



# Suomalainen tulevaisuuden energialiiketoiminta – skenaariot ja strategiat

SALKKU-hankkeen yhteenvetoraportti

Tiina Koljonen | Göran Koreneff | Lassi Similä | Juha Forsström |  
Tommi Ekholm | Antti Lehtilä | Maija Ruska | Katri Pahkala | Kaija Hakala |  
Timo Lötjönen | Oiva Niemeläinen | Heidi Rintamäki | Esa Aro-Heinilä



# **Suomalainen tulevaisuuden energialiiketoiminta – skenaariot ja strategiat**

SALKKU-hankkeen yhteenvetoraportti

---

Tiina Koljonen, Göran Koreneff, Lassi Similä, Juha Forsström,  
Tommi Ekholm, Antti Lehtilä & Maija Ruska  
VTT

Katri Pahkala, Kaija Hakala, Timo Lötjönen,  
Oiva Niemeläinen, Heidi Rintamäki & Esa Aro-Heinilä  
MTT

ISBN 978-951-38-7839-9 (soft back ed.)

ISSN 2242-1211 (soft back ed.)

ISBN 978-951-38-7840-5 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN 2242-122X (URL: <http://www.vt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2012

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT

PL 1000 (Vuorimiehentie 5, Espoo)

02044 VTT

Puh. 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT

PB 1000 (Bergsmansvägen 5, Esbo)

FI-2044 VTT

Tfn +358 20 722 111, telefax +358 20 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland

P.O. Box 1000 (Vuorimiehentie 5, Espoo)

FI-02044 VTT, Finland

Tel. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

## **Suomalainen tulevaisuuden energialiiketoiminta – skenaariot ja strategiat** SALKKU-hankkeen yhteenvetoraportti

**Tiina Koljonen, Göran Koreneff, Lassi Similä, Juha Forsström, Tommi Ekholm, Antti Lehtilä, Maija Ruska, Katri Pahkala, Kaija Hakala, Timo Lötjönen, Oiva Niemeläinen, Heidi Rintamäki & Esa Aro-Heinilä.** Espoo 2012. VTT Technology 25. 115 s.

### **Tiivistelmä**

Julkaisussa on esitetty yhteenveto hankkeen ”Suomalainen tulevaisuuden energialiiketoiminta – skenaariot ja strategiat (SALKKU)” tuloksista. SALKKU-hanke on toteutettu VTT:n ja MTT:n yhteishankkeena ja koordinaattorina toimi VTT ja sen tavoitteena oli analysoida tulevaisuuden energialiiketoimintaa ja siihen vaikuttavia tekijöitä vuoteen 2050 asti. SALKKU-hankkeen tutkimustyö pohjautui osittain aiempaan Tekesin Climbus-ohjelman hankkeeseen ”Suomalaisen energiateollisuuden kilpailukyky ilmastopolitiikan muuttuessa – SEKKI”, jonka tulokset on julkaistu vuonna 2009 VTT:n ja MTT:n julkaisusarjoissa. SALKKU-hankkeessa keskityttiin tarkastelemaan tulevaisuuden energialiiketoimintaa arvioimalla energian kysynnän, tarjonnan ja markkinoiden kehitystä pitkällä aikavälillä, kun taustalla vaikuttavat tulevaisuuden energia- ja ilmastopolitiikka, hupenevat fossiiliset energiaresurssit sekä kasvava väestön ja talouskehitys. Energian kysyntää arvioitiin globaalisti, EU:ssa ja erityisesti kehittyvän Aasian talouksissa. Energian tarjonnan kehitysten arvioinnissa keskityttiin fossiilisiin polttoainereserveihin ja resursseihin sekä pelto-bioenergian teknisiin ja teknistaloudellisiin potentiaaleihin, joihin liittyy suuria epävarmuuksia kasvavan ruokatarpeen, muuttuvien ruokatottumusten sekä toisaalta voimakkaasti kasvavan bioenergian kysynnän myötä. SALKKU-hankkeen rinnakkaisena hankkeena toimi Etlatiedon EnTech-hanke (Energiateknologian viennin ja kansainvälisen kilpailukyyn analyysi ja seuranta), jossa arvioitiin suomalaisen energiatoimialan kehitystä teknologian viennin näkökulmasta.

VTT:n työn keskeinen sisältö oli arvioida tulevaisuuden ilmastopolitiikan vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin sekä energijärjestelmien kehitykseen ja investointeihin. Painopiste tarkasteluissa oli Euroopan ja Aasian kehittyvien talouksien skenaarioissa. Tässä hyödynnettiin osin laajaa kansainvälistä yhteistyötä ja osin eri osatehtävien tuloksia. Aasian kehitystä arvioitiin kansainvälisessä verkostohankkeessa Asian Modelling Exercise (AME) ja EU:n kehitystä Energy Modelling Forumin (EMF) EU-selvityksessä. VTT:n toinen keskeinen osatehtävä oli arvioida kriittisesti fossiilisten polttoaineiden riittävyttä tulevaisuudessa ja polttoaineiden käyttöön vaikuttavia tekijöitä, kuten polttoainemarkkinat merikuljetuksineen. Maakaasumarkkinoita varten kehitettiin erillinen markkinamalli, lisäksi arvioitiin pohjoismaisten sähkömarkkinoiden kehittymistä vuoteen 2050 asti. Bioenergian käytön voimakas lisääminen edellyttäisi erityisesti peltoalan hyödyntämistä energiakasvien tuotannossa. MTT:n työ painottui peltobioenergian teknistaloudellisten potentiaalien arviointiin alueellisesti ja globaalisti. Arvioissa huomioitiin riittävä ruoan tuotanto maailman kasvavalle väestölle, peltobiomassan käytön vaikutukset maaperään ja mahdolliset ilmastonmuutoksen vaikutukset. Lisäksi tarkasteltiin erityisesti peltobioenergian kilpailukykyä.

**Avainsanat** energy scenarios, emission scenarios, fuel reserves, fossil fuels, field bioenergy, electricity markets, gas markets, ship transport, Asian energy, clean energy, future energy

## **Future of Finnish energy business – scenarios and strategies**

Summary report of the SALKKU research project

[Suomalainen tulevaisuuden energialiiketoiminta – skenaariot ja strategiat. SALKKU-hankkeen yhteenvetoraportti]. **Tiina Koljonen, Göran Koreneff, Lassi Similä, Juha Forsström, Tommi Ekholm, Antti Lehtilä, Maija Ruska, Katri Pahkala, Kaija Hakala, Timo Lötjönen, Oiva Niemeläinen, Heidi Rintamäki & Esa Aro-Heinilä.** Espoo 2012. VTT Technology 25. 115 p.

