriä raskasmetalleja, jotka voivat vapautua poltossa savukaasuihin tai sitoutua tuhkaan (Brown 2003). Raskasmetalleista erityisesti elohopea on vaarallinen pieninäkin määrinä, sillä se rikastuu ravintoketjussa. Raskasmetallien määrään voidaan vaikuttaa viljelemällä energiakasveja maaperässä, joka on puhdas raskasmetalleista.

Bioenergiälähteistä ruokohelpi sisältää elohopeaa 0,03 mg/kg ja lyijyä 1 – 2 mg/kg kuiva-aineesta (Alakangas 2000). Viljan olkien elohopeapitoisuudet ovat keskimäärin 0,028 – 0,036 ppm ja lyijypitoisuudet 0,72 – 0,83 ppm. Ei-uusiutuvista energialähteistä turve sisältää lyijyä huomattavasti enemmän, 4,6 mg/kg kuiva-ainetta. Kivihiilen elohopeapitoisuus on keskimäärin 0,11 mg/kg ja lyijyä 12 mg/kg kuiva-ainetta.

#### *Pienhiukkaset*

Biomassan poltossa syntyy pienhiukkasia, jotka muodostuvat pääasiassa tuhkasta ja polttoaineen palamattomista yhdisteistä. Biomassan poltto pienen kokoluokan kattiloissa lisää energiantuotannon pienhiukkasten ilmapäästöjä suuriin laitoksiin verrattuna (Taulukko 6.3). Päästöjä voidaan kuitenkin vähentää erittäin paljon hyvän

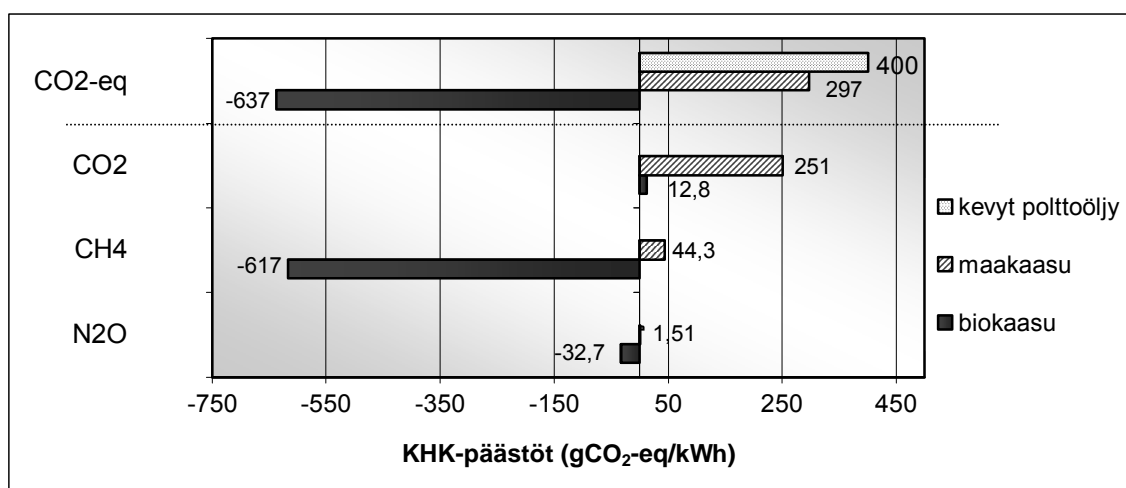
suunnittelun avulla, kuten Keski-Euroopassa on tehty, tai asentamalla savukaasun suodattimia. Suomessa ei pienkattiloilla ole päästö- eikä hyötysuhdenormeja, joten niiden päästöt ovat luonnollisesti korkeita, kuten taulukosta 6.3 ilmenee. Keski-Euroopan jatkuvasti kiristyvät normit ovat oleellisesti vähentäneet pienkattiloiden päästöjä ja vastaava kehitys on Suomessakin edessä osana EU:n ympäristölainsäädännön harmonisointipolitiikkaa.

*Taulukko 6.3. Panos- ja jatkuvapolttoisten laitteiden häkä- ja pienhiukkaspäästömäärien sekä hiukkaskoon vertailua (Tissari ym. 2005).*

Polttolaite	Teho (kW)	Polttoaine	T (°C)	CO (mg/MJ)	PM <sub>1</sub> (mg/MJ)	N (kpl/MJ)	Koko (nm)
Kiukaat	<15	pilke	350	3100	145	6,5E+13	110
Takat	<30	pilke	210	1200	85	3,8E+13	130
Pellettikattilat	8	pelletti	135	165	65	3,2E+13	155
Pienkattilat	<30	pelletti	120	190	25	1,2E+13	145
Pienkattilat	30-50	hake	180	500	11	8,1E+12	105
Pienkattilat	30-50	pelletti	190	250	8	6,9E+12	105
Keskitehokattilat	50-500	hake	190	620	30	2,3E+13	105
Keskitehokattilat	50-500	pelletti	180	85	10	1,7E+13	80
Suurtehokattilat	100000	pyöröarina	145	20	3	4,3E+11	230
Öljykattila	20	öljy	165	35	2	1,1E+11	50

### 6.3. Biokaasun ympäristövaikutuksia

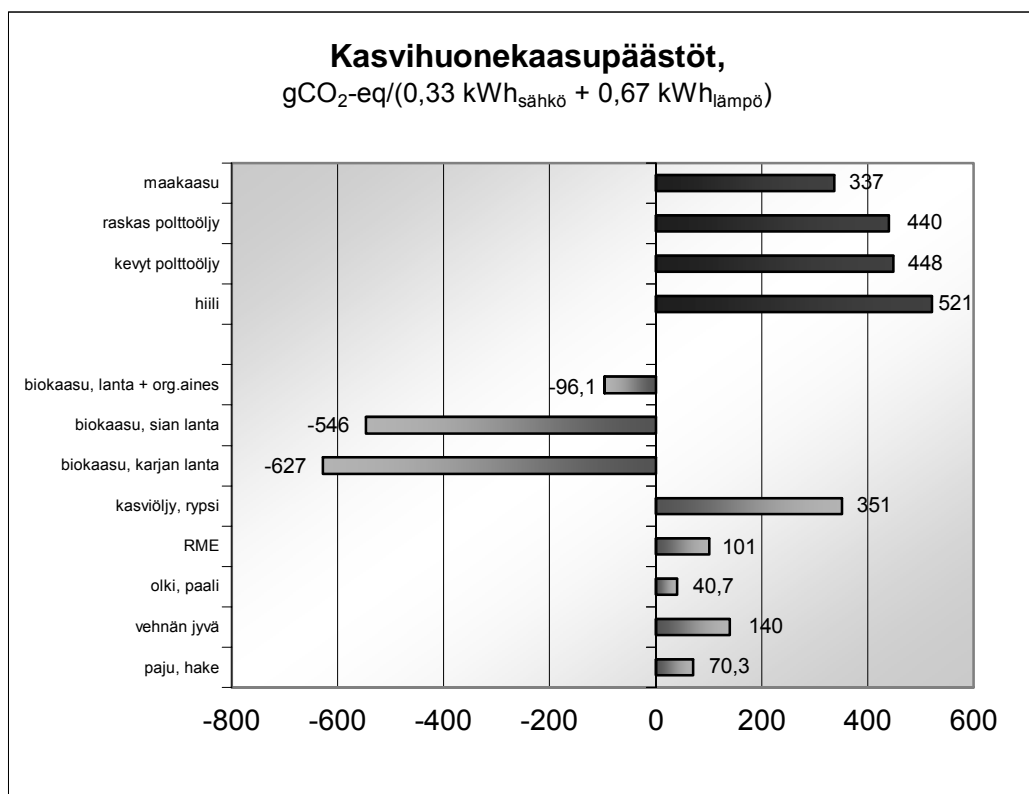
Biokaasua voidaan tuottaa karjanlannan ja energianurmien lisäksi lukuisista muista orgaanisista raaka-aineista (Taulukko 7.10). Peltoenergioista esimerkiksi viljojen ja rypsin oljet, viljanjyvät sekä ruokohelpi soveltuvat biokaasun raaka-aineksi. Biokaasun tuotantoon on mahdollista käyttää myös elintarviketeollisuuden tai kotitalouksien orgaanista jätettä.



Kuva 6.2. Biokaasun, maakaasun ja kevyen polttoöljyn kasvihuonekaasupäästöjen vertailu keskuslämmityksessä (Jungmeier 1999).

Lämmön tuotannossa biokaasulla toimiva keskuslämmitys vähentää kasvihuonekaasupäästöjä yli 300 % verrattuna maakaasuun ja vielä enemmän verrattuna

polttoöljyyn (Kuva 6.2). Laskelmiin on huomioitu koko elinkaaren aikaiset päästöt. Biokaasun käytön aiheuttama metaanipäästöjen vähennys on suurin tekijä kasvihuonekaasujen kokonaispäästövähennysten taustalla.



Kuva 6.3. Yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon (CHP) kasvihuonekaasupäästöt eräille bioenergiamuodoille ja fossiilisille polttoaineille. Päästöarvot on laskettu 0,33 kWh sähköenergiaa ja 0,67 kWh lämpöenergiaa kohti (Jungmeier & Spitzer 2001).

Yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa biokaasulla saavutetaan merkittäviä negatiivisia arvoja kasvihuonekaasupäästöjen osalta verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin sekä muihin bioenergiamuotoihin (Kuva 6.3). KHK-päästöjen suuret negatiiviset arvot johtuvat CHP-tuotannossa kuten lämmön tuotannossakin metaanipäästöjen huomattavasta alenemisesta lannan anaerobikäsittelyn yhteydessä. Myös biokaasun tuotannon yhteydessä syntyvien sivutuotteiden (mädätysjäännös peltojen lannoitteeksi ja CO<sub>2</sub> kasvihuoneiden lannoitteeksi) hyödyntäminen parantaa biokaasun KHK-tasetta.

Liikennekäytössä biokaasulla saavutettavat päästövähennykset verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin ovat huomattavat (Taulukko 6.4). Kasvihuonekaasujen päästövähennykset henkilöautolla ja bussilla ajokilometriä kohti ovat yli 95 %. Myös muiden tärkeimpien ilmapäästöjen vähennykset biokaasua käyttävillä autoilla ovat merkittäviä.

Biokaasun jalostaminen liikennepolttoaineeksi on kiinnostava vaihtoehto varsinkin tiloilla, joilla lämmön ja sähkön tuotanto ylittää oman tarpeen sekä useimpien tilojen yhteislaitoksissa (Hagström ym. 2005).



*Taulukko 6.4. Biokaasua käyttävien bussien ja henkilöautojen päästövähennykset ajoneuvokilometriä kohti kaupunkiliikenteessä (Nigge 2000, Lampinen 2003).*

<b>Päästölaaji</b>	<b>Bussi: dieselistä biokaasuun</b>	<b>Henkilöauto: dieselistä biokaasuun</b>	<b>Henkilöauto: bensiniestä biokaasuun</b>
Kasvihuonekaasut (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> ja N <sub>2</sub> O)	> - 96 %	> - 95 %	> - 96 %
Pienhiukkaset PM 2,5	- 94 %	- 99,9 %	- 66 %
SO <sub>2</sub>	> - 98 %	> - 99 %	> - 98 %
NO <sub>x</sub>	- 39 %	- 88 %	- 57 %
NMVOC	- 70 %	- 33 %	- 79 %

Biokaasu on polttoaineena ympäristön kannalta parempi vaihtoehto kuin muut biopolttoaineet ja fossiiliset polttoaineet. Poltossa syntyvät pienhiukkaspäästöt sekä rikkidioksidipäästöt ovat huomattavasti alhaisemmat biokaasulla kuin öljyllä, kivihiehellä ja puulla (Taulukko 6.5).

*Taulukko 6.5. Biokaasun poltossa syntyvät päästöt, vertailukohtana fossiilisia polttoaineita sekä puupolttoaine (muokattu: Klingler 2005).*

<b>Polttoaine</b>	<b>SO<sub>2</sub> [kg/TJ]</b>	<b>NO<sub>x</sub> [kg/TJ]</b>	<b>Pienhiukkaset [kg/TJ]</b>
Mineraaliöljy	140	90	20
Maakaasu	3	90	2
Kivihili	300	150	20
Puu *	100	64	100
Biokaasu	3	50	3

\* keskitetyssä, suuren kokoluokan energiantuotannossa

## 6.4. Liikenteen biopolttoaineet

Liikennepolttoaineiden taksonomia on esitetty taulukossa L9.4 liitteessä 9. Taulukoissa 6.6 ja L5.5 on nähtävillä biopolttoaineiden vähäinen osuus maamme tieliikenteen polttoaineen kokonaiskulutuksesta.

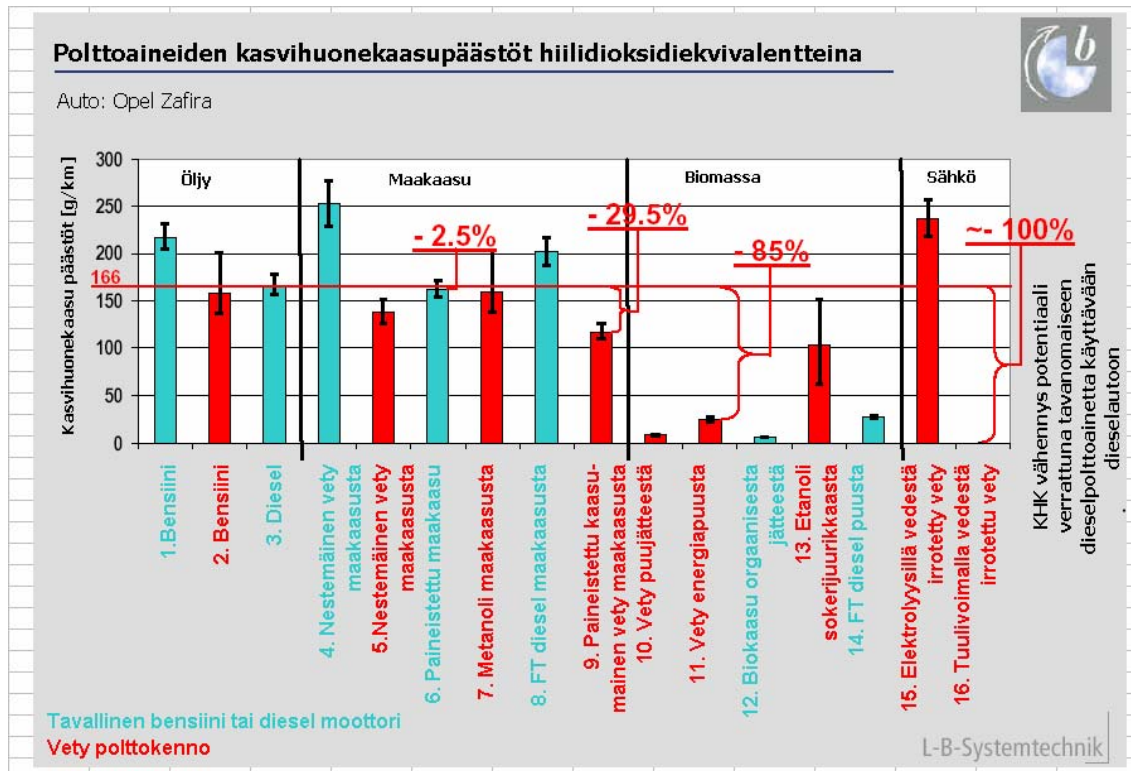
*Taulukko 6.6. Tieliikenteen polttoaineiden kulutus vuosina 2000 – 2004 (Tilastokeskus 2005b).*

	<b>Yhteensä [PJ]</b>	<b>Moottoribensiini [PJ]</b>	<b>Dieselöljy [PJ]</b>	<b>Biopolttoaineet [PJ]</b>
2000	152,7	76,2	76,5	-
2001	155,3	77,2	78,1	-
2002	158,4	78,6	79,8	0,033
2003	161,2	79,1	81,9	0,165
2004	164,0	78,3	85,4	0,186

Suomessa ei ole tehty vielä kattavaa koko elinkaaren aikaista tarkastelua liikenteen biopolttoaineiden kasvihuonekaasupäästöistä. Käynnissä olevassa Tekesin ClimBus-tekniologiaohjelmassa on parhaillaan tekeillä osittainen elinkaaritarkastelu eräiden tuotanto- ja käyttöketjujen osalta.

Kansainvälisiä laajoja eri liikennepolttoaineiden elinkaariarvioita vertailevia tutkimuksia sen sijaan on tehty useita, ja niiden tuloksia esitellään kuvissa 6.4 ja 6.5. Ne

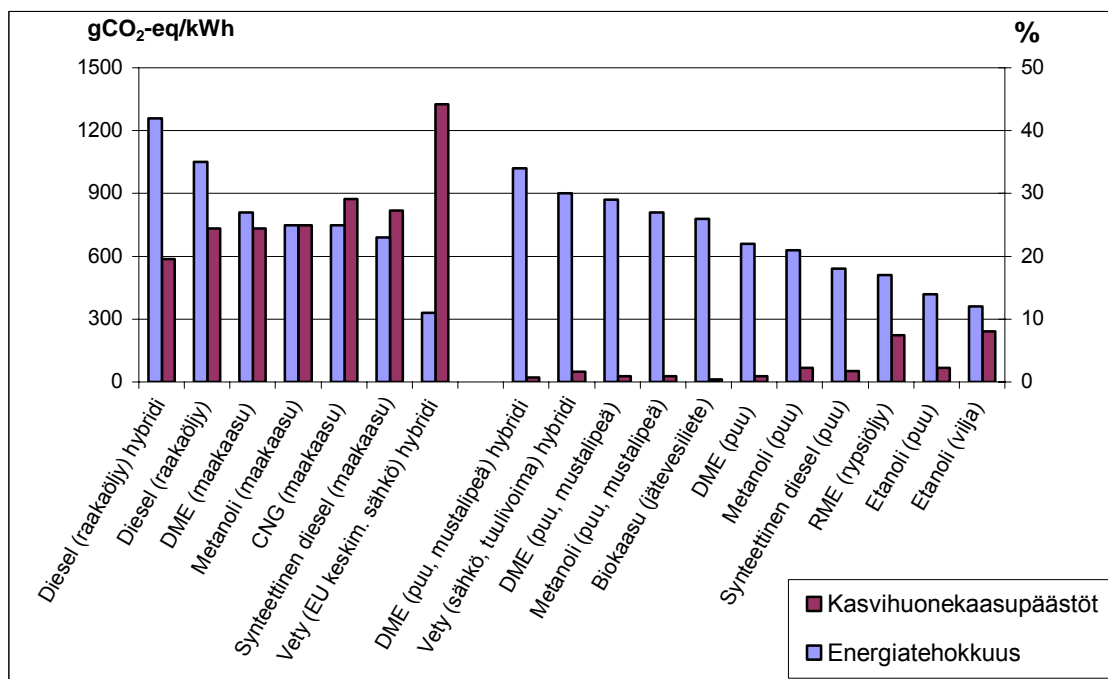
osoittavat kaikkien biopolttoaineiden vähentävän merkittävästi liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä kaikkiin fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna. Osa biopolttoaineista, erityisesti DME, on tuotannon osalta jopa energiatehokkaampia kuin perinteiset fossiiliset polttoaineet. Nykyään käytettävien biopolttoaineiden tuotannon energiatehokkuus on fossiilisia huonompi (Kuva 6.5). Tämä ei kuitenkaan pidä paikkansa monien fossiilisten, erityisesti kivihiihlopohjaisten, synteettisten polttoaineiden osalta (Taulukko 2.2). Mikäli raakaöljyn kallistuessa siirrytään biopolttoaineiden sijaan kivihiileen tai ei-konventionaalisiin fossiilisiin polttoaineisiin liikennepolttoaineiden valmistuksessa, liikenteen KHK-päästöt kasvavat olennaisesti (luokkaa 2-kertaistuvat). Tämä on ilmastonmuutoksen rajoittamisen suurin teknologinen uhkakuva.



Kuva 6.4. Liikennepolttoaineiden elinkaaren kasvihuonekaasupäästöjen vertailu (LBS 2002). Tummat pylväät tarkoittavat polttokennosyklejä ja vaaleat pylväät polttomoottorisyklejä. Alin pylväs kuvaa jäteperäistä biokaasua käytettynä tavanomaisessa ottomoottorissa. Täysin päästötön vaihtoehto on paikallisella tuulienergialla tuotettu elektrolyysivety polttokennoajoneuvossa käytettynä. Kaikki biopolttoainesyklit vähentävät elinkaari-KHK-päästöjä parhaimpaankin fossiilipolttoainesykliin verrattuna.

Kuva 6.4 esittää päätulokset laajasta LBS:n (2002) koordinoimasta well-to-wheel-tutkimuksesta, jossa verrattiin polttoaineen aiheuttamia hiilidioksidiekvivalenteja kasvihuonekaasupäästöjä polttoaineen tuotannosta (well) ja kuljetuksesta sen käyttöön eli ajoneuvon pyörien (wheel) liike-energiaan asti käyttäen samaa ajoneuvoa eli Opel Zafira -autoa. Vertailussa olivat mukana raakaöljypohjaiset polttoaineet (bensiini ja diesel), maakaasu, biopolttoaineet (puu, biojäte, sokerijuurikas) ja sähkö (EU:n sekasähkö, tuulisähkö). Moottoritekniikoista sekä polttomoottori (otto ja diesel) että polttokenno (joko vetytankilla tai ajoneuvokohtaisella vedyntuotannolla reformaattorin avulla) olivat mukana. Mikään fossiilisykli, ei edes mikään maakaasuperäinen

vetypolttokemnosykli, edustanut merkittävää parannusta verrattuna nykyiseen dieselsykliin (Kuvan 6.4 referenssivaakaviiva 166 g/km kohdalla), mutta biopolttoaineilla oli monella tavalla suuri parannuspotentiaali. Biokaasutekniikalla tuotetun metaanin elinkaaren päästövähennelmä parhaaseen maakaasupohjaiseen polttokennosykliin oli tavallisella polttomoottorilla 92 %. Polttokennoa käytettäessä sitä voidaan edelleen alentaa.



Kuva 6.5. Liikennepolttoaineiden elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt mitattuna renkaiden liike-energiaa [kWh] kohti sekä energiatehokkuudet tavallisille sekä hybridiajoneuvoille (Volvo 2004).

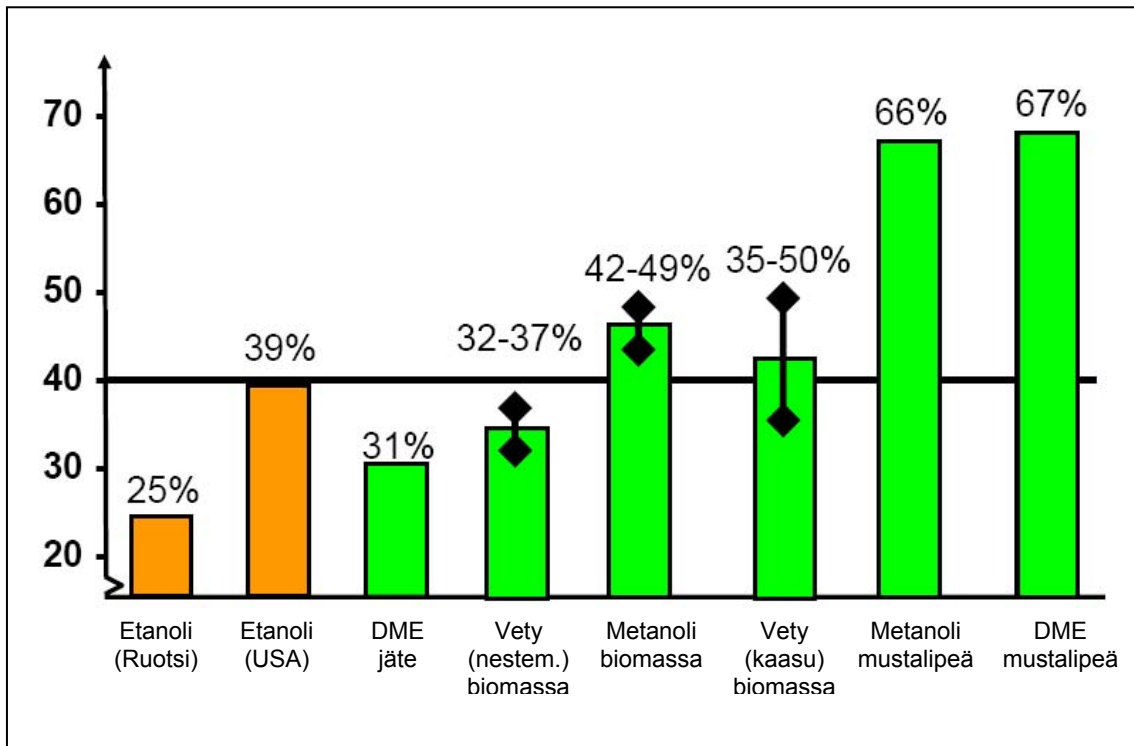
Nykyisten, niin sanottujen 1. sukupolven biopolttoaineiden eli vilja- tai sokerikasvioletanolin ja öljypeltokasvibiodieselin, tuotannon energiatehokkuus on varsin alhainen, vaikkakin se riittää alentamaan elinkaarikasvihuonekaasupäästöjä fossiilisiin verrattuna (Kuva 6.5). Muilla biopolttoaineketjuilla on kuitenkin vielä selvästi alemmat päästöt johtuen osaksi paremmasta tuotannon hyötysuhteesta.

Tällä hetkellä kansainvälisesti eniten kiinnostavia biopolttoaineiden valmistusmenetelmiä ovat selluloosapohjainen etanolin tuotanto (Kansikuva ja Kuva 5.4) sekä mustalipeästä (Kuva 5.9) tai hakkeesta kaasuttamalla valmistetut synteettiset polttoaineet, esimerkiksi FT-diesel, metanoli ja DME.

Puusta tai maatalouden jätteistä entsyymi- tai happoavusteisen hydrolyysin kautta tuotettu etanoli tarjoaa keskitetyssä tuotannossa kustannuksiltaan huomattavasti viljapohjaista etanolia edullisemmän prosessin. Puupohjainen etanoli on energiatehokkaampi kuin perinteinen viljapohjainen etanoli ja sen kasvihuonekaasupäästöt ovat alhaisemmat (Kuva 6.5).

Mustalipeästä tuotetun metanolin tai DME:n valmistus on lähes kolme kertaa energiatehokkaampaa kuin perinteisen tärkkelyspohjaisen etanolin (Kuva 6.6) ja niiden

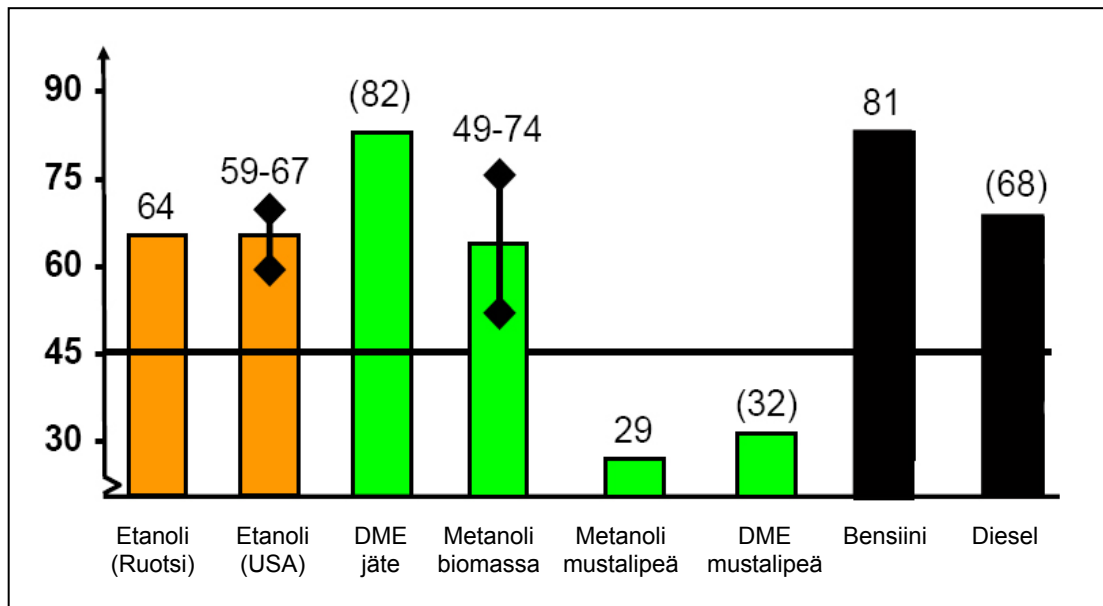
tuotantokustannukset ovat alle puolet etanolin tuotantokustannuksista (Kuva 6.7). Ruotsalaisen tutkimuksen (Ekbom ym. 2003) mukaan puolet Suomen liikennepolttoaineiden tarpeesta voitaisiin kattaa mustalipeästä kaasutetun metanolin ja DME:n avulla olemassa olevissa sellutehtaissa selluntuotannon sivutuotteina. Mustalipeästä tuotetuilla synteettisillä polttoaineilla on suuri potentiaali vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Ekbomin ym. (2003) arvioiden mukaan jokainen tuotettu tonni metanolia vähentää hiilidioksidipäästöjä 1,5 tonnia. Suomen mustalipeän tuotantomäärillä olisi mahdollista saavuttaa 4,2 Mt hiilidioksidin nettopäästövähennykset vuosittain. Se vähentäisi tieliikenteen päästöjä 35 %.



Kuva 6.6. Polttoaineiden tuotannon hyötysuhteet (LHV, %) eri biopolttoaineille (Ekbom 2005).

Synteettisellä metanolilla ja DME:llä on myös muita positiivisia vaikutuksia verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin. Typen oksidien päästöt vähenevät arviolta 50 % ja liikenteen aiheuttamat terveysvaikutukset laskevat 50 % siirryttäessä perinteisistä fossiilisista polttoaineista mustalipeästä jalostettuihin polttoaineisiin (Ekbom ym. 2003).

Kotimainen mielenkiintoinen tulokas biopolttoaineiden markkinoille on Neste Oilin kehittämä suoraan nesteytysprosessiin (vetykrakkaus) perustuva biomassapohjainen synteettinen diesel. NExBTL-tuotenimikkeellä markkinoitavan polttoaineen linkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt ovat Linnailan (2005) mukaan 0,7 – 1,0 kgCO<sub>2</sub> polttoainekiloa kohti, kun fossiilisen dieselin vastaava päästöarvo on 3,8 kgCO<sub>2</sub> sekä rypsiöljystä valmistetun RME:n 1,4 – 2,0 kgCO<sub>2</sub>. NExBTL alentaa myös pienhiukkaspäästöjä 20 – 30 % verrattuna rikittömään dieseliin. Neste Oilin synteettisen dieselin raaka-aineena voidaan käyttää kasviöljyä tai eläinrasvoja, eikä sen tuotannossa synny sivutuotteita (Linnaila 2005).



Kuva 6.7. Tuotantokustannukset eri polttoaineille sentteinä bensiinilitraekvivalenttia kohden vuoden 2003 hintatasolla. Bensiinin ja dieselin hintaan sisältyvät Ruotsin energia- ja CO<sub>2</sub>-vero (Ekbohm 2005).

NExBTL kuten muutkin vaihtoehtoiset polttoaineet ovat moottoriteknisesti pääsääntöisesti parempia kuin fossiiliset polttoaineet (Taulukko 6.7). Siis olemassa olevissa otto- ja dieselmootoreissa saavutetaan vaihtoehtoisilla polttoaineilla parempi palamisen tehokkuus ja sitä kautta parempi hyötysuhde ja alemmat päästöt. Kaikki olemassa olevat ajoneuvot eivät polttoaineen laadun nousua pysty hyötysuhteessa merkittävästi hyödyntämään, mutta esimerkiksi Saabin FFV-auto pystyy tuottamaan 30 hevosvoimaa ja 40 Nm enemmän E85-käyttöisenä kuin bensiinikäyttöisenä (Kuva 6.8). Polttoaineiden laadun parannus biopolttoaineiden käyttöönoton myötä antaa erittäin merkittäviä mahdollisuuksia autoteollisuudelle moottorien suorituskyvyn parantamiseen sekä hyötysuhteen että päästöjen osalta. On huomattava, että vaikka biopolttoaineiden avulla energiatehokkuus kasvaa (energian kulutus/km) eli polttoainetta tarvitaan vähemmän energiasisällöllä mitattuna, niin polttoaineen tilavuudella mitattu kulutus kasvaa (litraa/km) (Taulukko L9.3). Se johtuu biopolttoaineiden korkeasta happipitoisuudesta.

Taulukko 6.7. Eräiden polttoaineiden moottoritekniset pääominaisuudet. Korkeampi oktaaniluku merkitsee parempaa polttoainetta Otto-moottorissa käytettynä. Korkeampi setaaniluku merkitsee parempaa polttoainetta Diesel-moottorissa käytettynä.

Otto-polttoaine	Oktaaniluku	Diesel-polttoaine	Setaaniluku
Bensiini	90-100	Diesel	40-55
Metanoli	107	Rypsiöljy	> 38
Etanoli	108	DME	> 55
Propaani	112	Biodiesel	48-72
Metaani	130	Ecopar FT-diesel	73-81
Vety	> 130	NExBTL-syndiesel	84-99

**TURBO** 6000 2291

**Gör en insats för miljön.  
Skaffa ytterligare 30 hästar.**

Nya Saab 9-5 BioPower drivs av etanol. Det ger radikalt minskade utsläpp av fossilt koldioxid till atmosfären. Dessutom har etanolen ett högre oktantal. Det betyder att Saab 9-5 BioPower, som även kan köras på bensin, får 30 extra hästkrafter när du kör på etanol. 150 hästkrafter blir 180, och vridmomentet ökar från 240 till 280 Nm. Välkommen att boka en provkörning på telefon 020-99 99 00 eller [www.saabsverige.com](http://www.saabsverige.com)

**Nya Saab 9-5 BioPower.  
Renare kraft med etanol.**

  
move your mind™

Kuva 6.8. Saabin FFV-auton mainosposteri Tukholman keskusrautatieasemalla. Sama auto antaa 30 hevosvoimaa enemmän tehoa etanolipolttoaineella E85 tankattuna kuin tavallisella bensiinillä tankattuna. [2005]

Kuten liitteestä 9 nähdään, vaihtoehtoiset polttoaineet ovat pääsääntöisesti fossiilisia parempia myös kylmäkäyttöominaisuuksiltaan sekä turvallisempia onnettomuustilanteissa. Kylmäkäyttöominaisuuksiltaan parhaita ovat sellaiset, joiden jäätymispiste on alhainen ja ottomoottoripolttoaineissa lisäksi höyrynpaine on korkea (vety paras ja biodiesel huonoin taulukossa L9.1). Kylmäkäyttöominaisuuksia on kuitenkin helppo parantaa lisäaineilla ja koostumuksen muutoksilla yhtä lailla biopolttoaineille kuin on totuttu tekemään fossiilisille bensiinille ja dieselille, joiden normaalilaadut eivät ole käyttökelpoisia talvisin. Talvella myydään vain talvilaatuja, joten sekä biodiesel että etanoli toimivat myös Alaskan talven olosuhteissa kuten fossiilisetkin.

Törmäystilanteissa turvallisimpia ovat polttoaineet, joilla on korkein syttymisraja ja jotka ovat keveimpiä, sillä tällöin vuodon tapahtuessa kipinän aiheuttama polttoaineen syttyminen on epätodennäköisintä (metanoli paras ja bensiini huonoin taulukossa L9.1). Tulipalotilanteessa turvallisimpia ovat puolestaan polttoaineet, joiden itsesyttymislämpötila on korkea (metaani paras ja diesel huonoin taulukossa L9.1). Vuototilanteissa turvallisimpia ovat vähiten toksiset polttoaineet (bensiini ja diesel huonoimmat, vety ja metaani parhaimmat taulukossa L9.2).

Kuva 6.9 esittää ajoneuvoa, joka pystyy hyödyntämään kaikkia ottomoottorille moottoriteknisesti ja turvallisuuden kannalta parhaita polttoaineita ja niiden lisäksi myös bensiiniä. Näinkin suuren polttoainejoustavuuden toteuttaminen on teknisesti erittäin helppoa.



*Kuva 6.9. Toyotan maasturista kaupallisella jälkiasennussarjalla muokattu erittäin polttoainejoustava malli esittelyssä maaseudun uusiutuvan energian messutapahtumassa Kaliforniassa. Se pystyy käyttämään bensiiniä, etanolia ja metanolia puhtaina tai niiden minä tahansa seoksina sekä metaania ja vetyä puhtaina tai niiden minä tahansa seoksina (hytaani). Siinä on erilliset tankit kaasumaisille ja nestemäisille polttoaineille. [2004]*

## 7. YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET RAAKA-AINEITTAIN

Seuraavassa käsitellään BIOAGRE-hankkeessa erityistarkastelun kohteeksi valittujen kuuden bioenergiälähteen ympäristövaikutuksia. Painotus on kasvihuonekaasupäästöissä.