## **Abstract**

This report gives a summary of the results of the research project “Future of Finnish energy business – scenarios and strategies” (SALKKU). The SALKKU research was carried out as a joint research project of VTT Technical Research Centre of Finland (VTT) and MTT Agrifood Research Finland (MTT). The coordinating partner was VTT. The objective of the project was to assess the future energy business and factors contributing to it up to year 2050. The research in SALKKU is partly a continuation of the work done in the research project “SEKKI – The Competitiveness of Finnish Energy Industry under Developing Climate Policy”, which was a part of the ClimBus-programme of Tekes, the Finnish Funding Agency for Technology, and the results of which have been published in VTT’s and MTT’s report series in 2009.

The focus in SALKKU project was on assessing future energy businesses by analysing the development of energy demands and supplies as well as energy markets under the influence of future energy and climate policies, depleting fossil resources, growing population, and the economic development. The demand for energy was studied on a global, an EU, and especially on an Asian level. On the supply side the focus was both on fossil reserves and resources and on the technical and the techno-economical potential of field bioenergy. There are vast uncertainties concerning the growth in food demand and changing eating habits on one hand, and the demand for bioenergy on the other hand. The EnTech project by Etlatieto, a subsidiary of ETLA, The Research Institute of the Finnish Economy, was carried out as a parallel project to SALKKU. The EnTech project assessed the development of energy technology export of the Finnish energy industry.

One part of the work at VTT was to analyse the impacts of future climate policies on greenhouse gas emissions, on the development of the energy systems, and on clean energy investments. The area of focus was on long term energy and emission scenarios for Europe and the developing economies in Asia. An extensive international collaboration was utilized in scenario analysis, and the results from different subtasks were used as inputs in VTT’s own modelling work. The development in Asia was assessed in the international network undertaking of Asian Modelling Exercise (AME), while the development in the EU was analysed in the EU study by Energy Modelling Forum (EMF). Another central part of VTT’s work was to critically estimate the sufficiency of fossil fuel resources and to assess drivers for their future use, such as the development of fuel markets and the costs of sea transportation. A new model was developed to analyse global natural gas markets; also, the Nordic electricity market up to 2050 was scrutinized.

A steep increase in the use of bioenergy would especially demand the utilisation of field area to grow energy crops. MTT’s work mainly focused on the evaluation of regional and global techno-economic potentials of field bioenergy taking into account sufficient

food production to feed the growing global population, the effects of harvesting field biomass on the soil organic matter, and possible impacts of climate change. In addition, the competitiveness of field bioenergy was studied.

**Avainsanat** energy scenarios, emission scenarios, fuel reserves, fossil fuels, field bioenergy, electricity markets, gas markets, ship transport, Asian energy, clean energy, future energy

## Alkusanat

Julkaisussa on esitetty hankkeen ”Suomalainen tulevaisuuden energialiiketoiminta – skenaariot ja strategiat (SALKKU)” tulosten yhteenveto, joka perustuu eri osahankkeiden päätuloksiin. Eri osatehtävien tuloksia on raportoitu tarkemmin erillisissä julkaisuissa, tieteellisissä artikkeleissa sekä konferenssiartikkeleissa.

Tutkimus tehtiin VTT:n ja Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) yhteishankkeena ja koordinaattorina toimi VTT. Tutkimusta rahoittivat Tekesin lisäksi Gasum Oy, Metso Power Oy, Teknologiateollisuus ry, Helsingin Energia, VTT ja MTT. Yhteishankkeen koordinaattorina ja vastuullisena johtajana toimi tiimipäällikkö Tiina Koljonen ja projektipäällikkönä toimi erikoistutkija Göran Koreneff VTT:ltä. MTT:n osahankkeen vastuullisena johtajana toimi erikoistutkija Katri Pahkala. Projektin johtoryhmän puheenjohtajana toimi Timo Arponen (Helsingin Energia). Johtoryhmään kuuluivat lisäksi Marjatta Aarniala (Tekes), Björn Ahlnäs (Gasum), Matti Rautanen (Metso Power), Timo Airaksinen (Teknologiateollisuus) toukokuuhun 2011 asti ja Martti Kätkä (Teknologiateollisuus) siitä eteenpäin, Hannu Hernesniemi (Etlatieto Oy), Markku Järvenpää (MTT), Satu Helynen (VTT), Tiina Koljonen (VTT), Katri Pahkala (MTT) ja Göran Koreneff (siht., VTT).

Hankkeen tutkijat haluavat kiittää johtoryhmää aktiivisesta osallistumisesta ja ohjauksesta.

Huhtikuussa 2012

Tekijät



# Sisällysluettelo

Tiivistelmä .....	3
Abstract .....	4
Alkusanat.....	6
Lyhenneluettelo.....	10
<b>1. Johdanto .....</b>	<b>14</b>
<b>2. Energiatoimialan globaalit ja alueelliset “mega-driverit” .....</b>	<b>16</b>
2.1 Energian kysynnän kehitys globaalisti ja kehittyvässä Aasiassa – Asian Modelling Exercise-hankkeen tuloksia.....	16
2.1.1 AME-skenaariotyön lähtökohdat .....	16
2.1.2 Yleisiä tuloksia.....	17
2.1.3 Fossiilisten polttoaineiden kysynnän kehitys.....	20
2.2 Energiainvestoinnit ja niiden rahoitus kehittyvissä maissa .....	24
2.2.1 Johdanto .....	24
2.2.2 Sähköinvestointien rahoitustilanne Saharan eteläpuolisessa Afrikassa .....	25
2.2.3 Skenaarioita Saharan eteläpuolisen Afrikan sähköntuotannosta.....	27
2.3 Energia- ja ilmastopolitiikan vaikutukset EU:n energijärjestelmän kehitykseen .....	29
2.4 Yhteenveto.....	33
<b>3. Fossiiliset polttoainevarat ja -markkinat.....</b>	<b>35</b>
3.1 Öljy .....	35
3.1.1 Öljyvarat .....	36
3.1.2 Öljyn kysyntä .....	37
3.1.3 Öljyn tuotanto .....	37
3.2 Maakaasu .....	38
3.2.1 Maakaasureservit ja -resurssit .....	38
3.2.2 Maakaasun kysyntä .....	41
3.2.3 Maakaasun tuotanto.....	41