### 7.1. Ruokohelpi

Ruokohelpi on monivuotinen heinäkasvi, joka kasvaa Suomessa luonnonvaraisena Lappiin asti. Se muodostaa luonnossa tiheitä, pitkäikäisiä noin 1,5 – 2 metrin korkuisia kasvustoja. Ruokohelven luontaisia kasvupaikkoja ovat rannat, ojat ja tienpientareet. Kasvupaikkavaatimuksiltaan ruokohelpi on monipuolinen, sillä se kestää hyvin kosteutta sekä kuivuutta. Viljeltynä ruokohelpi soveltuu kaikille maalajeille, mutta parhaat sadot saadaan multa- ja turvemailta. Ominaisuuksiensa vuoksi ruokohelpi soveltuu hyvin kasvatettavaksi viljan viljelyyn soveltumattomille kasvulohkoille sekä turvetuotantoalueille. Ruokohelpeä on viljelty Suomessa jo useamman vuosikymmenen ajan. Ruokohelven lupaavien ominaisuuksien vuoksi sen viljelyä bioenergian tuotantoon on tutkittu ja kehitetty Suomessa koko 1990-luvun ajan. Parhaiten energian tuotantoon soveltuu kevätkorjatun ruokohelven korsi, joka sisältää enemmän selluloosaa ja vähemmän kivennäisaineita kuin lehdet. Kevätkorjatussa ruokohelvestä korren osuus biomassasta on syyskorjattua suurempi, mikä tekee kevätkorjatusta ruokohelvestä poltto-ominaisuksiltaan paremman pienentämällä tuhkapitoisuutta. Korsiosuus lisääntyy kasvuston iän myötä ja on korkeimmillaan (65 – 75 % kuiva-aineesta) 6. tai 7. satovuonna. Myös kosteusprosentti on kevätkorjatulla ruokohelvellä syyskorjattua pienempi, mikä parantaa sen käyttöä energiantuotannossa. Kevätkorjatun ruokohelven kuiva-ainepitoisuus voi olla jopa 90 %. (Pahkala ym. 2005)

Pahkalan ym. (2005) mukaan ruokohelpi on osoittautunut satoisimmaksi energia- ja kuitukäyttöön soveltuvista heinäkasveista. Kevätkorjattuna ruokohelpi tuottaa hyvin satoa 10 – 12 vuotta ja ensimmäinen sato non-food -tuotantoon voidaan korjata jo kahden vuoden kulutta kylvöstä. Kevätkorjatun ruokohelven kuiva-ainesato on 6000 – 8000 kg/ha toisesta satovuodesta lähtien.

Ruokohelven viljelyala oli 4500 ha vuonna 2004 (TIKE 2004). Vuonna 2003 ruokohelpeä kasvatettiin 2700 hehtaarin alalla. Viljelyala on jatkuvassa kasvussa ja se ylitti 10 000 ha vuonna 2005. Valtioneuvoston maatalouspoliittisen selonteon (MMM 2005a) mukaan ruokohelven potentiaalinen viljelyala Suomessa on 170 000 – 220 000 hehtaaria.

Tämän hetkistä viljelyalaa (10.200 ha) vastaavat vuotuinen energiasaanto on esitetty taulukossa 2.1. Ruokohelvellä tuotettu energiamäärä 1,2 PJ on yli puolet uusiutuvan energian edistämishjelman vuoden 2010 peltoenergian lisäystavoitteesta 2,1 PJ:sta (Taulukko 3.1).

Ruokohelpeä voidaan käyttää polttoaineena maatilakokoluokan lämmöntuotannossa tai suurissa keskitetyissä polttolaitoksissa. Siitä voidaan myös jalostaa pellettejä, jolloin polttoaineen energiatiheys kasvaa ja käsittely helpottuu.



Energiantuotannossa ruokohelpeä voidaan käyttää poltossa korvaamaan fossiilisia polttoaineita. Ruokohelpi sopii myös seospolttoon puun ja turpeen kanssa. Yksin poltettuna sen palamislämpötila nousee korkeaksi alhaisen kosteusprosentin johdosta, mikä saattaa aiheuttaa ongelmia pelkästään puuta varten suunnitelluissa polttolaitoksissa. Seospoltolla on myös mahdollista alentaa poltossa syntyviä HCl-päästöjä, sillä seospoltossa ruokohelven sisältämä kloori sitoutuu puun tai turpeen tuhkaan, jolloin sen aiheuttamat HCl-päästöt alenevat (Örberg 2002).

Ruokohelven poltto-ominaisuuksia on tutkittu paljon Suomessa. Tehtyjen tutkimusten ja polttokokeiden perusteella käytön kannalta paras on tasalaatuinen 4 cm ruokohelpisilppu. Muihin kiinteisiin polttoaineisiin verrattuna ruokohelpisilppu on hyvin kevyttä, kuutiometri silppua painaa vain 60 – 70 kg (Pahkala ym. 2005). Tämän vuoksi ruokohelpisilppu on sekoitettava huolellisesti pääpolttoaineeseen, jotta polttoaineen käytettävyys pysyy hyvänä.

Kotimaisten tutkimusten (Flyktman 2000) perusteella ruokohelvelle hyvin soveltuvia polttotekniikoita ovat arina- sekä leijukerrostekniikat. Ruokohelpeä voidaan käyttää seospolttoaineena turpeen, puun ja jätteen kanssa sekä mahdollisesti pääpolttoaineena osan vuodesta. Suoritettujen polttokokeiden perusteella ruokohelven maksimimäärä olemassa olevien laitosten polttoaineseoksissa on noin 10 % energiaosuudesta (Flyktman 2000). Tällä energiaosuudella polttolaitosten kattiloiden tehot pysyvät normaalitasolla. Pelkkää ruokohelpeä ja olkea voidaan polttaa kattiloissa, jotka ovat suunniteltu niitä varten. Ne puuttuvat nykyään Suomen markkinoilta, mutta niitä löytyy paljon ulkomailta.

Ruokohelpi soveltuu myös etanolin raaka-aineeksi sekä sähköntuotantoon myös kaasutustekniikan avulla.

### **7.1.1. Kasvihuonekaasujen päästövähennykset**

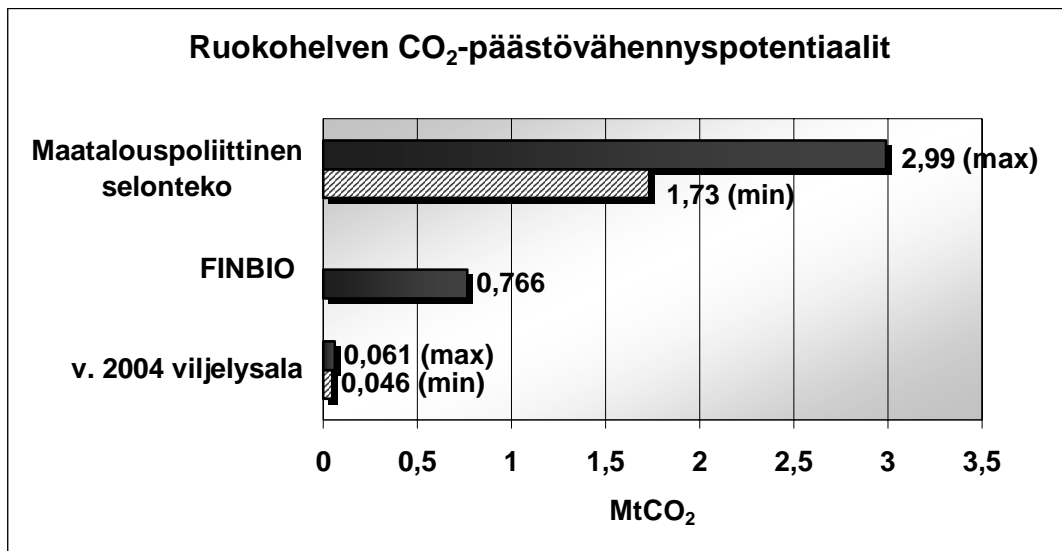
Ruokohelpi on uusiutuva bioenergiälähde, jonka polton aikaiset hiilidioksidipäästöt ovat laskennallisesti nolla. Tarkasteltaessa koko elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä, ei päästä aivan nollassa. Ruokohelven kasvatusta, kuljetusta ja jalostusta kuluttavat energiaa, joka ainakin tällä hetkellä on hyvin pitkälti työkoneiden fossiilisia polttoaineita. Fossiilisten polttoaineiden käytöstä syntyy CO<sub>2</sub>-päästöjä, jotka tulisi huomioida tarkasteltaessa ruokohelven kasvihuonekaasujen päästövähennyksiä. Tulevaisuudessa nämäkin päästöt vältetään, kun työkoneiden käyttämä polttoaine on biopolttoainetta.

Wihersaaren (1996) tekemien tutkimusten mukaan ruokohelven tuotantoketjun energiapanos/tuotos suhde on 5,8 %, toisin sanoen 1 MWh:n polttoainemäärän tuotantoon kuluu energiaa 58 kWh (Taulukko 2.2). Suurin osa tästä tuotantoketjun kuluttamasta energiasta menee ruokohelpikasvuston lannoitukseen, sillä synteettiset lannoitteet kuluttavat 4,4 % ruokohelven tuottamasta energiasta. Kylvön ja korjuun vaatima energiapanos on 1,0 %, kun satoa oletetaan korjattavan yhdeksänä vuonna. Kuljetus kuluttaa huomattavasti vähemmän energiaa: vain 0,4 % ruokohelven energiasisällöstä. Kuljetuksen kustannuksina laskelmissa on käytetty 20 km matkaa ja 20 paalin kuormia.

Ruokohelvellä on mahdollista korvata turvetta arina- ja leijukerroskattiloissa. Turpeen hiilidioksidin ominaispäästökerroin (poltton päästöt) on  $106 \cdot 0,99 = 104,94 \text{ gCO}_2/\text{MJ}$

(IPCC 1996). Korvattaessa turvetta ruokohelvellä käytönaikaiset CO<sub>2</sub>-päästöt vähenisivät näin ollen noin 105 gCO<sub>2</sub> jokaista korvattua MJ:a kohti. Hehtaarin viljelysalalla tuotetulla ruokohelpisadolla olisi mahdollista saavuttaa 10 200 – 13 600 kgCO<sub>2</sub>-päästövähennykset korvattaessa sillä turvetta.

Potentiaalisten viljelyalojen avulla voidaan arvioida tulevia päästövähennyksiä korvattaessa ruokohelvellä turvetta energiantuotannossa. FINBIO:n mukaan ruokohelven viljelypotentiaaloin vuonna 2010 olisi 7,3 PJ (Alakangas 2000). Tämä mahdollistaisi 0,766 Mt CO<sub>2</sub>-päästövähennykset. Maatalouspoliittisessa selonteossa (MMM 2005a) arvioidun ruokohelven potentiaalisen viljelyalan (170 000 – 220 000 ha) avulla pystytään saavuttamaan jopa 1,73 – 2,99 Mt CO<sub>2</sub>-päästövähennykset. Tämä olisi jo huomattava vähennys CO<sub>2</sub>-päästöissä, sillä se vastaisi noin 20 – 35 %:a vuoden 2003 Kioton CO<sub>2</sub>-päästöjen vaatimustasojen mukaisesta vähennystarpeesta. Ruokohelven päästövähennyspotentiaalit tämän hetkisen tuotantoalan sekä arvioitujen tuotantoalojen mukaan on esitetty kuvassa 7.1.



Kuva 7.1. Ruokohelven polton CO<sub>2</sub>-päästövähennyspotentiaalit vuoden 2004 tuotantoalan sekä eri tuotantopotentiaaliarvioiden mukaan (Alakangas 2000, TIKE 2004, MMM 2005a).

Pohjanmaalla käynnistyi vuonna 2003 ruokohelven energiakäytön lisäämiseen tähtäävä projekti. Projektissa on mukana neljä suurta voimalaitosta (Seinäjoki, Pietarsaari, Kokkola ja Ylivieska), joissa on tarkoitus hyödyntää 4000 ha viljelyalalta ruokohelpikasvustoa vuoden 2005 loppuun mennessä. Tältä viljelyalalta saatava ruokohelpi kattaisi noin 2 % voimaloiden polttoainetarpeesta. Keskimääräisellä hehtaarisadolla (6-8 t/ha) saatava sato olisi 24 000 – 32 000 tonnia, joka sisältää 0,4 – 0,5 PJ energiaa. Arvioiden mukaan turpeen korvaaminen ruokohelvellä projektissa mukana olevissa voimalaitoksissa toisi 40 000 tonnin (0,04 Mt) CO<sub>2</sub>-päästövähennykset (Tyynelä & Pahkala 2003, Tyynelä 2004).

Ruokohelven viljelyllä on mahdollista myös vaikuttaa turvetuotannosta poistuneiden suoalueiden hiilidioksidipäästöihin. Turvetuotantoon kuivatetuilta soilta vapautuu turpeeseen sitoutunutta hiilidioksidia ilmaan hajotustoiminnan vilkastuessa suon kuivatuksen yhteydessä. Martikaisen (2006) mukaan turvetuotantoalueelta vapautuu

hiilidioksidia ilmakehään hiilenä ilmaistuna noin 1500 – 2500 kg hehtaaria kohden vuodessa.

Ruokohelpikasvuston on todettu toimivan ilmakehän hiilidioksidin nieluna toisin kuin orgaaniset maatalousmaat yleensä (Huttunen ym. 2004, Martikainen 2006). Monivuotisen ruokohelpikasvuston avulla vapautuvaa hiilidioksidia olisi mahdollista sitoa kasvustoon yksivuotisia viljelykasveja paremmin (Tuomisto 2005). Huttunen ym. (2004) sekä Martikaisen (2006) saamien tulosten perusteella ruokohelpi voi sitoa hiilidioksidia hiilenä ilmaistuna jopa 2500 kg hehtaaria kohden. Olosuhteiden on tällöin oltava kuitenkin hyvät eli ruokohelpiviljelmän kasvun on oltava voimakasta ja orgaanisen maaperän hajoatustoiminta hidasta. Heikommassa olosuhteissa, jolloin ruokohelven kasvu on hitaampaa ja orgaanisen maaperän hajoamistoiminta on vilkkaampaa, ruokohelven hiilinieluvaikutus on vähäisempää, mutta silti positiivista.

Etanolin raaka-aineena ruokohelpi, kuten muutkin monivuotiset ruohokasvit, on kasvihuonekaasujen päästövähennysten kannalta huomattavasti parempi vaihtoehto kuin tarkkelyspohjaiset lähteet, vertaa puu- ja vehnäetanoli kuvassa 2.8.

### **7.1.2. Muut ympäristövaikutukset**

Ruokohelpisilpun käyttö olemassa olevissa polttolaitoksissa voi olla ongelmallista silpun keveyden vuoksi. Vanhojen laitosten käsittelylaitteita ei ole suunniteltu keveille korsisilpuille, jotka saattavat tukkia laitoksen polttoaineen kuljetuslinjastoja. Ongelmat polttoaineen syötössä vaikuttavat polttolaitoksen palamistulokseen ja sitä kautta laitoksen hiilimonoksidipäästöihin.

Eräissä Suomessa tehdyssä ruokohelven polttokokeessa polttoaineen kuljetuslinjastolla esiintyneiden ongelmien aiheuttama epätäydellinen palaminen nosti polttolaitoksen CO<sub>2</sub>-päästöjä jopa kymmenkertaiseksi (Flyktman 2000). Tästä ongelmasta päästään eroon sekoittamalla ruokohelpisilppu hyvin pääpolttoaineeseen ennen polttoaineen kuljetuslinjastoa. Uusissa polttolaitoksissa korsisilpun keveys voidaan ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa, jolloin tekniset ongelmat pystytään ratkaisemaan hyvällä suunnittelulla.

Ruokohelven arvioidaan alentavan hieman energiantuotannon rikkidioksidipäästöjä, ja sitä kautta vaikuttavan positiivisesti happamoitumiseen (Bullard & Metcalfe 2001). Tämä johtuu ruokohelven alhaisemmasta rikkipitoisuudesta verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin (Taulukko 6.1).

Flyktmanin (2000) tekemien ruokohelven polttokokeiden perusteella rikkidioksidipäästöt ruokohelvellä ovat alhaisemmat kuin turpeella. Turpeen ja ruokohelven seos alentaa myös polttolaitoksen SO<sub>2</sub>-päästöjä verrattuna pelkkään turpeeseen. Esimerkiksi 3,5 MW:n leijukerroskattilan SO<sub>2</sub>-päästöt olivat 181 mg/MJ turpeelle ja turve-helpiseokselle 148 mg/MJ (ruokohelven energiaosuus 8 %). Samassa kokeessa metsätähdehakkeen SO<sub>2</sub>-päästöt olivat 0 mg/MJ ja hake-helpiseoksen SO<sub>2</sub>-päästöt 35 mg/MJ.

Typenoksidipäästöt olivat Flyktmannin (2000) mittauksissa ruokohelvellä selvästi alhaisemmat kuin turpeella. Turpeen NO<sub>2</sub>-päästöt olivat 133 mg/MJ, kun taas ruokohelven NO<sub>2</sub>-päästöt jäivät 76 mg/MJ:aan. Tähän on syynä todennäköisesti

ruokohelven pienempi typpipitoisuus. Turpeen ja ruokohelpiseoksen typenoksidipäästöt eivät juuri eronneet pelkän turpeen polton aiheuttamista typenoksidipäästöistä.

Ruokohelven poltossa syntyy vähemmän rikin- ja typenoksideja kuin fossiilisista polttoaineista, mistä johtuen ruokohelvellä on positiivinen vaikutus happamoitumiseen verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin.

## 7.2. Olki

Monien kasvien olkea voidaan käyttää polttoaineina useita eri keinoja hyödyntäen. Tässä yhteydessä käsitellään vain viljakasvien oljen energiakäyttöä. Viljan jyvien hyödyntämistä energiantuotannossa käsitellään luvussa 7.4.

Viljakasvit ovat merkittävimpiä maatalouden viljelykasveja Suomessa yli 50 % osuudellaan kaikista maassa viljeltävistä viljelyskasveista. Suomessa viljeltiin viljakasveja 1.221.200 hehtaarilla vuonna 2004 (TIKE 2004). Rehuohra on ylivoimaisesti tärkein maamme viljakasveista 422.900 ha viljelysalalla (35 % viljelysalasta), kauran ollessa toiseksi yleisin viljakasvi 371.800 ha alalla (30 % viljelysalasta).

Suurista viljelyaloista ja oljen tuotannosta huolimatta sen hyödyntäminen energiantuotannossa on Suomessa vielä vähäistä. Olki tarjoaa kuitenkin potentiaalisen energialähteen, joka tällä hetkellä jätetään Suomessa hyödyntämättä. Oljen saanto on noin 4 tonnia hehtaarilta ja lämpöarvo noin 17 GJ/t, joten oljesta saadaan energiaa noin 68 GJ/ha (Taulukko L4.7). Nykyisellä viljan viljelyalalla tämä tarkoittaa 76 PJ:n energiasisältöä (Taulukko 2.1). Oljen energiakäyttö Suomessa on Alakankaan (2000) mukaan 6000 tonnia vuodessa, mikä on vain 0,1 % vuosittain syntyvästä olkijätteestä.

Ongelmalliseksi polttoaineeksi puuta varten suunnitelluissa kattiloissa oljen tekee sen pieni energiatiheys sekä korkea tuhkapitoisuus. Polttoaineominaisuuksiltaan olki muistuttaa kuitenkin puuta, tehollinen lämpöarvo on niillä lähes sama (Alakangas 2002). Oljen korkea klooripitoisuus sekä alhainen tuhkan sulamislämpötila voivat myös aiheuttaa ongelmia poltettaessa vain puulle suunnitelluissa kattiloissa. Ongelmat kuitenkin poistuivat käytettäessä teknologiaa, jossa oljen ominaisuudet on otettu suunnittelussa huomioon. Vaikka kyseinen teknologia on Suomessa erittäin harvinaista, se on yleistä monissa muissa maissa.

Oljen energiasisältö on keskimäärin 17,4 MJ/kg kuiva-ainetta. Oljen käyttökosteus on yleensä 20 %, jolloin sen tehollinen lämpöarvo on 13,5 MJ/kg. Taulukossa 7.1 on eritelty eri viljalajikkeiden olkien lämpöarvot kuiva-aineessa sekä 20 % käyttökosteudessa.

Tehollinen lämpöarvo (LHV) [MJ/kg]	Ruis	Vehnä	Ohra	Kaura	Keskimäärin
kuiva-aineessa	17,0	17,8	17,4	16,7	17,4
20 % käyttökosteudessa	13,6	13,8	13,4	12,9	13,5

Verrattuna muihin bioenergiakasveihin, kuten ruokohelpeen, oljen tuotannon elinkaaren energiankulutus on alhainen, sillä viljelyyn kulutettua energiamäärää ei huomioida oljen tuotantokustannuksiin. Olkea syntyy viljantuotannon sivutuotteena, ja viljelyn energiankulutus kohdennetaan elinkaaritarkasteluissa viljan jyville. Oljen päästöihin sisältyvät korjuun (paalauksen) sekä kuljetuksen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt. Jossain tapauksissa elinkaariarvioissa otetaan huomioon myös olkien mukana pellolta poistuvien ravinteiden korvaaminen kemiallisilla lannoitteilla, jolloin keinolannoitteiden valmistamisen aiheuttamat päästöt sisällytetään oljen elinkaariarvioon. Poltossa syntyvä tuhka tulisi palauttaa pellolle keinolannoitteiden tarpeen minimoimiseksi.

Energiantuotannossa olkea voidaan käyttää sellaisenaan paalattuna suurpaaleihin, jotka syötetään polttolaitoksen palopesään. Siitä voidaan myös jalostaa olkisilppua kuten ruokohelvestä tai puristaa olkipellettejä. Pelleteiksi puristaminen parantaa oljen energiasisältöä tilavuusosuutta kohden, jolloin sen polttoa on helpompi kontrolloida. Teknisesti ja taloudellisesti kokopaalien ja olkisilpun käyttö eivät juuri eroa toisistaan.

Olkea voidaan polttaa arinakattiloissa tai leijukerroskattiloissa. Sitä voidaan myös jatkojalostaa kaasuttamalla tai valmistaa siitä etanolia tai bioöljyä. Oljen mädättäminen anaerobireaktiossa biokaasuksi on myös vaihtoehtoinen tapa oljen energiakäyttöön. Näiden tekniikoiden avulla päästään eroon oljen polttohyödyntämistä haittaavista korkeista kloori- ja alkalipitoisuuksista, jolloin jatkojalosteiden käyttö on ongelmatonta.

Tanska on edelläkävijä oljen energiakäytössä ja siellä on saatu hyviä kokemuksia oljen mahdollisuuksista energiantuotannossa. Oljen käyttö lämmön ja sähkön tuotantoon oli yli 1 Mt/vuosi jo vuonna 1995, mikä vastaa noin 13,5 PJ:a (Nielsen 1995). Tähän on vaikuttanut paljon Tanskan kattilateollisuuden kehittämistoiminta. Tanska on intensiivistä viljanviljelyaluetta ja siellä syntyykin viljelyn oheistuotteena paljon olkea. Oljen energiakäyttöä alettiin tukea Tanskassa poliittisin ratkaisuin intensiivisesti jo 80-luvulla, mikä näkyy nykyään oljen merkittävänä asemana energiantuotannossa. Olkea hyödynnetään menestyksekkäästi pienissä maatilakokoluokan ratkaisuisissa, keskisuurissa lämpölaitoksissa sekä suurissa CHP-laitoksissa.

Eräs syy oljen käytön lisääntymiseen Tanskassa on varmasti kilpailevien bioenergiamuotojen kuten puuperäisten polttoaineiden heikko saatavuus. Esimerkiksi Suomessa ja Ruotsissa puuta on saatavilla huomattavasti enemmän, mikä tekee puuperäisistä polttoaineista houkuttelevampia. Tanskan edelläkävijän asemasta voidaan kuitenkin hyötyä täälläkin, sillä Tanskassa on kehitetty toimivia teknologisia ratkaisuja oljen energiakäyttöön. Oljen ja ruokohelpin ongelmallisiin poltto-ominaisuuksiin – suomalaisen teknologian näkökulmasta – on siis jo olemassa kaupallisia ratkaisuja, jotka voidaan helposti siirtää Suomeen.

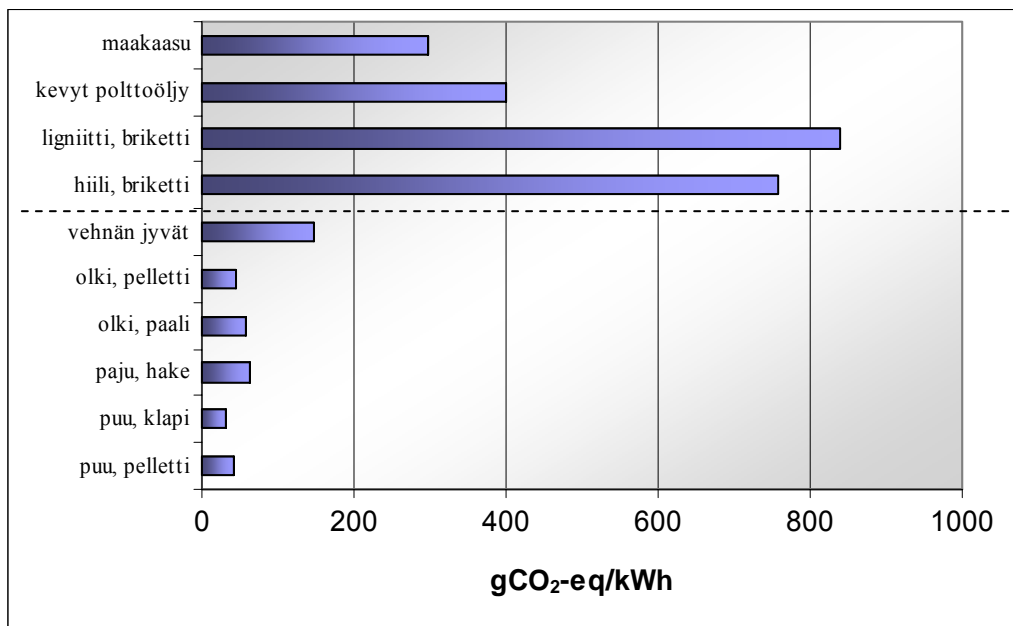
### **7.2.1. Kasvihuonekaasujen päästövähennykset**

Olkipaalien tai olkipellettien avulla voidaan saavuttaa huomattavia kasvihuonekaasujen päästövähennykset lämmöntuotannossa (Taulukko 7.2). Korvattaessa oljella hiiltä lämmön tuotannossa voidaan saavuttaa jopa 93 % vähennykset kasvihuonekaasupäästöissä. Maakaasua ja olkea polttoaineena käyttävien kaukolämpölaitosten ero KHK-päästöissä on 85 %, olkipelleteillä ero on 88 % (Jungmeier 1999, Jungmeier & Spitzer 2001).

Taulukko 7.2. Oljen ja olkipellettien kasviuonekaasujen päästövähennykset lämmön-  
tuotannossa verrattuna eri fossiilisiin polttoaineisiin. Vähennykset on laskettu  
1 kWh:n lämpöenergiaa kohden (Jungmeier 1999, Jungmeier & Spitzer 2001).

Fossiilinen polttoaine, keskuslämmitys	Päästöt [gCO <sub>2</sub> eq/kWh]	Olki, kaukolämpö 56,7 gCO <sub>2</sub> -eq/kWh	Olkipelletit, keskuslämmitys 45,8 gCO <sub>2</sub> -eq/kWh
		Päästövähennys	
hiili	759	- 93 %	- 93 %
kevyt polttoöljy	400	- 86 %	- 89 %
maakaasu	297	- 81 %	- 85 %
maakaasu, kaukolämpö	367	- 85 %	- 88 %

Kuvassa 7.2 on vertailtu eri bioenergiamuotojen kasviuonekaasupäästöjen vähennyksiä lämmöntuotannossa.



Kuva 7.2. Kasviuonekaasupäästöt eri energialähteille keskuslämmityksessä  
(Jungmeier & Spitzer 2001).

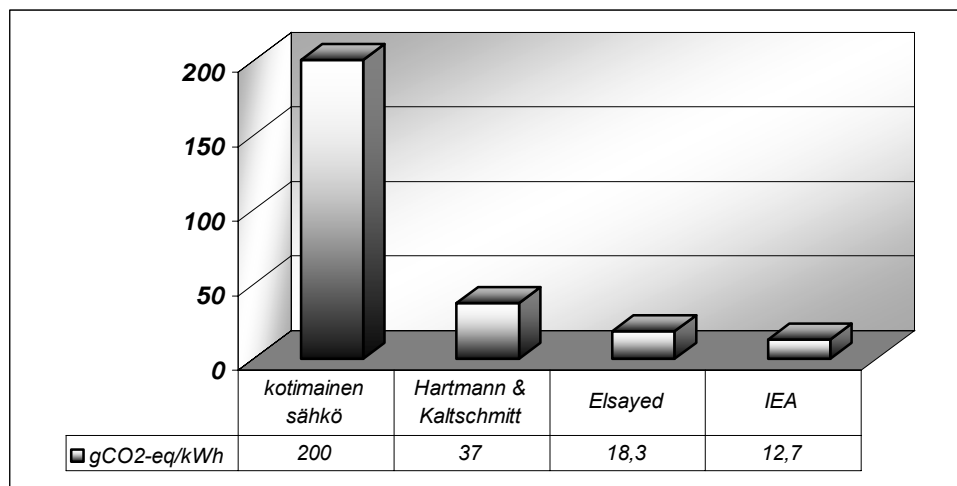
Oljen kasviuonekaasupäästöt suuren mittakaavan sähköntuotannossa on arvioitu olevan  $66 \pm 4$  gCO<sub>2</sub>-eq/MJ (Elsayed ym. 2003).

Oljen käyttöä sähköntuotannossa on tutkittu seospoltolla hiilen kanssa pölypolttolaitoksessa (Hartmann & Kaltschmitt 1999). Seossuhteena tutkimuksessa on 90 % hiiltä ja 10 % olkea, vertailukohtana käytettiin 100 % hiiltä käyttävää laitosta. Verrattaessa oljen ja hiilen koko elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia oljen positiiviset vaikutukset ovat selvästi nähtävillä, esim. kasviuonekaasujen päästövähennys on 96 % hiilidioksidiekvivalenttina (Taulukko 7.3). Olkipolttoaine vähentää myös happamoitusvaikutuksia 54 % hiileen verrattuna. Olkea on käsitelty tuotannon sivutuotteena, mistä syystä ainoastaan oljen mukana poistuvat ravinteet on sisällytetty elinkaariarviointiin viljelyn osalta. Oljen paalaus pelloilla on tässä tapauksessa elinkaariarvioinnin aloituspiste.

*Taulukko 7.3. Sähkön tuotannon kasvihuonekaasupäästöjen sekä muiden ilmapäästöjen vertailu oljella ja hiilellä (Hartmann & Kaltschmitt 1999).*

Päästö	Yksikkö	Polttoaine hiili	Polttoaine olki	Päästömuutos hiili => olki
CO <sub>2</sub> -eq	t/GWh <sub>e</sub>	930	37	- 96 %
CO <sub>2</sub>	t/GWh <sub>e</sub>	827,9	22,3	- 97 %
N <sub>2</sub> O	kg/GWh <sub>e</sub>	44,5	44,6	+ 0,22 %
CH <sub>4</sub>	kg/GWh <sub>e</sub>	4247,0	59,7	- 99 %
SO <sub>2</sub>	kg/GWh <sub>e</sub>	806,8	150,5	- 81 %
NO <sub>x</sub>	kg/GWh <sub>e</sub>	886,8	472,4	- 47 %
HCl	kg/GWh <sub>e</sub>	61,3	201,7	+ 70 %

Oljen KHK-päästöt sähkön tuotannossa vaihtelevat paljon johtuen erilaisista elinkaariarvioiden rajauksista. Kuvassa 7.3 on esitetty kolme eri arviota oljen sähkön tuotannon KHK-päästöistä.



*Kuva 7.3. Oljen kasvihuonekaasupäästöt sähkön tuotannossa eri tutkimuksissa. Vertailukohtana kotimaisen sähkön keskimääräinen päästöarvo (IEA 1998, Hartmann & Kaltschmitt 1999, Vartiainen ym. 2002, Elsayed ym. 2003).*

Oljesta mädätyksellä tuotettua biokaasua voidaan käyttää myös sähkön tuotannossa. Oljen metaanintuottopotentiaali on korkea. Yhdellä tonnilla olkea voidaan tuottaa yli 200 Nm<sup>3</sup> metaania. Jos syntyvä biokaasu käytetään sähkön tuotantoon, sitä saadaan jopa 1 MWh<sub>e</sub> ja hyödynnettävää lämpöä lisäksi vähintään yhtä paljon (Taulukko 7.10).

Oljen käyttö polttoaineena yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa vähentää kasvihuonekaasupäästöjä verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin merkittävästi (Taulukko 7.4). Oljen avulla on mahdollista saavuttaa yli 90 % kasvihuonekaasujen päästövähennyksiä verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin.

Wihersaari (1996, 2005) on tutkinut oljen tuotantoketjun energiankulutusta. Ruokohelpeen verrattuna oljen energiapanos/tuotos suhde on huomattavasti pienempi, sillä oljen kohdalla viljelyyn käytettyjä keinolannoitteita ei ole otettu kokonaisuudessaan huomioon laskelmissa. Näin ollen oljen tuotantoketjun energiapanos/tuotos suhde on 1,4 – 4,8 % eli 1 MWh tuottamiseen kuluu energiaa vain 14 - 48 kWh. Oljen tuotantoketjun aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt ovat

Wihersaaren (2005) tekemien laskelmien mukaan 3,7 – 19,7 kgCO<sub>2</sub>-eq/MWh<sub>pa</sub>. Nämä luvut ovat laskettu Unkarin tuotanto-olosuhteisiin, mutta ovat suuntaa antavia myös Suomen olosuhteissa.

*Taulukko 7.4. CHP-teknologioiden kasvihuonekaasupäästöt eri fossiilisilla polttoaineilla verrattuna olkeen. Päästöt on laskettu 0,33 kWh:n sähköntuotantoa ja 0,67 kWh:n lämmöntuotantoa kohden (Jungmeier 1999).*

Fossiilinen polttoaine, CHP-teknologia	Päästöt [gCO <sub>2</sub> -eq]	Olki, CHP höyryturbiini 31,5 gCO <sub>2</sub> -eq
		Päästövähennys
hiili, höyryturbiini	513	- 94 %
ligniitti, höyryturbiini	508	- 94 %
kevyt polttoöljy, polttomoottori	409	- 92 %
raskas polttoöljy, höyryturbiini	432	- 93 %
maakaasu, kaasuturbiini	319	- 90 %
maakaasu, kaasu- ja höyryturbiini	329	- 90 %
maakaasu, polttomoottori	372	- 91 %

Tanskassa oljen energiakäyttöä tukevan politiikan tavoitteena 1990-luvun lopulla oli saavuttaa jopa 20 % CO<sub>2</sub>-päästövähennykset. Erään tanskalaisen esimerkin (CityRES 2000) mukaan 15.500 asukkaan Nakskovin kunnan kaukolämpö tuotettiin 6 ja 8 MW kaukolämpölaitoksissa, joiden pääasiallinen polttoaine oli olki. Vuotuinen lämmöntuotanto näissä laitoksissa oli 64,5 GWh ja oljen kulutus 100 tonnia/päivä. Arvioiden mukaan oljen poltolla saavutettiin 17.000 tonnin CO<sub>2</sub>-päästövähennykset korvattaessa sillä fossiilisia polttoaineita, pääasiassa öljyä.

### 7.2.2. Muut ympäristövaikutukset

Oljella on positiivinen vaikutus kasvihuonekaasujen päästövähennysten kautta ilmastonmuutokseen verrattuna perinteisiin fossiilisiin polttoaineisiin. Samoin savusumun muodostumisesta ajatellen olki on fossiilisia parempi polttoaine. Sen sijaan happamoitumiseen ja rehevöitymiseen oljen energiakäytöllä saattaa olla positiivinen tai negatiivinen vaikutus.

Oljen poltossa syntyvän tuhkan kalsium-, magnesium- ja kaliumpitoisuudet ovat hyvin korkeat (Alakangas 2000). Poltettaessa olkea turpeen kanssa seoksena saadaan turpeen sisältämä rikki sitoutumaan tuhkaan juuri korkeiden kalsium-, magnesium- ja kaliumpitoisuuksien avulla, mikä pienentää polttolaitoksen savukaasujen rikkipitoisuuksia.

Oljen poltossa syntyvien ilmapäästöjen määrät ovat IEA:n (1998, Appendix I) mukaan seuraavat:

- SO<sub>2</sub> 0,86 g/kWh
- NO<sub>x</sub> 1,40 g/kWh
- HCl 0,95 g/kWh
- hiukkaset 0,34 g/kWh

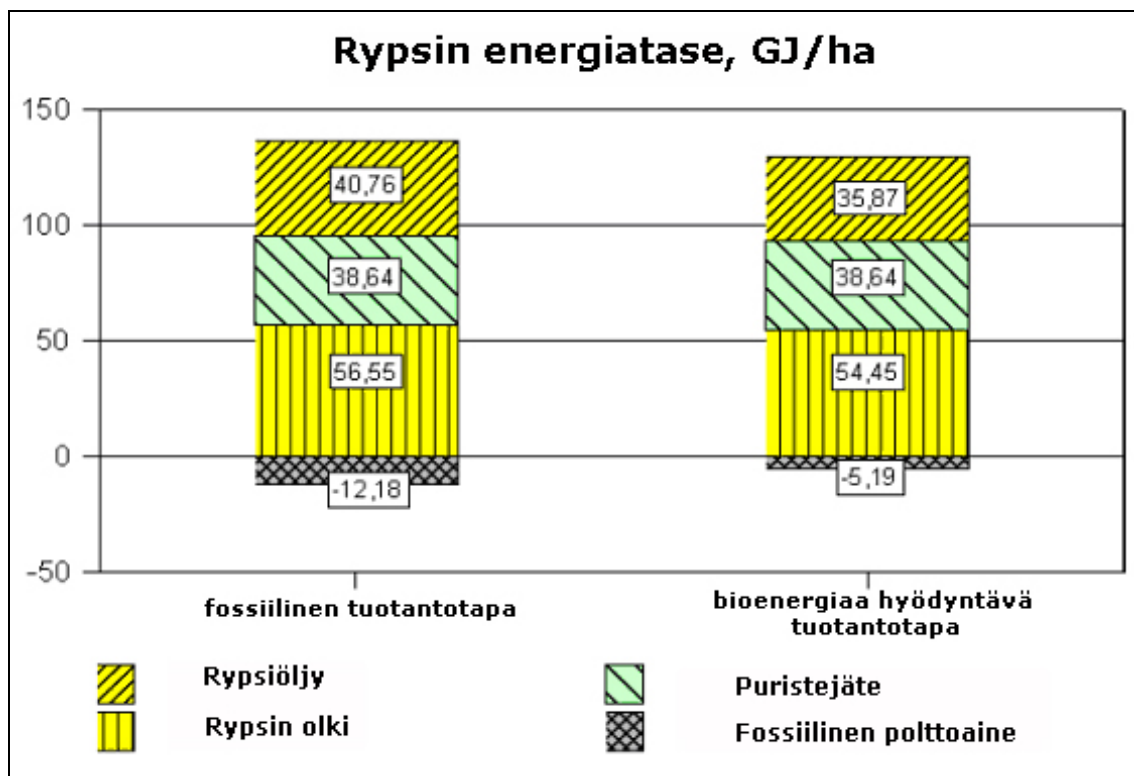
Poltossa syntyvät päästöt ovat kuitenkin aina tilannekohtaisia ja riippuvat paljon käytettävästä tekniikasta sekä laitoksen toiminnan tehokkuudesta. Nämä arvot ovat siksi vain suuntaa antavia.



Edellä mainitussa tanskalaisen kunnan esimerkissä 64,5 GWh kaukolämmön tuottaminen oljella sai aikaan arviolta 23 tonnin NO<sub>x</sub>-päästövähennykset sekä 22 tonnin SO<sub>2</sub>-päästövähennykset (CityRES 2000).

### 7.3. Rypsi

Rypsi on Suomessa viljeltävä öljykasvi, jota jalostetaan pääasiassa elintarviketuotantoon. Öljykasvina sitä voidaan hyödyntää myös energiantuotannossa. Rypsin ja rapsin viljelyala Suomessa vuonna 2004 oli 82.600 ha (TIKE 2004). Suomessa rypsin siementen keskimääräinen saanto on noin 1,75 t/ha, joka vastaa rypsimetyyliesterin saantoa n. 0,61 t RME/ha (Mäkinen & Sipilä 2003) eli 23 GJ/ha (Taulukko 2.5). Rypsistä voidaan hyödyntää energiaksi siementen sisältämän öljyn lisäksi viljelyssä syntyvä olki sekä biodieselin jalostuksessa syntyviä sivutuotteita. Tämä parantaa rypsin energiatehokkuutta huomattavasti. Rypsin siementen, oljen ja puristejätteen energiasisällöt on esitetty kuvassa 7.4. Käytettäessä fossiilisia polttoaineita rypsin viljelyyn ja prosessointiin rypsin energiatuotos/panos-suhde on 11 (Ansø & Bugge 2001, Taulukko 2.2).

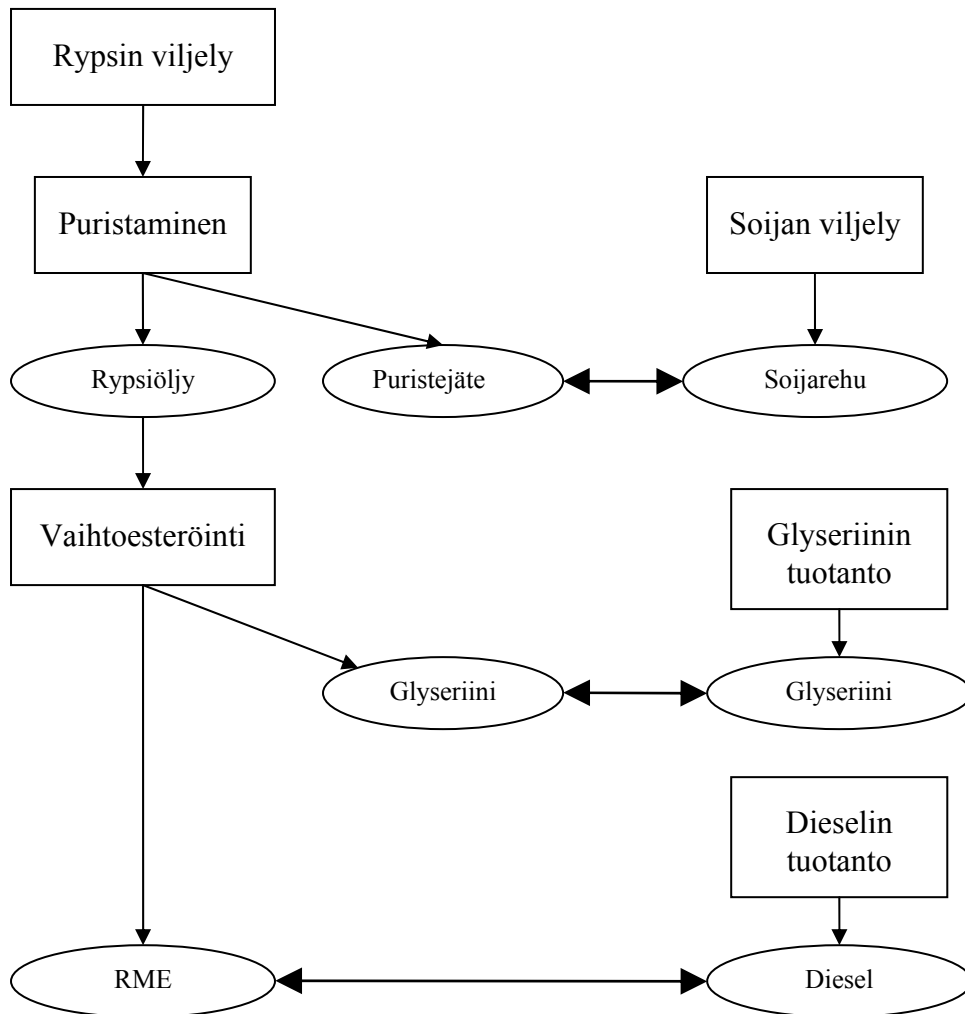


Kuva 7.4. Rypsin energiatase Tanskassa. Fossiilisessa tuotantotavassa viljelyssä käytetään fossiilisia polttoaineita. Bioenergiaa hyödyntävässä tuotantotavassa biodieselin ja oljen käyttäminen maatilan energiantuotannossa parantaa energiatasetta huomattavasti. (muokattu: Ansø & Bugge 2001).

Maatiloilla on mahdollista käyttää rypsin tuotannossa syntyvää olkea sekä rypsistä jalostettua biodieseliä omassa toiminnassaan. Käytettäessä rypsin olki maatilan CHP-laitoksessa sekä rypsistä saatu biodiesel maatilan koneissa, rypsistä saatava

energiämäärä suhteessa kulutettuun fossiiliseen energiaan nousee korkeammaksi (Kuva 7.4), jolloin tuotos/panos-suhde on 25 (Ansø & Bugge 2001).

Rypsiä jalostettu biodiesel soveltuu käytettäväksi kaikissa dieselmootoreissa sekä laitteissa, jotka käyttävät polttoaineena fossiilista lämmitysöljyä. Ainoa vaadittava muutos laitteistoissa on luonnonkumisten letkujen ja tiivisteiden vaihto.



Kuva 7.5. Eräs rypsiäjalostetun biodieselin elinkaariarvioiden mukainen rajaus sekä vertailuprosessit (Franke & Reinhardt 1998).

Rypsiäjalostetun biodieselin elinkaareen sisällytetään yleensä rypsin viljely sekä biodieselin valmistusprosessi sivutuotteineen. Kuvassa 7.5 on kaaviokuva RME:n elinkaariarvioissa käytettävästä rajauksesta. Rajaukseen on sisällytetty valmistusprosessissa syntyvistä sivutuotteista proteiinipitoinen puristejäte sekä vaihtoesteröintiprosessissa eli RME:n jalostuksessa kasviöljystä syntyvä sivutuote glyseriini.

Rypsiäjalostetun biodieselin tuotannossa sivutuotteena syntyvää puristejätettä voidaan hyödyntää monilla eri tavoilla. Sitä voidaan käyttää eläinten rehuna tai jatkojalostaa energiaksi. Yleisin hyödyntämistapa puristejätteelle on käyttö eläinten rehuksi. Valkuaisainepitoinen puristejäte on itse asiassa hyvin arvokas sivutuote, jonka avulla

voitaisiin korvata soijapohjaista tuontirehuja kotimaisessa maataloudessa. Puristejätettä voidaan myös käyttää energiantuotantoon polttamalla sellaisenaan tai tuottamalla siitä anaerobireaktion avulla biokaasua. Biodieselin tuotannossa syntyvää glyseriiniä on mahdollista käyttää kemianteollisuuden raaka-aineena tai energialähteenä.

### 7.3.1. Energiakäytön ympäristövaikutukset

#### *Liikennekäyttö*

Elsayedin ym. (2003) mukaan rypsiä jalostetun biodieselin elinkaaren kasvihuonekaasupäästöt ovat 41 gCO<sub>2</sub>/MJ<sub>pa</sub> kulutettua polttoaineen energiasisältöä kohti. Rypsiä puristetun kasviöljyn (PPO) päästöt ovat alhaisemmat (31 gCO<sub>2</sub>/MJ<sub>pa</sub>) johtuen vähäisemmästä jalostuksen tarpeesta.

Biodieselin avulla voidaan vähentää liikenteen hiilidioksidipäästöjä korvaamalla sillä fossiilista dieseliä. Hehtaarin alalta tuotettu rypsi korvaa Keski-Euroopassa Kaltschmittin ym. (1999) mukaan RME:ksi jalostettuna 42,35 GJ dieseliä (RME:n saanto 1143 kg/ha, energiasisältö 37,2 MJ/kg). Gärtnerin ja Reinhardtin (2003) arvion mukaan yksi litra RME:tä vähentää hiilidioksidipäästöjä 2,2 kgCO<sub>2</sub>-eq korvattaessa sillä fossiilista dieseliä.

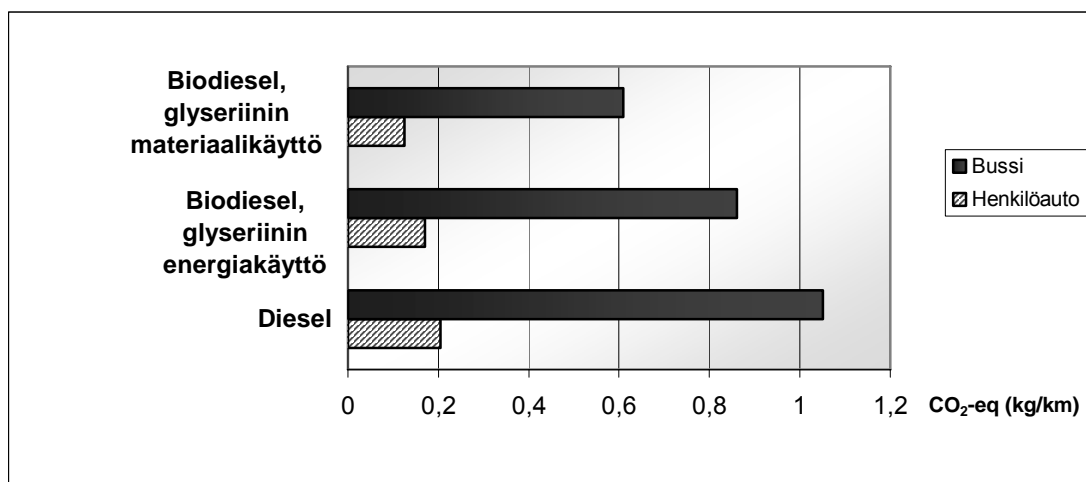
Biodieselin elinkaarianalyysien avulla voidaan verrata biodieselin ympäristövaikutuksia fossiiliseen dieseliin. Kaltschmittin ym. (1996) tekemässä elinkaariarvioissa on huomioitu rypsin viljely, kuljetus ja varastointi, kuivatus, puristaminen, vaihtoesteröintiprosessi (RME:n jalostus kasviöljystä), kuljetus tankkausasemille sekä poltto liikennekäytössä. Taulukossa 7.5 on Kaltschmittin ym. (1996) tekemä vertailtu rypsi pohjaisen biodieselin ja fossiilisen dieselin elinkaaren aikaisista päästöistä. Biodieselin kasvihuonekaasupäästöt ovat alle puolet fossiilisen dieselin päästöistä hiilidioksidiekvivalenttina huolimatta siitä, että metaanin ja typpioksiduulin päästöt ovat biodieselillä huomattavasti korkeammat. Päästöt on laskettu hehtaarin peltoalalta tuotetusta rypsiä valmistetulle RME:lle, dieselin päästöt ovat RME:n energiasisältöä vastaavalle määrälle (42,35 GJ).

*Taulukko 7.5. RME:n ja dieselin elinkaaren aikaisten päästöjen vertailu liikennekäytössä. Arvot laskettu RME:n vuosituotantoa kohden hehtaarin suuruiselle rypsin viljelysalalle. Dieselin päästöt RME:n energiasisältöä vastaavalle määrälle (42.350 MJ). (Kaltschmitt ym. 1996)*

Päästö	Yksikkö /ha/a	Diesel	RME	Päästövähennys
CO <sub>2</sub> -eq	kg	3752	1594	- 57 %
CO <sub>2</sub>	kg	3523	1037	- 71 %
CH <sub>4</sub>	g	568	1338	+ 58 %
N <sub>2</sub> O	g	701	1766	+ 60 %
SO <sub>2</sub>	g	2857	1670	- 42 %
NO <sub>x</sub>	g	12691	14274	- 11 %
Pienhiukkaset	g	1447	924	- 36 %

Elinkaarianalyysien tulokset vaihtelevat riippuen biodieselin tuotannossa syntyvien sivutuotteiden hyödyntämistavoista (kuva 7.6). Glyseriinin käyttö kemianteollisuuden raaka-aineena antaa Parlovin (2004) tutkimusryhmän mukaan paremman hiilidioksiditaseen biodieselille verrattuna glyseriinin energiakäyttöön. Laajan eurooppalaisen vertailututkimuksen mukaan (Armstrong ym. 2002) RME:n

kasvihuonekaasujen päästövähennyspotentiaali nousisi 53 prosentista 58 prosenttiin otettaessa huomioon biodieselin jalostuksessa syntyvien sivutuotteiden hyödyntäminen eläinten rehuna.



Kuva 7.6. Henkilöauton ja bussin elinkaaren aikaiset KHK-päästöt käytettäessä biodieseliä tai fossiilista dieseliä (muokattu: Parlov ym. 2004).

Kotimaisten arvioiden mukaan rypsiöljystä jalostetulla biodieselillä on mahdollista saada 50 – 80 % kasvihuonekaasujen päästövähennykset verrattuna fossiiliseen dieseliin (Mäkinen ym. 2005).

#### Sähkön ja lämmön yhteistuotanto

Rypsiä puristettua kasviöljyä ja siitä jalostettua biodieseliä voidaan käyttää myös yhdistettyyn sähkön ja lämmöntuotantoon CHP-laitosten polttoaineena. Itävaltalaisen vertailututkimuksen mukaan (Jungmeier 1999) RME:n avulla saavutettavat KHK-päästövähennykset ovat erittäin suuret (Taulukko 7.6).

*Taulukko 7.6. RME:n elinkaaren kasvihuonekaasujen päästövähennykset CHP-käytössä verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin. Päästöt on laskettu 0,33 kWh<sub>e</sub>:n ja 0,67 kWh<sub>t</sub>:n tuotantoa kohden (Jungmeier 1999).*

Fossiilinen polttoaine, CHP teknologia	Päästöt [gCO <sub>2</sub> -eq]	RME, CHP- polttomoottori (25,2 gCO <sub>2</sub> -eq) Päästövähennys
hiili, höyryturbiini	513	- 95 %
ligniitti, höyryturbiini	508	- 95 %
kevyt polttoöljy, polttomoottori	409	- 94 %
raskas polttoöljy, höyryturbiini	432	- 94 %
maakaasu, kaasuturbiini	319	- 92 %
maakaasu, kaasu- ja höyryturbiini	329	- 92 %
maakaasu, polttomoottori	372	- 93 %

#### Lämmöntuotanto

Rypsiöljystä jalostetulla RME:llä on mahdollisuus saavuttaa jopa negatiivisia arvoja kasvihuonekaasupäästöihin lämmöntuotannossa (Taulukko 7.7). Negatiiviset arvot perustuvat tuotannossa syntyvien sivutuotteiden hyödyntämisen avulla saavutettuihin lisävähennyksiin kasvihuonekaasupäästöissä.

Taulukko 7.7. RME:n elinkaaren kasviuonekaasujen päästövähennyspotentiaali lämmön tuotannossa verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin (Jungmeier 1999).

Fossiilinen polttoaine, keskuslämmitys	Päästöt, [gCO <sub>2</sub> -eq/kWh]	RME, keskuslämmitys (-83,2 gCO <sub>2</sub> -eq/kWh) Päästövähennys
hiili	759	- 111 %
ligniitti	756	- 110 %
kevyt polttoöljy	400	- 121 %
maakaasu	297	- 128 %
maakaasu, kaukolämpö	367	- 123 %

#### *Muut ympäristövaikutukset*

Kasviuonekaasujen osalta biodieselillä (RME) on selkeä positiivinen vaikutus energian tuotantoketjussa. Sen sijaan muiden ympäristövaikutusten kohdalla biodiesel ei aina ole fossiilisia polttoaineita parempi vaihtoehto. Happamoitumiseen ja rehevöitymiseen biodieselillä voi olla negatiivinen vaikutus, mutta sillä on positiiviset terveysvaikutukset (IFEU 2000).

## **7.4. Energiaviljat**

Viljan olkien lisäksi myös jyvät soveltuvat kiinteinä polttoaineina energiantuotantoon. Jyviä voidaan polttaa sellaisenaan laadukkaissa pellettipolttimissa, joissa viljan erikoisominaisuudet eivät aiheuta ongelmia polton aikana.

Viljalajikkeista kaura soveltuu hyvin poltettavaksi kiinteänä polttoaineena, sillä kuoren osuus jyvissä on korkea. Kauran jyvien korkeasta kuoripitoisuudesta johtuen niiden tehollinen lämpöarvo (15,7 MJ/kg) on lähes sama kuin oljella tai polttopuulla (Alakangas 2000). Tuomiston (2005) mukaan kauran jyväsato on 4 t/ha, jolloin kauran energiantuotoksi saadaan 63 GJ/ha.

Energiaviljoiksi soveltuvat hyvin viljamarkkinoilla heikompiarvoiset tai kauppaan kelpaamattomat viljaerät sekä alun perin energiantuotantoon viljelty vilja. Viljantuotannossa heikkolaatuisen viljan osuus on 2 – 11 % vuosituotannosta, erityisesti ohran kohdalle sen osuus on korkea (TIKE 2004). Tämä heikkolaatuinen vilja olisi kustannustehokasta hyödyntää energiantuotannossa.

Viljaa voidaan käyttää myös etanolin tuotantoon. Arvioiden mukaan viljaetanolin saanto Suomessa olisi noin 0,9-1,0 t/ha eli 24-27 GJ/ha, kun raaka-aineena olisi ohra (KTM 2005, Taulukko 2.5).

Viljanjyvien käyttöä energiantuotantoon pidetään jossain määrin epäeettisenä. Toisaalta Suomessa käytetään vuosittain 150 miljoonaa kiloa kotimaista ohraa alkoholin valmistukseen (Altia 2005). Tämä määrä vastaa noin 8 % maamme vuotuisesta ohran tuotannosta. Ei ole lainkaan selvää, että alkoholijuomien tuotanto olisi energiakäyttöä eettisesti hyväksyttävämpää.

## 7.4.1. Energiakäytön ympäristövaikutukset

### *Etanoli*

Viljapohjaisen etanolin kasvihuonekaasupäästöjen päästövähennyspotentiaali verrattuna fossiiliseen bensiiniin on kotimaisen arvion mukaan 20 – 40 % (Mäkinen ym. 2005). Laajassa eurooppalaisessa vertailututkimuksessa (Armstrong ym. 2002) saatu arvio päästövähennyksestä on 26 % ilman tuotannossa syntyvien sivutuotteiden hyödyntämistä. Arviot on tehty viljaetanolin koko elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt huomioiden. Päästövähennysten määrään vaikuttavat luonnollisesti raaka-aineen tuotanto- ja jalostusprosessit sekä tuotannossa syntyvien sivutuotteiden hyödyntäminen.

Etanolin elinkaariarvioinnin kasvihuonekaasutase paranee jonkin verran huomioitaessa tuotannon sivutuotteet. Viljapohjaisen etanolin tuotannon sivutuotteita ovat olki ja käymisprosessissa syntyvä jäte, jota voidaan käyttää eläinten rehuna. Jos etanolin tuotannossa syntyvä käymisjäte hyödynnetään eläinten rehuna, nousee etanolin KHK-päästövähennyspotentiaali Armstrongin ym. (2002) mukaan 37 %:iin.

Viljapohjaisen etanolin elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt ovat Elsayedin ym. (2003) mukaan  $29 \pm 2$  gCO<sub>2</sub>-eq/MJ<sub>pa</sub>. Viljan oljesta on myös mahdollista tuottaa selluloosapohjaista etanolia (Kansikuva). Oljesta tuotetun etanolin kasvihuonekaasupäästöt ovat alhaisemmat ( $13 \pm 2$  gCO<sub>2</sub>-eq/MJ<sub>pa</sub>) kuin jyvistä tuotetun etanolin.

Etanolia voidaan käyttää seospolttoaineena perinteisissä bensiiniä käyttävissä ajoneuvoissa. Ainakin 20 % seosta (E20) voidaan käyttää ajoneuvoissa ilman muutoksia. Vahvempi seos (E85), jossa bioetanolin osuus on 85 %, vaatii pieniä muutoksia polttoainejärjestelmään. Molemmilla etanoliseoksilla saavutetaan vähennyksiä ajoneuvojen päästöissä. E85:lla päästövähennykset fossiiliseen bensiiniin verrattuna ovat hiilidioksidin ja rikin oksidien osalta merkittäviä (Taulukko 7.8). Kimin & Dalen (2005) mukaan ainoastaan typen oksidipäästöt kasvavat etanolia käytettäessä.

*Taulukko 7.8. Etanolia käyttävän henkilöauton ilmapäästöjen vähennys siirryttäessä bensiinistä eri etanoliseoksiin. Päästövähennykset on laskettu ajoneuvokilometriä kohti eri seossuhteilla (Kim & Dale 2005).*

Päästölaji	Päästövähennykset	
	Bensiinistä E10:iin	Bensiinistä E85:een
CO <sub>2</sub>	- 7 %	- 72 %
CO	- 51 %	- 47 %
NMVOOC	0	0
NO <sub>x</sub>	+ 33 %	+ 50 %
SO <sub>x</sub>	- 7 %	- 72 %

### *Viljan poltto*

Energiaviljat korvaavat lämmityksessä fossiilisia polttoaineita, jolloin niiden käytöllä voidaan saavuttaa huomattavia vähennyksiä kasvihuonekaasupäästöissä. Korvatessa viljoilla kevyttä polttoöljyä lämmityksessä KHK-päästöt vähenevät 68 gCO<sub>2</sub>-eq/MJ<sub>pa</sub>. Hehtaarin alalta saadun viljasadon vuotuinen kasvihuonekaasujen päästövähennyspotentiaali on 7800 – 10 000 kgCO<sub>2</sub>-eq/ha käytettäessä viljaa lämmityspolttoaineena kevyen polttoöljyn sijasta. Rukiin ja ohran päästövähennys on hieman alhaisempi kuin vehnän (Kaltschmitt ym. 1996).

Hyödyntämällä viljan jyviä lämmöntuotannossa saadaan selvästi olkea alhaisemmat kasviuonekaasujen päästövähennykset. Oljella päästövähennykset ovat 11 - 30 prosenttiyksikköä suuremmat (Jungmeier & Spitzer 2001). Tämä johtuu erilaisesta elinkaariarvioiden rajauksesta, ts. oljen elinkaareen ei sisällytetä viljelyn aikaisia päästöjä. Verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin jyvien poltolla on kuitenkin positiivinen vaikutus kasviuonekaasutaseeseen (Taulukko 7.9).

*Taulukko 7.9. Vehnän jyvien polton aiheuttamat kasviuonekaasupäästöt lämmityksessä verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin (Jungmeier & Spitzer 2001).*

Fossiilinen polttoaine, keskuslämmitys	Päästöt, [gCO <sub>2</sub> -eq/kWh]	Vehnän jyvät, keskuslämmitys 148 gCO <sub>2</sub> -eq/kWh
		Päästövähennys
hiili, briketit	758	- 81 %
ligniitti, briketit	839	- 82 %
kevyt polttoöljy	400	- 63 %
maakaasu	297	- 50 %
maakaasu, kaukolämpö	367	- 60 %

Viljan pienpolttoa on tutkittu Työtehoseuran tekemässä vertailututkimuksessa (Kouki & Vuorio 2005). Kaura palaa pienkattiloissa paremmin kuin puupelletti eli siitä ei jää palamatonta materiaalia tuhkaan yhtä paljon kuin pelleteistä. Toisaalta kauran tuhkapitoisuus on pellettiä korkeampi. Kauran poltossa CO-pitoisuudet olivat huomattavasti puupellettiä alhaisemmat polttokokeissa. Hyötysuhde kauralla ja pelletillä oli kokeissa lähes sama. Kauran jyvien ongelmaksi kokeissa osoittautui tuhkan sulaminen ja sen kiinnittyminen polttolaitoksen palopäihin.

Viljanpolton ympäristövaikutukset ovat kaksijakoiset kuten monilla muillakin bioenergiälähteillä. Kaltschmittin ym. (1996) mukaan viljanpoltto vaikuttaa ilmastonmuutokseen positiivisesti kasviuonekaasupäästöjen vähennyksen kautta, mutta happamoitumiseen vaikutus on negatiivinen. Myös rehevöitymiseen viljanpoltolla on heikko negatiivinen vaikutus typpipäästöjen kautta.

## 7.5. Lanta

Eläinten lannasta saatavan biometaanin vuosituotantopotentiaali Suomessa on Lampisen (2003) mukaan 4,3 TWh. Tämä energiamäärä saadaan 21.500.000 tonnista lantaa (tuorepaino), jonka metaanin tuotto on 20 m<sup>3</sup>/t. Tästä määrästä lantaa mädättämällä tuotettu biokaasu tarjoaisi polttoainetta 220.000 henkilöautolle tai 15.000 bussille.

Karjanlannan hyödyntäminen energiantuotannossa vähentää merkittävästi karjatalouden vaikutuksia ilmastonmuutokseen kahdella eri tavalla. Lannasta tuotetun biokaasun käyttö energiantuotannossa vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja samalla anaerobisesti käsitellyn lannan metaanipäästöt alenevat. Normaalisti lannasta ilmakehään vapautuva metaani on 20 – 60 kertaa voimakkaampi kasviuonekaasu kuin poltossa syntyvä hiilidioksidi.

Mädätysjäännös (Kuva 4.4) on erinomaista lannoitetta, koska käsittelyn aikana siitä on tuhoutunut haitallisia mikrobeja, kaikki lannan lannoitearvo on säilynyt ja lisäksi tyyppi

on muuntunut vesiliukoiseen, kasveille helpoimmin käytettävään muotoon. Määtysjäännöksen lannoitekäyttö vähentää kemiallisten lannoitteiden käytön tarvetta ja näin ollen mädätysprosessin avulla on mahdollista vähentää kemiallisten lannoitteiden valmistusprosessin aiheuttamia dityppioksidi- ja muita päästöjä sekä tuotannon fossiilienergian kulutusta, mikä osaltaan parantaa biokaasun KHK-päästövähennyspotentiaalia. Lannan anaerobinen käsittely vähentää Klinglerin (2005) arvion mukaan 10 % maatalouden N<sub>2</sub>O-päästöjä.

Biokaasun käyttö energiantuotannossa fossiilisten polttoaineiden tilalla vähentää hiilidioksidipäästöjä huomattavasti, esim. 1 m<sup>3</sup> biokaasua korvaa 0,5 kg öljyä energiantuotannossa, mistä seuraa 2,6 kgCO<sub>2</sub>-päästövähennys (Klingler 2005). Lisää biokaasun energiakäytön ympäristövaikutuksista on luvussa 6.3.

Biokaasun tuotannon lisäksi karjanlanta on mahdollista hyödyntää energiaksi myös kuivattamalla sitä kiinteäksi polttoaineeksi. Tämä on kuitenkin huomattavasti biokaasun tuotantoa energiatehottomampi vaihtoehto.

## 7.6. Energianurmet

Suomen maatalousmaan nurmipinta-ala vuonna 2004 oli 648.400 hehtaaria (TIKE 2004). Pääosa nurmesta (414.800 ha, 64 %) käytetään säilörehun tuotantoon. Laidunmaan osuus viljellystä nurmipinta-alasta on 13 % (86.900 ha) ja kuivaheinän tuotantoon viljeltävän nurmien pinta-alan osuus 14 % (92.800 ha).

Nurmea voidaan hyödyntää energiantuotannossa parhaiten mädättämällä sitä biokaasuksi esimerkiksi lannan seassa. Taulukossa 7.10 on esitetty eri nurmilajikkeiden biokaasun ja sähköntuotantopotentiaalit. Vertailun vuoksi taulukkoon on listattu myös muiden biokaasun raaka-aineiden ominaisuuksia.

*Taulukko 7.10. Eri materiaalien biokaasumetaanin tyypillisiä tuotantomääriä Steffenin ym. (1998) pohjalta ja niiden perusteella laskettuja sähkön tuotantopotentiaaleja 25 - 45 %:n hyötysuhteella.*

Materiaali (1 tonni)	Kuiva-ainetta (%)	Metaania [Nm <sup>3</sup> ]	Sähköä [kWh]
Nurmisäilörehu	15 – 25	45 – 75	110 – 340
Vihantanurmi	20 – 25	60 – 75	150 – 340
Olki, ruokohelpi	70 - 85	180 – 260	450 – 1170
Karjanlanta	5 – 12	4 – 23	10 – 100
Sianlanta	3 – 8	4 – 26	10 – 120

Nurmea voidaan käyttää myös selluloosapohjaisen etanolin raaka-aineena (Kim & Dale 2005). Nurmi on huomattavasti viljaa halvempi raaka-aine etanolin valmistukseen, minkä vuoksi se saattaa tulevaisuudessa nousta merkittäväksi etanolin lähteeksi. Nurmen hyödyntämisestä etanolin tuotannossa on kuitenkin vielä hyvin rajoitetusti kokemusta ja tietoa saatavilla.

Nurmi sopii myös poltettavaksi CHP-laitoksissa. Korvattaessa energianurmella kevyttä polttoöljyä sähkön ja lämmön yhteistuotannossa voidaan saavuttaa 74 gCO<sub>2</sub>-eq/MJ kasvihuonekaasujen päästövähennykset (Kaltschmitt ym. 1996). Hehtaarin alalta



korjatun energianurmen vuotuiset KHK-päästövähennykset ovat siten Kaltschmittin ym. (1996) mukaan 2400 kgCO<sub>2</sub>-eq/ha.

Energianurmen ympäristövaikutukset CHP-tuotannossa ovat positiiviset ilmastonmuutoksen osalta, mutta negatiiviset happamoitumisen sekä rehevöitymisen osalta (Kaltschmitt ym. 1996).

## 7.7. Vertaileva tarkastelu

Tässä luvussa kootaan yhteen ja vertaillaan BIOAGRE-hankkeen kuuden pääresurssin ominaisuuksia.

### 7.7.1. Energiasaanto

Taulukossa 7.11 on esitetty bioenergiälähteiden ominaisuuksia energiantuotannossa sekä arvioitu vuotuiset energiantuotantopotentiaalit jokaiselle bioenergiälähteelle niiden vuoden 2005 viljelyaloilla perustuen lukuun 7 ja taulukoihin L4.7 ja 2.1.

*Taulukko 7.11. Bioenergiälähteiden ominaisuuksia energiantuotannossa. Vuotuinen primäärienergiasaanto on laskettu vuoden 2005 viljelyalalla.*

	Energiasisältö [GJ/t]	Sato [t/ha]	Energiasaanto [GJ/ha]	Vuoden 2005 energiasaanto [PJ]
Ruokohelppi	17,5	8	140	1,4
Viljojen olki	17	4	68	79
Energiaviljat (jyvät)	17	4	68	79
Rypsin ja rapsin siemenet	26	1,75	46	3,5
Rypsin ja rapsin olki	18	2	36	2,8
Energianurmet (kuivaheinät)	16	3,5	56	6
Lanta				29

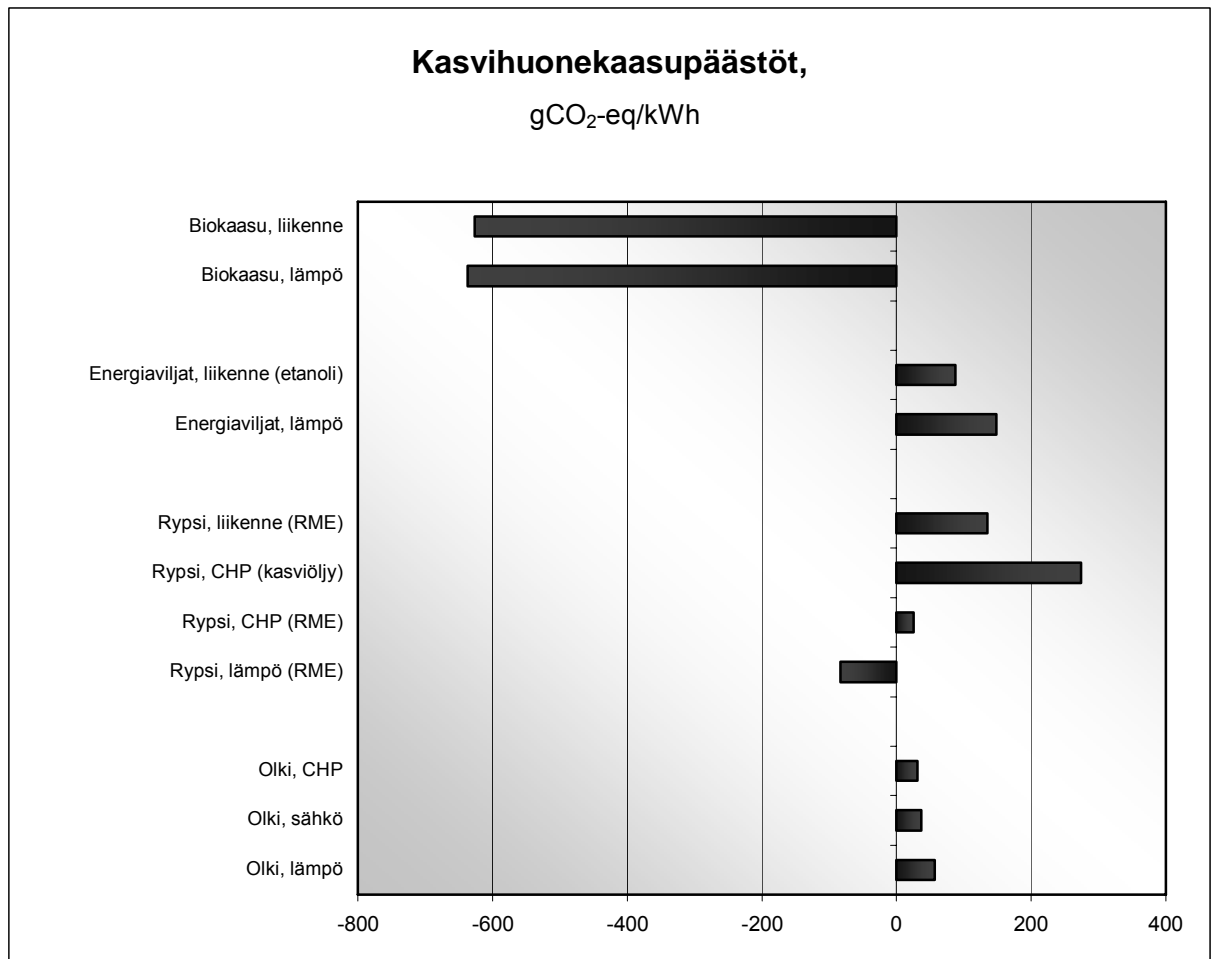
### 7.7.2. Kasvihuonekaasupäästöt

Bioenergiälähteiden tuotannossa syntyy jonkin verran kasvihuonekaasupäästöjä. Suurin osa kasvihuonekaasupäästöistä syntyy viljelyssä käytettävien koneiden ja keinolannoitteiden fossiilisten polttoaineiden kulutuksesta, mutta myös bioenergian kuljetus ja jalostus aiheuttavat kasvihuonekaasupäästöjä.

Eri bioenergiälähteiden elinkaaren aikaisiin kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttaa merkittävästi elinkaariarvioinnin rajausta eli siihen sisällytettävien osa-alueiden valinta. Kuvassa 7.7 on esitetty tutkimuksessa tarkasteltujen bioenergiälähteiden elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä energian eri loppukäyttömuodoilla.

Elinkaariarvion rajauksen vaikutus saataviin tuloksiin näkyy selkeimmin rypsin kohdalla (Kuva 7.7). Rypsistä puristetun kasviöljyn kasvihuonekaasupäästöt CHP-käytössä ovat selvästi siitä jalostettua RME:ä korkeammat, vaikka jalostuksen pitäisi lisätä kasvihuonekaasupäästöjä. Tämä johtuu elinkaaren rajauksesta, jossa jalostuksen sivutuotteiden hyödyntäminen kemianteollisuudessa, energiantuotannossa tai eläinten rehuna tuottaa hyvin merkittävän vaikutuksen RME:lle, mutta ei kasviöljylle. Päinvastoin käy Elsayedin ym. (2003) elinkaari tutkimuksessa (Luku 7.3.1), jossa

kasviöljyn päästöt jäävät RME:tä alemmiksi sekä sivutuotehyötyjen että kevyemmän jalostuksen takia.



*Kuva 7.7. Bioenergiälähteiden elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt energian eri loppukäyttömuodoilla. Tarkasteluun sisällytetty biokaasu on tuotettu ainoastaan karjanlannasta. (Jungmeier 1999, Jungmeier & Spitzer 2001)*

Elinkaariarvioinnin rajauksen vaikutus tuloksiin näkyy myös oljen ja energiaviljojen kohdalla. Oljen elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt ovat selvästi alhaisemmat kuin energiaviljoilla (Kuva 7.7). Viljelyn aikaiset kasvihuonekaasupäästöt on jätetty oljen elinkaaren ulkopuolelle, sillä olki katsotaan olevan viljan viljelyn jätettä tai sivutuotetta, jolloin viljelyn aiheuttamia päästöjä ei tarvitse sisällyttää sen elinkaaritarkasteluun. Sitä vastoin energiaviljojen kohdalla viljelyn kasvihuonekaasupäästöt on sisällytetty elinkaariarvioon, mikä kohottaa energiaviljojen päästöjä.