3.2.4 Euroopan liuskekaasuresurssit ja niiden hyödyntäminen .....	43
3.2.5 Maakaasumarkkinat .....	44
3.3 Hiili.....	44
3.3.1 Hiilivarat .....	45
3.3.2 Hiilen kysyntä .....	46
3.3.3 Hiilen tuotanto.....	47
3.3.4 Hiilimarkkinat .....	48
3.4 Yhteenveto polttoainevaroista ja kysynnöistä.....	50
<b>4. Peltobiomassat .....</b>	<b>52</b>
4.1 Euroopan peltobiomassapotentiaali ja peltobioenergian tuotantoon vapautuva maa-ala.....	52
4.1.1 Aineisto ja menetelmät .....	53
4.1.2 Eri maiden biomassapotentiaalit .....	54
4.1.3 Yhteenveto .....	55
4.2 Peltoviljelyn sivutuotteet ja niiden bioenergiapotentiaali.....	59
4.2.1 Sivutuotepotentiaalien määrittäminen .....	60
4.2.2 Sivutuotepotentiaali Euroopan eri maissa .....	61
4.2.3 Yhteenveto .....	63
4.3 Kannustimien ja hintasuhteiden merkitys CHP-tuotantoketjuissa .....	64
4.3.1 Peltobioenergian nykyinen toimintaympäristö.....	64
4.3.2 Teknologian ja kasvinjalostuksen mahdollisuudet peltobioenergiatuotannon lisääjinä.....	65
4.3.3 Teknologian vientimahdollisuudet Suomesta.....	66
4.4 Nurmialueilta biomassaa Euroopan bioenergian tuotantoon .....	67
4.4.1 Nurmialat ja nurmea käyttävät eläimet maittain .....	68
4.4.2 Suomessa käytettävissä oleva nurmisato bioenergian tuotantoon .....	70
4.4.3 Esimerkki Brasilian bioenergian tuotannon sovellettavuudesta.....	71
4.5 Kansainvälinen bioenergiakauppa – biopolttoainetavoitteiden vaikutukset viljelyalan käyttöön .....	72
4.5.1 Biopolttoainemarkkinoiden kehitykseen vaikuttavat tekijät .....	72
4.5.2 Biopolttoaineskenaarioiden vaikutukset.....	73
<b>5. Energiahyödykkeiden merikuljetukset .....</b>	<b>75</b>
5.1 Taustaa ja tavoitteet .....	75
5.2 Energiahyödykkeiden kuljetusten nykytila: kuljetusmäärät, reitit ja aluskalusto.....	75
5.3 Laivakuljetusten kustannusrakenne ja kustannuskehitys .....	80
5.3.1 Kuljetusmarkkinoista, sopimuksista ja hintatiedoista .....	80
5.3.2 Energiahyödykkeiden kuljetuskustannusten kehitys.....	82
5.4 Johtopäätöksiä .....	84
<b>6. Energiemarkkinoiden kehitys .....</b>	<b>87</b>
6.1 Maakaasuresursseista ja markkinoista .....	87
6.1.1 Mihin tarkoitukseen? .....	87

6.1.2 Kaasun tuotanto.....	87
6.1.3 Markkinarakenne .....	88
6.1.4 Kaasun kysyntä .....	89
6.1.5 Tasapaino.....	89
6.1.6 Globaalit resurssit .....	89
6.1.7 Vientimahdollisuuksista .....	91
6.1.8 Euroopan kaasunhankinnan tulevaisuus .....	91
6.1.9 Alustavia tuloksia .....	92
6.2 Sähkömarkkinat.....	93
6.2.1 Polttoaine- ja päästöoikeushinnat .....	95
6.2.2 Kulutus .....	96
6.2.3 Kapasiteettikehitys.....	97
6.2.4 Sähkön tuotanto tuotantomuodoittain ja energialähteittäin .....	98
6.2.5 Markkinahinnan herkkyystarkastelut .....	100
6.2.6 Yhteenveto .....	100
<b>7. Johtopäätökset .....</b>	<b>102</b>
<b>Lähdeluettelo.....</b>	<b>107</b>

## Lyhenneluettelo

AME	Asian Modelling Exercise. Kansainvälinen yhteistyöhanke, jossa tarkasteltiin Aasian kehityksen vaikutuksia globaaliin ilmastomuutoksen hillintään
ARA-satamat	Amsterdam, Rotterdam ja Antwerpen
bcf	Billion cubic feet, $10^9$ kuutiojalkaa eli $1/35,3$ bcm = 28,3 milj.m <sup>3</sup>
bcf/d	Billion cubic feet per day, $10^9$ kuutiojalkaa päivässä eli 10,3 bcm vuodessa
bcm	Billion cubic meters, $10^9$ m <sup>3</sup>
b/d	barrels per day, öljytynnyriä päivässä
bl	Barrel, 0,159 m <sup>3</sup>
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, Germany)
BP	British Petroleum
CBM	Coalbed Methane. Hiilikerrostumiin sitoutunut metaanikaasu
CEDIGAZ	The International Foundation for Natural Gas -järjestö
cm	Cubic metres
dwt	Deadweight tonnage eli kuollut paino. Laivakuljetuksissa massan lastinkantokyvystä käytetään usein alusten kokoa kuvaavaa yksikköä, joka sisältää henkilöstön, varastojen, lastin, makean veden ja polttoaineen jne. suurimman sallitun yhteispainon.
EIA	Energy Information Administration, US
EMF	Energy Modelling Forum. Stanford Universityn koordinoima kansainvälinen mallinnusverkosto.
EUR	Estimated Ultimate Recovery. Arvio lopullisesta hyödynnettävissä olevasta määrästä tiettyä fossiilista polttoainetta, joka on jo tuotetun määrän ja tulevaisuudessa hyödynnettävissä olevien reservien ja resurssien summa.
FAO	The Food and Agriculture Organization of the United Nations

Gbl	Gigabarrel eli 10 <sup>9</sup> barrelia (usein näkee myös merkittävän Gb)
GE	Grain Equivalent eli kunkin kasviryhmän sadon vesi-, hiilihydraatti-, öljy- ja proteiinipitoisuuden huomioiva kerroin, kun sato ilmaistaan vehnätonneina.
GEFC	Gas Exporting Countries Forum, kaasunviejäm maiden OPECin kaltainen järjestö, johon kuuluu 11 jäsenmaata.
Gt	Gigaton eli 10 <sup>9</sup> tonnia
ha	hehtaari
HVP	Hoidettu viljelemätön pelto
IANGV	International Association for Natural Gas Vehicles
IEA	International Energy Agency
ka	kuiva-aine
LNG	Liquified Natural Gas, nesteytetty maakaasu
Miscanthus	Miscanthus giganteus, Elefantiheinä, nopea- ja runsaskasvuinen heinäkasvi, jota viljellään energiantuotantoon
Mtce	Million tonnes of coal equivalent, miljoona hiiliiekvivalenttitonnia
Mtoe	Million tonnes of oil equivalent, miljoona öljykvivalenttitonnia
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development. 34 OECD-maahan kuuluvat useimmat EU-maat ja mm. USA, Australia, Kanada, Japani, Etelä-Korea, Meksiko.
OPEC	Organization of the Petroleum Exporting Countries, öljyn tuottajamaiden kartelli
R/P	Reserves per Production, resevien määrä suhteessa toteutuneeseen tuotantoon tietyssä vuonna
short ton	Short ton on noin 907 kg
tce	Tonne coal equivalent, hiiliiekvivalenttitonni, = 0,7 toe
tcm	Trillion cubic meters, 10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>
toe	Ton oil equivalent, öljykvivalenttitonni