Biokaasu on elinkaaren aikaisten kasvihuonekaasupäästöjen osalta ylivoimaisesti paras tutkituista bioenergiamuodoista. Biokaasun valmistuksessa ja käytössä lannan sisältämä metaani muutetaan hiilidioksidiksi, joka on 20-60 kertaa metaania heikompi kasvihuonekaasu. Lisäksi energiantuotannossa biokaasu korvaa fossiilisia energiamuotoja vähentäen siten niiden kasvihuonekaasupäästöjä.

Bioenergian hiilidioksidin nettopäästöt poltossa ovat nolla, sillä niistä vapautuvan hiilen katsotaan sitoutuvan uuden biomassan kasvuun. Tämän vuoksi bioenergiälähteiden elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt ovat huomattavasti alhaisemmat kuin fossiilisten polttoaineiden. Korvattaessa fossiilisia polttoaineita bioenergiamuodoilla energiantuotannossa voidaan saavuttaa huomattavia kasvihuonekaasujen päästövähennyksiä.

Taulukossa 7.12 on esitetty bioenergiälähteiden kasvihuonekaasujen päästövähennyspotentiaaleja sähkön, lämmön ja yhdistetyssä sähkön ja lämmöntuotannossa korvattaessa niillä fossiilisia polttoaineita. Kaikissa näissä loppukäytön muodoissa (sähkö, lämpö ja CHP) bioenergioilla on mahdollista saavuttaa huomattavia kasvihuonekaasujen päästövähennyksiä.

*Taulukko 7.12. Energiantuotannon kasvihuonekaasupäästöt siirryttäessä fossiilisista polttoaineista bioenergiamuotoihin (Jungmeier 1999, Jungmeier & Spitzer 2001).*

	Bioenergiälähde	Hiilestä bioenergiamuotoihin	Maakaasusta bioenergiamuotoihin
		Päästövähennys	Päästövähennys
Lämmön tuotanto	olki	- 93 %	- 85 %
	rypsi	- 111 %	- 128 %
	energiaviljat	- 81 %	- 50 %
	biokaasu	-	- 300 %
Sähkön tuotanto	olki	- 96 %	-
CHP	olki	- 94 %	- 90 %
	rypsi (RME)	- 95 %	- 92 %

Liikennesektori on kasvihuonekaasupäästöjen osalta haasteellisin energiasektori. Bioenergiälähteet tarjoavat potentiaalisen keinon vähentää myös liikenteen hiilidioksidipäästöjä. Taulukossa 7.13 on esitetty kasvihuonekaasujen päästövähennyspotentiaalit siirryttäessä fossiilisista polttoaineista biokaasun tai biodieselin käyttöön.

*Taulukko 7.13 Liikenteen kasvihuonekaasujen päästövähennyspotentiaalit siirryttäessä fossiilisista polttoaineista bioenergiamuotoihin.*

Bioenergiälähde	Dieselistä bioenergiamuotoihin	Bensiinistä bioenergiamuotoihin
	Päästövähennys	Päästövähennys
biokaasu	- 95 %	- 96 %
RME	- 57 %	-

### 7.7.3. Muut ympäristövaikutukset

Bioenergiälähteillä on poikkeuksetta positiivinen vaikutus energiantuotannossa kasvihuonekaasujen päästövähennyksiin. Sen sijaan muiden ympäristövaikutusten osalta tulokset vaihtelevat runsaasti biopolttoaineesta, sen valmistustavasta, käytöstavasta ja käytön päästörajoitustekniikasta riippuen.

Jokaisella polttoaineella on poltossa tietyt luonteenomaiset päästökomponentit, joiden osalta päästöt ovat korkeat. Päästöjen yhteisvaikutuksen arvioinnissa eri päästökomponenttien painotuksella on suuri merkitys. Lämmitys- ja CHP-käytössä hiukkaspäästöt kasvavat siirryttäessä fossiilisista puuhun ja peltokasveihin, mutta

vähenevät biokaasuun siirryttäessä. Happamoittavissa päästöissä rikin oksidit vähenevät biopolttoaineisiin siirryttäessä, mutta typen oksidien päästöt kasvavat monilla biopolttoaineilla, esimerkiksi 1. sukupolven nestemäisillä biopolttoaineilla. Nestemäisillä biopolttoaineilla, varsinkin 1. sukupolven, NMVOCien päästöt voivat ylittää fossiilisten vastaavat, mutta PAH-päästöt ja muut aromaattisten hiilivetyjen päästöt – eli kaikkein myrkyllisimpien yhdisteiden päästöt – ovat kaikilla biopolttoaineilla alhaiset fossiilisiin verrattuna ja sen kautta niillä on positiivinen terveysvaikutus.

Jäteperäisillä biopolttoaineilla, kuten olki ja lanta, vähennetään maatalouden rehevöittämisvaikutusta. Myös siirryttäessä ruokatuotannosta energiakasvituotantoon rehevöitymisvaikutukset vähenevät. Mutta typen ja fosfaattien päästöistä aiheutuvat rehevöitymisvaikutukset lisääntyvät verrattuna fossiilisiin, mikäli siirrytään viljelemään maata, joka ei aiemmin ole ollut ruokakasviviljelyssä.

Parhaat ympäristövaikutukset saavutetaan siirryttäessä raakaöljypohjaisista polttoaineista jätöpohjaisiin kaasumaisiin biopolttoaineisiin vety, DME ja metaani. Jälkimmäisestä on esimerkkinä kuvan 7.8 olemassaoleva toteutus. Kyseessä on maatilakohtainen monituotantolaitos, jossa tuotetaan biokaasupohjaista metaania liikennepolttoainekäyttöön, lannoitteita, lämpöä ja sähköä sekä omaan käyttöön että myyntiin. Tämän laitoksen prosessikaavio liikennepolttoaineiden valmistusta lukuun ottamatta on esitetty kuvassa 5.1. CHP-yksikkö on kuvassa 2.4 ja ajoneuvo, jota varten liikennepolttoainetta tuotetaan, on kuvassa 3.2.



*Kuva 7.8. Monituotantolaitos Kalmarin maatilalla Laukaassa. Siellä valmistetaan liikennepolttoainetta (metaani), sähköä, lämpöä ja lannoitteita yhteismädätyksellä lannasta, teollisuusjätteistä, kasvijätteistä, ruokajätteistä ja energiakasveista. (Lampinen 2004b) [Lauri Jokela 2004]*

*Kirjainselitteet: A = navetta, B = navettalietteen välivarasto, C = oheismädätettävän jätteen välivarasto, D = jätteiden sekoitusallas, E = biokaasureaktori, F = CHP-yksikkö ja prosessin valvonta, G = liikennemetaanin puhdistus, H = mädätysjätteen varasto ja metaanin jälkikaasuuntumisallas*

## 8. MAATILOJEN ENERGIAHUOLLON TULEVAISUUDEN TIEKARTTA VUOTEEN 2050

Maatilojen energiahuollon kehittyminen tarkoittaa kahta asiaa:

- Omavaraisuuden lisääntyminen kaikkien energian käyttömuotojen suhteen: liikennepolttoaineet, työkoneiden polttoaineet, sähkö ja lämpö
- Teknologian kehittyminen: teknologisen diversiteetin kasvaminen ja teknologioiden hyötysuhde- ja päästöominaisuuksien parantuminen

Kansantalouden ja kansallisen huoltovarmuuden kannalta on tärkeää myös:

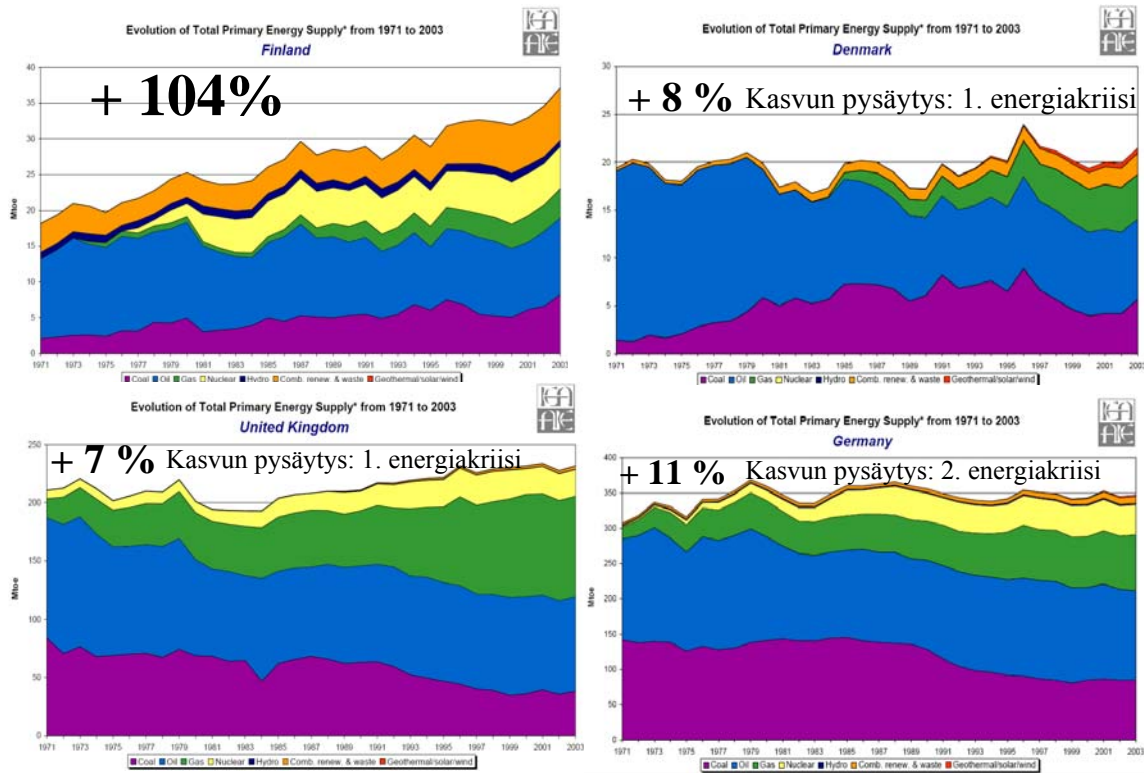
- Maatilojen yliomavaraisuus eli maatilojen energioresurssien ja energiatuotteiden saaminen markkinoille
- Teknologian omavaraisuuden lisääntyminen eli maatilakokoluokan teknologian paikallinen ja kansallinen liiketoiminta
- Ympäristön tilan parantaminen

Suomen maatiloilla on valtavat energioresurssit käytettävissään (Luku 2) yllä mainittujen tavoitteiden toteuttamiseksi olemassa olevalla teknologialla (Luvut 4-5) parantaen samalla ympäristön tilaa (Luvut 6-7). EU on luonut painetta kaikkien näiden tavoitteiden kehittämiseen (Luvut 1 ja 3), mutta Suomessa on toistaiseksi vallinnut voimakkaat ei-tekniset esteet, joiden seurauksena kehittyminen näiden tavoitteiden suhteen on ollut olematonta tai takaperoista (Luku 1, Ruostetsaari 1985, Massa ym. 1987, Salo 2006).

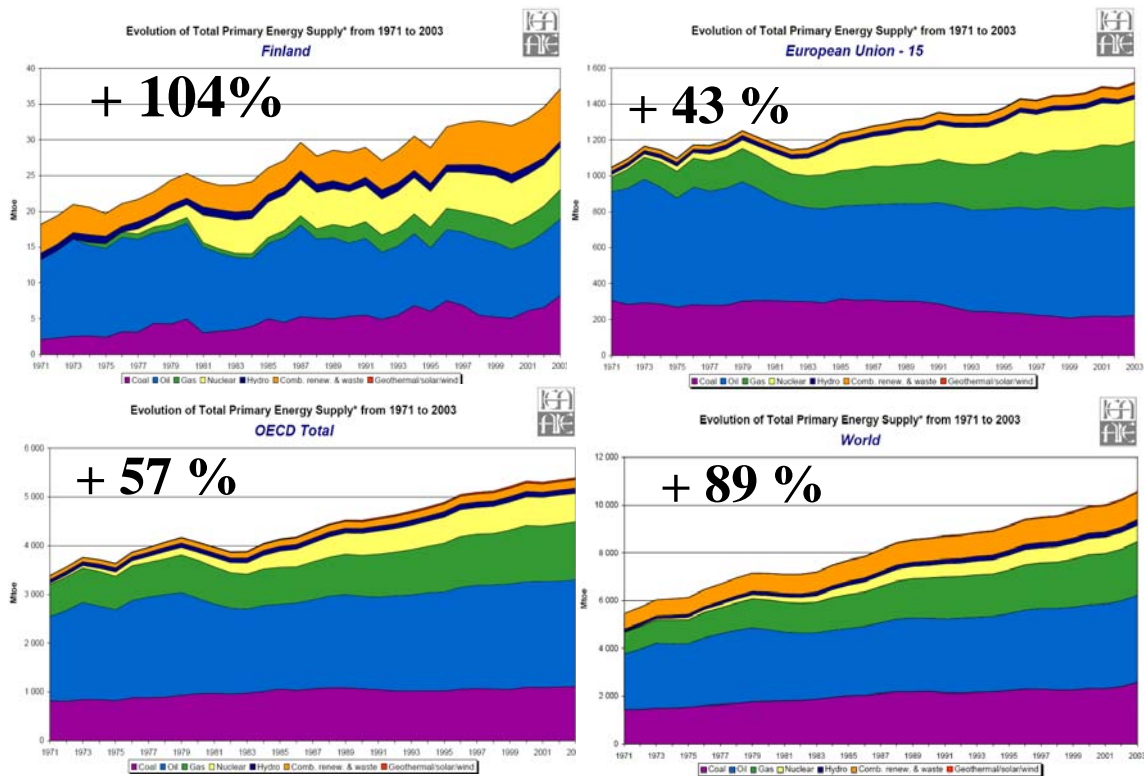
Toisaalta, kuten kuvat 8.1-4 kertovat, Suomen primäärienergian ja sähkön kulutuksen kasvu on ollut tavattoman voimakasta muihin teollisuusmaihin verrattuna ja myös maailman keskiarvoon verrattuna, samaan aikaan kun maatilojen energiaomavaraisuus on pudonnut lähelle nollaa. Energian kysynnän kasvu ei siis Suomen poliittisessa ympäristössä ole rohkaissut tarjontaa maatiloilta.

Eräät maat ovat pysäyttäneet kulutuksen kasvun jo vuosikymmeniä sitten, mutta Suomen ilmasto- ja energiastrategiassa (VN 2005) oletetaan, että Suomi ei pysty pysäyttämään kasvua pitkälläkään tähtäimellä. On syytä tulkita asia niin, että kyse on ainoastaan poliittisesta halusta olla pysäyttämättä sitä pitkälläkään tähtäimellä.

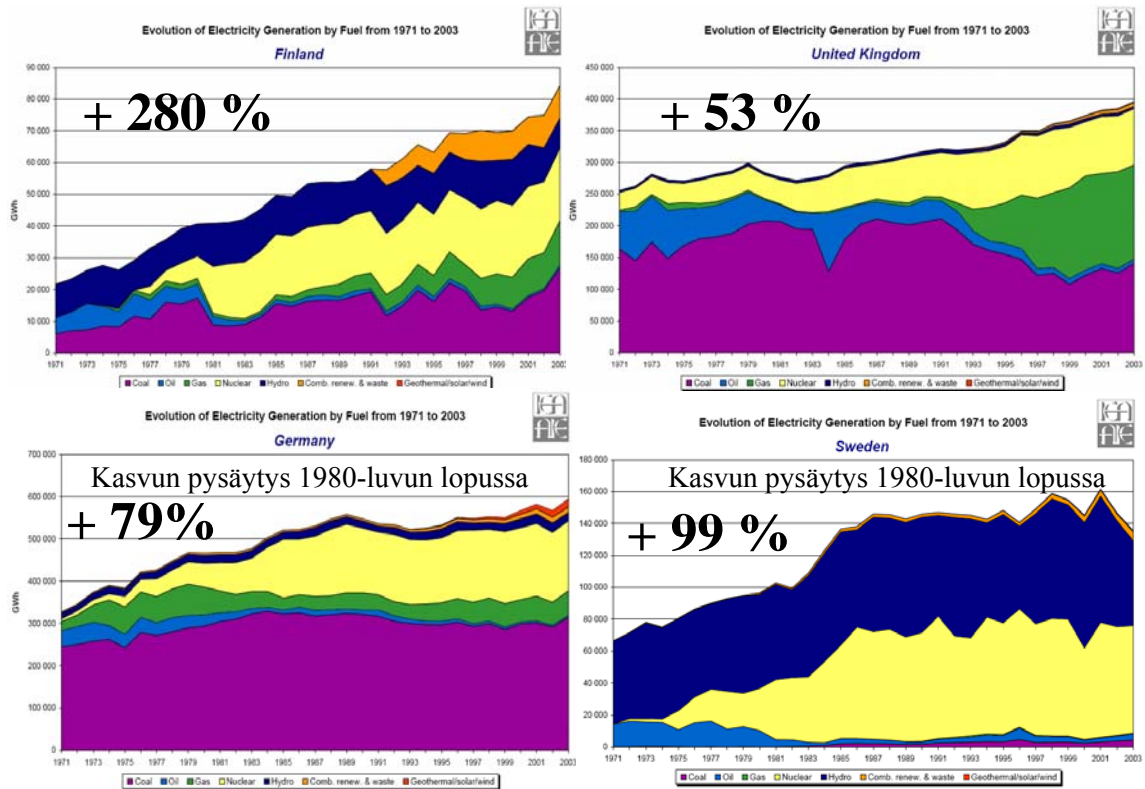
Tässä tiekartassa, joka ulottuu vuoteen 2050, oletetaan, että Suomen politiikka tulee muuttumaan. Suomi tulee seuraamaan muiden teollisuusmaiden esimerkkiä ja onnistuu pysäyttämään sekä primäärienergian että sähkön ja myös liikenteen energiankulutuksen kasvun. Maatilat ovat mukana energiatehokkuuden kehityksessä ja lisäksi luovat sähkön ja moottoripolttoaineiden tarjonnan, joiden avulla ne tulevat nousemaan merkittävään rooliin Suomen energiamarkkinoiden kehityksessä. Energiaa tuotetaan sekä maatilakohtaisesti että maatilojen yhteisissä tai useiden maatilojen resursseja hyödyntävissä keskitetyissä tuotantolaitoksissa.



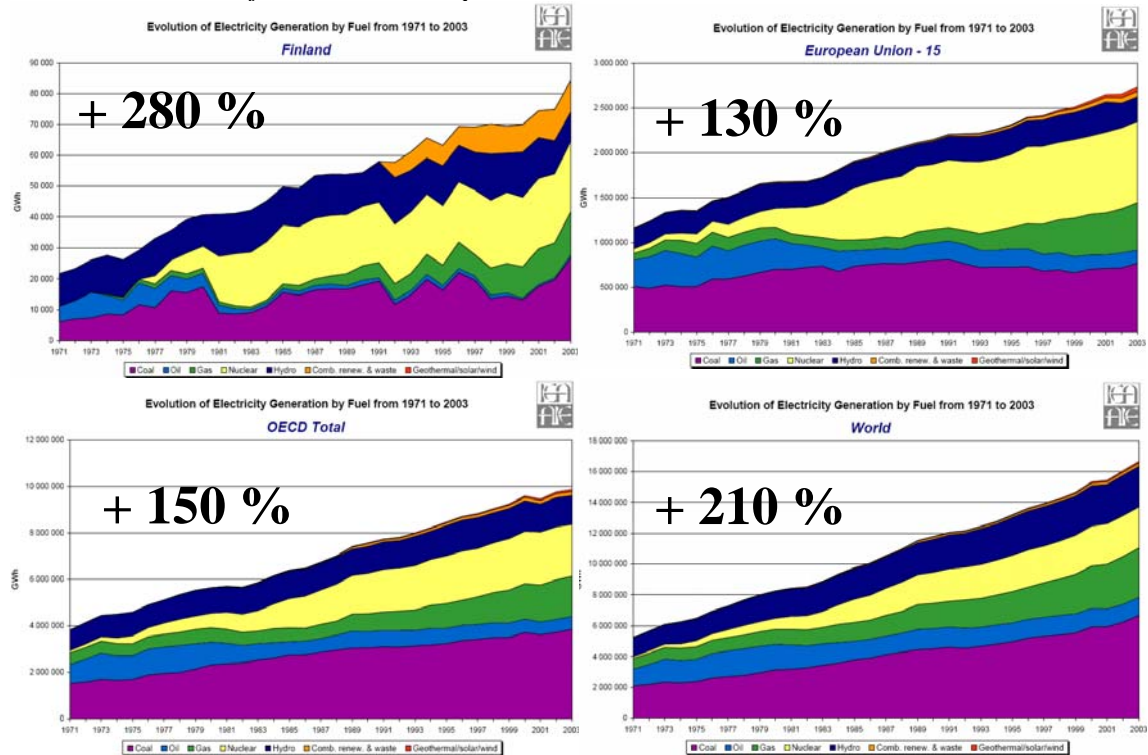
Kuva 8.1. Suomen, Tanskan, Englannin ja Saksan energiankulutus vuosina 1971-2003 OECD/IEA:n tietokannasta. Tanska, Englanti ja Saksa ovat pystyneet pysäyttämään energian kulutuksen kasvun jo 1970-luvulla.



Kuva 8.2. Suomen, EU-15:n, OECD:n ja maailman energiankulutus vuosina 1971-2003 OECD/IEA:n tietokannasta.



Kuva 8.3. Suomen, Englannin, Saksan ja Ruotsin sähkön kulutus vuosina 1971-2003 OECD/IEA:n tietokannasta. Saksa ja Ruotsi ovat pystyneet pysäyttämään sähkön kulutuksen kasvun jo 1980-luvun lopussa.



Kuva 8.4. Suomen, EU-15:n, OECD:n ja maailman sähkön kulutus vuosina 1971-2003 OECD/IEA:n tietokannasta.

Seuraavat tiekartat ovat skenaarioita, jotka on tehty oletuksella, että Suomen energia-, maatalous- ja ympäristöpolitiikassa pystytään saamaan aikaan trendin muutos vuoteen 2015 mennessä. Tällöin on olemassa edellytykset toteuttaa vuoteen 2050 mennessä täydellinen omavaraisuus kaikkien energiankäyttömuotojen suhteen tunnetuilla mutta edelleen kehittyvillä teknologioilla. Lisäksi merkittävä määrä maatiloja saavuttaa yliomavaraisuuden ja energian myynnistä tulee niille tärkeä elinkeino. Vuoden 2050 jälkeen voidaan yliomavaraisuutta nostaa edelleen merkittävästi. Eri teknologioiden suhteellisia osuuksia tapahtuvassa kehityksessä ei ole nähty tarpeelliseksi arvioida, vaan tavoitteena on suuri teknologinen diversiteetti ja keskimääräisten hyötysuhteiden jatkuva paraneminen. Kaikki skenaariot perustuvat ekologisen potentiaalin (Luku 2, Kuvat 2.11, 2.13 ja 2.14) hyväksikäyttöön ja kaikissa skenaarioissa vain osa ekologisesta potentiaalista hyödynnetään. Näitä skenaarioita on tarkoitettu kehittää edelleen meneillään olevassa ILMES-hankkeessa.

Bioenergian ekologinen potentiaali on 185 PJ ja turpeen 20 PJ eli maatalojen kemiallisten polttoaineiden ekologinen potentiaali on yhteensä 205 PJ primäärienergiaa (Luku 2). Sen ei tässä skenaariossa oleteta muuttuvan vuoteen 2050 mennessä. Sen käytön on arvioitu kehittyvän taulukon 8.1 mukaisesti nykyisestä 2,3 %:n tasosta 68 %:iin eli vielä vuonna 2050, kun kyseisillä resursseilla saavutetaan 220 %:n energiayliomavaraisuus, 32 % kemiallisten polttoaineiden ekologisesta potentiaalista on käyttämättä. Muiden energiaresurssien käyttö lisääntyy tarkastelujakson alussa hitaammin, mutta ne ovat paljon merkittävämpiä vuonna 2050.

*Taulukko 8.1. Maatilojen ekologisen bioenergia- ja turveresurssin käyttö 2004-2050. Perustilastotiedot ovat taulukosta L2.1.*

	<b>Moottori- polttoaineet*</b>	<b>Sähkö (kaikki CHP)</b>	<b>Lämpö**</b>	<b>Yhteensä</b>
<b>2004 (2,3 % ekologisesta potentiaalista)</b>				
- primäärienergia	0	0	4,8 PJ	4,8 PJ
- sekundäärienergia	0	0	4,3 PJ	4,3 PJ
- konversiohyötysuhde			90 %	
- maatilojen kulutus	19,3 PJ	9,5 PJ (2,6 TWh)	20,5 PJ	49,3 PJ
- omavaraisuus	0 %	0 %	23 %	9,7 %
<b>2010-luvun alku (21 % ekologisesta potentiaalista)</b>				
- primäärienergia	38 PJ	0,024 PJ	5,0 PJ	43 PJ
- sekundäärienergia	10 PJ	0,0036 PJ (1 GWh)	4,5 PJ	14,5 PJ
- konversiohyötysuhde	26 %	15 %	90 %	
- maatilojen kulutus	19,3 PJ	10 PJ (2,8 TWh)	21,7 PJ	51 PJ
- omavaraisuus	52 %	0,036 %	23 %	29 %
<b>2020-luvun alku (44 % ekologisesta potentiaalista)</b>				
- primäärienergia	45 PJ	44 PJ	1 PJ***	90 PJ
- sekundäärienergia	20 PJ	11 PJ (3 TWh)	22 PJ	53 PJ
- konversiohyötysuhde	44 %	25 %	CHP 50 %	
- maatilojen kulutus	20 PJ	11 PJ (3 TWh)	23 PJ	54 PJ
- omavaraisuus	100 %	100 %	100 %	100 %
<b>2050 (68 % ekologisesta potentiaalista)</b>				
- primäärienergia	70 PJ	70	0,01 PJ***	140 PJ
- sekundäärienergia	42 PJ	35 (9,7 TWh)	21	98 PJ
- konversiohyötysuhde	60 %	50 %	CHP 30 %	
- maatilojen kulutus	15 PJ	9 PJ (2,5 TWh)	21	45 PJ
- omavaraisuus	280 %	390 %	100 %	220 %
* sisältää myös kaikkien metsätalouskoneiden kulutuksen				
** poislukien sähkölämmitys, mitataan primäärienergiana, CHP-lämpö mukana				
*** erillislämmitys				



## 8.1. Liikenne- ja työkonepolttoainehuolto

Ajoneuvokanta uusiutuu erittäin nopeasti, paljon nopeammin kuin sähkön ja lämmön tuotannon laitekanta, ja siten liikennetekniikassa on mahdollista saavuttaa muutoksia nopeasti verrattuna muihin energian käyttömuotoihin. Suomessa autokannan keskimääräinen ikä on noin 10 vuotta eli noin 10 % autokannasta uusiutuu vuosittain. Se tarkoittaa, että biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien energiamuotojen käyttöä varten tehdyt uudistukset voivat levitä liikennetekniikassa erittäin nopeasti, mikäli niin halutaan. Kuvassa 8.5 on esimerkki bussimarkkinoilla saatavissa olevasta ja Ruotsissa jo käytössä olevasta energiatehokkuuden ja biopolttoaineiden käytön huipputekniikasta.



*Kuva 8.5. Uppsalan kaupunkiliikenteen biokaasu-hybridibussi kaupungin bussivarikolla biokaasutankkauksessa. Trollhättan aloitti ensimmäisenä Ruotsin kuntana biokaasun käytön paikallisbusseissa vuonna 1996. [2005]*

Ruotsi, Brasilia ja USA ovat esimerkkejä maista, joissa on muutaman viime vuoden aikana saavutettu suuri myyntiosuus polttoainejoustaville ajoneuvoille. Polttoainejoustavat ajoneuvot ovat sellaisia, jotka pystyvät käyttämään nykyisiä tavanomaisia fossiilisia polttoaineita, mutta niiden lisäksi biopolttoaineita puhtaina tai hyvin suurina osuuksina. Teknisesti joustavuuden lisääminen on erittäin halpaa valmistusvaiheessa: bensiinijoneuvojen etanoliosuuden käyttökyvyn nostaminen vähintään 85 %:iin tai dieselajoneuvoilla biodiesel-osuuden käyttökyvyn nostaminen 100 %:iin maksaa noin 100 euroa. Usein tällaiset FFV-ajoneuvot maksavat kuluttajille saman verran kuin tavalliset ajoneuvot ja usein kuluttajat eivät edes tiedä ajoneuvojensa polttoainejoustavuudesta. Metaanin käyttömahdollisuuden lisääminen maksaa enemmän, noin 3000 euroa, mutta se maksaa helposti itsensä takaisin, koska metaanikäyttöisten ajoneuvojen polttoainekulut ovat luokkaa 50 % bensiinijoneuvoja alemmat.

Esimerkkejä polttoainejoustavista ajoneuvoista ovat:

- E85/bensiini-FFV (Kansikuva ja Kuva 6.8),
- B100/diesel-FFV (Kuva 5.6),
- PPO100/B100/diesel-FFV (Kuva 5.5),
- CBG100/CNG100/bensiini-bifuel (Kuva 3.2)
- CBG100/CNG100/diesel-dualfuel (harvinainen), ja
- E100/M100/bensiini/CBG100/CNG100/CH<sub>2</sub>/hytaani-bifuel/FFV (Kuva 6.9).

Hyvinkin suuri joustavuus on teknisesti erittäin helppo ja halpa toteuttaa. Biopolttoaineiden käyttö mahdollistaa suuret suorituskyvyn parannukset nykyisissä moottorityypeissä (Taulukko 6.7) ja paljon mahdollisuuksia uusien moottorityyppien käyttöönottoon tulevaisuudessa. Myös jakeluasemien vaatimat uudistukset ovat helppoja toteuttaa (Kuva 8.10). Esimerkiksi Ruotsissa on jo nyt paljon jakeluasemia, joissa myydään tavallisten fossiilipolttoaineiden lisäksi useita biopolttoaineita (Taulukko 5.4, Kuva 5.7).

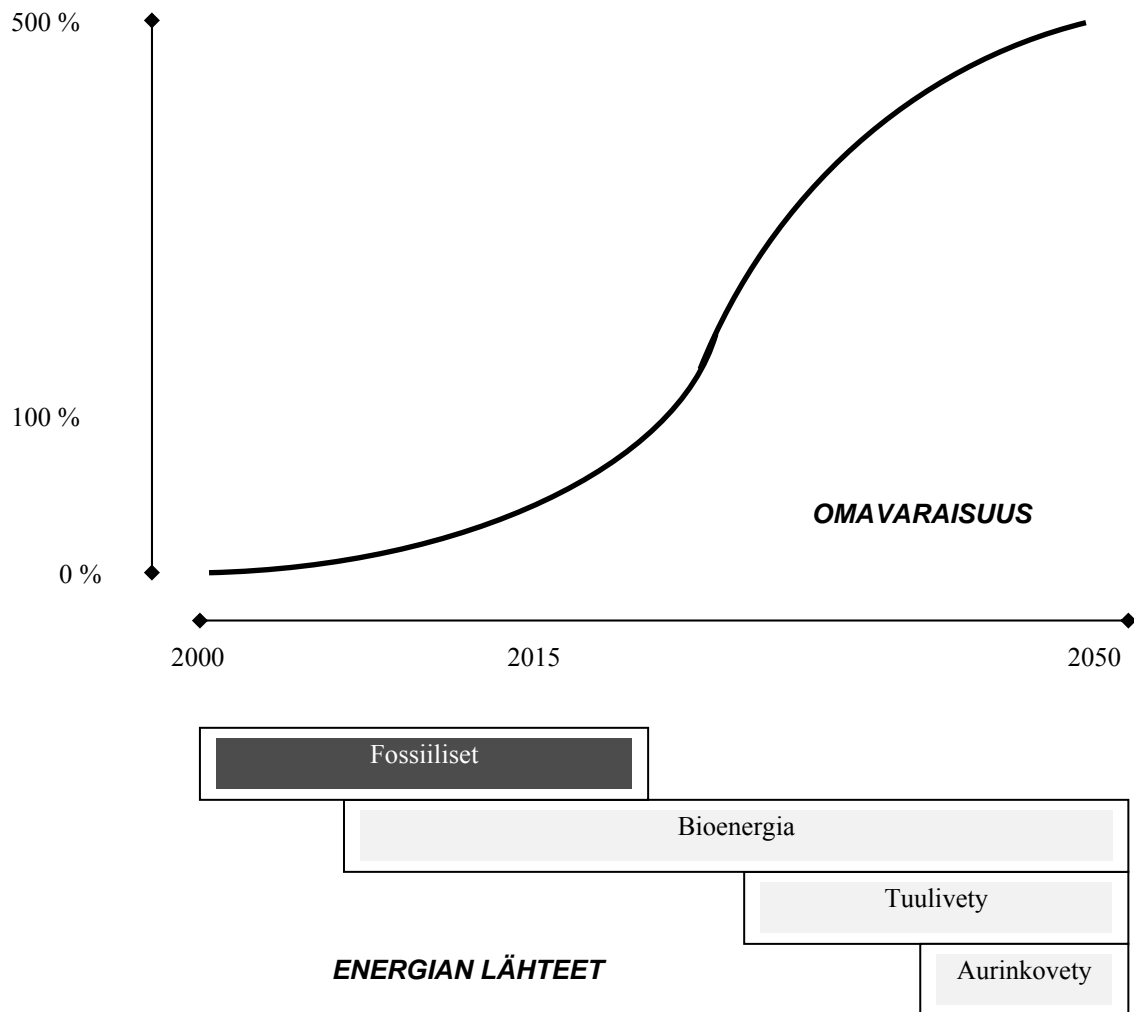
Oletuksena tässä tiekartassa on, että ei-tekniset esteet saadaan purettua liikenteen biopolttoaineiden käytön tieltä, ja siten markkinat polttoainejoustaville ajoneuvoille syntyvät muiden teollisuusmaiden tapaan myös Suomessa. Niiden avulla biopolttoaineiden osuutta liikenteen energiankulutuksesta saadaan jatkuvasti nostettua Suomen omilla resursseilla, joista maatilojen resurssit on helpointa ja nopeinta saada markkinoille. Jatkossa metsän omistajat tarjoavat vielä suuremman resurssin.

Liikenne- ja työkonepolttoainehuollon tiekartta on esitetty kuvassa 8.6. Liikennepolttoaineiden tuotanto lähtee liikkeelle nopeasti EU:n direktiivin ansiosta. Taulukossa 8.1 ilmoitettu 2010-luvun alun tuotanto vastaa MMM:n bioenergiaskenaariota taulukon 2.5 mukaisesti eli liikkeelle lähdetään siirtämällä Suomeen muissa maissa tavanomaiset peltokasviantolin ja RME:n tuotantotekniikka. Seuraavalla vuosikymmenellä otetaan merkittävään käyttöön lukuisia 2. sukupolven polttoaineteknologioita, mukaan lukien biokaasu ja synteettiset nesteet. Se johtaa konversiohyötysuhteen nousuun.

Maatilojen nykyisestä 0 % omavaraisuudesta päästään 100 % omavaraisuuteen 2020-luvun alkuun mennessä pelkästään bioenergialla ja suopeltojen turpeella (Taulukko 8.1). Vuoteen 2050 mennessä saavutetaan 500 % omavaraisuus, josta 220 % on peräisin UE-sähköllä, erityisesti tuulivoimaperäisellä, tuotetusta vedystä. Moottoripolttoaineiden tuotanto 100 PJ vuonna 2050 vastaa 61 %:a Suomen tieliikenteen nykyisestä kulutuksesta.

Fossiilisista polttoaineista luovutaan Ruotsin jälkeen 2020-luvulla ja biopolttoaineista muodostuu ylivoimaisesti tärkein työkoneiden ja liikenteen moottorien voimanlähde. Tuulivoiman avulla valmistettava vety tulee merkittäväksi vasta 2030-luvulla ja aurinkovety vasta 2040-luvulla. Maatilat ovat pääroolissa bioperäisten moottoripolttoaineiden tuotannon aloittamisessa, mutta jo 2010-luvulta alkaen maatiloja merkittävämpi moottoripolttoaineiden lähde ovat metsän omistajat. Heidän resurssiensa avulla Suomesta tulee merkittävä moottoripolttoaineiden nettoviejä erityisesti EU:n muihin jäsenvaltioihin.

## LIIKENNE- JA TYÖKONEPOLTTOAINEHUOLLON TIEKARTTA SUOMEN MAATILOILLA 2000 – 2050



Kuva 8.6. Keskimääräinen moottoripolttoaineomavaraisuus ja niiden valmistamisen käytetyt energialähteet Suomen maatiloilla ja maatilojen resursseilla keskitetyissä laitoksissa vuoteen 2050 asti. Moottoripolttoaineiden kokonaistuotanto vuonna 2050 on 100 PJ. Resurssien jakauma on taulukossa 8.1.

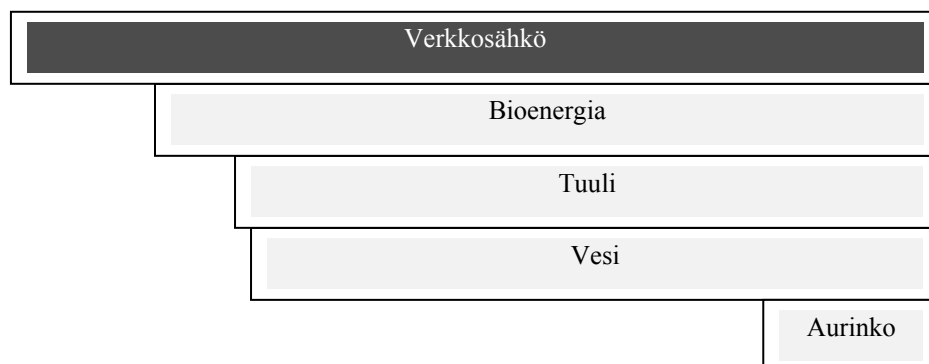
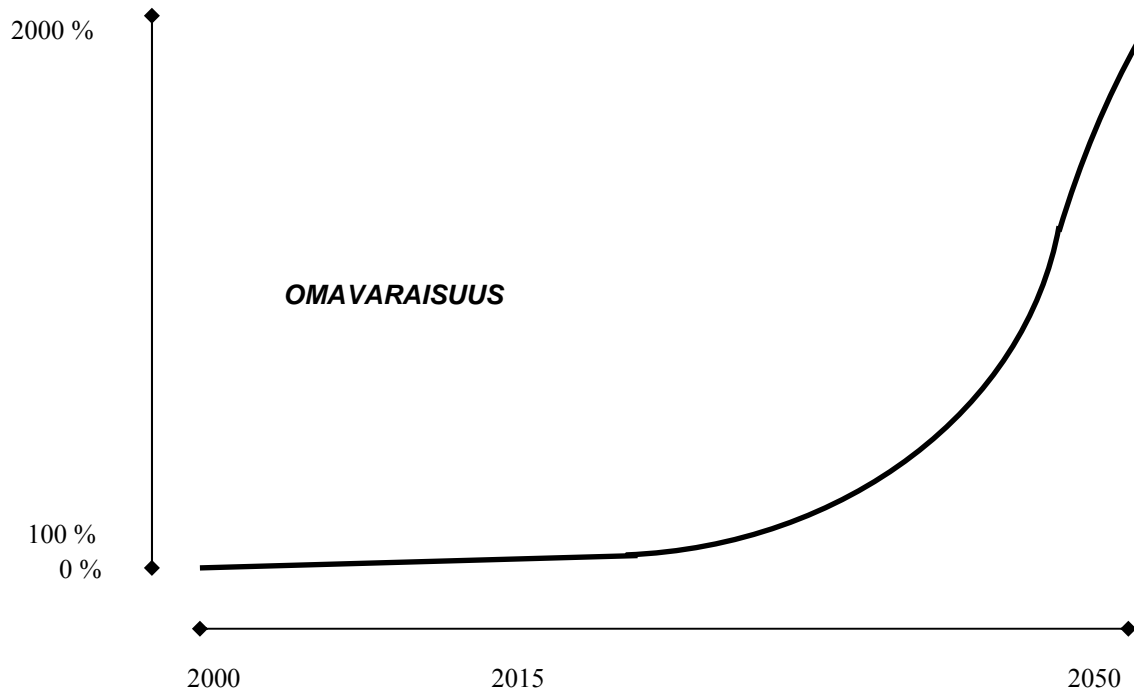
### 8.2. Sähköenergiahuolto

Sähköenergiahuollon tiekartta on esitetty kuvassa 8.7. Liikkeellelähtö on huomattavasti hitaampaa kuin moottoripolttoaineiden tuotannossa. Mutta nykyisestä 0 % omavaraisuudesta on mahdollista päästä 100 % omavaraisuuteen 2020-luvun alussa pelkästään bioenergian ja suopeltoturpeen resursseilla (Taulukko 8.1). Tuulivoimasta tulee merkittävä 2010-luvulla, joten 2020-luvun alussa saavutetaan jo yli 130 %:n omavaraisuus eli 4 TWh:n tuotanto, josta 1 TWh saadaan tuulella.

Tarkastelujakson jälkimmäisellä puoliskolla tuulivoima dominoi tuotantoa, mutta mikro- ja pienvesivoima sekä 2040-luvulla aurinkovoima osallistuvat myös. Vuoteen 2050 mennessä saavutetaan 2000 % omavaraisuus sähkön tuotannossa eli 50 TWh:n

vuosituotanto. Sen lisäksi sähköä tuotetaan 20 TWh käytettäväksi elektrolyysin avulla 80 %:n hyötysuhteella valmistamaan 58 PJ vetyä. Kokonaistuotanto vuonna 2050 on siten 70 TWh, joka on 5,8 % tuulivoiman ekologisesta potentiaalista tai 2,9 % tuuli-, aurinko- ja vesivoiman yhteenlasketusta ekologisesta potentiaalista. Vuosisadan jälkipuoliskolla tuotanto kasvaa edelleen voimakkaasti.

### SÄHKÖENERGIAHUOLLON TIEKARTTA SUOMEN MAATILOILLA 2000 – 2050



#### ENERGIAN LÄHTEET

Kuva 8.7. Keskimääräinen sähköenergiaomavaraisuus ja energialähteiden käyttö Suomen maataloilla vuoteen 2050 asti. Tuotanto vuonna 2050 on 50 TWh, jonka lisäksi tuotetaan 20 TWh vedyn valmistamiseksi moottoripolttoaineeksi (Kuva 8.6).

Verkkosähkön käyttöä vähennetään jatkuvasti ja vuoteen 2050 mennessä verkkosähkön rooleina ovat varavoima ja varasto: pelkästään keskeytyvää voimaa tuottavat maatilat käyttävät verkkoa virtuaalisena varastona. Sähköverkon tärkeimpänä roolina on toimia

myytävän sähkön välityskanavana. Maatilat muodostavat vuonna 2050 tärkeän osan koko Suomen sähköhuollosta ja vuosisadan jälkimmäisellä osalla maatalojen rooli vahvistuu edelleen. Vuoden 2050 tuotanto vastaa noin 57 %:a Suomen nykyisestä sähkön kulutuksesta.

Nykyään käytössä olevia fossiilienergiakäyttöisiä vara-aggregaatteja ei ole mainittu kuvassa 8.7. Kyseisen teknologian käytön tarve vähenee maatalojen oman sähköntuotannon myötä, mutta se ei katoa. Vara-aggregaatit tulevat kuitenkin käyttämään bioenergiaa voimanlähteenään.

Maatalojen sähköntuotantoteknologioista yleistyvät ensimmäisenä bioenergiamuotoja käyttävät, 2010-luvun alusta lähtien. Liikkeelle lähdetään biokaasuteknologiasta, joka jo nykyään on tarjolla Suomen markkinoilla. Teknologinen diversiteetti laajenee seuraavaksi nestemäisiä biopolttoaineita käyttäviin polttomootoreihin (IC-moottorit) ja mikroturbiineihin (IC-turbiinit). Sen jälkeen yleistyvät kiinteitä bioenergiamuotoja kaasutuksen kautta (IC-moottorit ja IC-turbiinit) tai suoraan (EC-moottorit ja EC-turbiinit) hyödyntävät teknologiat. Kaikki biosähkö tuotetaan CHP-laitoksissa ja monituotantolaitokset, joissa tuotetaan myös moottoripolttoaineita ja ei-energiatuotteita, yleistyvät biokaasuteknologiaa käyttäen 2010-luvulta alkaen. Maatalojen sähköenergiaomavaraisuuden luomisessa 2020-luvulle asti biosähkö on selvästi tärkein teknologia.

Tuulivoima alkaa yleistyä 2010-luvulla ja se tulee olemaan ylivoimaisesti tärkein tuotantomuoto 2020-luvulta lähtien, jolloin maatilat ovat sähkön suhteen yliomavaraisia. Mikrovesivoima otetaan uudelleen käyttöön 2010-luvulta alkaen, mutta sen potentiaali ei ole kovin suuri. Aurinkovoimatekniikka on kaikkein kalleinta sähkön tuotantotekniikkaa ja sen laajempi käyttöönotto tuskin tapahtuu ennen 2040-lukua. Sen jälkeen aurinkovoimalla on kaikkein suurin ekologinen kasvupotentiaali.

### **8.3. Lämpöenergiahuolto**

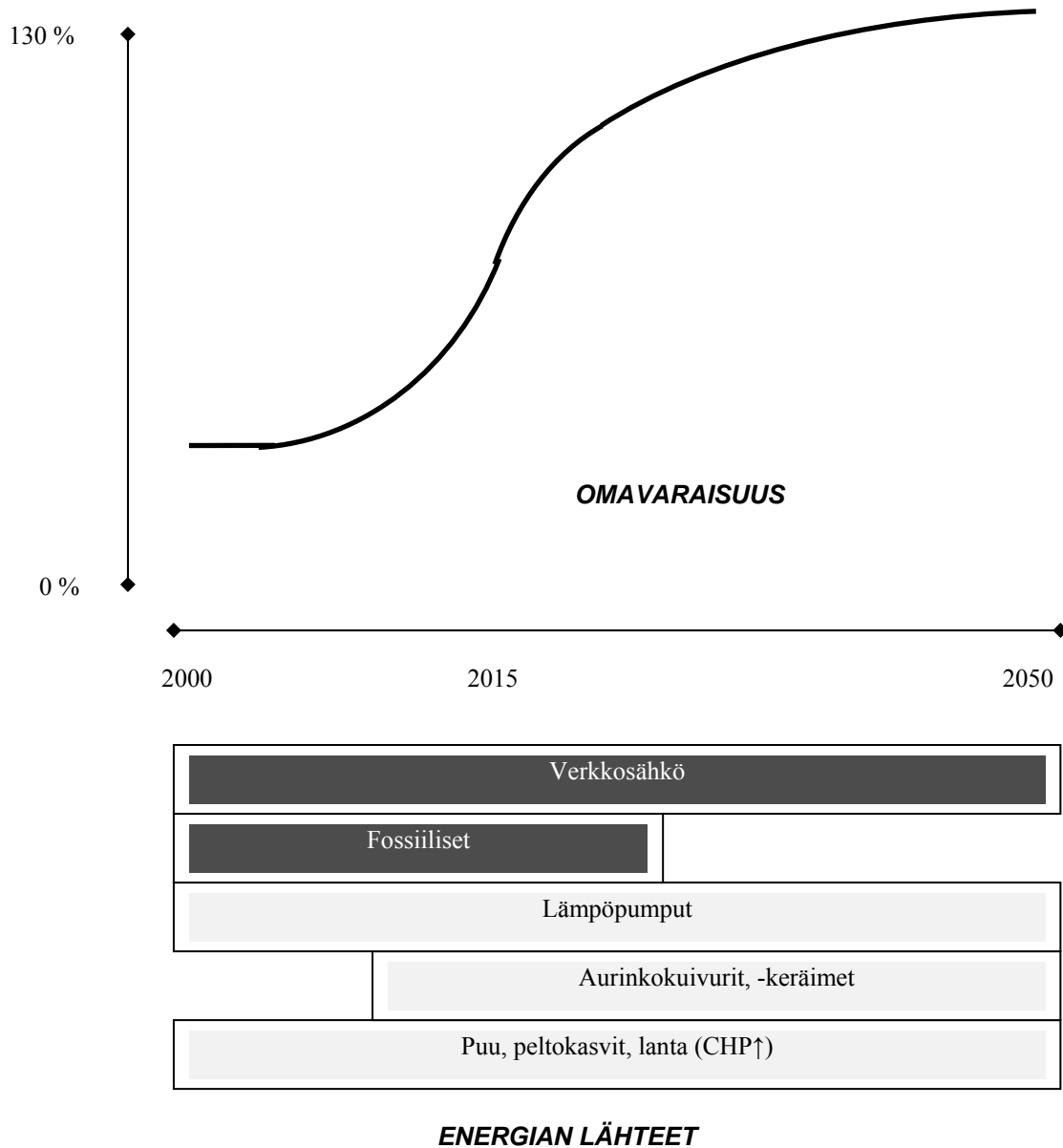
Lämpöenergiahuollon tiekartta on esitetty kuvassa 8.8. Nykyisestä runsaan 20 %:n omavaraisuudesta on mahdollista päästä täydelliseen omavaraisuuteen vuosien 2020-luvun alkuun mennessä pelkästään bioenergian ja suopeltoturpeen resursseilla ja lähes pelkästään CHP-sähköntuotannon yhteydessä saatavalla lämmöllä (Taulukko 8.1).

Kaukolämpöverkkojen hyödyntäminen haja-asutusalueilla tulee kasvamaan, mutta se tulee teknisistä syistä olemaan harvinaista edelleen vuonna 2050. Taajamien lähellä sijaitsevat maatilat pystyvät vuodesta 2015 alkaen syöttämään tuottamaansa lämpöä kaukolämpö- ja kaukokylmäverkkoihin, mutta kyseinen lämmön myynti yhteensä ei luultavasti ylitä 30 %:a maatalojen yhteisestä energian kulutuksesta vuonna 2050.

Fossiilisten polttoaineiden käyttöä alennetaan jatkuvasti ja lopetetaan kokonaan 2020-luvulla, joitakin vuosia Ruotsin jälkeen. Verkkosähkön käyttö suoraan sähkölämmitykseen lopetetaan 2010-luvulla ja varaavaan sähkölämmitykseen 2020-luvulla. Verkkosähköä käytetään lämpöpumpuihin 2040-luvulle asti ja varavoiman lähteenä myös vuoden 2050 jälkeen. Verkon tärkeimmäksi käyttötavaksi muodostuu kuitenkin itse tuotetun sähkön myyntikanavana toimiminen. Kaikki lämmitys tapahtuu

vesikiertoisesti ja matalalämpöisenä, jolloin termodynaamiset hyötysuhteet, varsinkin lämpöpumpuissa, saadaan maksimoitua.

### LÄMPÖENERGIAHUOLLON TIEKARTTA SUOMEN MAATILOILLA 2000 – 2050



Kuva 8.8. Keskimääräinen lämpöenergiaomavaraisuus ja energialähteiden käyttö lämmitykseen Suomen maatiloilla vuoteen 2050 asti. Kokonaistuotanto vuonna 2050 on luokkaa 27 PJ.

Lämpöpumppujen käyttö jatkuu ja kasvaa siten, että 2020-luvulta alkaen kaikki sähkölämmitys tapahtuu lämpöpumppujen avulla varavoimaa lukuunottamatta. Verkkosähkön käyttö tähän tarkoitukseen korvautuu 2040-luvulle tullessa täysin itse tuotetulla sähköllä. Lämmitysjärjestelmissä olevat lämpövaraajat (vesi-, faasimuutos- tai kemialliset varaajat) mahdollistavat keskeytyvän voimantuotannon energian varastoinnin, siis esimerkiksi tuulivoimakäyttöisten lämpöpumppujen. On myös

odotettavissa, että vuoteen 2050 mennessä bioenergiaa suoraan hyödyntävät – siis ei sähköä vaativat – lämpöpumput tulevat käyttöön.

Aurinkoenergian käyttö lisääntyy sekä aktiivisella että passiivisella tekniikalla. Aurinkokeräinkäyttöiset kylmäilmakuivurit tulevat vuodesta 2015 alkaen uudelleen ja entistä yleisempään käyttöön. Lisäksi aurinkokeräimet yleistyvät lämpimän käyttöveden ja tilalämmityksen tuotannossa. Myöhemmin, 2020-luvulta alkaen, aktiivinen aurinkolämpö tulee vähitellen käyttöön uusissa sovelluksissa kuten viilennysenergian tuotanto, veden puhdistus ja biokaasureaktorin lämmitys (jolloin vapautetaan metaania moottorikäyttöön). Aktiivisen aurinkoenergian käyttöaika lisätään kausivarastoinnin avulla ja pelloilla tuotetun aurinkolämmön myynti mahdollistuu kaukolämpöverkkojen kautta (kuten Ruotsissa tehdään jo nyt; Kuva 2.2).

Passiivisen aurinkolämmön käyttö rakennuksissa lisääntyy kiristyvien rakennusmääräysten avulla vuodesta 2008 alkaen, joten ulkoisen lämmitysenergian tarve rakennuksissa vähenee vuoteen 2050 mennessä keskimäärin neliometriä kohti 60 - 80 % nykyisestä tasosta.

Historiallisesti tärkeimmän lämpöenergian lähteen puun merkitys nousee jälleen nykyisestä lamasta ja sitä täydennetään maatalojen muilla bioenergiaressursseilla, erityisesti oljilla ja lannalla. Erillislämmitys säilyy kaikilla maataloilla varajärjestelmänä vuoteen 2050 ja sen jälkeenkin, mutta CHP-tekniikan osuus lämmön tuotannossa kasvaa siten, että vuonna 2050 yli 99 % biolämmöstä on CHP-lämpöä. Merkittävä osa CHP-laitoksista on samalla monituotantolaitoksia (polygeneration) (Kuva 7.8), joissa tuotetaan myös moottoripolttoaineita sekä lannoitteita, rehuja tai muita ei-energiatuotteita.

Kehityksen kärkenä on biokaasutekniikka, joka jo nyt on Suomessa monituotantokäytössä maatilakokoluokassa (Lampinen 2004b). Biokaasutekniikka yleistyy maataloilla jo 2010-luvun alussa. Kiinteän bioenergian käyttöön perustuvaa maatilakokoluokan CHP-tekniikkaa ei nykyään maataloilla ole lainkaan, joten sen yleistyminen alkaa vasta 2010-luvun lopulla.

#### **8.4. Tiekartan seuraaminen: alhaisen markkinapotentiaalin ongelman ratkaisun tarve**

Edellytys edellä esitetyn tiekartan seuraamiselle on uusien teknologioiden markkinapotentiaalin nostaminen.

Pääsääntöisesti markkinapotentiaali on energiateknologioiden ja energiaressurssien käytön alueilla huomattavasti taloudellista potentiaalia alempi. Toisin sanoen, esimerkiksi ilmastonmuutosta aiheuttavia päästöjä voidaan vähentää huomattavasti uusiutuvan energian käyttöä lisäämällä negatiivisin taloudellisin kustannuksin, mutta markkinat eivät pysty taloudellista potentiaalia hyödyntämään. Syitä löytyy kaikilta tasoilta, mutta eräs oleellinen on energiainvestointien kustannusanalyysikäytäntö.

Kuvassa 8.9 esitellään normaalin markkinaperusteisen ja kokonaistaloudellisen bioenergian käytön arvotukset, jotka kuvastavat bioenergian markkinapotentiaalin ja taloudellisen potentiaalin suurta eroa. Normaali nykykäytäntö maatalan

bioenergiaressurssin hyödyntämisen taloudelliseen arviointiin on laskea bioenergian lämmityskäytön arvo verrattuna halvimpaan markkinoilta saatavaan lämmitysvaihtoehtoon, joka on yleensä ollut öljy. Oman bioenergian lämmityskäyttö koetaan tällä laskentamallilla ”kannattavaksi”, kun öljy on tarpeeksi kallista – johtuen milloin mistäkin öljyn maailmanmarkkinahintojen vaihteluiden syistä. Kun öljyn hinta on alhaalla, päädytään arvioimaan oman bioenergiaressurssin käyttö ”kannattamattomaksi”. Tämä arviointitapa on vallitseva maataloilla, konsulttiyrityksissä ja –järjestöissä sekä valtion ja kuntien organisaatioissa. Lisäksi on normaalia jättää muut maatilan energiaressurssit huomiotta.

**Bioenergian nykyisen käytön markkinataloudellinen arvo:**

$$A = A_{\text{oma lämpö}}$$

**Bioenergian tehokkaan käytön kokonaistaloudellinen arvo:**

$$\begin{aligned} A = & A_{\text{oma lämpö}} + A_{\text{oma viilennys}} + A_{\text{oma sähkö}} + A_{\text{oma työkonepolttoaine}} \\ & + A_{\text{oma liikennepolttoaine}} + A_{\text{sivutuotteet omaan käyttöön}} + A_{\text{porttimaksut}} \\ & + A_{\text{myyty lämpö}} + A_{\text{myyty sähkö}} + A_{\text{myyty polttoaine}} + A_{\text{myydyt sivutuotteet}} + A_{\text{sertifikaatit}} \\ & + A_{\text{omavaraisuus}} + A_{\text{luotettavuus}} + A_{\text{laatu}} + A_{\text{joustavuus}} + A_{\text{imago}} \\ & + A_{\text{työllisyys}} + A_{\text{terveys}} + A_{\text{ympäristö}} \\ & + A_{\text{kunnalle}} + A_{\text{valtakunnalle}} \quad (\text{palautus maanviljelijälle!}) \end{aligned}$$

*Kuva 8.9. Maatilan bioenergian käytön arvo nykyisellä laskentatavalla (yllä) sekä kokonaistaloudellisella laskentatavalla (alla).*

Teknologinen ja taloudellinen potentiaali antavat mahdollisuuden maatilan bioenergiaressurssien huomattavasti tehokkaampaan hyödyntämiseen. Kaikkia bioresursseja - puu ja peltobiomassa sekä lanta ja muut biojätteet – voidaan hyödyntää lämmön (huonelämmitys, lämmin käyttövesi, viljan kuivaus) tuotannon lisäksi sähkön, viilennysenergian, työkonepolttoaineiden ja liikennepolttoaineiden tuotantoon sekä omaan käyttöön että myyntiin. Samalla voidaan itse hyödyntää tai myydä syntyviä sivutuotteita (kuten lannoitteet) ja saada lisätuloja muualta tulleiden jättepolttoaineiden (teollisuuden ja yhteiskunnan biojätteet) porttimaksuista. Kun tuotettua energiaa ja sivutuotteita käytetään omaan käyttöön, niillä korvataan ostettavaa energiaa ja muita tuotteita, jolloin niiden arvo on suurempi kuin myydyt energia ja sivutuotteiden. EU:n energiamarkkinoiden vapautuessa myytävän sähkön markkinat ovat EU:n laajuiset. Ja lisäksi voidaan tulevaisuudessa mahdollisesti myydä hiilidioksidisertifikaatteja ja vihreän sähkön sertifikaatteja.

Lisäarvoa tuo energiaomavaraisuus ja -yliomavaraisuus. Energiahuollon varmuus lisääntyy, sillä sähkökatkosten ja polttoaineiden jakelukatkosten riski poistuu. Energian laatua voidaan säätää halutulla tavalla ja joustavuus lisääntyy, sillä ostoennergian käytön lisäksi omaa energiantuotantoa voidaan hyödyntää silloin kun halutaan. Esimerkiksi myyntituotanto voidaan ajoittaa huippukuorman aikaan, jolloin hinta maksimoituu. Vastaavasti energiaa voidaan ostaa silloin kun se on erityisen halpaa. Imagoarvo nostaa sekä energian että muiden tuotteiden, myös ruokatuotteiden, myyntipotentialia.



Sekä kunta että valtakunta hyötyvät, koska oma tuotanto työllistää ja vähentää ympäristö- sekä terveysongelmia. Kunta hyötyy maatilojen energiantuotannosta sähkökatkosten ja polttoainetoimituskatkojen aikana, koska maatila voi korvata keskitettyä tuotantoa esimerkiksi syöttämällä sähköä alueen verkkoon. Valtakunta hyötyy energiaomavaraisuuden ja siten vaihtotaseen parantumisen kautta. Nämä valtakunnan ja kunnan saamat hyödyt pitäisi täysimittaisesti palauttaa maanviljelijöille.

Paikallisesti maatilalla ympäristö- ja terveysongelmat voivat sekä vähetä että lisääntyä. Eräs merkittävä paikallinen ympäristöongelma on hajuhaitta, joka vähenee energiakäytön myötä ja siten parantaa myös naapurien ympäristön tilaa. Myös eläinten terveysongelmat voivat vähetä ja tuottavuus lisääntyä, kun patogeenikiertoa vähennetään biokaasureaktoritekniikalla. Lisääntyvä bioenergian polttaminen voi puolestaan heikentää ilman laatua eräiden komponenttien suhteen, esimerkiksi pienhiukkaset, ellei käyttöön oteta näitä ongelmia varten kehitettyjä teknologisia ratkaisuja.

Mikäli maatilakokoluokan teknologia saadaan markkinoille, ne pääsevät hyödyntämään sarjavalmistusetua, joka antaa suurten laitosten skaalautua paljon suuremman potentiaalisen teknologian ja energian hintojen alentamiselle (Taulukko 5.2). Ilman poliittista ohjausta markkinapotentiaalinen nostamiseksi, sarjavalmistusetua ei päästä hyödyntämään ja taloudelliselta potentiaaliltaan kannattavimmat teknologiat jäävät käyttämättä.

Alhaisen markkinapotentiaalisen ongelma – eli taloudellisesti kannattavaa teknologiaa ei hyödynnetä - on selkeästi ministeriöiden tasolla ratkaistava ongelma. Tämä selvitys antaa pohjatietoa ongelman ratkaisutoimenpiteiden harkintaprosesseille, jotka voivat Suomessakin johtaa kuvan 8.10 kaltaiseen laadulliseen kasvuun.



*Kuva 8.10. Norrköpingissä Ruotsissa lisätään uusia polttoainesäiliöitä huoltoasemalle, jonka biopolttoainevalikoimaan kuuluvat paikallisesti tuotetut biojäte-CBG100, rypsi-B100 ja vilja-E85. Fossiilisista polttoaineista autoilijoille tarjotaan lähes aromaattisista yhdisteistä vapaata alkylaattibensiiniä, E5-bensiiniä ja B2-dieselöljyä. [2005]*

## LIITTEET

- LIITE 1: Maatilojen energiainnovaatioiden kronologia
- LIITE 2: Maatilojen nykyinen energiankulutus
- LIITE 3: YK:n rakenteellisen potentiaalianalyysin malli
- LIITE 4: Energiapotentiaalilaskelmia koskevat liitetaulukot
- LIITE 5: Ympäristövaikutuksia koskevat liitetaulukot
- LIITE 6: Uusiutuvien energialähteiden yhteiskunnallinen merkitys EU:n perspektiivistä
- LIITE 7: Bioenergiälähteiden ja niiden konversioprosessien luokittelu
- LIITE 8: Bioenergiatekniikat keskitetyissä laitoksissa
- LIITE 9: Liikennepolttoaineiden ominaisuuksia
- LIITE 10: YK:n päästökertoimet kemiallisten polttoaineiden hiilidioksidipäästöille

### **LIITE 1. Maatilojen energiainnovaatioiden kronologia**

Tiedot on koottu hyvin monesta eri lähteestä ja monet ovat epävarmoja. Päälähteet ovat Cleveland (2004), Smil (1991, 1994, 1999) ja Voitila & Vaarnas (1972). Kunkin primäärienergiamuodon 1. käyttö on alleviivattu. Keksijöiden nimet on kirjoitettu kursivilla.

#### **1) Esihistoriallinen aika 1: ennen maanviljelyksen aloittamista (keräilytalous)**

Energian kulutus per capita 8-20 MJ/d eli kulutusteho 90-230 W

- 3.000.000 – 2.000.000 eKr (Itä-Afrikka):
  - Bioenergia (ruoka): ihmisen aineenvaihdunnan hukkalämpö (tilalämmitys ja henkilökohtainen lämmitys, vaatetus ja huone-eristys)
  - Biovoima (ruoka): ihmisen lihasvoima (kivi- ja puutyökalujen valmistus ym.)
  - Passiivinen aurinkoenergia: luolissa katedraali-ilmiö (passiivinen tilalämmitys ja tilaviilennys)
- 500.000 - 250.000 eKr (Kiina, Itä-Afrikka)
  - Biomassa (puu ja muut kasvit): tulen teko ja kontrollointi avonuoiossa, puuhiilen (1. sekundääribiopolttoaine) valmistus (kiinteä arina; 1. polttotekniologia) (tilalämmitys, valaistus, ruoan valmistus ja käsittely)
- 40.000 eKr (Eurooppa)
  - Nestemäinen bioenergia: öljylamppu (eläinrasva, myöhemmin myös kasviöljyt ja mehiläisvaha)

#### **2) Esihistoriallinen aika 2: maanviljelytalous**

- Energian kulutus per capita 40-80 MJ/d eli kulutusteho 500-1000 W
- 10.000 eKr (Lähi-itä):
  - Passiivinen aurinkoenergia: fotosynteesi, lämmitys (viljan, muiden peltokasvien, rakennustiilien ja saviastioiden kuivaus)
  - Passiivinen tuulienergia: konvektio (viljan, rakennustiilien ja saviastioiden kuivaus)
  - Geoterminen energia: kuumien lähteiden käyttö kylpemiseen ja ruoanlaittoon (Anatolia/Turkki, Japani, Pohjois-Amerikka)
- 8000 – 4000 eKr (globaali) (karjatalous)
  - Biomassa (rehu): eläinten aineenvaihdunnan hukkalämpö (tilalämmitys)
  - Biovoima (rehu): eläinvoima, 6000 eKr alkaen
- 4000 – 3000 eKr
  - Kivihiihi: tilalämmitys ja ruoan valmistus, 4000 eKr (Kiina)
  - Tuulivoima: purjevene, 3500 eKr (Egypti)
  - Biomassa (ruoka ja rehu): pyörä ihmis- ja eläinvoiman välittäjänä, 3500 eKr (Mesopotamia/Syyria)

### 3) Historiallisen ajan alku: vanha aika

- 3000 – 2000 eKr
  - Raakaöljy (bitumi): tilalämmitys, valaistus 3000 eKr, jalostus lampuihin ja sisälämmitykseen 2200 eKr (Kiina)
  - Maakaasu: 3000 eKr (Lähi-itä)
  - Etanoli: valmistus fermentaatiolla elintarvikekäyttöön (olut) 2500 eKr (Egypti, Mesopotamia)
- 2000 – 1000 eKr
  - Vesivoima: vesiratas kasteluveden nostamiseen 2000 eKr (Kiina, Egypti)
  - Vesivoima: vesimylly 2000 eKr (Kreikka)
  - Tuulivoima: tuulimylly (pysty akselinen) 2000 eKr ? – 600 jKr (Persia)
  - Pyrolyysiöljy/bioöljy: puun pyrolyysi, mm. metanolia (balsamointikäyttöön) 2000 eKr (Egypti)
  - Vesivoima: pato kastelukäyttöön, 1800 eKr (Egypti)

*Vanhin säilynyt kirjoitus keinokastelun aiheuttamasta peltojen suolaantumisesta, 2000 eKr (Mesopotamia)*

- 1000 – 600 eKr
    - Kaasumainen bioenergia: biokaasu veden lämmitykseen 1000 eKr (Assyria)
  - 600 – 100 eKr (Kreikka)
    - Sähkö: staattinen sähkö (585 eKr, *Thales*)
    - Mäntöjen käyttö pumpuissa 240 eKr
- Vanhimmat säilyneet kirjoitukset puun energiakäytön, mekaanisen puunjalostusteollisuuden ja metalliteollisuuden aiheuttamasta metsätuhosta, 380 eKr (Platon, Kreikka)*
- 400 eKr – 0 (Rooma)
    - Biomassa: keskuslämmitys/lattialämmitys (ilmakiertoinen) 80 eKr
  - 0 – 400 jKr
    - Passiivinen aurinkoenergia: kasvihuone 37 jKr (Rooma)
    - Biovoima: höyryturbiini (reaktioturbiini, suihkumoottorin toimintaperiaate) 60 (*Heron, Alexandria*)
    - Turve: lämmitys, ruoanlaitto 77 (Rooma)
    - Passiivinen aurinkoenergia: täysin läpinäkyvä ikkuna, lämmön varastointi mustiin astioihin ja seiniin (tasokeräin) 150 (Rooma)
    - Vesivoima: vesisaha 300 (*Ausonius, Rooma*)

### 4) Keskiäika

- 400 – 1000
  - Vuorovesivoima: vuorovesimylly 700 (Irlanti)
- 1000-1500
  - Tuulivoima: vaaka-akselinen tuulimylly 1180 (Ranska)
  - Biokaasureaktori: Kiina 1200 (*Marco Polon* mukaan olivat olleet käytössä jo kauan)
  - Tuulivoima: vesipumppu 1300 (Hollanti)
  - Kaukolämpöjärjestelmä (geoterminen): 1300 (Chaudes-Aigues, Ranska)

### 5) Uusi aika

- 1500-luku
  - Tuulivoima: tuulisaha 1592 (Hollanti)
  - Öljynporaus: 1594 (Azerbaidžan)
- 1600-luku
  - Aurinkovoima: vesipumppu linssiteknikalla 1615 (*de Caux, Ranska*)
  - Puhtaan metanolin tuottaminen puusta pyrolyysillä: 1661 (*Boyle, Englanti*) (Egypti 2000 eKr)
  - Kiinteän polttoaineen kaasutus, kaupunkikaasu (kivihiili): 1680 (*Becher, Saksa*)
  - Höyrykone ja mäntämoottorin periaate: höyrykone vesipumpuna 1690 (*Papin, Ranska*),

*Maatalouden energeettinen tuottavuus (sadon energiasisältö/viljelykseen käytettävä energia) suurimmillaan, noin 20. Se on nyttemmin tehoviljelyssä pudonnut 70-90 %.*

- 1700-luku (**teollinen vallankumous**)  
Energian kulutus per capita 250-1000 MJ/d eli kulutusteho 3000-12.000 W

- Vesikiertoinen keskuslämmitys: kasvihuoneen lämmitys, Newcastle 1716 (*Triewald*, Ruotsi)
- Passiivinen aurinkoenergia: ruoanvalmistus, laatikkoaurinkokeitin, tasoaurinkokeräin 1767 (*Saussure*, Sveitsi)
- Vesivoimapumppu: vesioinas 1796 (*Montgolfier*, Ranska)
- Uudet lämpövoimakoneet
  - Toimiva teollisuushöyrykone: 1769 (*Watt*, Englanti)
  - Kaasuturbiini: 1791 (*Barber*, Englanti)
- Auto: höyryauto 1769 (*Cugnot*, Ranska)
- Vesiturbiini: 1775 (*Girard*, Ranska)
- Höyrymylly: 1784 (*Smeaton*, Englanti)
- Puimakone: 1786 (*Meikle*, Skotlanti)
- Kaupunkikaasuvalo: 1784 (*Minkeler*, Leuven, Belgia)
- Etanolikäyttöinen moottori: 1797 (*Cartwright*, Englanti)
- Kaasumoottori: 1799 kaupunkikaasulla (*Leban*, Ranska)
- Sähköakku: 1799 (*Volta*, Italia)

## 6) Uusin aika

- 1800-luku
  - Paineilmaa käyttävä moottori: 1805 (*Midhurst*, Englanti)
  - Uudet lämpövoimakoneet 1807-
    - Polttomoottori (internal combustion engine) (vetykäyttöinen): 1807 (*Rivaz*, Sveitsi)
    - Stirling-moottori: 1816 (*Stirling*, Skotlanti)
    - Otto-moottori (4-tahti): 1876 (*Otto*, Saksa) (kaupunkikaasu); otto-moottori nestemäisellä polttoaineella 1883 (*Daimler*, *Maybach*, Saksa); bioenergiakäyttöinen otto-moottori (etanoli) 1897 (*Otto*, Saksa)
    - 2-tahtimoottori: 1878 (*Clerk*, Skotlanti)
    - Moderni höyryturbiini: 1883 (*Laval*, Ruotsi); 1884 (*Parsons*, Englanti)
    - Diesel-moottori: 1893 (*Diesel*, Saksa) (kasviöljy: pähkinäöljy)
  - Sähkötekniikka 1821-
    - Sähkömoottori: 1821 (*Faraday*, Englanti), moderni 1888 (*Tesla*, Serbia/USA)
    - Moderni sähkögeneraattori: 1831 (*Faraday*, Englanti) (*Gueriche*, Saksa, 1663)
    - Lyijyakku: 1859 (*Plante*, Ranska)
    - Kuivaparisto: 1868 (*Leclanche*, Ranska)
    - Pitkän matkan sähkönsiirto: 1884 (*Tesla*, Serbia/USA)
  - Moderni vesiturbiini: 1823 (*Fourneyron*, Ranska), 1847 (*Francis*, USA), 1880 (*Pelton*, USA), 1913 (*Kaplan*, Itävalta)
  - Biomassakaasutin (updraft) polttoaineen (puukaasu) valmistamiseksi (häkäpönttö): kaupallinen 1830 (Englanti) (puukaasun polttomoottorikäyttö, 1881)
  - Koneellinen jäähdytys 1834
    - Kompressorijäähdytin (väliaine eetteri): 1834 (*Perkins*, USA)
    - Absorptiojäähdytin: 1850 (*Carre*, Ranska)
  - Uudet liikennevälineet 1837-
    - Sähköauto: 1837 (*Davidson*, Skotlanti)
    - Moottoripyörä: 1885 (*Daimler*, Saksa)
    - Polttomoottorikäyttöinen auto: 1885 (*Benz*, Saksa)
    - Hybridiauto (sähkö/bensiini): 1897 (*Entz*, USA)
  - Polttokenno: 1839 (*Grove*, Englanti), toimiva käytännöllinen kenno 1932-59 (*Bacon*, Englanti)
  - Leikkuupuumuri: 1845 (*Ridley*, Australia)
  - Lämpöpumppu (kompressori): 1851 (*Kelvin*, Englanti)
  - Biodieselin valmistus: 1853 (*Duffy*, *Patrick*)
  - Kaupallinen öljyn poraus ja tuotanto; öljyteollisuuden synty: 1854 (Puola), 1859 (*Drake*, USA)
  - Puun hydrolyysi sokeriksi/puuetanoli: 1855 (*Melsens*, Ranska)
  - Moderni biokaasureaktori (metaanin valaistuskäyttö): 1859 (Intia)