USD	US dollar eli Yhdysvaltain dollari
USGS	United States Geological Survey
WEC	World Energy Council

### VTT:n TIMES-mallin laskenta-alueiden lyhenteet

Lyhenne	Nimi	Maat alueiden sisällä
AFR	Afrikka	Afrikan mantereen maat
AUS	Australia	Australia + Uusi-Seelanti
CAN	Kanada	Kanada
CHI	Kiina	Kiina + Hong Kong
CIS	Itsenäisten valtioiden yhteisö	Entinen Neuvostoliitto pois lukien Baltian maat
EEU	Itä-Eurooppa	Baltian maat, Etelä-Euroopan itäiset maat (pl. Turkki ja CIS)
IND	Intia	Intia
JPK	Japani	Japani + Etelä-Korea
LAM	Latinalainen Amerikka	Keski- ja Etelä-Amerikan maat
MEA	Lähi-itä	Lähi-itä + Turkki
ODA	Muu kehittyvä Aasia	Aasia pois lukien Kiina, Intia, Etelä-Korea ja Lähi-itä
USA	Yhdysvallat	Yhdysvallat
WEU	Länsi-Eurooppa	EU-12 pois lukien Tanska + Itävalta, Sveitsi, Islanti ja Malta
DNK	Tanska	Tanska
FIN	Suomi	Suomi
NOR	Norja	Norja
SWE	Ruotsi	Ruotsi
RUS	Venäjä	Venäjä (ajettaessa Eurooppa-tason mallia)

## Energiayksiköiden muunnoskertoimia

Muunnostaulukko 1: Arvioituja energiasäilyttäjä.

Yksikkö	toe	Wh	J	Lähde
1 bcm <sup>1</sup>	0,86 Mtoe	10,0 TWh	36 PJ	TEM 2011
1 bcm <sup>2</sup>	0,9554 Mtoe	11,11 TWh	40 PJ	IEA GAS 2011
1 bcm	0,86 Mtoe	10,0 TWh	36 PJ	WEC 2010a
1 bcm	0,9 Mtoe	10,47 TWh	37,68 PJ	BP 2011
1 bcf	0,0255 Mtoe	0,30 TWh	1,068 PJ	BP 2011
1 tce	0,700 toe	8,139 MWh	29,3 GJ	WEC 2010a
1 barreli raakaöljyä	0,1364 toe	1,586 MWh	5,711 GJ	BP 2011
1 t kivihiili	0,61 toe	7,094 MWh	25,54 GJ	TEM 2011

Muunnostaulukko 2: Eri energiayksiköt.

Yksikkö	toe	Wh	J
1toe	0,001 ktoe	11,63 MWh	41,87 GJ
1 Mtoe	10 <sup>6</sup> toe	11,63 TWh	41,87 PJ
1 GJ	0,02388 toe	0,2778 MWh	10 <sup>-6</sup> PJ = 10 <sup>6</sup> kJ
1 EJ	23,88 Mtoe	277,8 TWh	1000 PJ
1 MWh	0,086 toe	10 <sup>3</sup> kWh	3,6 GJ
1 TWh	0,086 Mtoe	10 <sup>6</sup> MWh	3,6 PJ
1 MBtu	0,0252 toe	0,293 MWh	1,0551 GJ
1 kcal/kg	0,1· 10-3 toe	1,163 Wh/kg	4,1868 kJ/kg

---

<sup>1</sup> 0 °C:n lämpötilassa.

<sup>2</sup> Ylempi lämpöarvo, 40 GJ/cm 15 °C:n lämpötilassa ja 101,325 kPa:n paineessa.

# 1. Johdanto

Jotta ilmaston lämpeneminen saataisiin pidettyä alle 2 °C:n, Eurooppa-neuvosto vahvisti helmikuussa 2011 uudelleen EU:n tavoitteeksi kasvihuonekaasujen vähentämisen 80–95 %:lla vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä. Kyseessä ovat vähennykset, joita hallitustenvälisen ilmastopaneelin (IPCC) mukaan edellytetään teollisuusmailta ryhmänä. Tämä vastaa myös maailman johtajien Kööpenhaminan ja Cancúnin sopimuksissa hyväksymää kantaa. Kyseisiin sopimuksiin sisältyy sitoumus vähähiilistä kehitystä edistävien pitkän aikavälin strategioiden laatimisesta (EU 2011a). Maaliskuussa 2011 Euroopan komissio julkaisikin tiedonannon ja etenemissuunnitelman EU:n siirtymiselle kilpailukykyiseen vähähiiliseen talouteen vuoteen 2050 mennessä (EU 2011a) ja joulukuussa 2011 komissio julkaisi energiasektorin vähähiilistä kehitystä koskevan selvityksen, jossa on mallintamalla laadittu useita mahdollisia skenaarioita siitä, kuinka tämä voitaisiin tehdä, sekä keskeiset tekijät, joiden tulisi ohjata EU:n ilmastotoimia siirtymisessä kilpailukykyiseen vähähiiliseen talouteen vuoteen 2050 mennessä. Lähestymistavan perustana on näkemys, että investointien lisäämiseksi energiaan, liikenteeseen ja tieto- ja viestintäteknologiaan tarvitaan täysin uudenlaisia ratkaisuja ja että energiatehokkuuden parantamiseen on paneuduttava aiempaa enemmän.