- Aurinkoenergia 1860-
  - Aurinkoterminen voimakone (höyrykone mekaaniseen työhön, paraboloidipeili): 1860-72 (*Mouchout, Pifre*, Ranska; *Ericsson*, Ruotsi)
  - Aurinkotislain juomaveden tuottamiseen suolavedestä (Chilessä): 1874 (*Wilson*, Ruotsi)
  - PV-aurinkokenno: selenium-kenno 1873-76 (*Smith, May, Adams, Day*, Englanti) (piikkenno, *Chapin, Fuller, Pearson*, USA 1954)
  - Aurinkokeräin lämpimän käyttöveden tuottamiseen: 1891 (*Kemp*, USA)
- Polttoainepuristeet (hiilibriketti): 1870 (USA)
- Lypsykone: 1878 (*Baldwin*, USA)
- Kaupallinen sähkövoimalaitos 1882-
  - Höyrykone: 1882 (*Edison*, Lontoo, Englanti ja New York, USA)
  - Vesivoima: 1882 (Appleton, Wisconsin, USA)
  - Höyryturbiini: 1888 (Newcastle, Englanti)
  - Tuulivoima: 1891 (*la Cour*, Tanska); tuulisähköturbiini 1888 (*Brush*, USA)
- 1900-luku
  - Traktori: 1904 (*Holt*, USA) Otto-moottorilla (Diesel-traktori 1931)
  - Kiinteän polttoaineen nesteytys 1913-
    - Bergius-synteesi (suora nesteytys vedyllä, hydrogenation): 1913 (*Bergius*, Saksa, kemian Nobel 1931)
    - FT-synteesi (epäsuora nesteytys): 1923 (*Fischer, Tropsch*, Saksa, Tšekki)
    - Suora nesteytys höyryllä: 1926 (*Fischer, Tropsch*, Saksa, Tšekki)
    - Bergius-synteesi biomassalla: 1927 (*Lindblad*, Ruotsi)
  - Gasoholin (etanolin ja bensiinin seos) käyttö ajoneuvoissa: 1920- (*Ford* ym.), 1930-l USA:ssa yli 2000 gasoholia myyvää asemaa
  - Uudet lämpövoimakoneet 1926-
    - Wankel-moottori: 1929 (*Wankel*, Saksa) (höyrykiertomäntämoottori 1700-l)
    - ORC-turbiini (Organic Rankine Cycle): 1961 (*Tabor*, Israel)
  - Katalyyttinen öljyn krakkaus, 1936 => korkeaoktaaninen bensiini => otto-moottorin puristussuhteen nosto 4:stä 10:een (krakkaus 1913)
  - Mikroaaltouuni: 1947 (*Raytheon*, USA)
  - Maalämpöpumppu: 1948 (*Nielsen*, USA)
  - Polttokennoajoneuvo: 1959, traktori 20 hv (*Ihrig*, USA)

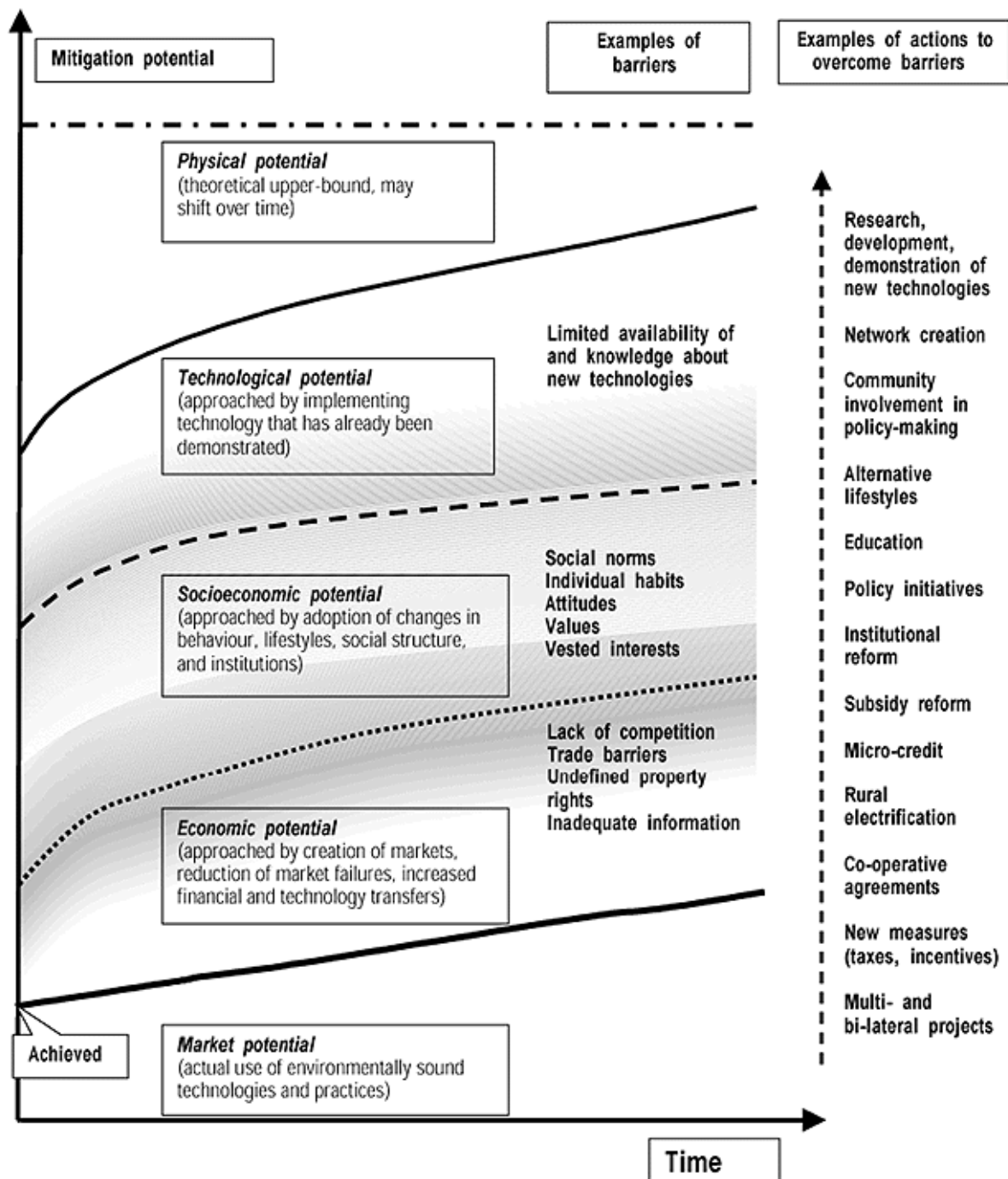
## LIITE 2. Maatilojen nykyinen energiankulutus

Taulukko L2.1. Energian kulutus maatiloilla Suomessa vuonna 2004 [PJ]. Merkintä "≈0" tarkoittaa, että kyseistä energialähdettä varmuudella käytetään kyseiseen tarkoitukseen, mutta määrällisesti erittäin vähän muihin verrattuna. Metsätaloustalouksien kulutus sisältää Suomen kaikki metsätaloustalouksia, ei ainoastaan maayilojen omistuksessa olevissa metsissä käytettävät. Lähteet: Tilastokeskus 2005b (taulukot 1.9.3, 2.1, 2.2, 2.5, 6.3 ja 8.1), Kuittinen ym. 2005, Tilastokeskus 2006b, KTM 1999

Ener- gian lähde	Lämpöenergia passiivista aurinko- ja tuulienergiaa sekä aineenvaihdunnan hukkalämpöä lukuun ottamatta [PJ]				Mekaaninen energia ajoneuvokäyttöä* ja lihasvoimaa lukuun ottamatta [PJ]				YHT. [PJ]
	Rakennus- ten tila- lämmitys ja lämmin käyttövesi	Kasvi- huo- neet	Kui- vurit	Lämpö yht.	Maa- talous- koneet	Metsä- talous- koneet	Muu mekaa- ninen (sähkö)	Mekaa- ninen yht.	Kaikki yht.
Kevyt poltto- öljy	5,2	1,6	4,3	11,1 48 %	9,3	3,6		12,9 64 %	24 55 %
Raskas poltto- öljy	1,1	2,1		3,1 13 %				0	3,1 7 %
Bensiini				0	?	?		0,38 2 %	0,38 1 %
Maa- kaasu	0,11	0,50		0,61 3 %				0	0,61 1 %
Turve	0,53			0,53 2 %				0	0,53 1 %
Puu	4,8			4,8 21 %				0	4,8 11 %
Pelto- kasvit				≈0				0	≈0
Bio- kaasu	0,004		≈0	0,004			0,001	0,001	0,004
Aurinko energia	0,01		0,001	0,01			≈0	≈0	0,01
Tuuli- voima	≈0			≈0			≈0	≈0	≈0
Vesi- voima				0			≈0	≈0	≈0
Kauko- lämpö	0,40			0,40 2 %				0	0,40 1 %
Verkko- sähkö	2,7			2,7 12 %			6,8	6,8 34 %	9,5 22 %
YHT:	14,9			23,2				20,1	43,3
<b>YHT. (myös liikenne)*</b>	<b>14,9</b>			<b>23,2</b>				<b>26,1*</b>	<b>49,3</b>

\* Liikenteen energian kulutukseksi arvioidaan 6 PJ olettaen 70.000 maatilalle keskimäärin 30.000 km diesel-ajoa keskikulutuksella 8 l/100 km (eli 86,4 GJ/maatila)

**LIITE 3. YK:n rakenteellisen potentiaalianalyysin malli  
ilmastonmuutosta hillitsevien teknologioiden käyttöönnotolle  
(IPCC 2001, 329)**



## LIITE 4. Energiapotentiaalilaskelmia koskevat liitetaulukot

- L4.1: Energian kulutus Suomessa ja maailmassa
- L4.2: Maatilojen maankäyttö maakunnittain
- L4.3: Auringonsäteilyn keskimääräinen intensiteetti Suomessa
- L4.4: Maatilojen vuosittainen fysikaalinen aurinkoenergiaresurssi maakunnittain
- L4.5: Maatilojen muut vuosittaiset aurinkoenergiapotentiaalit maakunnittain
- L4.6: Maatilojen vuosittaiset bioenergiapotentiaalit maakunnittain
- L4.7: Eräiden energiantuotantoon sopivien kasvien energiasatoarvioita
- L4.8: Maatilojen vuosittaisia bioenergiapotentiaaleja koko Suomessa
- L4.9: Maatilojen vuosittaiset geotermisen energian potentiaalit maakunnittain
- L4.10: Maatilojen vuosittaiset tuulienergian potentiaalit maakunnittain

Taulukko L4.1. Energian kulutus Suomessa ja maailmassa. Lähteet: IEA (2004, 2005), Tilastokeskus (2005b), Taulukko L2.1

Alue	Primäärienergian kulutus [PJ]	Uusiutuvan energian kulutus [PJ]	Sähkön kulutus [TWh]	Uusiutuvilla tuotetun sähkön kulutus [TWh]
Maailma	440 000 (2003)	58 000 (2002) 13 %	17 000 (2003)	3 000 (2003) 18 %
OECD	230 000 (2003)	13 000 (2002) 6 %	9 900 (2003)	1 400 (2002) 14 %
EU25	72 000 (2003)	4 300 (2003) 6 %	2 600 (2003)	430 (2003) 17 %
Suomi	1 500 (2004)	370 (2004) 25 %	87 (2004)	25 (2004) 29 %
Suomen maatilat	50 (2004)	4,8 (2004) 10 %	2,6 (2004)	omatuotanto ≈0 (2004)



Taulukko L4.2. Maatilojen maankäyttölajit maakunnittain kesällä 2004 [ha]  
(Tilastokeskus 2005a/taulukko 112).

Maakunta	Peltoala	Peltoa viljeltyinä	Käytössä oleva luonnonniitty ja -laidun	Metsämaa	Muu maa	Yhteensä
Uusimaa	119 069	118 465	1 261	118 220	28 792	<b>267 342</b>
Itä-Uusimaa	66 709	66 514	310	65 372	10 371	<b>142 763</b>
Varsinais-Suomi	293 183	292 357	2 055	213 709	75 671	<b>584 618</b>
Satakunta	156 050	155 604	700	170 741	43 969	<b>371 461</b>
Kanta-Häme	105 467	105 090	308	116 750	16 609	<b>239 134</b>
Pirkanmaa	151 481	150 684	967	232 134	38 700	<b>423 282</b>
Päijät-Häme	83 078	82 785	404	112 183	13 969	<b>209 634</b>
Kymenlaakso	84 842	84 540	184	101 160	16 204	<b>202 390</b>
Etelä-Karjala	55 938	55 693	124	88 978	12 066	<b>157 106</b>
Etelä-Savo	73 172	72 408	940	228 839	27 413	<b>330 364</b>
Pohjois-Savo	143 061	141 935	858	290 977	38 403	<b>473 299</b>
Pohjois-Karjala	87 784	87 209	481	160 192	24 474	<b>272 930</b>
Keski-Suomi	92 391	91 638	594	235 166	31 723	<b>359 873</b>
Etelä-Pohjanmaa	242 126	241 426	232	273 294	103 985	<b>619 636</b>
Pohjanmaa	137 065	136 644	746	163 987	43 218	<b>345 016</b>
Keski-Pohjanmaa	56 349	56 197	172	94 404	47 115	<b>198 040</b>
Pohjois-Pohjanmaa	208 884	208 015	2 634	332 945	188 690	<b>733 152</b>
Kainuu	29 865	29 615	252	96 798	36 727	<b>163 642</b>
Lappi	42 940	42 461	799	206 089	151 409	<b>401 237</b>
Ahvenanmaa	13 962	13 794	5 758	19 647	16 691	<b>56 059</b>
<b>Yhteensä</b>	<b>2 243 416</b>	<b>2 233 074</b>	<b>19 780</b>	<b>3 321 585</b>	<b>966 198</b>	<b>6 550 979</b>

Taulukko L4.3. Auringonsäteilyn kuukausittainen ja vuosittainen keski-intensiteetti [ $W/m^2$ ] vaakatasolle vuosina 1961-1990 Ilmatieteen laitoksen havaintoasemilla pohjoisesta etelään (Venäläinen 1994, muokattu).

Asema (maakunta)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII
Utsjoki (Lappi)	0	15	71	149	194	198	182	119	61	21	2	0	84
Enontekiö (Lappi)	0	14	69	147	212	228	199	130	69	20	1	0	91
Ivalo (Lappi)	0	15	67	145	172	200	184	122	64	17	1	0	82
Muonio (Lappi)	1	19	67	139	200	229	209	139	68	21	1	0	91
Sodankylä (Lappi)	2	21	72	153	199	220	204	137	72	25	5	0	92
Salla (Lappi)	1	19	66	139	191	221	204	135	66	21	2	0	89
Pello (Lappi)	1	21	71	144	207	240	212	144	72	23	2	0	95
Rovaniemi (Lappi)	1	21	72	148	190	226	208	141	74	23	3	0	92
Kuusamo (P-Pohjanmaa)	2	21	67	139	197	223	205	137	68	22	3	0	90
Kemi (Lappi)	3	27	75	152	203	237	222	153	81	27	7	0	99
Pudasjärvi (P-Pohjanmaa)	2	20	65	135	201	231	212	139	67	22	3	0	92
Oulu (P-Pohjanmaa)	3	27	80	154	209	244	226	155	86	30	7	0	102
Suomussalmi (Kainuu)	2	23	68	141	196	225	206	138	69	23	3	0	91
Kajaani (Kainuu)	5	29	81	152	205	234	221	154	82	28	7	0	100
Nivala (Pohjois-Pohjanmaa)	5	29	75	144	207	242	220	152	79	29	6	1	99
Kruunupyy (Keski-Pohjanmaa)	6	32	86	157	219	253	229	166	91	35	9	1	107
Valassaaret (Pohjanmaa)	6	32	81	155	218	253	234	168	93	36	9	1	107
Vaasa (Pohjanmaa)	7	34	83	155	218	253	228	166	90	36	10	2	107
Viitasaari (Keski-Suomi)	5	29	75	140	200	228	206	135	73	29	6	1	94
Kuopio (Pohjois-Savo)	7	32	83	153	212	241	225	157	86	32	9	2	103
Kauhava (Etelä-Pohjanmaa)	6	30	78	146	208	243	219	154	81	32	7	2	101
Ähtäri (Etelä-Pohjanmaa)	6	31	78	146	204	230	209	146	76	31	7	2	97
Ilomantsi (Pohjois-Karjala)	7	32	82	148	214	241	227	156	83	31	7	2	103
Joensuu (Pohjois-Karjala)	8	35	84	152	207	233	220	156	86	32	10	2	102
Jyväskylä (Keski-Suomi)	9	35	84	147	205	236	212	154	84	37	10	5	102
Kankaanpää (Satakunta)	7	31	76	142	204	234	205	148	80	34	9	2	98
Kuorevesi (Pirkanmaa)	8	35	83	152	216	249	226	163	86	35	9	3	105
Pori (Satakunta)	10	38	93	156	219	251	225	167	93	41	14	5	109
Lappeenranta (Etelä-Karjala)	10	39	89	154	214	240	220	167	93	38	13	5	107
Lahti (Päijät-Häme)	9	37	84	152	216	243	216	160	88	37	10	5	105
Utti (Kymenlaakso)	12	42	90	154	216	240	221	168	93	41	14	6	108
Jokioinen (Kanta-Häme)	10	36	90	148	211	242	215	162	91	41	13	6	105
Turku (Varsinais-Suomi)	13	42	91	150	215	250	220	171	97	44	16	7	110
Vantaa (Uusimaa)	12	37	88	148	218	250	222	167	94	43	13	6	108
Kotka (Kymenlaakso)	14	43	94	155	222	251	233	175	98	44	15	7	113
Maarianhamina (Ahvenanmaa)	14	44	94	156	228	260	235	176	102	49	17	7	115
Utö (Ahvenanmaa)	14	43	95	153	227	265	235	183	105	47	17	7	116

Taulukko L4.4. Maatilojen vuosittainen fysikaalinen aurinkoenergiaresurssi maakunnittain (Taulukko L4.2) perustuen vuosien 1961-1990 keski-intensiteettiin (Taulukko L4.3).

Maakunta	Maatilojen pinta-ala [ha]	Säteilyn intensiteetti [W/m <sup>2</sup> ]	Säteilyn energia vuodessa [GJ/ha]	Kokonais-energia vuodessa [PJ]	Kokonais-energia vuodessa [TWh]
Uusimaa	267 342	108	34 060	9 100	2 500
Itä-Uusimaa	142 763	108	34 060	4 900	1 400
Varsinais-Suomi	584 618	110	34 690	20 000	5 600
Satakunta	371 461	104	32 800	12 000	3 400
Kanta-Häme	239 134	105	33 110	7 900	2 200
Pirkanmaa	423 282	105	33 110	14 000	3 900
Päijät-Häme	209 634	105	33 110	6 900	1 900
Kymenlaakso	202 390	111	35 000	7 100	2 000
Etelä-Karjala	157 106	107	33 740	5 300	1 500
Etelä-Savo	330 364	104	32 800	11 000	3 000
Pohjois-Savo	473 299	103	32 480	15 000	4 300
Pohjois-Karjala	272 930	102	32 170	8 800	2 400
Keski-Suomi	359 873	100	31 540	11 000	3 200
Etelä-Pohjanmaa	619 636	101	31 850	20 000	5 500
Pohjanmaa	345 016	107	33 740	12 000	3 200
Keski-Pohjanmaa	198 040	107	33 740	6 700	1 900
Pohjois-Pohjanmaa	733 152	96	30 270	22 000	6 200
Kainuu	163 642	96	30 270	5 000	1 400
Lappi	401 237	91	28 700	12 000	3 200
Ahvenanmaa	56 059	115	36 270	2 000	560
<b>Yhteensä</b>	<b>6 550 979</b>	<b>103</b>	<b>32 300</b>	<b>210 000</b>	<b>59 000</b>

Taulukko L4.5. Maatilojen vuosittaiset aurinkoenergiapotentiaalit maakunnittain perustuen taulukon L4.4 fysikaalisiin potentiaaleihin.

Maakunta	Tekninen potentiaali: lämpö [PJ]	Tekninen potentiaali: sähkö [TWh]	Ekologinen potentiaali: lämpö [PJ]/sähkö[TWh]	Sosiaalinen potentiaali: lämpö [PJ]/sähkö[TWh]	Taloudellinen potentiaali v. 2006: lämpö [PJ]/sähkö [TWh]	Markkina-potentiaali 2006: lämpö/sähkö
Uusimaa	6 400	500	640 / 50	>0	>0	>0
Itä-Uusimaa	3 400	280	340 / 28	>0	>0	>0
Varsinais-Suomi	14 000	1 100	1 400 / 110	>0	>0	>0
Satakunta	8 400	680	840 / 68	>0	>0	>0
Kanta-Häme	5 500	440	550 / 44	>0	>0	>0
Pirkanmaa	9 800	780	980 / 78	>0	>0	>0
Päijät-Häme	4 800	380	480 / 38	>0	>0	>0
Kymenlaakso	5 000	400	500 / 40	>0	>0	>0
Etelä-Karjala	3 700	300	370 / 30	>0	>0	>0
Etelä-Savo	7 700	600	770 / 60	>0	>0	>0
Pohjois-Savo	11 000	860	1 100 / 86	>0	>0	>0
Pohjois-Karjala	6 200	480	620 / 48	>0	>0	>0
Keski-Suomi	7 700	640	770 / 64	>0	>0	>0
Etelä-Pohjanmaa	13 000	1 100	1 300 / 110	>0	>0	>0
Pohjanmaa	8 400	640	840 / 64	>0	>0	>0
Keski-Pohjanmaa	4 700	380	470 / 38	>0	>0	>0
Pohjois-Pohjanmaa	15 000	1 200	1 500 / 120	>0	>0	>0
Kainuu	3 500	280	250 / 28	>0	>0	>0
Lappi	8 400	640	840 / 64	>0	>0	>0
Ahvenanmaa	1 400	110	140 / 11	>0	>0	>0
<b>Yhteensä</b>	<b>150 000</b>	<b>12 000</b>	<b>15 000/1200</b>	<b>2,1 / 0,12</b>	<b>9,7 / &gt;0</b>	<b>0,02 / 0</b>

Taulukko L4.6. Maatilojen vuosittaiset teoreettiset bioenergiapotentiaalit maakunnittain perustuen taulukon L4.4 fysikaalisiin potentiaaleihin. Nämä ovat aurinkoenergiapotentiaaleille vaihtoehtoisia eli eivät voi toteutua niiden kanssa yhtä aikaa. Kemialliset potentiaalit lämmölle, sähkölle ja liikennepolttoaineille ovat keskenään vaihtoehtoisia, eivätkä voi toteutua yhtä aikaa – pois lukien CHP-lämmön hyväksikäyttö, jota ei ole tässä taulukoitu.

Maakunta	Biologinen potentiaali: primääri-energia [PJ]	Maatalous-tekologinen potentiaali: primääri [PJ]	Tekninen netto-potentiaali: [GJ/ha]	Kemiallinen potentiaali: lämpö [PJ]	Kemiallinen potentiaali: sähkö [TWh]	Kemiallinen potentiaali: liikennepolttoaineet [PJ]
Uusimaa	303	73	170	41	7,2	33
Itä-Uusimaa	163	39	170	22	3,9	18
Varsinais-Suomi	667	160	173	90	15,8	72
Satakunta	400	96	164	54	9,5	43
Kanta-Häme	263	63	166	36	6,3	28
Pirkanmaa	467	112	166	63	11,1	50
Päijät-Häme	230	55	166	31	5,5	25
Kymenlaakso	237	57	175	32	5,6	25
Etelä-Karjala	177	42	169	24	4,2	19
Etelä-Savo	367	88	164	50	8,7	39
Pohjois-Savo	500	120	162	68	11,9	54
Pohjois-Karjala	293	70	161	40	7,0	31
Keski-Suomi	367	88	158	50	8,7	39
Etelä-Pohjanmaa	660	158	159	90	15,8	72
Pohjanmaa	400	96	169	54	9,5	43
Keski-Pohjanmaa	223	54	169	30	5,3	24
Pohjois-Pohjanmaa	733	176	151	99	17,4	79
Kainuu	167	40	151	23	4,0	18
Lappi	400	96	143	54	9,5	43
Ahvenanmaa	67	16	181	9	1,6	7
<b>Yhteensä</b>	<b>7 080</b>	<b>1 700</b>	<b>162</b>	<b>945</b>	<b>166</b>	<b>751</b>

Taulukko L4.7. Eräiden energiantuotantoon sopivien kasvien energiasatoarvioita. Päälähteinä on käytetty TIKEä (2003, 2005a-b, 2006a-b) ja Alakangasta (2000), mutta osa on saatu tai arvioitu useiden muiden lähteiden avulla. Epävarmuustekijöistä on sisällytetty mukaan maakunnalliset erot vuosina 2002-2005. Ruokohelpin osalta vuoden 2005 hehtaarisatona on käytetty MTT:n arviota (Pahkala ym. 2005) ja energiasadon vaihteluväli on peräisin MTT:n ja VAPON kasvatuskokeista (Lindh ym. 2001).

Kasvi	Energiasisältö (LHV) kuiva-aineessa [GJ/t]	Hehtaarisato 2005 (arvioitu kosteus-% suluissa) [t/ha]	Sadon vaihteluväli maakunnissa	Energiasato (LHV) [GJ/ha]	Viljelyala 2005 [ha]
Ohran jyvä	17	3,54 (13%)	2,3-4,1	34-61	594 000
Kauran jyvä	17	3,11 (13%)	2,4-3,5	35-52	345 400
Vehnän jyvä	17,0	3,73 (13%)	0,5-4,3	7-64	214 800
Rukiin jyvä	17	2,29 (13%)	0,4-3,3	6-49	14 200
Ohran olki	17,4	4,60 (15%)	2-5	30-74	594 000
Kauran olki	16,7	4,35 (15%)	2-5	28-71	345 400
Vehnän olki	17,8	4 (15%)	0,5-6	8-91	214 800
Rukiin olki	17,0	4 (15%)	0,4-6	6-87	14 200
Rypsin siemen	26,4	1,38 (8%)	0-1,8	0-44	72 600
Rapsin siemen	26	1,46 (8%)	0-2,3	0-55	3 900
Rypsin olki	18,7	2 (15%)	0-2,5	0-40	72 600
Rapsin olki	17,6	2 (15%)	0-3,1	0-46	3 900
Sokerijuurikas	16,6	37,9 (75%)	0-47	0-190	31 200
Sokerijuurikkaan naatit	16	38 (87%)	0-50	0-100	31 200
Nurmet					648 400
- Säilörehu		17,4	13 - 21		426 700
- Kuivaheinät	16,3	3,53 (15%)	2,1-4,6	29-64	107 100
- Ruokohelppi	17,5	6-8 (0%)	3,5-14	61-240	10 200

Taulukko L4.8. Maatilojen vuosittaisia bioenergiapotentiaaleja vuonna 2006 koko Suomessa ja vertailuna maatilojen kulutus vuonna 2004 (Taulukko L2.1). Liikennepolttoaineen, sähkön ja lämmön potentiaalit ovat keskenään vaihtoehtoisia, eivätkä voi toteutua yhtä aikaa, mutta sähkön ja polttoaineiden tuotannossa syntyvä hukkalämpö on käytettävissä lämmitykseen.

Potentiaaliluokka	Liikenne- ja työkonepolttoaineet [PJ]	Sähkö [TWh]	Lämpö [PJ]
Kemiallinen	751	166	945
Ekologinen	93	13	167
Sosiaalinen	18	2,7	15
Taloudellinen	21	1,3	23
Markkina	> 0	> 0	15
Maatilojen kulutus 2004	19,3	2,6	23,2

Taulukko L4.9. Maatilojen vuosittaiset geotermisen energian potentiaalit maakunnittain.

Maakunta	Maatilojen pinta-ala Suomen pinta-alasta [%]	Fysikaalinen potentiaali [PJ]	Tekninen potentiaali [PJ]	Ekologinen potentiaali: sähkö [TWh]	Sosiaalinen, taloudellinen ja markkina-potentiaali 2006
Uusimaa	0,79	2 700 000	98	6,8	0
Itä-Uusimaa	0,42	1 500 000	52	3,6	0
Varsinais-Suomi	1,73	6 000 000	210	15	0
Satakunta	1,10	3 800 000	140	9,7	0
Kanta-Häme	0,71	2 500 000	88	6,1	0
Pirkanmaa	1,25	4 300 000	160	11	0
Päijät-Häme	0,62	2 200 000	77	5,3	0
Kymenlaakso	0,60	2 100 000	74	5,1	0
Etelä-Karjala	0,46	1 600 000	57	4,0	0
Etelä-Savo	0,98	3 400 000	120	8,3	0
Pohjois-Savo	1,40	4 900 000	170	12	0
Pohjois-Karjala	0,81	2 800 000	100	6,9	0
Keski-Suomi	1,07	3 700 000	130	9,0	0
Etelä-Pohjanmaa	1,83	6 400 000	230	16	0
Pohjanmaa	1,02	3 500 000	130	9,0	0
Keski-Pohjanmaa	0,59	2 000 000	73	5,1	0
Pohjois-Pohjanmaa	2,17	7 500 000	270	19	0
Kainuu	0,49	1 700 000	61	4,2	0
Lappi	1,19	4 100 000	150	10	0
Ahvenanmaa	0,17	590 000	21	1,5	0
<b>Yhteensä</b>	<b>19,38</b>	<b>67 000 000</b>	<b>2 400</b>	<b>170</b>	<b>0</b>

Taulukko L4.10. Maatilojen vuosittaiset tuulienergian potentiaalit maakunnittain.

Maakunta	Fysikaalinen potentiaali [PJ]	Tekninen ja ekologinen potentiaali: sähkö [TWh]	Sosiaalinen potentiaali: sähkö [TWh]	Markkina-potentiaali 2006
Uusimaa	740	48	1,4	0
Itä-Uusimaa	390	26	0,8	0
Varsinais-Suomi	1600	110	3,1	0
Satakunta	1000	67	2,0	0
Kanta-Häme	670	43	1,3	0
Pirkanmaa	1200	76	2,3	0
Päijät-Häme	580	38	1,1	0
Kymenlaakso	560	36	1,1	0
Etelä-Karjala	430	28	0,8	0
Etelä-Savo	920	59	1,8	0
Pohjois-Savo	1300	85	2,5	0
Pohjois-Karjala	760	49	1,5	0
Keski-Suomi	1000	65	1,9	0
Etelä-Pohjanmaa	1700	110	3,3	0
Pohjanmaa	960	44	1,8	0
Keski-Pohjanmaa	550	36	1,1	0
Pohjois-Pohjanmaa	2000	130	3,9	0
Kainuu	460	30	0,9	0
Lappi	1100	72	2,1	0
Ahvenanmaa	160	10	0,3	0
<b>Yhteensä</b>	<b>18 000</b>	<b>1 200</b>	<b>35</b>	<b>0</b>



## LIITE 5. Ympäristövaikutuksia koskevat liitetaulukot

- L5.1: Sähköntuotantomuotojen elinkaaren pinta-alan tarve (huom. arvoihin tulee suhtautua varauksella, koska kaikkia pinta-alaa vieviä vaikutuksia ei ole mukana)
- L5.2: Sähköntuotantomuotojen energieettiset takaisinmaksusuhteet (elinaikana tuotetun sähkön määrä verrattuna teknologian rakentamisessa ja ylläpidossa vaadittuun energiamäärään)
- L5.3: Sähkön kulutus ja päästöt Suomessa vuonna 2004
- L5.4: Rakennusten lämmitysenergian kulutus ja päästöt Suomessa vuonna 2004
- L5.5: Tieliikenteen energian kulutus ja päästöt Suomessa vuonna 2004

Taulukko L5.1. Sähköntuotantomuotojen pinta-alan tarve. Lähteet: Boyle ym. (2003, 557), Gagnon ym. (2002), Elliott (1998, 1.122) ja omat laskelmat.

Sähköntuotantomuoto	Pinta-alan tarve 1 TWh:n vuotuista sähköntuotantoa varten [km <sup>2</sup> ]
Bioenergia: energiakasvit	533 – 2200
Bioenergia: jätteet	< 1
Vesivoima: tekoaltaallinen	< 200
Vesivoima: tekoaltaaton	< 1
Tuulivoima: pieni turbiinikoko ja turbiinien välinen maa-alue luettu mukaan	< 110
Tuulivoima: suuri turbiinikoko ja vain jalustat, huoltorakennukset ja –tiet luettu mukaan	< 0,3
Aurinkopaneelit (PV): paneelien välinen alue luettu mukaan	3,2 – 45
Aurinkopaneelit (PV): vain paneelien jalustat luettu mukaan	< 0,5
Hiilivoima	3,6 – 4
Ydinvoima	0,5
Geoterminen voima	0,4

Taulukko L5.2. Sähköntuotantomuodoille tyypilliset energieettiset takaisinmaksusuhteet. Lähteet: Boyle ym. (2003, 559) ja Gagnon ym. (2002).

Sähköntuotantomuoto	Tuotettu energiamäärä / laitoksen rakentamisen ja ylläpidon vaatima energia
Bioenergia: energiakasvit	5
Bioenergia: sahausjätteet	27
Vesivoima: tekoaltaallinen	205
Vesivoima: tekoaltaaton	267
Tuulivoima	80
Aurinkopaneelit (PV)	9
Hiilivoima	5 – 7
Ydinvoima	16
Maakaasu	5

Taulukko L5.3. Sähkön kulutus ja päästöt Suomessa vuonna 2004 (Tilastokeskus 2005b).  
Mukana vain käytön aikaiset päästöt.

Energiamuoto	Käyttö [TWh]	Käyttöosuus [%]	Primäärienergian käyttö [PJ]	Käyttöosuus [%]	Päästökerroin [tCO <sub>2</sub> /PJ]	Päästöt [MtCO <sub>2</sub> ]
Ydinenergia	21,8	25	237,971	38,6	0	0
Kivihiili	16,2	19	136,303	22,1	94 600	12,9
Vesivoima	14,9	17	53,514	8,7	0	0
Maakaasu	10,1	12	51,184	8,3	55 000	2,8
Bioenergia	10,0	12	57,594	9,3	0	0
Turve	6,2	7	46,264	7,5	105 900	4,9
Nettotuonti	4,9	6	17,532	2,8	0	0
Öljy	1,8	2	10,755	1,7	77 000	0,83
Jätepolttoaineet	1,0	1	4,799	0,78	31 800	0,15
Tuulivoima	0,12	0,1	0,433	0,07	0	0
YHT.	87,02	101,1	616,349	99,85	14 800	21,58

Taulukko L5.4. Rakennusten lämmitysenergian kulutus ja päästöt Suomessa vuonna 2004 (Tilastokeskus 2005b). Mukana vain käytön aikaiset päästöt.

Energiamuoto	Käyttö [TWh]	Primäärienergian käyttö [PJ]	Käyttöosuus [%]	Päästökerroin [tCO <sub>2</sub> /PJ]	Päästöt [MtCO <sub>2</sub> ]
Kaukolämpö	(30,25)	(119,671)			
Sähkö	13,22	93,635	27,1	14 800	1,4
Puu		63,668	19,6	0	0
Kevyt polttoöljy		57,104	16,6	74 100	4,2
Maakaasu		49,317	14,3	55 000	2,7
Kivihiili		30,630	8,9	94 600	2,9
Turve		23,700	6,9	105 900	2,5
Raskas polttoöljy		17,960	5,2	78 800	1,4
Aurinko		5,540	1,6	0	0
Muut		2,357	0,7	0	0
Kierrätyspolttoaineet		1,112	0,3	31 800	0,04
YHT.		345,023	101,2	43 600	15,14

Taulukko L5.5. Tieliikenteen energian kulutus ja päästöt Suomessa vuonna 2004 (Tilastokeskus 2005b). Mukana vain käytön aikaiset päästöt.

Energiamuoto	Energian loppukäyttö [PJ]	Käyttöosuus [%]	Päästökerroin [tCO <sub>2</sub> /PJ]	Päästöt [MtCO <sub>2</sub> ]
Dieselöljy	85,459	52,1	73 200	6,26
Bensiini	78,272	47,7	73 200	5,73
Etanoli	0,186	0,1	0	0
Maakaasu	0,120	0,1	55 000	0,007
YHT.	164,037	100,0	73 200	12,00

## LIITE 6. Uusiutuvien energialähteiden yhteiskunnallinen merkitys EU:n perspektiivistä

EU:n energiastrategia vuodelta 1995 (COM(95)682) mainitsee ympäristönsuojelun, energian huoltovarmuuden ja kilpailukyyn energiapolitiikan peruspilareina. Eräs tärkeimmistä keinoista kaikkien näiden elementtien edistämiseksi on uusiutuvan energian käytön lisääminen. Komissio julkaisi vuonna 1997 strategian täsmennykseksi uusiutuvan energian (UE) edistämishjelman (COM(97)599), jonka tarkoituksena on nostaa uusiutuvan energian osuus 6 %:sta 12 %:iin EU:n primäärienergiankulutuksesta vuoteen 2010 mennessä 160 miljardin euron investointikustannuksin (Taulukko L6.1). Kyseinen uusiutuvan energian tuotantokapasiteetin lisäys on yli nelinkertainen Suomen kokonaisenergiankäyttöön verrattuna.

Taulukko L6.1. Uusiutuvien energiamuotojen lisätuotantotavoitteet vuoteen 2010 mennessä. Investoinnin kokonaisarvo on 160 miljardia euroa.

Tuotantoteknologia	Osuus <sup>1</sup> ohjelmasta	Loppukulutus- energia <sup>2</sup> [Mtoe/v]	Primäärienergia <sup>3</sup> [Mtoe/v]	Sähkö [TWh/v]
Bioenergia	52 %	54	90	208
• biokaasu			15	
• kiinteä ja nestemäinen			75	
Passiivinen aurinkoenergia	34 %	35	35	0
Tuuli	6,0 %	6,3	6,6	76
Aurinkokeräin	3,5 %	3,7	3,7	0
Suurvesivoima	2,4 %	2,5	2,6	30
Pienvesivoima	1,4 %	1,5	1,6	18
Aurinkopaneelit (PV- sähkö)	0,3 %	0,3	0,3	3
Geoterminen shako	0,3 %	0,3	2,1	3,5
Geoterminen lämpö	0,3 %	0,3	0,3	0
Maalämpö	0,3 %	0,3	0,3	0
Muut	0,2 %	0,2	0,2	2
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>100,7</b>	<b>104,4</b>	<b>142,7</b>	<b>340,5</b>
<sup>1</sup> Loppukulutusenergian mukaan.				
<sup>2</sup> Energia, jonka kuluttajat käyttävät. Ei sisällä voimalaitosten konversio- ja omakulutushäviöitä eikä energian siirtohäviöitä. Mtoe = 41,87 PJ.				
<sup>3</sup> Energian kokonaiskulutus, jossa häviöt ovat mukana.				

Edistämishjelma perustellaan sen tuottamalla hyödyillä yhteiskunnan eri sektoreilla. Nämä hyödyt ylittävät ohjelman vaatimat kustannukset, joten uusiutuvan energialla on negatiivinen efektiivinen tuotantohinta. Tässä esitetään sektorikohtainen yhteenvedo ohjelman toteutumisen seuraamuksista.