Siirtyminen kohti vähähiilistä taloutta vaikuttaa energiavarojen lisäksi suuresti myös muiden resurssien kestävään käyttöön. Komission tammikuussa 2011 julkaisema Eurooppa 2020 -lippulaiva-aloite (eli Europe 2020 Flag Ship Initiative) sisältääkin ehdotuksen resurssitehokkaasta Eurooppa 2020 -strategiasta (EU 2011b). Euroopan parlamentti ja Eurooppa-neuvosto hyväksyivätkin jo joulukuussa 2008 ilmastonmuutosta koskevan laajan 20-20-20-aloitteen, eli EU-maat sitoutuivat vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä 20 prosentilla vuoteen 2020 mennessä, nostamaan uusiutuvien energialähteiden osuuden nykyisestä 8,5 prosentista 20 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä ja parantamaan energiatehokkuutta 20 prosentilla vuoteen 2020 mennessä. Energiapakettiin sisältyy myös liikenteen uusiutuvien energialähteiden lisääminen 10 prosenttiin. Tämä EU:n energiapolitiikka on jo johtanut etenkin uusiutuvien energialähteiden osalta voimakkaisiin ohjaaviin toimiin EU-jäsenvaltioissa, jotta EU:n asettamat tavoitteet saavutettaisiin. Esimerkiksi Suomessa on otettu käyttöön syöttötariffijärjestelmä tuuli- ja bioenergian käytön edistämiseksi. Samalla EU-jäsenvaltioissa on poistettu fossiilisten polttoaineiden tuotantoon ja käyttöön liittyviä tukia, mikä on osaltaan vaikuttanut



paitsi niiden käyttöön, myös fossiilisten polttoaineiden reserviarvioihin. Toisaalta energian kysynnän kasvu etenkin kehittyvissä talouksissa lisää fossiilisten polttoaineiden kysyntää, joten ehtyvien öljy- ja kaasukenttien reserveistä kilpailevat EU:n kanssa yhä useammat taloudet. Samalla etenkin öljyn ja kaasun tuotanto keskittyy yhä harvemmille maille, Venäjälle ja Lähi-itään. Venäjällä on maailman suurimmat kaasureservit, toiseksi suurimmat hiilireservit sekä kuudenneksi suurimmat öljyreservit. On odotettavaa, että Venäjä on tulevaisuudessakin EU:n tärkein energiakumppani, etenkin kun huomioidaan EU-valtioiden maantieteellinen sijainti Venäjään nähden sekä olemassa ja suunnitteilla oleva infrastruktuuri.

SALKKU-hankkeessa tavoitteena oli analysoida tulevaisuuden energialiiketoimintaa ja siihen vaikuttavia tekijöitä vuoteen 2050 asti, kun haasteena on kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen, niukkenevat energiaresurssit, energian hintojen nousu sekä pidemmällä aikavälillä täydellinen teknologinen murros kohti nollapäästöistä energijärjestelmää. SALKKU-hanke on osittain jatkoa Tekesin Climbus-ohjelmaan kuuluneeseen hankkeeseen SEKKI (Suomalaisen energiateollisuuden kilpailukyky ilmastopolitiikan muuttuessa). SEKKI-hankkeessa painopiste tarkasteluissa oli paitsi globaaleissa ja alueellisissa skenaariotarkasteluissa, myös energiaresursseihin ja markkinoihin liittyvissä kysymyksissä Suomen, Pohjoismaiden ja Euroopan näkökulmasta.

SALKKU-hankkeessa tutkimuksen päähuomio oli paitsi globaaleissa ja alueellisissa energia- ja päästöskenaariotarkasteluissa, myös fossiilisten energiaresurssien ja niiden merikuljetuksiin sekä peltobioenergian saatavuuteen ja kustannukseen liittyvissä kysymyksissä. Tulevaisuuden energijärjestelmien tutkimuksessa tehtiin laajaa kansainvälistä yhteistyötä Asian Modelling Exercise (AME)-hankkeen, Energy Modelling Forumin (EMF) ja IASA:n kanssa. Lisäksi VTT osallistui World Energy Counciliin työryhmään "Supply of Energy Resources and Technologies". Rinnakkaisena hankkeena toimi Etlatiedon EnTech-hanke (Energiateknologian viennin ja kansainvälisen kilpailukyvyn analyysi ja seuranta).

## **2. Energiatoimialan globaalit ja alueelliset ”mega-driverit”**

*Tiina Koljonen, Antti Lehtilä, Tommi Ekholm*

### **2.1 Energian kysynnän kehitys globaalisti ja kehittyvässä Aasiassa – Asian Modelling Exercise-hankkeen tuloksia**

SALKKU-hankkeen yhtenä osatehtävänä VTT osallistui Marylandin yliopistossa toimivan Joint Global Change Research Institute -tutkimusyksikön koordinoimaan kansainväliseen Asian Modelling Exercise yhteistyöhankkeeseen. AME-yhteistyön tarkoituksena oli saada entistä parempi näkemys siitä, kuinka suuri merkitys kehityvällä Aasialla tulee olemaan tulevina vuosikymmeninä kansainvälisen ilmastopoliitiikan ja globaalien energiamarkkinoiden kannalta. Hankkeeseen osallistui maailmanlaajuisesti yli kaksikymmentä organisaatiota ja nelisenkymmentä energijärjestelmien ja -mallinnuksen asiantuntijaa.

Vaikka nopeasti kasvavien Aasian talouksien pitkän aikavälin kehityksessä sekä kasvun nopeudessa ja painottumisessa onkin huomattavia epävarmuuksia, jo nyt on selvää että Aasialla tulee olemaan keskeinen rooli maailman energijärjestelmässä ja sen globaaleissa ympäristövaikutuksissa tällä vuosisadalla.

AME-työn tulokset ja eri mallitarkastelujen tulokset tullaan julkaisemaan tieteellisinä artikkeleina vuonna 2012 (Special Issue in Energy Economics). Koska tätä julkaisua kirjoittaessa tuloksia ei ollut vielä julkaistu, esitetään tässä ainoastaan VTT:n laskemat skenaariotulokset.

#### **2.1.1 AME-skenaariotyön lähtökohdat**

Skenaariotyössä kaikki eri tutkimusryhmät tarkastelivat eri malleja (yhteensä 20 eri mallia) käyttäen Aasian ja globaalin energijärjestelmän kehitystä kuudessa yhteisesti määritellyssä skenaariossa:

- 1: Perusuraskenaario (Baseline t. Base). Perusurassa ei ole huomioitu ilmastopoliitiikkaa (vrt. esim. EU:n 2020 tavoitteet).

- 2: Globaalit päästökauppa- tai päästöveroskenaariot, jossa päästöjen hinta kasvaa tasaisesti vuodesta 2020 lähtien seuraavasti:

USD/t(CO <sub>2</sub> -ekv.)	2020	2030	2050	2070	2090
Skenaario 2a	10	16	43	115	304
Skenaario 2b	30	49	130	344	913
Skenaario 2c	50	81	216	573	1 520

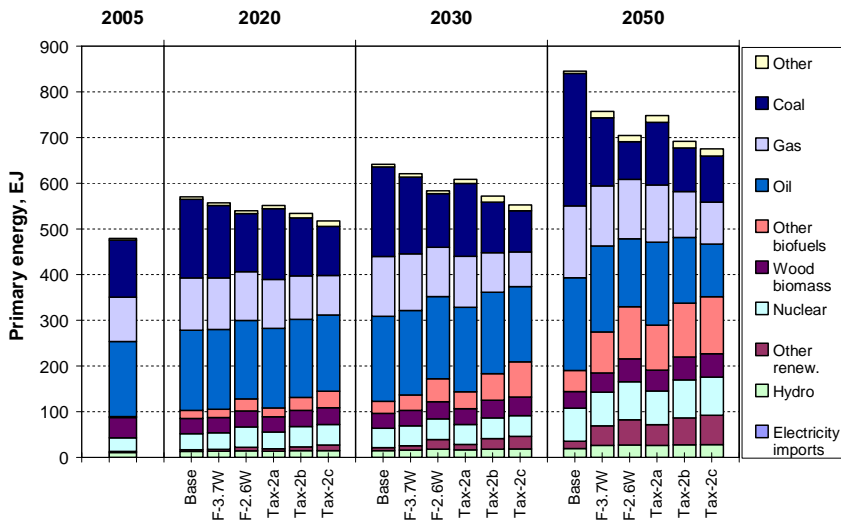
- 3a: Globaali ilmastopolitiikkaskenaario, jossa säteilypakote saa kasvaa korkeintaan tasolle 3,7 W/m<sup>2</sup> vuoteen 2100 mennessä (vastaa noin 3 °C:n ilmaston lämpenemistä).
- 3b: Globaali ilmastopolitiikkaskenaario, jossa säteilypakote saa olla korkeintaan 2,6 W/m<sup>2</sup> vuonna 2100, mutta saa ylittää tuon tason sitä ennen (vastaa noin 2 °C:n ilmaston lämpenemistä).

VTT:n skenaariolaskelmat tehtiin VTT:n globaalilla TIMES-energiajärjestelmällillä, joka on alun perin kehitetty IEA:n ETSAP-yhteistyössä. VTT:ssä tehtiin yhteisten skenaariolaskelmien lisäksi myös herkkyystarkasteluja, joissa oletettiin asumisen, palvelujen ja liikenteen energian kysynnän kasvavan Aasian kasvavissa talouksissa VTT:n tuolloisessa mallissa käytettyjä perusoletuksia nopeammin. Seuraavassa esitellään joitakin skenaariolaskelmien keskeisiä tuloksia. Laajimmin tuloksia käsitellään skenaariosta 3a, sillä se on globaalia ilmastopolitiikkaa koskevilta oletuksiltaan skenaariovaihtoehdoista ehkä lähimpänä realismia.

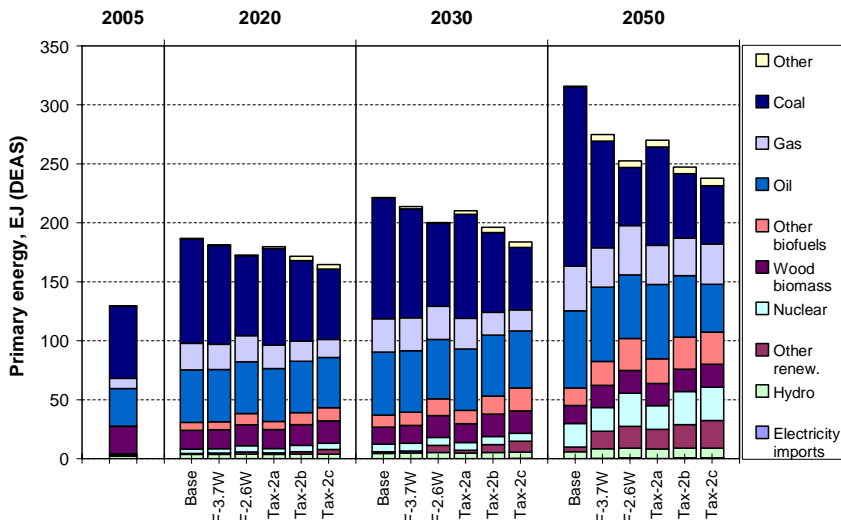
### 2.1.2 Yleisiä tuloksia

Mallin tulosten mukaan koko maailman primaarienergian kulutus kasvaa vuoteen 2050 mennessä Baseline-skenaariossa lähes kaksinkertaiseksi vuoden 2005 tasosta, mutta politiikkaskenaarioissa kasvu jää kyseisenä aikavälinä alimmillaan vain 41 %:iin (skenaario 2c). Primaarienergian maailmanlaajuisen kokonaiskulutuksen kehitys eri skenaarioissa on esitetty kuvassa 1 ja Aasian kehittyvien maiden osalta kuvassa 2.

## 2. Energiatoimialan globaalit ja alueelliset ”mega-driverit”



Kuva 1. Koko maailman primaarienergian kokonaiskulutus eri AME-skenaarioissa.



Kuva 2. Kehittyvän Aasian primaarienergian kokonaiskulutus eri AME-skenaarioissa.

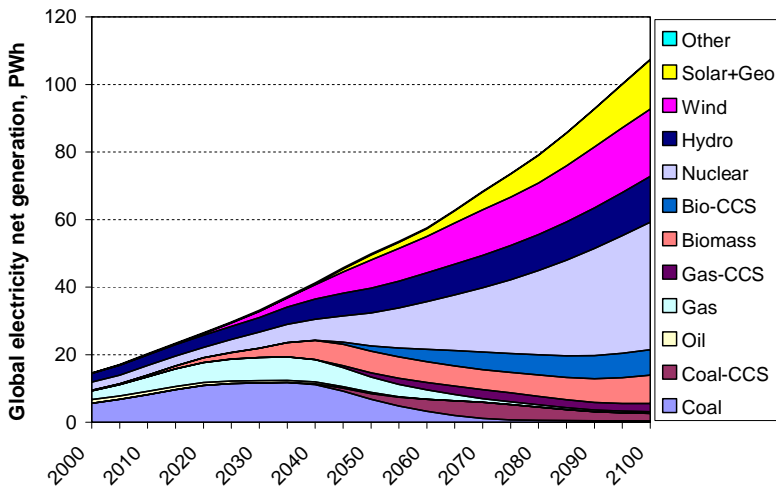
Tulosten mukaan fossiilisten polttoaineiden globaali kysyntä kasvaa Baseline-skenaariossa tasaisesti vuoteen 2050 ja sen jälkeenkin, mutta kysyntä kääntyy politiikkaskenaarioissa laskuun jo ennen vuotta 2050. Lievemmissä ilmastopolitiikan vaihtoehdoissa (skenaariot 2a ja 3a) käänne tapahtuu noin vuonna 2040, mutta tiukimmissa jo vuonna 2020. Voimakkaimmin politiikkaskenaarioissa vä-

henevät perusuraan verrattuna kivihiilen ja öljyn käyttö, joista öljyn kulutus supistuu vuoteen 2050 mennessä useissa skenaarioissa jo selvästi alle nykytason. Kivihiilen ja maakaasun käyttö pysyy kuitenkin alimmillaankin suunnilleen vuoden 2005 tasolla vuoteen 2050 saakka.