**Maa- ja metsätalous:** Energiantuotanto maaseudulla lisää maaseudun elinvoimaisuutta. Agenda-2000:n non-food -tuki mahdollistaa energiakasvituotannolle samanlaisen tuen kuin ruokakasvituotannolle eli kiinteiden, nestemäisten ja kaasumaisten biopolttoaineiden tuotanto sähkö-, lämpö- ja liikennepolttoaine- ja työkonekäyttöön. Maaseutuenergian markkinoiden luomiseksi on säädetty 4 direktiiviä:

UE-sähködirektiivi (2001/77/EC) ja sähkömarkkinadirektiivi (2003/54/EC) velvoittavat sähköverkkoyhtiöt ostamaan pientuottajan ylijäämäsiähkön: biopolttoaineperäisen sähkön (esim. hakesähkö tai biokaasusähkö) lisäksi voidaan myydä muutakin UE-sähköä, esim. tuulivoimaa (yleistä Tanskan ja Saksan maatiloilla) tai pienvesivoimaa. Energiayliomavaraisuudella voidaan jopa kattaa kaikki maatilan tulontarpeet. Vastaavasti kaasumarkkinadirektiivi (2003/55/EC) velvoittaa maakaasuverkkoyhtiöt ostamaan pientuottajien biokaasun. Harkinnassa on myös vastaava velvoite kaukolämpöverkkoyhtiöille ottaa vastaan pientuottajien UE-lämpö. Liikenteen biopolttoainedirektiivi (2003/30/EC) edellyttää biopolttoaineiden osuuden nostamista liikenteen polttoainekulutuksesta 5,75 %:n tasolle vuoteen 2010 mennessä.

**Aluepolitiikka:** Uusiutuvia energiamuotoja on hyödynnettävissä kaikkialla paikallisesti, joten strategia tukee EU:n läheisyysperiaatetta.

**Teollisuus:** Pienen ja keskisuuren teollisuuden rooli vahvistuu. PK-teollisuuden vahvistuminen johtuu uusiutuvan energiateknologian modulaarisesta luonteesta, joka tekee mahdolliseksi voimalaitosten rakentamisen pienissäkin teollisuuslaitoksissa tai pajoissa. Energiateknologian valmistajien lisääntyminen lisää kilpailua ja alentaa hintoja. Teknologinen innovaatiopotentiaali kasvaa, koska teknologian kehittämiseen osallistuvien määrä kasvaa.

**Työllisyys:** Strategian toteutuessa luodaan 500.000 - 900.000 uutta nettotyöpaikkaa EU:n sisäisiä markkinoita varten ja 350.000 uutta työpaikkaa vientiteollisuuden tarpeisiin. Työllisyyden lisääntyminen johtuu siitä, että UE-tuotanto työllistää n. 2-5-kertaa enemmän tuotettua energiayksikköä kohti kuin uusiutumaton energia. Suomessa Kauppa- ja teollisuusministeriö on vuonna 1999 arvioinut uusiutuvien energianlähteiden lisääntyvän käytön tuottavan Suomeen yli 10.000 työpaikkaa tällä vuosikymmenellä. Maa- ja metsätalousministeriön energiapuutyöryhmä arvioi vuonna 1997 energiahakkeen lisääntyvän käytön (tavoite 10 Mm<sup>3</sup>) työllistävän yli 11.000 henkilövuo-  
den verran tämän vuosikymmenen aikana. Hakkuutähdehakkeen käytöllä energiantuotannossa on paikallisesti yli kymmenkertainen työllistämisaikutus verrattuna polttoöljyn käyttöön. Hakkuujätteen keräyksen ja harvennuspuun korjaamisen käynnistämiseen ei tarvita työllistettävien merkittävää uudelleenkoulutusta.

**Energia:** EU:n nykyinen 50 % energiaomavaraisuus on laskemassa 30 %:iin vuoteen 2020 mennessä, ellei uusiutuvia kansallisia energiavaroja hyödynnetä. Kyseessä on siis tärkeä energiahuollon varmuutta lisäävä politiikka. Kotimaisen uusiutuvan energian tuottamiseen soveltuvan teknologian kehittäminen on tärkeää myös kansallisen kriisivalmiuden parantamiseksi. Uusiutuva energiateknologia on luonteeltaan modulaarista, mikä tekee mahdolliseksi toisaalta tarpeen mukaisen vaiheittaisen, toisaalta erittäin nopean, rinnakkaisen, rakentamisen. Jälkimmäisestä on esimerkkinä Kaliforniassa 4 vuoden aikana 1980-luvun alussa pystytetyt 10.000 tuuliturbiinia.

**Kauppa:** Strategia vahvistaa UE-teollisuuden kilpailukykyä ja tuottaa yhdessä vuosittain vältettävän 3 mrd euron ulkomaisten polttoaineiden oston kanssa vuosittaisen 20 mrd euron vaihtotaseen ylijäämän.

**Terveydenhoito:** Kustannukset putoavat 5-90 mrd euroa vuodessa (sisältää myös eräitä muita päästöjen vähentämisestä seuraavia hyötyjä). Päästöjen aiheuttamat kuolemantapaukset vähenevät useilla tuhansilla vuodessa. Tämä johtuu siitä, että fossiilisten polttoaineiden käyttö aiheuttaa satoja tuhansia kuolemia EU:ssa vuosittain.

**Talous:** Strategian suorat kokonaisinvestointikustannukset ovat 160 mrd euroa, joka jää pääasiassa EU:n talousalueelle. Strategian todelliset kustannukset ovat negatiiviset, koska strategian aiheuttamat hyödyt yhteiskunnan eri sektoreilla, jo pelkästään kauppa- ja terveydenhoitosektoreilla, ylittävät suorat investointikustannukset. Tämä johtuu siitä, että nykyisin energiankäytön kustannuksista merkittävä osa tulee nykyään maksettaviksi julkisin varoin mm. terveys- ja ympäristösektoreilla. Toisaalta uusiutumattomat energiamuodot saavat edelleen ja ovat historiallisesti saaneet runsaasti yhteiskunnan tukea: nykyäänkin suorat vuotuiset globaalit subventiot fossiilienergiateollisuudelle on arvioitu yli 160 miljardiksi euroksi.

**Ympäristö:** Hiilidioksidipäästöt vähenevät yli 400 miljoonaa tonnia vuodessa. Jo tämä toimintasuunnitelma yksin riittää Kioton sopimuksen EU:lle asettaman 8 % vähennystavoitteen toteuttamiseen hiilidioksidin osalta, vaikka energian kokonaiskulutus kasvaisi arvioiden mukaisesti. Muiden kasvihuonekaasupäästöjen takia tarvitaan lisätoimenpiteitä: yhdessä CHP-ohjelman ja energian säästön edistämishelmien kanssa voidaan saavuttaa 14 % vähennys. Ja samalla vähennetään happosateita, pienhiukkaspäästöjä, otsonikerrosta tuhoavia päästöjä ja orgaanisten myrkkujen päästöjä.

## LIITE 7. Bioenergiälähteiden ja niiden konversioprosessien luokittelu

Taulukko L7.1. Primääriset ja sekundääriset bioenergiälähteet ja niiden konversioprosessit.	
Primääri-bioenergia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• puu ja sen jalostuksen sivutuotteet</li> <li>• peltokasvit ja tuotannon sivutuotteet</li> <li>• kasvi-, eläin- ja ihmisperäiset jätteet</li> </ul>
Sekundääri-bioenergia: kiinteät polttoaineet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mekaaninen konversio, ei puristusta: hake, sahanpuru jne. (puu, viljelykasvit)</li> <li>• mekaaninen konversio, puristettu: pelletit, brikitit, paalit jne. (puu, viljelykasvit, jätteet)</li> <li>• termokemiallinen konversio: puuhiili (puu)</li> </ul>
Sekundääri-bioenergia: nestemäiset polttoaineet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alkoholit <ul style="list-style-type: none"> <li>○ biologinen konversio (käyminen): etanoli (sokeri- ja tärkkelyskasvit, niitä sisältävät jätteet)</li> <li>○ biologinen konversio (entsyymi- ja/tai happoesikäsittely + käymisreaktio): etanoli (puu, olki, muut kasvit)</li> <li>○ termokemiallinen konversio (FT): etanoli (kaikki kiinteät biomassat)</li> <li>○ termokemiallinen konversio (useita tapoja): metanoli (puu, viljelykasvit, jätteet)</li> <li>○ kemiallinen konversio (höyryreformointi): metanoli (biometaani)</li> </ul> </li> <li>• eetterit <ul style="list-style-type: none"> <li>○ kemiallinen konversio: ETBE (etanoli)</li> <li>○ kemiallinen konversio: MTBE (metanoli)</li> </ul> </li> <li>• kasviöljyt ja biodieselit <ul style="list-style-type: none"> <li>○ mekaaninen konversio (puristaminen ja laskeutus): kasviöljyt (öljykasvit)</li> <li>○ kemiallinen konversio (vaihtoesteröinti): biodieselit (kasviöljyt, selluteollisuuden suovat, ruoantuotannon ja teollisuuden jäteöljyt/rasvat)</li> </ul> </li> <li>• synteettiset polttoaineet: syn-diesel, syn-bensiini, syn-kerosiini ja muut synteettiset polttoaineet <ul style="list-style-type: none"> <li>○ termokemiallinen konversio (pyrolyysi): pyrolyysiöljyt (bioöljy, bioraakaöljy) (kaikki kiinteät biomassat)</li> <li>○ pyrolyysiöljyjen kemiallinen konversio: synteettiset polttoaineet</li> <li>○ termokemiallinen konversio (Fischer-Tropsch (FT) ja muut kaasutus pohjaiset prosessit) (epäsuora nesteytys synteetikaasun kautta synteettiseksi biopolttoaineeksi): FT-diesel, FT-bensiini ym. (kaikki kiinteät biomassat, mustalipeä)</li> <li>○ termokemiallinen konversio (Bergius, HTU ja muut suorat nesteytysprosessit) (suora nesteytys vedyn tai veden avulla sekä paineen avulla): synteettiset polttoaineet (kaikki kiinteät biomassat, märkä biojäte)</li> </ul> </li> </ul>
Sekundääri-bioenergia: kaasumaiset polttoaineet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• biokaasu and kaatopaikkakaasu <ul style="list-style-type: none"> <li>○ biologinen konversio (mädätys, anaerobinen käsittely): metaani, vety (lanta ja muu nopeasti hajoava biojäte, peltokasvit)</li> </ul> </li> <li>• synteetikaasu ja synteettiset polttoaineet <ul style="list-style-type: none"> <li>○ termokemiallinen konversio (kaasutus): synteetikaasu, puukaasu, olkikaasu ym.: vety, hiilimonoksidi, metaani (kaikki kiinteät biomassat)</li> <li>○ synteetikaasun termokemiallinen konversio (metaanisynteesi, DME-synteesi ym.): metaani, LPG (propani+butaani), DME (dimetyylieetteri)</li> </ul> </li> <li>• muut <ul style="list-style-type: none"> <li>○ termokemiallinen, sähkökemiallinen ja biologinen konversio: vety (puu, peltokasvit, jätteet, vesi)</li> <li>○ kemiallinen konversio: DME (metaani, metanoli)</li> </ul> </li> </ul>

## LIITE 8. Bioenergiateknologiat keskitetyissä laitoksissa

*Taulukko L8.1. Teknologiat keskitetyissä bioenergialaitoksissa, jotka voivat olla mautilojen yhteisiä ja joihin maatilat voivat tuottaa primäärienergiaresurssin. Sähköteho 0,1 - 10 MW<sub>e</sub>, kokonaisenergiatuotantoteho 1 - 50 MW<sub>th</sub>.*

Käyttömuoto	Teknologia	Bioenergiälähde
Kaukolämmitys ja kaukoviilennys	Biomassakattilat (arina, leijupeti ja kaasutus)	Kaikki kiinteät biomassat
	Kaasu- ja nestepolttoainetta käyttävät polttimet	Kaikki sekundääriset kaasumaiset ja nestemäiset biopolttoaineet
Sähkö ja mikro-CHP (sisältää myös kaukolämmityksen)	Höyrykone	Kaikki kiinteät biomassat
	Höyryturbiini	Kaikki kiinteät biomassat
	Kuumailmaturbiini	Kaikki kiinteät biomassat
	ORC-turbiini ja muut vapour-turbiinit	Kaikki kiinteät biomassat
	Kaasutus + Otto- tai Diesel-moottori	Kaikki kiinteät biomassat
	Kaasutus + kaasu- tai mikroturbiini	Kaikki kiinteät biomassat
	Otto-, Diesel-, Wankel- ja Stirling-moottorit	Kaikki sekundääriset kaasumaiset ja nestemäiset biopolttoaineet
	Kaasu- ja mikroturbiini	Kaikki sekundääriset kaasumaiset ja nestemäiset biopolttoaineet
	Kombivoimalat	Kaikki sekundääriset kaasumaiset ja nestemäiset biopolttoaineet
	Polttokenno	Biovety
Kaasumaiset ja nestemäiset biopolttoaineet	Metaani (biokaasu) (mädätys)	Karjan lanta, oljet, energiakasvit, elintarviketuotannon jätteet, keittiöjätteet
	Etanoli (käyminen)	Sokeri- ja tärkkelyskasvit
	Metanoli (reformointi)	Metaani
	Kasviöljyt (puristus)	Öljykasvit
	Biodieselit (vaihtoesteröinti)	Öljykasvit, elintarviketuotannon jäterasvat
	Vety (kaasutus)	Kaikki kiinteät biomassat
	Vety (reformointi)	Metaani
	Vety (elektrolyysi)	Biosähkö ja vesi

Taulukko L8.2. Teknologiat suurissa teollisissa bioenergialaitoksissa, joihin maatilat voivat tuottaa primäärienergiaresurssin. Sähköteho 10 - 100 MW<sub>e</sub>, kokonaisenergiantuotantoteho 50 - 1000 MW<sub>th</sub>.

Käyttömuoto	Teknologia	Bioenergiälähde
Kaukolämmitys, kaukoviilennys ja prosessihöyry	Biomassakattilat (arina, leijupeti)	Kaikki kiinteät biomassat
	Kaasu- ja nestepolttoainetta käyttävät polttimet	Kaikki sekundääriset kaasumaiset ja nestemäiset biopolttoaineet
Sähkö ja mikro-CHP (sisältää myös kaukolämmityksen, kaukoviilennyksen ja prosessihöyryn)	Höyryturbiini	Kaikki kiinteät biomassat
	Kaasutus + Diesel-moottori	Kaikki kiinteät biomassat
	Kaasutus + kaasuturbiini	Kaikki kiinteät biomassat
	Diesel-moottori	Kaikki sekundääriset kaasumaiset ja nestemäiset biopolttoaineet
	Kaasuturbiini	Kaikki sekundääriset kaasumaiset ja nestemäiset biopolttoaineet
	Kombivoimalat	Kaikki sekundääriset kaasumaiset ja nestemäiset biopolttoaineet
Kaasumaiset ja nestemäiset biopolttoaineet	Metaani (biokaasu) (mädätys)	Karjan lanta, oljet, energiakasvit, elintarviketuotannon jätteet, keittiöjätteet
	Metaani (kaasutus)	Kaikki kiinteät biomassat
	Metaani (metaanisynteesi)	Kaikki kiinteät biomassat
	Etanoli (käyminen)	Sokeri- ja tärkkelyskasvit
	Etanoli (esikäsittely + käyminen)	Puu, oljet
	ETBE ja MTBE (reformointi)	Etanoli, metanoli
	Metanoli (reformointi)	Metaani
	Metanoli (pyrolyysi)	Kaikki kiinteät biomassat
	DME (DME-synteesi)	Kaikki kiinteät biomassat
	DME (reformointi)	Metanoli
	Kasviöljyt (puristus)	Öljykasvit
	Biodieselit (vaihtoesteröinti)	Öljykasvit, elintarviketuotannon jäterasvat
	BTL:t (benssiini, diesel, kerosiini, nestekaasu ym.) kaasutus pohjaisesti	Kaikki kiinteät biomassat
	BTL:t suoralla nesteytyksellä	Kaikki kiinteät biomassat
	BTL:t pyrolyysillä	Kaikki kiinteät biomassat
	Vety (kaasutus)	Kaikki kiinteät biomassat
Vety (reformointi)	Metaani	
Vety (elektrolyysi)	Biosähkö ja vesi	

## LIITE 9. Liikennepolttoaineiden ominaisuuksia

Taulukko L9.1. Eräiden liikennepolttoaineiden fysikaalisia, kemiallisia ja moottoritekniisiä ominaisuuksia.

Ominaisuus	Bensiini	Diesel	Metanoli	Etanoli	Bio-diesel	Propaani	Metaani 98%	Vety
Kemiallinen kaava	C4-C12	C6-C25	CH3OH	C2H5OH	C12-C22-esteri	C3H8	CH4	H2
Alkuainejakauma [%]								
Hiili	85-88	84-87	37,5	52,2	77	82	75	0
Vety	12-15	13-16	12,6	13,1	12	18	25	100
Happi	0	0	49,9	34,7	11	0	0	0
Tiheys [kg/l] tai [kg/m <sup>3</sup> ]	0,75	0,83	0,79	0,79	0,88	2,0	0,72	0,090
Höyrystymispiste [°C]	25-220	180-360	65	78	315-350	-42	-162	-253
Höyrinpain [kPa] @ 37,8 °C	35-100	1,4	32	16	< 1	1400	16500	
Oktaaniluku								
RON	90-100		107	108		112	130	130+
MON	81-90		92	92		97	130	
(R+M)/2	86-94	8-15	100	100		104	130	
Setaaniluku	5-20	40-55	3	8	48-72	5-10	-10	
Jäätymispiste [°C]	-80	-35	-98	-117	-15	-187	-182	-259
Leimahduspiste [°C]	-43	60-80	11	13	120-170	-90	-184	
Itsesyttymislämpötila [°C]	300	250	450	420		510	650	580
Syttymisrajat [% ilmassa]								
alempi	0,6	0,6	5,5	3,5		2,4	4,9	4
ylempi	8	7,5	26	15		9,5	15,4	75
LHV [MJ/l] tai [MJ/Nm <sup>3</sup> ]	32	36	16	21	33	94	36	11
Lämpöarvo LHV [MJ/kg]	42,6	43,4	19,7	26,8	38	46,3	49,2	120



<i>Taulukko L9.2. Eräiden liikennepolttoaineiden myrkyllisyys.</i>				
<b>Polttoaine</b>	<b>Luokitus</b>	<b>Akuutti myrkyllisyys: LD50 suun kautta (rotta) [mg/kg]</b>	<b>HTP (iho) 15 min</b>	<b>Ekotoksisuus LC50 (kalat) [mg/l]</b>
Bensiini	T, F+, Xn, N, Syöp, Mut, Rep.	>2000	1000 mg/m <sup>3</sup>	10-18
Diesel	Xn, N, Syöp	>2000	5 mg/m <sup>3</sup> (8h)	21-230
Metanoli	T, F	5628	250 ppm 330 mg/m <sup>3</sup>	14000-29000
Etanoli	F	7060	1300 ppm 2500 mg/m <sup>3</sup>	8140
MTBE	F	3870	50 ppm (8 h) 180 mg/m <sup>3</sup> (8 h)	110
ETBE	F			
Vety	F+	-	-	-
Metaani	F+	-	-	-
Propaani	F+		1100 ppm 2000 mg/m <sup>3</sup>	
Merkkien selitys: T+ = erittäin myrkyllinen, T = myrkyllinen, C = syövyttävä, Xn = haitallinen, Xi = ärsyttävä, E = räjähtävä, O = hapettava, F+ = erittäin helposti syttyvä, F = helposti syttyvä, N = ympäristölle vaarallinen, Syöp = syöpää aiheuttava, Mut = perimää vaurioittava, Rep = lisääntymiselle vaarallinen				

<i>Taulukko L9.3. Liikennepolttoaineiden energiasisältövertailu.</i>
<p><b>Bensiinivertailu</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Nm<sup>3</sup> puhdistettua maakaasua/biokaasua = 1,12 bensiinilitraa (Nm<sup>3</sup> = normaalikuutio = kuutio 0 °C:ssa ja 1,013 bar:issa)</li> <li>• 1 kg puhdistettua maakaasua/biokaasua = 1,5 bensiinilitraa</li> <li>• 1 kg vetyä ottomootoriin (LHV) = 3,8 bensiinilitraa (1 gallona)</li> <li>• 1 kg vetyä low-temp-FC-autoon (HHV) = 4,4 bensiinilitraa</li> <li>• 1 litra E100-etanolia = 0,65 bensiinilitraa</li> <li>• 1 litra E85-etanolia = 0,71 bensiinilitraa (Eff. = 0,71-0,77)*</li> <li>• 1 litra M100-metanolia = 0,5 bensiinilitraa</li> </ul> <p>*Sekä etanoli että metanoli ovat korkeaoktaanisista ja happea sisältäviä polttoaineita, jotka parantavat polttoprosessin hyötysuhdetta bensiiniin verrattuna ja siten niiden käytössä energiankulutus/km on alempi kuin bensiinillä. Tämä vaikutus voi olla alhaisilla pitoisuuksilla (E5) lähes 30 %.</p>
<p><b>Diesel-vertailu</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 litra B100-biodieseliä = 0,92 diesel-litraa*</li> <li>• 1 litra B20-biodieseliä = 0,98 diesel-litraa*</li> <li>• 1 litra rypsiöljyä = 0,96 diesel-litraa* (setaaniluku &gt; 38)</li> <li>• 1 litra Ecopar GTL-dieseliä (FT-diesel) = 0,94 diesel-litraa** (setaaniluku 73-81)</li> <li>• 1 litra NExBTL BTL-dieseliä = 0,94 diesel-litraa** (setaaniluku 84-99)</li> <li>• 1 kg DME:tä = 0,79 diesel-litraa* (setaaniluku &gt;55)</li> </ul> <p>*Biodiesel, rypsiöljy, BTL ja DME parantavat polttoprosessin hyötysuhdetta hapen avulla kuten alkoholit otto-mootorissa, joten efektiivinen ero on pienempi.</p> <p>**GTL ja BTL parantavat hyötysuhdetta korkean setaaniluvun takia</p>

<i>Taulukko L9.4. Liikennepolttoaineiden taksonomia (sis. sähkön liikennekäytön).</i>	
<b>Luokitus</b>	<b>Polttoaine</b>
Tavanomaiset liikennepolttoaineet (kaikki fossiilisia)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yleensä tavanomaisilla liikennepolttoaineilla tarkoitetaan <u>bensiiniä</u> ja <u>dieselöljyä</u> tieliikenteessä</li> <li>• Diesel on lisäksi tavanomainen polttoaine junissa, laivoissa ja työkoneissa</li> <li>• Bensiini on lisäksi tavanomainen moottoripyörissä, lentokoneissa (potkurikoneet) ja työkoneissa</li> <li>• Lentokoneissa tavanomainen myös kerosiini (lentopetroli) (suihkukoneet)</li> <li>• [Junissa tavanomainen myös sähkö]</li> <li>• [Sähkö tavanomainen metroissa, raitiovaunuissa ja työkoneissa]</li> <li>• Työkoneissa tavanomainen myös LPG (liquid petroleum gas = nestekaasu = propaani+butaani)</li> </ul>
Vaihtoehtoiset fossiiliset liikennepolttoaineet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LPG autokäytössä</li> <li>• Kerosiini (moottoripetroli) autokäytössä</li> <li>• [Sähkö autokäytössä]</li> <li>• Maakaasu /yleensä CNG (compressed natural gas) tai LNG (liquefied natural gas): autot, junat, moottoripyörät, laivat (huom. maakaasulla tarkoitetaan puhdistettua maakaasua)</li> <li>• CTL-synfuels (coal to liquid)</li> <li>• GTL-synfuels (gas to liquid/maakaasupohjainen)</li> <li>• Kaasumaiset synteettiset polttoaineet</li> <li>• Vety ja hytaani (vedyn ja metaanin seos)</li> <li>• Metanoli</li> <li>• DME (dimetyylieetteri)</li> </ul>
Fossiiliset lisäaineet	<p>Tuovat happea (oksygenaatit) ja lisäävät oktaanilukua tai setaanilukua</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• MTBE (metyyli-tert-butyylieetteri)</li> <li>• TAME (tertamyyl-metyylieetteri)</li> <li>• ETBE (etyyli-tert-butyylieetteri) (55 %:sti fossiilinen)</li> <li>• metanoli, muut happea sisältävät alkoholit, eetterit ym.</li> </ul>
Tavanomaiset biopolttoaineet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioetanoli</li> <li>• Biodiesel/FAME (fatty acid methyl ether) öljykasveista ja jäterasvoista (FAME on yleensä 10 % fossiilista, koska valmistuksessa käytetty maakaasuperäistä metanolia; metanoli voitaisiin valmistaa myös bioresursseista)</li> </ul>
Muut biopolttoaineet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biodieselit: FAEE (fatty acid ethyl ether), FAME (selluteollisuuden jätteistä ym. resursseista, biometanolilla esteröity), jne.</li> <li>• Biokaasu (ja kaatopaikkakaasu)/yleensä CBG (compressed biogas) tai LBG (liquefied biogas)</li> <li>• Synteettiset biopolttoaineet ("sunfuels"), mm. BTL-synfuels (biomass to liquid): synteettinen biodiesel, synteettinen biokerosiini, synteettinen biobensiini</li> <li>• Kasviöljy (PPO = pure plant oil)</li> <li>• Biometanoli</li> <li>• Bioeetterit 1: bio-ETBE, bio-MTBE, jotka yli 50%:sti fossiilisia</li> <li>• Bioeetterit 2: bio-DME (100%:sti bioperäinen)</li> <li>• Biovety/yleensä CH<sub>2</sub> (kompressoitu) tai LH<sub>2</sub> (nesteytetty)</li> <li>• Puukaasu, synteetikaasu ym.</li> <li>• Kiinteät biopolttoaineet</li> <li>• Metyyli-tetrahydrofuraani (MeTHF) (osaksi fossiilinen)</li> <li>• [UE-sähkö]</li> </ul>
Hiilivapaat polttoaineet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [UE-sähkö muilla kuin biopolttoaineilla tuotettuna]</li> <li>• UE-vety biovetyä lukuunottamatta</li> <li>• Rikki (vain oheispolttoaineena epäpuhtauden kautta)</li> <li>• Ammoniakki</li> <li>• Osa ruudeista (kiinteät epäorgaaniset polttoaineet, nykyään kaupallisina vain raketikäytössä), esim. jauhemaiset vety-suolat</li> </ul>

## LIITE 10. YK:n päästökertoimet kemiallisten polttoaineiden hiilidioksidipäästöille

YK:n ilmastopöimöksen -Rion sopimus 1992, joka astui voimaan vuonna 1994 - vaatimat kansalliset kasvihuonekaasuinventaariorit tehdään näiden ohjeiden mukaisesti. Luonnolliset päästöt esimerkiksi soista eivät kuulu ilmastopöimöksen piiriin, eivätkä myöskään luonnollisten päästöjen vähentämistöimet. Ilmastopöimöksen piiriin kuuluvat ainoastaan ne ihmisten aiheuttamat päästöt, jotka aiheuttavat ilmastomuutosta. Kaikki Rion sopimuksen ratifioineet 189 maata, mukaan lukien USA, Kiina ja Intia, toimivat näiden ohjeiden mukaisesti.

A. (oikealla) Polttoaineiden kemialliseen koostumukseen perustuvat oletuspäästökertoimet (carbon emission factors) mitattuna hiilidioksidin sisältämää hiilitonnia terajoulen energiasisältöä (LHV) kohti (1 hiilitonni tarkoittaa 3,67 tonnia hiilidioksidia). Monien polttoaineiden osalta koostumus vaihtelee ja siten täsmällinen päästömäärä myös, mutta vaihteluväli on useimmiten pieni. Polttoaineen markkina-alueesta riippuen päästökertoimet voidaan määrittellä globaalisti, alueellisesti tai kansallisesti YK:n ohjeiden mukaisesti. Lisäksi erillisellä hapettumiskertoimella voidaan ottaa huomioon polttotekniikan laadun vaikutus päästöihin.

Lähde: YK/IPCC (1996), Volume 2, Table 1-2, s. 1.6.

B. (alla) Bioenergian eli biomassapolttoaineiden eli biopolttoaineiden (joihin turve ”peat” ei lukeudu kuten Table 1-2:sta oikealla nähdään) päästöt sisällytetään kansallisiin inventaarioihin (Table 1-2:n mukaisesti) vain informaatiotyydytystä; niitä ei lasketa mukaan kansallisiin päästöihin. Mikäli biomassaa käytetään enemmän kuin sitä muodostuu, nettopäästöt lasketaan kansallisiin päästöihin maankäytön muutosten - ei energiantuotannon - aiheuttamina päästöinä.

Lähde: YK/IPCC (1996), Volume 2, s. 1.3.

### Biomass fuels

Biomass fuels are included in the national energy and CO<sub>2</sub> emissions accounts for information only. Within the energy module biomass consumption is assumed to equal its regrowth. Any departures from this hypothesis are counted within the Land Use Change and Forestry module.

Fuel	Carbon Emission Factor (t C/TJ)
<b>LIQUID FOSSIL</b>	
<i>Primary fuels</i>	
Crude oil	20.0
Orimulsion	22.0
Natural Gas Liquids	17.2
<i>Secondary fuels/products</i>	
Gasoline	18.9
Jet Kerosene	19.5
Other Kerosene	19.6
Shale Oil	20.0
Gas/Diesel Oil	20.2
Residual Fuel Oil	21.1
LPG	17.2
Ethane	16.8
Naphtha	(20.0) (a)
Bitumen	22.0
Lubricants	(20.0) (a)
Petroleum Coke	27.5
Refinery Feedstocks	(20.0) (a)
Refinery Gas	18.2 (b)
Other Oil	(20.0) (a)
<b>SOLID FOSSIL</b>	
<i>Primary Fuels</i>	
Anthracite	26.8
Coking Coal	25.8
Other Bituminous Coal	25.8
Sub-bituminous Coal	26.2
Lignite	27.6
Oil Shale	29.1
Peat	28.9
<i>Secondary Fuels/Products</i>	
BKB & Patent Fuel	(25.8) (a)
Coke Oven / Gas Coke	29.5
Coke Oven Gas	13.0 (b)
Blast Furnace Gas	66.0 (b)
<b>GASEOUS FOSSIL</b>	
Natural Gas (Dry)	15.3
<b>BIOMASS</b>	
Solid Biomass	29.9
Liquid Biomass	(20.0) (a)
Gas Biomass	(30.6) (a)
(a) This value is a default value until a fuel specific CEF is determined. For Gas biomass, the CEF is based on the assumption that 50% of the carbon in the biomass is converted to methane and 50% is emitted as CO <sub>2</sub> . The CO <sub>2</sub> emissions from biogas should not be included in national inventories. If biogas is released and not combusted 50% of the carbon content should be included as methane.	
(b) For use in the sectoral calculations.	

## KIRJALLISUUS

Alakangas E (2000) Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 2045, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo, 189s.

Alakangas E (2002) Renewable Energy Resources in Finland, 2002. OPET Report 9, OPET Finland, Jyväskylä, 71s.

Altia (2005) Viljan hankinta. Altia Corporation, <http://www.altia.fi> (2.9.2005).

Anderson GQA, Haskins L & Nelson SH (2004) The effect of bioenergy crops on farmland birds in the United Kingdom: A review of current knowledge and future predictions. In: Biomass and Agriculture - Sustainability, markets and policies, OECD, Paris, 199-218.

Ansø N & Bugge J (2001) Pure Plant Oil: Clean Engine Fuel Today & Tomorrow. Sustainable Energy News, 34.:14-16. <[http://www.senternovem.nl/mmfiles/27758\\_tcm24-124182.pdf](http://www.senternovem.nl/mmfiles/27758_tcm24-124182.pdf)>

Armstrong AP, Baro J, Dartoy J, Groves AP, Nikkonen J & Rickeard DJ (2002) Energy and greenhouse gas balance of biofuels for Europe, an update. CONCAWE report 2/02. Brussels, Belgium, 18p.

BENET (2002) Wood fuels basic information pack. BENET (Bioenergy network), Energi Dalen & Jyväskylä Polytechnic, Gummerus, Saarijärvi, 191p.

Boyle G, Everett B & Ramage J (eds.) (2003) Energy Systems and Sustainability – Power for a Sustainable Future. Oxford University Press, UK, 619p.

Boyle G (ed.) (2004) Renewable Energy: Power for a Sustainable Future. 2<sup>nd</sup> ed., Oxford University Press, UK. 452p..

Brown RC (2003) Biorenewable resources: engineering new products from agriculture. Blackwell Publishing Company, Iowa, USA, 286p.

BTG (2004) Bio-energy's role in the EU energy market - A view of developments until 2020. Report to the European Commission; Siemons R, Vis M, van den Berg D, McChesney I, Whiteley M & Nikolaou N; BTG biomass technology group BV, 2 April 2004, Enschede, The Netherlands, 270p. <[http://europa.eu.int/comm/energy/res/sectors/doc/bioenergy/bioenergy\\_role\\_2000\\_2010\\_2020.pdf](http://europa.eu.int/comm/energy/res/sectors/doc/bioenergy/bioenergy_role_2000_2010_2020.pdf)>

Bullard M & Metcalfe P (2001) Estimating the energy requirements and CO<sub>2</sub> emissions from production of the perennial grasses miscanthus, switchgrass and reed canary grass. ADAS & DTI, UK, 94p. <<http://www.dti.gov.uk/energy/renewables/publications/pdfs/finalrevision.pdf>>

CityRES (2000) Biomass – Straw, Nakskov (Denmark). EU/AAltener/CityRES, <http://www.agores.org/Publications/CityRES/English/Nakskov-DK-english.pdf> .

Cleveland CJ (ed.) (2004) Encyclopedia of Energy. Vol. 1-6, Elsevier, Amsterdam, NL, 5376p.

Crill P, Hargreaves K & Korhola A (2000) The role of peat in Finnish greenhouse gas balances. Studies and Reports 10/2000, Ministry of Trade and Industry Finland, 71p.

DoE (2000) Coal & Power Systems Strategic & Multi-Year Program Plans. CDROM, Office of Fossil Energy, US Department of Energy, March 2000, Washington, DC, USA.

EC (2004) European Union: Energy & transport in figures. European Commission, Directorate-General for Energy and Transport. 254s. <[http://europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport/figures/pocketbook/doc/2004/pb2004.pdf](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/figures/pocketbook/doc/2004/pb2004.pdf)>

ECCP (2003) Second ECCP Progress Report, Can we meet our Kyoto targets? European Climate Change Programme. 73p. <[http://europa.eu.int/comm/environment/climat/pdf/second\\_eccp\\_report.pdf](http://europa.eu.int/comm/environment/climat/pdf/second_eccp_report.pdf)>

EEA (2004) Ten key transport and environmental issues for policy makers: Indicators tracking transport and environmental integration in the European Union. EEA report 3/2004, European Environment Agency, Copenhagen, 32s.

Ekbom T, Lindblom M, Berglin N Ahlvik P (2003) Technical and commercial feasibility study of black liquor gasification with methanol/DME production as motor fuels for automotive uses – BLGMF. EU/Altener II project final report. Nykomb, Stockholm, Sweden, 263p. <<http://www.nykomb.se>>

Ekbom T (2005) Techno-Economics of Biomass & Black Liquor Gasification for Automotive Fuel Production. Presentation at Synbios Conference 18-20 May, Stockholm. Nykomb Synergetics AB., Sweden. <<http://www.nykomb.se>>

Elliott TC, Chen K & Swanekamp RC (1998) Standard Handbook of Powerplant Engineering. 2nd ed., McGraw Hill, New York, NY, USA, 1200p.

Elsayed MA, Matthews R & Mortimer ND (2003) Carbon and energy balances for a range of biofuels options. Sheffield Hallam University, Resources Research Unit and Forest Research. 341p.

EUREC (2002) The future for renewable energy 2 – Prospects and directions. The European Union Renewable Energy Centres (EUREC) Agency, James & James, London, 250p.

Flyktman M (2000) Ruokohelven seospolito turpeen ja puun kanssa. Teoksessa: Riitta Salo (toim.): Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi, tutkimuksen loppuraportti, osa 2, Ruokohelven ja oljen korjuu, tuotantokustannukset ja polttotekniikat. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja, sarja A 85. Maatalouden tutkimuskeskus, Jokioinen, 140-169.

Franke B & Reinhardt GA (1998) Environmental impacts of biodiesel use. In: Proceedings of Bioenergy '98, Expanding Bioenergy Partnerships. Madison, WI, USA, 1032-1041. <[http://www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/19981001\\_gen-110.pdf](http://www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/19981001_gen-110.pdf)>

Gagnon L, Belanger C & Uchiyama (2002) Life-cycle assessment of electricity generation options: the status of research in year 2001. Energy Policy 30: 1267-1278.

Gipe P (1995) Wind Energy Comes of Age. Wiley, New York, NY, US, 536p.

Hall DO, Rosillo-Calle F, Williams RH & Woods J (1993) Biomass for Energy: Supply prospects. In: Johansson et al., 593-651.

Hagström M, Vartiainen E & Vanhanen J (2005) Biokaasun maatilatuotannon kannattavuusselvitys – Loppuraportti. Gaia Group Oy, Helsinki, 77s. <<http://www.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmamuistiot/2005/>>

Hartmann D & Kaltschmitt M (1999) Electricity generation from solid biomass via co-combustion with coal, energy and emission balance from a German case study. Biomass & Bioenergy 16: 397-406.

Hedman B, Burvall J, Nilsson C & Marklund S (2005) Emissions from small-scale energy production using co-combustion of biofuel and the dry fraction of household waste. Waste Management 25:311- 321.

Huttunen J, Nykänen H & Martikainen P (2004) Reed canary grass cultivation on cut-away peatlands and the ecosystem carbon balance. In: Päivänen J (toim.) 2004: Wise Use of Peatlands, Proceedings of the 12th International Peat Congress, Tampere, Finland, 6-11 June 2004, Vol 2. Poster presentations. International Peat Society, 977 – 982.