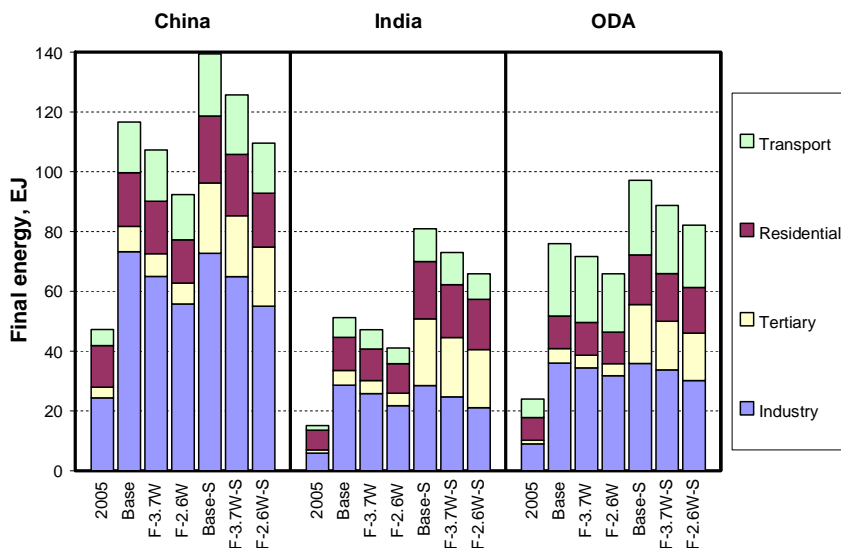
Puubiomassan energiakäyttö vähenee maailmanlaajuisesti jonkin verran vuoteen 2020 mennessä, sillä joillakin alueilla kestävä kehityksen mukaiset käyttötasot ylittyvät jo nykyisin, ja tätä ei skenaario-oletusten mukaan pidemmällä aikavälillä sallittu. Sen sijaan muun biomassan (erityisesti energiakasvit ja maatalouden sivutuotteet) käyttö kasvaa voimakkaasti politiikkaskenaarioissa. Oletetut peltobiomassojen tuotantopotentiaalit perustuvat pääosin MTT:ssä laadittuihin arvioihin.

Energian loppukulutuksessa sähkö on kulutukseltaan nopeimmin kasvava energiamuoto. Skenaarioiden tulokset osoittavat myös että energian kulutuksen sähköistyminen eri käyttökohteissa on yksi merkittävä kasvihuonekaasupäästöjen vähennyskeino, sillä merkittävä osa uusiutuvasta energiasta, kuten tuuli- ja aurinkoenergia, voidaan helpoimmin hyödyntää juuri sähköinä. Kuvassa 3 on esitetty koko maailman sähköntuotannon kehitys skenaariossa 3a pääenergiälähteittäin. Tulosten mukaiset globaalin sähköntuotannon tasot vuonna 2050 olivat eri skenaarioissa jotakuinkin samalla tasolla kuin vuonna IEA:n *Energy Technology Perspectives 2010* -julkaisun vastaavissa skenaarioissa (IEA 2010).

Energian loppukulutus ei enää merkittävästi kasva kehittyneissä teollisuusmaissa, mutta se kasvaa erittäin nopeasti juuri Aasian nopeasti kasvavissa talouksissa. Skenaariotulosten mukaista loppukulutuksen kehitystä on näiden maiden osalta havainnollistettu kuvassa 4 vuoteen 2050 saakka. Kuvassa on esitetty myös herkkyytarkasteluna tehtyjen skenaarioiden (S-pääte skenaarion nimessä) vielä huomattavasti korkeampaan kulutukseen johtavat kehitysurat.



**Kuva 3.** Koko maailman sähköntuotannon rakenteen kehitys AME-skenaariossa 3a (säteilypakote max. 3,7 W/m<sup>2</sup>).



**Kuva 4.** Kehittyvän Aasian loppuenergian kulutus sektoreittain AME-skenaarioiden perustapauksissa ja herkkyystartasteluvarianteissa. ODA: Other Developing Asia.

### 2.1.3 Fossiilisten polttoaineiden kysynnän kehitys

Öljyn maailmanlaajuisen kulutuksen taso ehkä realistisimman politiikkaskenaarion 3a tulosten mukaan pysyy hyvin vakaana suunnilleen vuoteen 2050 saakka, siitäkin huolimatta, että kehittyvissä maissa erityisesti liikenteen energiankulutus kasvaa nopeasti. OECD-maiden öljynkulutuksen kääntyminen laskuun kompensoi siten kulutuksen kasvua muualla. Öljyn tuotannossa Länsi-Euroopan ja Pohjois-Amerikan osuus kutistuu ja Lähi-idän hallitseva osuus korostuu entisestään. Afrikan tuotanto laajenee jonkin verran vuoteen 2030 mennessä mutta kääntyy sen jälkeen laskuun. Öljyn tuotannon jakaantuminen alueittain on esitetty kuvassa 5.

Maakaasun globaali kulutus säilyy selvällä kasvu-uralla myös ilmastonmuutosta hillitsevissä politiikkaskenaarioissa. Euroopassa, Yhdysvalloissa ja Kanadassa kaasun tuotanto säilyisi tulosten mukaan suunnilleen nykytasolla vuoteen 2020 saakka, jonka jälkeen USA:n tuotanto kuitenkin kääntyisi selvään laskuun. Valitettavasti AME-skenaarioissa ei kuitenkaan pystytty ottamaan huomioon SALKKU-hankkeen tuottamia arvioita liuskekaasun tuotantopotentiaaleista AME-työn tiukan aikataulun vuoksi, joten näiltä osin tuloksiin on suhtauduttava varauksin. Venäjän kaasun tuotanto kasvaisi tulosten mukaan verraten maltillisesti lähivuosikymmeninä, ja merkittävin tuotannon lisäys kohdistuisi myös kaasun tapauksessa Lähi-itään. Venäjän kaasuntuotanto alkaisi tulosten mukaan kasvaa voimakkaammin vasta vuoden 2050 jälkeen. Tuotannon lisäys saattaa kuitenkin todellisuudessa kohdistua nopeammin Venäjälle. Maakaasun tuotannon jakaantuminen alueittain on esitetty kuvassa 6.