Huttunen S (2004) Paikallista kestäväää energjaa – uusiutuvan energian mahdollisuudet maataloilla. Biologian laitoksen tiedonantoja 80, Uusiutuvan energian koulutusohjelma, Jyväskylän yliopisto, 72s. <[http://www.uusiutuvaenergia.jyu.fi/frame\\_left/Maatilaraportti.pdf](http://www.uusiutuvaenergia.jyu.fi/frame_left/Maatilaraportti.pdf)>

Huttunen S & Lampinen A (2005) Bioenergy technology evaluation and potential in Costa Rica. Research Reports in Biological and Environmental Sciences 81, University of Jyväskylä, 80p.  
<[http://www.cc.jyu.fi/~ala/CR\\_bioenergy\\_survey.pdf](http://www.cc.jyu.fi/~ala/CR_bioenergy_survey.pdf)>

Hyttinen T (2005) Valoa pimeässä – Kohti energiaomavaraisuutta maaseudulla. Julkaisu No 116, Levón-instituutti, Vaasan yliopisto, 187s.

IEA (1998) Benign Energy, the environmental implications of renewables. OECD International Energy Agency. Paris, 122p.

IEA (2000) Introduction. Task 29: Solar Crop Drying, Solar Heating and Cooling Programme, OECD International Energy Agency, <http://www.iea-shc.org/task29/index.html> (21/01/06).

IEA (2002) Distributed generation in liberalized electricity markets. OECD International Energy Agency. Paris, 125p.

IEA (2003) CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion 1971-2001, 2003 edition. CD-ROM, OECD International energy agency, Paris.

IEA (2004) Renewables Information 2004. OECD International Energy Agency, Paris, 190p.

IEA (2005) Key World Energy Statistics. OECD International Energy Agency, Paris, 80p.  
<<http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2005/key2005.pdf>>

IFEU (2000) Bioenergy for Europe: Which one fits best? A comparative analysis for the community, final report. Institute for Energy and Environmental Research. Heidelberg, Germany, 186p.

IFEU (2004) CO<sub>2</sub> mitigation through biofuels in the transport sector – Status and perspectives, Main report. Authors: M Quirin, SO Gärtner, M Pehnt & GA Reinhardt, Institute for Energy and Environmental Research (IFEU), Heidelberg, Germany, 56p. <<http://www.ifeu.de/co2mitigation.htm>>

IPCC (1996) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 1-3, United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change.  
<<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>>

IPCC (2001) Climate Change 2001 - Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Watson RT and the Core Writing Team (eds.), UN/IPCC, Cambridge University Press, UK, 397p.  
<[http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/vol4/english/index.htm](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/vol4/english/index.htm)>

Itä-Suomen energiatoimisto (2004) Itä-Suomen peltoenergiaohjelma vuoteen 2010. Itä-Suomen energiatoimisto, 69s. <<http://www.ofw.fi/rea.eastfin/pdf/Peltoenergiaohjelma%20PDF.pdf>>

Johansson TB, Kelly H, Reddy AKN, Williams RH & Burnham L (eds.) (1993) Renewable Energy – Sources for Fuels and Electricity. Earthscan, London, UK, 1160p.

JRC (2004) Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. Version 1b, January 2004. European Commission Joint Research Centre, Concawe and Eucar. Italy, 290p.  
<<http://ies.jrc.cec.eu.int/wtw.html>>

Jungmeier G (1999) Greenhouse gas balance of bioenergy systems – a comparison of the greenhouse gas emissions of bioenergy systems and fossil energy systems. In: Robertson KA & Schlamadinger B: Greenhouse Gas Balances of Bioenergy Systems, Proceedings of the workshop Bioenergy for mitigation of CO<sub>2</sub> emissions: the power, transportation, and industrial sectors. IEA Bioenergy Task 25, 188 s. Joanneum Research Center. Graz, Austria, 9-26.  
<<http://www.joanneum.at/iea-bioenergy-task38/workshops/gatlinburg99/gatlinburg.pdf>>

Jungmeier G & Spitzer J (2001) Greenhouse gas emissions of bioenergy from agriculture compared to fossil energy for heat and electricity supply. Nutrient Cycling in Agroecosystems 60:267-273.

- Kallio-Mannila R (1993) Tuulivoima. Teoksessa: Keskinen (1993b), 9-24.
- Kalmari J (2006) Maatilakohtaisen biokaasulaitosinvestoinnin kannattavuus suomalaisella sikatilalla. Taloustieteen laitoksen selvityksiä nro 42, Maatalousekonomia, Helsingin yliopisto, 70s. <<http://honeybee.helsinki.fi/mmtal/abs/Selv42.pdf>>
- Kaltschmitt M, Reinhardt GA, & Stelzer T (1996) Life cycle analysis of biofuels under different environmental aspects. *Biomass & Bioenergy* 12:121-134.
- Kautto N (2005) Analysis of policy options and implementation measures promoting electricity from renewable biomass in the European Union. European Commission, Joint Research Centre, Italy, 272p.
- Keskinen R (toim.) (1993a) Suomen energiatekniikan historia – Teknis-historiallinen tutkimus energian tuottamisesta ja käytöstä Suomessa 1840-1980, Osa 1. Julkaisuja 115, Tampereen teknillinen korkeakoulu, 428s.
- Keskinen R (toim.) (1993b) Suomen energiatekniikan historia – Teknis-historiallinen tutkimus energian tuottamisesta ja käytöstä Suomessa 1840-1980, Osa 2. Julkaisuja 115, Tampereen teknillinen korkeakoulu, 452s.
- Keskinen R (1993c) Energian tuottaminen ja käyttö teollistumisen aikana 1940-1930. Teoksessa: Keskinen (1993a), 23-46.
- Keskinen R (1993d) Vesivoima. Teoksessa: Keskinen (1993a), 71-188.
- Kim S & Dale BE (2006) Ethanol fuels: E10 or E85 – Life cycle perspectives. *The Int. J. of Life Cycle Assessment* 11(2):117-121. OnlineFirst-versio: <<http://www.everythingbiomass.org/Papers/7405.pdf>>
- Klingler B (2005) Environmental aspects of biogas technology. German Biogas Association, AD-Nett, 12p, <http://www.adnett.org/>.
- Kleimola M (1993) Muut termiset voimakoneet. Teoksessa: Keskinen (1993a), 323-356.
- Kouki J & Vuorio K (2005) Polttokokeita kauran ja puupelletin sopivuudesta pienpolton polttoaineeksi. Työteho-seura, 15s. <<http://www.tts.fi/tts/lehdistotiedotteet/files/mt.pdf>>
- KTM (1999) Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman taustaraportti. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 24/1999, Helsinki, 112s.
- KTM (2002) Uusiutuvan energian edistämishjelma 2003 – 2006: Työryhmän ehdotus. Kauppa- ja teollisuusministeriön työryhmä- ja toimikuntaraportteja 5/2003. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, Helsinki, 56s.
- KTM (2005) Teknologiaa kasviuonekaasupäästöjen vähentämiseksi - taustatyö kansallisen ilmastostrategian päivitystä varten. Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisuja 1/2005, Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, Helsinki, 182s.
- KTM (2006) Liikenteen biopolttoaineiden tuotannon ja käytön edistäminen Suomessa. Työryhmän mietintö 9.3., Kauppa- ja teollisuusministeriön Julkaisuja 11/2006, Helsinki, 138s. <[http://www.ktm.fi/files/16086/Mietinto\\_final\\_090306.pdf](http://www.ktm.fi/files/16086/Mietinto_final_090306.pdf)>
- Kuisma M (1997) Kylmä sota, kuuma öljy – Neste, Suomi ja kaksi Eurooppaa. WSOY, 616s.
- Kuittinen V, Huttunen MJ & Leinonen S (2005) Suomen biokaasulaitosrekisteri VIII – Tiedot vuodelta 2004. Karjalan tutkimuskeskuksen raportteja 3/2005, Joensuun yliopisto, 72s. <<http://www.kolumbus.fi/suomen.biokaasukeskus/docs/rek8.pdf>>
- Kukkonen I (1989) Terrestrial heat flow in Finland, the central Fennoscandian Shield. Tiedonanto YST, Ydinjätteiden sijoitustutkimukset 68, Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 230s.

- Kurki-Suonio I (1993) Polttoaineet ja niiden käytön kehitys. Teoksessa: Keskinen (1993a), 189-210.
- Lampinen A (2003) Jätteiden liikennekäyttöpotentiaali Suomessa. Kuntatekniikka 58(1):31-34. <[http://www.cc.jyu.fi/~ala/biokaasu/Kuntatekniikka\\_biokaasupotentiaali.PDF](http://www.cc.jyu.fi/~ala/biokaasu/Kuntatekniikka_biokaasupotentiaali.PDF)>
- Lampinen A, Pöyhönen P & Hänninen K (2004) Traffic fuel potential of waste based biogas in industrial countries – the case of Finland. In: Sayigh (ed.) Proc. World Renewable Energy Congress VIII, Denver 28.8.-3.9., Elsevier, 5p. <[http://www.cc.jyu.fi/~ala/biokaasu/Traffic\\_biogas\\_potential.pdf](http://www.cc.jyu.fi/~ala/biokaasu/Traffic_biogas_potential.pdf)>
- Lampinen A (2004a) Biokaasun tuotannon ja hyödyntämisen perusteet. Dimensio 68(3):4-9.
- Lampinen A (2004b) Biogas Farming – An Energy Self-Sufficient Farm in Finland. Refocus, 5(5):30-32.
- LBS (2002) GM Well-to-wheel analysis of energy use and greenhouse gas emissions of advanced fuel/vehicle systems – A European study. L-B-Systemtechnik GmbH, 27.9.2002, Ottobrun, Germany, 125p. <[http://www.lbst.de/index\\_\\_e.html?http://www.lbst.de/welcome\\_\\_e.html](http://www.lbst.de/index__e.html?http://www.lbst.de/welcome__e.html)>
- Lemley B (2006) Anything into oil. Discover, April 2006, 46-51.
- Linnaila R (2005) Status of Neste Oil's biobased NExBTL diesel production for 2007. Presentation at Synbios Conf. 18-20 May, Stockholm, Sweden. <<http://www.nykomb.se>>
- Liskola K (1993) Maatalouden energiakäyttö. Teoksessa: Keskinen (1993b), 245-270.
- Lindh T, Sahramaa M, Hakkarainen H, Mikkonen T & Selin P (2001) Peltobiomassojen tuotanto ja käyttö seospolttoaineeksi. Teoksessa: Kuitto P-J (toim.) Bioenergia Suomessa, Julkaisu 21, FINBIO - Suomen bioenergiayhdistys ry, Jyväskylä, 173-181.
- Martikainen P (2006) Ruokohelpi torjuu ilmastonmuutosta: ensimmäiset tutkimustulokset ruokohelven viljelyn kasvihuonekaasuvaikutuksista. Kuopion yliopiston lehdistötiedote 15.3.2006. <<http://www.kampus.uku.fi/tiedotteet/>>
- Massa I, Sairinen R & Itkonen L (1987) Energiahuollon vaihtoehdot ja maaseutu – Kolme näkökulmaa. Työraportteja 6, Sosiaalipolitiikan laitos, Helsingin yliopisto, 125s
- Miljöfordon (2006) Antalet miljöfordon och mängden miljöbränslen i landet. Miljöfordon, Göteborg, <http://www.miljofordon.se> (2.5.2006).
- Miller BG (2005) Coal energy systems. Elsevier Academic Press, Burlington, MA, USA, 526s.
- Milne TA, Elam CC & Evans RJ (2001) Hydrogen from biomass – State of art and research challenges. In: Annual Report 2001, IEA Hydrogen, International Energy Agency, 31 – 36.
- MMM (2005a) Valtioneuvoston maatalouspoliittinen selonteko. Maa- ja metsätalousministeriö, 20.10.2005, Helsinki, 69s. <[http://www.mmm.fi/tiedoteliitteet/051020\\_SELONTEKO.pdf](http://www.mmm.fi/tiedoteliitteet/051020_SELONTEKO.pdf)>
- MMM (2005b) Peltoviljelyn tulevaisuuden linjaukset Suomessa. Työryhmämuistio 2005:15, Maa- ja metsätalousministeriö, 29.12.2005, Helsinki, 46s. <[http://www.mmm.fi/tiedoteliitteet/trm2005\\_15.pdf](http://www.mmm.fi/tiedoteliitteet/trm2005_15.pdf)>
- MMM (2006) Peltobiomassa, liikenteen biopolttoaineet ja biokaasu –jaosto, Toinen väliraportti. Työryhmämuistio MMM 2006:1, Maa- ja metsätalousministeriö, 26.1.2006, Helsinki, 33s. <[http://www.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmuistiot/2006/trm2006\\_1.pdf](http://www.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmuistiot/2006/trm2006_1.pdf)>
- Myllyntaus T (1991) Electrifying Finland – The transfer of new technology into a late industrializing economy. Macmillan and ETLA, London, UK, 407p.
- Myllyntaus T (1993) Esiteolliset energiankäyttömuodot. Teoksessa: Keskinen (1993a), 11-22.



Mäkinen T & Sipilä K (2003) Liquid biofuels for transportation: production potential, utilisation and production costs in Scandinavia. In: Bioenergy 2003, Proc. International Bioenergy Conference, Jyväskylä 2.-5.9.2003, FINBIO, Jyväskylä, 376-382.

Mäkinen T, Sipilä K & Nylund N-O (2005) Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Suomessa, taustaselvitys. VTT tiedotteita 2288. VTT Prosessit, Espoo.,96s.

Naylor RL (1996) Energy and resource constraints on intensive agricultural production. *Annu. Rev. Energy Environ.* 21:99-123.

Nicolaou A, Remrova M & Jeliakov (2003) Biomass availability in Europe. Lot 5: Bioenergy's role in the EU Energy Market, 78p.  
<[http://europa.eu.int/comm/energy/res/sectors/doc/bioenergy/cres\\_final\\_report\\_annex.pdf](http://europa.eu.int/comm/energy/res/sectors/doc/bioenergy/cres_final_report_annex.pdf)>

Nielsen C (1995) Utilisation of straw and similar agricultural residues. *Biomass and Bioenergy*, 9:315-323.

Nigge K-M (2000) Life cycle assessment of natural gas vehicle. Springer, Berlin, 165p.

Norén C & Thunell J (2001) Hur bra är energigaser? Rapport SGC 116, Svenskt Gastekniskt Center, Oktober, Malmö, Sverige, 97s. <<http://www.sgc.se/rapporter/resources/sgc116.pdf>>

Nyholm A-M, Risku-Norja H & kapuinen P (2005) Maaseudun uusiutuvien energiamuotojen kartoitus. MTT:n Selvityksiä 89 (Ympäristö), Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Jokioinen, 33s.  
<<http://www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts89.pdf>>

Ogden JM & Nitsch J (1993) Solar hydrogen. In: Johansson et al. (1993), 925-1009.

Pahkala K, Isolahti M, Partala A, Suokannas A, Kirkkari A-M, Peltonen M, Sahramaa M, Lindh T, Paappanen T, Kallio E & Flyktman M (2005) Ruokohelven viljely ja korjuu energian tuotantoa varten. 2. korjattu painos, Maa- ja elintarviketalous 1, MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Jokioinen, 31s. <<http://www.mtt.fi/met/pdf/met1b.pdf>>

Palmerini CG (1993) Geothermal Energy. In: Johansson et al. (1993), 549-591.

Parlov SF, Lipošćak M & Željko J (2004) Assessment of the GHG reduction potential through biodiesel in Croatia in the context of JI. IEA Bioenergy Task 38 Case Study, Zagreb, Croatia, 30p.

Reinhardt G (2005) Comparison of Well-to-Wheel analyses of biofuels. Presentation, Synbios (Second-generation automotive biofuel conference), Stockholm 18-20 May. <<http://www.nykomb.se/>>

Rintamäki H & Rouhunkoski T (2004) Uusiutuvien energialähteiden käyttö ja hyödyntäminen Etelä-Pohjanmaalla. VASTO-hankkeen raportti, Vaasan yliopisto, Seinäjoen yksikkö, 28s.  
<[http://www.uusiutuvaenergia.jyu.fi/frame\\_left/VASTO%20raportti.doc](http://www.uusiutuvaenergia.jyu.fi/frame_left/VASTO%20raportti.doc)>

Ruostetsaari I (1986) Energiapolitiikan päätöksenteon ja hallinnon kehityksestä ja nykytilasta Suomessa. Tutkimuksia 85, Poliitiikan tutkimuksen laitos, Tampereen yliopisto, 466s.

Sahlberg P-H & Keskinen R (1993) Höyryvoimakoneet. Teoksessa: Keskinen (1993a), 257-322.

Sahramaa M (2004) Evaluating germplasm of reed canary grass. PhD Dissertation, Publication no 20, Section of Plant Breeding, Department of Applied Biology, University of Helsinki, Finland, 47p.  
<<http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/maa/sbiol/vk/sahramaa/evaluati.pdf>>

Salo M (2006) Ilmasto muuttuu - energiakentän rakenne ei: Tutkimus maatilojen energiaressurssien käyttöönoton ja maatilamittakaavaisen energiantuotannon rakenteellisista esteistä. Jyväskylän yliopiston sosiologian julkaisuja 71,124s.

Selin P (1999) Turvevarojen teollinen käyttö ja suopohjien hyödyntäminen Suomessa. Jyväskylä studies in biological and environmental science 79, Jyväskylän yliopisto, 239s.

- Smil V (1991) *General Energetics*. Wiley, New York, NY, USA, 369p.
- Smil V (1994) *Energy in World History*. Westview Press, Boulder, CO, USA, 300p.
- Smil V (1999) *Energies*. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 210p.
- Steffen R, Szolar O & Braun R (1998) *Feedstocks for anaerobic digestion*. AD-Nett, 29p, <http://www.adnett.org/>.
- Sørensen B (2000) *Renewable Energy – Its physics, engineering, environmental impacts, economics & planning*. 2<sup>nd</sup> ed., Academic Press, London, UK, 912p.
- Tahvanainen L (1995) *Pajun viljelyn perusteet*. Silva Carelica 30, Metsätieteellinen tiedekunta, Joensuun yliopisto, 86s.
- Tapio P (2002) *The limits to traffic volume growth – The content and procedure of administrative futures studies on Finnish transport CO<sub>2</sub> policy*. Acta Futura Fennica no 8, Tulevaisuuden tutkimuksen seura, Turku, 234p.
- TIKE (2003) *Maatilatilastollinen vuosikirja 2003*. Maa-, metsä- ja kalatalous 2003:62, Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus, Helsinki, 266s.
- TIKE (2004) *Maatilatilastollinen vuosikirja 2003*. Maa-, metsä- ja kalatalous 2004:61, Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus, Helsinki, 268s.
- TIKE (2005a) *Ennakkotieto viljakasvien lopullisesta satolaskelmasta 10.11.2005*. Tilastoryhmä, Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus, <http://www.mmmtike.fi/>.
- TIKE (2005b) *Viljelykasvien sato vuonna 2005*. Tilastoryhmä, Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus, 29.11.2005, <http://www.mmmtike.fi/>.
- TIKE (2006a) *RY-laskelma 2005*. 20.2.2006, Tilastoryhmä, Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus.
- TIKE (2006b) *Henkilökohtainen tiedonanto/Anneli Partala*, 20.3.2006.
- Tilastokeskus (2005a) *Suomen tilastollinen vuosikirja 2005*. Tilastokeskus, Helsinki, 702s.
- Tilastokeskus (2005b) *Energiatilasto 2004*. Tilastokeskus, Helsinki, 154s.
- Tilastokeskus (2005c) *Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2003, National inventory report to the UNFCCC*. 213p. <<http://www.stat.fi/greenhousegases>>
- Tilastokeskus (2006a) *Vuoden 2004 kasvihuonekaasupäästöt 14 % yli Kioton tavoitetason*, 16.1.2006. [http://www.stat.fi/til/khki/2004/khki\\_2004\\_2006-01-16\\_tie\\_001.html](http://www.stat.fi/til/khki/2004/khki_2004_2006-01-16_tie_001.html).
- Tilastokeskus (2006b) *Henkilökohtainen tiedonanto/Minna Niininen kuivurienergian käytöstä*, 9.3.2006.
- Tissari J, Raunemaa T, Jokiniemi J, Sippula O, Hytönen K, Linna V, Oravainen H, Pyykönen J, Tuomi S, Vesterinen R, Taipale R, Kolsi A, Nuutinen I, Kouki J & Vuorio K (2005) *Puun polton pienhiukkaspäästöt*. Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitosten monistesarja 2/2005. Kuopion yliopisto, 134s.
- Tuomisto H (2005) *Biokaasun ja peltoenergian tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset*. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki, 41s. <[www.mmm.fi/julkaisut/muut/SELVITYS2005\\_Peltoenergian\\_ymparistovaikutukset.pdf](http://www.mmm.fi/julkaisut/muut/SELVITYS2005_Peltoenergian_ymparistovaikutukset.pdf)>
- Tyynelä T (2004) *Ruokohelven viljelyn kustannussäästöt ja kilpailukyky*. Maataloustieteen Päivät 2004, MTT Etelä-Pohjanmaan tutkimusasema, <http://www.agronet.fi/maataloustieteellinenseura/>.

- Tyynelä T & Pahkala K (2003) Reed canary grass farming for bioenergy in Ostrobothnia, Finland. In: Oiva Niemeläinen and Mari Topi-Hulmi (toim.): Proceedings of the NJF's 22nd congress 'Nordic Agriculture in Global Perspective', July 1-4, 2003, Turku, Finland. MTT Agrifood Research, Jokioinen, Finland. 33s.
- Valanto J (1993a) Liikenne. Teoksessa: Keskinen (1993b), 197-244.
- Valanto J (1993b) Tilasto liikennevälineistä. Teoksessa: Keskinen (1993b), 419-452.
- VN (2005) Lähiajan energia- ja ilmastopolitiikan linjauksia – kansallinen strategia Kioton pöytäkirjan toimeenpanemiseksi. Valtioneuvoston selonteko Eduskunnalle 24.11.2005, 46s.
- Vartiainen E, Luoma P, Hiltunen J & Vanhanen J (2002) Hajautettu energiantuotanto: teknologia, polttoaineet, markkinat ja CO<sub>2</sub>-päästöt. Gaia Group Oy, Helsinki. 90s.
- Venäläinen A (1994) The spatial variation of mean monthly global radiation in Finland. Licentiate thesis, Division of Atmospheric Sciences, University of Helsinki, 54p.
- Voitila T & Vaarnas K (toim.) (1972) Fokus Tekniikka - Kertovasti kuvitettu tekniikan tietosanakirja, Osa 1. Otava, Helsinki, 761s.
- Volvo (2004) Volvo's position on future fuels for commercial vehicles. The Parliament magazine (European Parliament), 29.11.2004, 14.
- VTT (2004) Energia Suomessa – Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset. 3. uudistettu painos, VTT Prosessit, Edita, Helsinki, 396s.
- WEA (2000) World Energy Assessment – Energy and the Challenge of Sustainability. Goldemberg J (ed.), United Nations Development Programme (UNDP), United Nations Department of Economic and Social Affairs (UNDESA) and World Energy Council (WEC), UN, New York, NY, USA, 508p.  
<<http://www.energyandenvironment.undp.org/>>
- WEA (2004) World Energy Assessment - Overview: 2004 Update. Johansson TB and Goldemberg J (eds.), United Nations Development Programme (UNDP), United Nations Department of Economic and Social Affairs (UNDESA) and World Energy Council (WEC), UN, New York, NY, USA, 85p.  
<<http://www.undp.org/energy/weaover2004.htm>>
- Wihersaari M (1996) Biopolttoaineet ja ympäristö – Loppuraportin luonnos. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 17/1996, Helsinki, 164s.
- Wihersaari M (2005) Aspects on bioenergy as a technical measure to reduce energy related greenhouse gas emissions. VTT publications 564. VTT prosessit, Espoo. 93 s. + liitteet 71 s.
- Willis HL & Scott WG (2000) Distributed Power Generation – Planning and Evaluation. Marcel Dekker, New York, NY, USA, 597p.
- Örberg H (2002) Reed canary grass as a biofuel crop in Sweden. In: IEA Bioenergy, Task 17, Short rotation crops for energy purpose. Uppsala, Sweden, 32-35.

## Jyväskylän yliopiston biologian laitoksen tiedonantoja -sarjassa ilmestyneet julkaisut

- 1 SIENITALOUSSEMINAARI 7.–8.4.1975.
- 2 RAATIKAINEN M, SAARI V, KANKAALA P, KARILA V, KOVANEN J ja PULKKINEN E 1975: Korospohjan pumppuvoimalaitosalueen kasvisto ja eläimistö.
- 3 KEVOJÄRVEN JA SEN LÄHILAMPIEN HYDROBIOLOGIASTA. Hydrobiologian laudaturkurssi Utsjoen Kevolla 15.–22.7.1974. 1976.
- 4 ELORANTA V 1976: Levätestit selluloosateollisuuden prosessi- ja pääkanaalijätevesien sekä eräiden limantorjunta-aineiden vaikutusten selvittämisessä.
- 5 SAARI V ja OHENOJA E 1976: Korpilahden Vaarunvuorten suursienistä.
- 6 JUSSILAINEN M ja ELORANTA P 1976: Ilmakuviin perustuva tutkimus Konneveden ja Peurunkajärven vesikasvillisuudesta.
- 7 VESAKONTORJUNTA-AINESYMPIOSIUMI. 1977.
- 8 PALOKANGAS R 1977: Studies on avian thermoregulation with special reference to heat production in cold and seasonal acclimatization.
- 9 SAARI V 1978: Korpilahden Vaarunvuorten lehtisammalkasvistosta.
- 10 ELORANTA P ja ELORANTA A 1978: Tutkimus kalaston rakenteesta ja kalojen kasvusta Kuusvedessä, Ahvenisessa ja Leivonvedessä (Laukaa).
- 11 HUHTA V, SUNDMAN V, IKONEN E, SIVELÄ S, WARTIOVAARA T ja VILKAMAA P 1978: Jäteliete-kuorirouheseosten maatumisen biologia.
- 12 KOSKELA H 1979: Structure and dynamics of the beetle community inhabiting cow dung.
- 13 VIHKO V 1979: Response of the lysosomal system of skeletal muscle to exercise.
- 14 NORD-EUROPEISKA OGRÄSSYMPIOSIET I DICKURSBY, FINLAND DEN 7.–10.9.1976 DEL I. 1979.
- 15 NORD-EUROPEISKA OGRÄSSYMPIOSIET I DICKURSBY, FINLAND DEN 7.–10.9.1976 DEL II. 1979.
- 16 NURMELA P-L 1979: Jämsän ympäristönhoitotutkimus.
- 17 RÄSÄNEN L 1979: Elaboration of leukocyte inhibitory factor (LIF) by human peripheral blood lymphocytes and cellular collaboration in LIF production.
- 18 SIHVONEN H 1979: Jämsänkosken kunnan ympäristönhoitosuunnitelma.
- 19 NCE-SYMPIOSIUM "Ecology and fishery biology of small forest lakes" Lammi 15.–17.11.1978.
- 20 I. LUONNONTIETEELLISTEN MUSEOIDEN IV VALTAKUNNALLISET NEUVOTTELUPÄIVÄT 2.4.–3.4.1979 JYVÄSKYLÄSSÄ. II. YLIOPISTOJEN PUUTARHOJEN II VALTAKUNNALLISET NEUVOTTELUPÄIVÄT 2.4.–3.4.1979 JYVÄSKYLÄSSÄ.
- 21 RAATIKAINEN T 1979: Jyväskylän yliopiston viheraluepuutarhan esiselvitys.
- 22 FINEM-79. SUOMALAISTEN ELEKTRONIMIKROSKOPISTIEN SYMPIOSIUMI 27.–28.9.1979 JYVÄSKYLÄSSÄ.
- 23 HIRSIMÄKI P 1980: Studies on vinblastine-induced autophagocytosis in mouse liver.
- 24 KOLEHMAINEN K 1980: Saarijärvi-Kalmarin. Kalmarin kyläkuva, suunnitelmia ja toimenpide-ehdotuksia.
- 25 JYVÄSKYLÄN YLIOPISTON BIOLOGIAN LAITOS 10 VUOTTA.
- 26 SELIN P, KOKKO H ja HAKKARI L 1981: Sulfiittiseluteollisuuden jätevesien likaaman Lievestuoreenjärven pelagiaalin ravintoketjututkimus.
- 27 VIHKO V ja SALMINEN A 1981: Raajalihaksen lysosomaalisen järjestelmän mukautuminen fyysiseen kuormitukseen. Loppuraportti Valtion liikuntatieteellisen toimikunnan rahoittamasta tutkimuksesta vuosina 1978-1980.
- 28 KÄPYLÄ M, TÖNNES P ja VEIJOLA H 1981: Siitepölyn, sieni-itiöiden ja puupölyn esiintyminen Jyväskylän kaupunki-ilmassa.
- 29 Saarijärven Pyhä-Häkin kansallispuiston ja sen lähiympäristön metsäjärvien veden laatu, klorofyllipitoisuus, eläinplankton, pohjaeläimistö sekä vesihyönteis- ja vesipunkkilajisto. 1982.
- 30 ELORANTA A 1982: Tutkimuksia eräiden kivikkorantojen kalalajien biologiasta. I.
- 31 LAHTI T 1983: Ruoveden Siikanevan linnusto.
- 32 RAATIKAINEN M 1983: Kasvitieteellinen julkaisu toiminta Jyväskylän yliopistossa. RAATIKAINEN, M. ja NIEMELÄ, M. 1983: Mustikan poimintatarkkuuden määrittäminen. RAATIKAINEN M, RAATIKAINEN T ja SAARI V 1983: Saarijärven Voudinnemen kasvialajisto.
- 33 KONNEVESISYMPIOSIO. I. 7.–8.4.1983.
- 34 KONNEVESISYMPIOSIO. II. 7.–8.4.1983.
- 35 MARTTINEN KMJ 1983: Tutkimus Kynsiveden syvänteiden kalastosta touko-lokakuussa 1980.
- 36 HUHTA V, HYVÖNEN R, KOSKENNIEMI A, VILKAMAA P, KAASALAINEN P ja SULANDER M 1984: Metsänlannoituksen ja pH:n vaikutus maaperäeläimistöön.
- 37 LUOTOLA M 1984: Behaviour and effects of some xenobiotics as studied in laboratory model ecosystems.
- 38 JÄRVIEN JA JOKIEN POHJALÄINTUTKIJOIDEN KOKOUS 13.–15.10.1983.
- 39 SAARI V, RAATIKAINEN T ja VÄLIVAARA R 1984: Korpilahden ja Muuramen uhanalaiset kasvit.
- 40 V EKOLOGIPÄIVÄT JYVÄSKYLÄSSÄ 12.–13.4.1984.
- 41 SALONEN HW 1985: Salamajärven kansallispuistossa sijaitsevan Koirajoen rantojen kasvillisuus ja kasvisto.
- 42 SALONEN V ja SAARI V 1985: Korpilahden Ristisuon kasvisto, kasvillisuus ja suojele.
- 43 ELORANTA A 1985: Tutkimuksia eräiden kivikkorantojen kalalajien biologiasta. II.
- 44 KALLIO-MANNILA K, RAATIKAINEN M ja RAATIKAINEN T 1985: Kevätviljapellojen rikkaruoholajiston muutoksista 1960-luvulta 1980-luvulle.
- 45 VIII NORDIC MYCOLOGICAL CONGRESS 18.–22.8.1986.
- 46 MIKOLA L 1986: Cereal carboxypeptidases: occurrence, properties and possible functions.
- 47 SUNDELL P ja SAARI V 1986: Jyväskylän maalaiskunnan ja Laukaan uhanalaiset kasvit.

- 48 SIPPONEN M 1987: Keskisuomalaisten kotitarve- ja virkistyskalastuksesta ja sen arvosta v. 1981 erityisesti vesioikeudellisen intressivertailun kannalta.
- 49 HIRSIMÄKI P ja REUNANEN H 1987: Autofagosytoosin mekanismi ja säätely.
- 50 RAATIKAINEN T ja RAATIKAINEN M 1988: Pihtiputaan uhanalaiset putkilokasvit ja niiden suojele.
- 51 ELORANTA P 1988: Etelä- ja Keski-Suomen kansallispuistojen järvien kasviplanktonista heinäkuussa 1987.
- 52 HALTTUNEN-KEYRILÄINEN L 1988: Ympäristöviranomaisten koulutus- ja pätevyysvaatimuksista kunnissa. Kuntakyselyn tulokset.
- 53 REUNANEN H 1989: Ultrastructural studies on cellular autophagocytosis in vivo and in vitro.
- 54 HARVISALO S ja RAATIKAINEN T 1989: Kinnulan, Kivijärven ja Kyyjärven uhanalaiset putkilokasvit.
- 55 RAATIKAINEN M, IHANAINEN E ja RAATIKAINEN T 1989: Viitasaaren uhanalaiset putkilokasvit ja niiden suojele.
- 56 HUHTA V, HAIMI J, SETÄLÄ H, BOUCELHAM M, MARTIKAINEN E ja TYYNISMAA M 1989: Maaperäeläinten merkitys tuoreen kangasmetsän hajotuksessa, ravinnekierrossa ja maannostumisessa.
- 57 PEITSENHEIMO-AARNIO S ja RAATIKAINEN T 1989: Joutsan, Leivonmäen ja Luhangan uhanalaiset putkilokasvit ja niiden suojele.
- 58 EISTO A-K ja RAATIKAINEN T 1989: Hankasalmen ja Toivakan uhanalaiset putkilokasvit.
- 59 EKOTOKSIKOLOGIAN SEMINAARI. Jyväskylän yliopisto 27.–28.11.1990.
- 60 RAATIKAINEN M 1990: Putkilokasvilajien yleisyyden muutokset 1900-luvun Pihtiputaalla.
- 61 USTINOV A ja RAATIKAINEN M 1991: Lestijärven ja Toholammin uhanalaiset putkilokasvit.
- 62 LIIKUNTA JA LUONTO -SEMINAARI. LIKES, Jyväskylän yliopisto, Keski-Suomen liitto, Jyväskylän latu ry. 21.5.1991.
- 63 HAMARUS A, HELENIUS M ja SAARI V 1991: Jyväskylän uhanalaiset kasvit.
- 64 CONFERENCE ON THE ECOPHYSIOLOGY OF THE LIFE CYCLES OF FISH AND THEIR PARASITES. Konnevesi Research Station 10.3.–11.3.1992.
- 65 HALLMAN J ja RAATIKAINEN M 1992: Halsuan ja Perhon uhanalaiset putkilokasvit.
- 66 ERVI LO ja RAATIKAINEN M 1993: Multian putkilokasvit.
- 67 RAATIKAINEN M ja SAARI V 1994: Viitasaaren seutukunnan lehtisammalet.
- 68 MARJOMÄKI T ja HUOLILA M 1994: Puulaveden kalatutkimuksia I.
- 69 HÄNNINEN K, KOIVULA N, MIIKKI V ja TOLVANEN O 1999: Erilliskerätyn biojätteen aumakompostointi Mustankorkealla Jyväskylässä.
- 70 HÄNNINEN K, ASIKAINEN A, YLI-KETURI N, RUOKOJÄRVI P, AATAMILA M, HALONEN I, TUPPURAINEN K, VESTERINEN R, MIKKELSON P ja RUUSKANEN J 2000: Nestemäisen inhibiittoriyhdisteen käyttö todellisen yhdyskuntajätteen poltossa muodostuvien kloorattujen PCDD/F-yhdisteiden vähentämiseen.
- 71 HÄNNINEN K, YLI-KETURI N, MIKKELSON P, PENTTILÄ H, VESTERINEN R, PAAKKINEN K, HALONEN I, ASIKAINEN A, RUOKOJÄRVI P, TUPPURAINEN K ja RUUSKANEN J 2000: Kemiallis-fysikaalisten tekijöiden vaikutus PCDD/F-yhdisteiden *de novo* -muodostumiseen ja sen ehkäisemiseen jätteenpoltossa.
- 72 HÄNNINEN K, AILUNKA H, KOTIMÄKI I, MAIJALA V, LAMBACKA H, HEIMONEN R ja KUOSKU V 2001: Poron teurasjätteen kompostointi ja kasvatuskokeet kompostilla.
- 73 HÄNNINEN K, KOIVULA N, MIIKKI V, URPILAINEN S and RÄIKKÖNEN T 2001: Source separation and composting of biowaste with a view to recycling of the end product.
- 74 LAMPINEN A 2001: Jyväskylän yliopiston uusiutuvan energian koulutus- ja tutkimusohjelma – Tausta ja toimintaympäristö.
- 75 LAMPINEN A 2001: Co-operation possibilities on renewable energy between Finland and India.
- 76 TOLVANEN O ja HÄNNINEN K 2001: Uusinta teknologiaa hyödyntävien jätteenkäsittelylaitosten työhygieniä v. 1998-2001: bioaerosoli- ja melumittaukset. Suomen Akatemian projekti n:o 42503/1998. Loppuraportti.
- 77 VIILOS P, IMPPOLA U, VEIJANEN A ja HÄNNINEN K 2002: Uusinta teknologiaa hyödyntävien jätteenkäsittelylaitosten työhygieniä v. 1998-2001: haihtuvat, haisevat yhdisteet. Suomen Akatemian projekti n:o 42503/1998. Loppuraportti.
- 78 RAHEEM K, HÄNNINEN K and AKINROYE K (eds.) 2002: West Africa clean studies. Proceedings of the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> international conferences on waste management. Lagos, Nigeria, 2000 and 2001.
- 79 HÄNNINEN K ja MIIKKI V (toim.) 2003: Biojätteiden paineistettu anaerobinen biokonversio.
- 80 HUTTUNEN S 2004: Paikallista kestävä energiaa – Uusiutuvan energian mahdollisuudet maataloilla.

#### Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja -sarjassa ilmestyneet julkaisut

#### RESEARCH REPORTS IN BIOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

- 81 HUTTUNEN S and LAMPINEN A 2005: Bioenergy technology evaluation and potential in Costa Rica.
- 82 RONKAINEN O, KOSKINEN P, LEHTOMÄKI A, LAMPINEN A, TOIVAINEN K, KAKSONEN A, PUHAKKA J ja RINTALA J 2005: Biologinen vedyntuotanto pimeäfermentaatioprosessilla.
- 83 KUMPULAINEN T 2005: Jyväskylän kaupungin perhoslajisto vuosina 1995 - 2005: I - päiväperhoset ja muu huomionarvoinen perhoslajisto.
- 84 LAMPINEN A ja JOKINEN E 2006: Suomen maatalojen energiantuotantopotentiaalit – Ekologinen perspektiivi.