Kivihiilen tuotannossa Kiina on ollut jo pitkään selvästi maailman tärkein tuottajamaa. Skenaariotulosten mukaan Kiinan hiilen tuotanto kääntyisi kuitenkin laskuun reservien nopean hyödyntämisen myötä. Tulosten mukainen käänne alaspäin on toteutuneiden tuotantolukujen valossa kuitenkin liian jyrkkä. Kiinan sijasta hiilen tuotanto kasvaisi etenkin Australiassa ja Afrikassa, joissa on edelleen suuret hyödyntämättömät kivihiilivarat. Myös Latinalainen Amerikka nousisi tulosten mukaan merkittäväksi tuotantoalueeksi vuoteen 2020 mennessä. Yhdysvalloissa tuotanto supistuisi aluksi vähitellen vuoteen 2030 saakka, mutta alkaisi CCS:n (eli hiilidioksidin erotuksen ja varastoinnin) kaupallistumisen myötä sen jälkeen kasvaa. Hiilen vienti Yhdysvalloista muualle pysyy kuitenkin tulosten mukaan verrattain pienenä. Hiilen tuotannon jakaantuminen alueittain on esitetty kuvassa 7.

Fossiilisten polttoaineiden nykyisten reservien<sup>3</sup> ehtyminen alkaa tulosten mukaan tuntua jo vuodesta 2020 lähtien, jolloin tarvitaan yhä laajempia investointeja uusien resurssien<sup>4</sup> hyödyntämiseksi. Reservien osuutta polttoaineiden koko tuotannosta on havainnollistettu kuvassa 8. Nopeimmin tämä koskee nykyisiä öljyreservejä, joiden osuus öljyn kokonaistuotannosta olisi vuonna 2050 enää noin puolet koko tuotantarpeesta. Maakaasun osalta reservien osuus laskee hitaammin, mutta ne alkavat ehtyä nopeasti vuoden 2040 jälkeen. Myös nykyiset kivihiilireservit saattavat tulosten mukaan tulla hyödynnetyiksi loppuun jo ennen vuotta 2050.

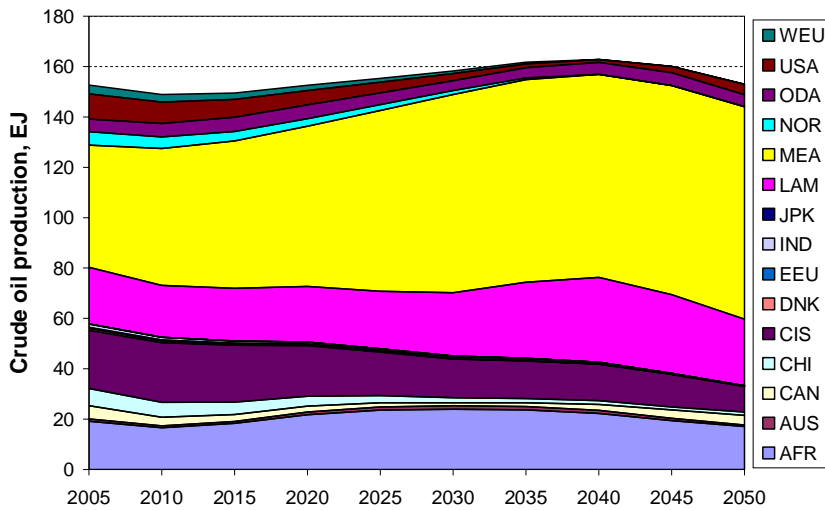
Kaikkiaan fossiilisten polttoaineiden globaalien kysynnän kasvu jää AME-mallinnustyön politiikkaskenaarioissa kuitenkin sen verran maltilliseksi, ettei tuotannon lisäämisen kysyntää vastaavasti pitäisi tuottaa markkinoille suurempia vaikeuksia. Skenaarioiden merkittäviä riskejä edustavat kuitenkin etenkin öljyn ja kaasun tuotannon keskittymisestä entisestään Lähi-itään sekä kivihiilen tuotannon nopea laajennustarve Australiassa ja Afrikassa.

---

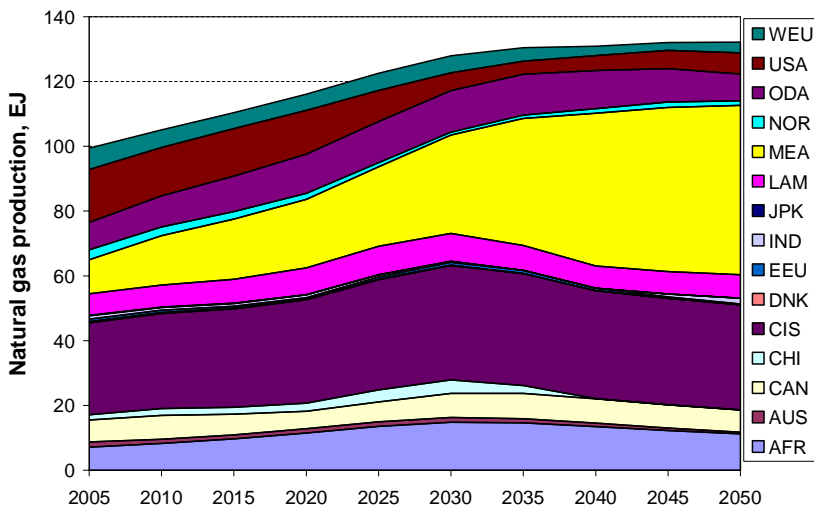
<sup>3</sup> Todennetut, eli 90 % todennäköisyydellä taloudellisesti hyödynnettävissä olevat polttoainetarvit. Määritystä on pyritty täsmentämään esimerkiksi standardein, mutta määrityksen osalta esiintyy edelleen eri käytäntöjä.

<sup>4</sup> Resurssit (resources) sisältävät geologisesti paikannetut varat, joita ei voida nykyisillä teknisillä ja taloudellisilla reunaehdoilla hyödyntää sekä varat, joita ei ole vielä löydetty, mutta jotka todennäköisesti tullaan löytämään.

## 2. Energiatoimialan globaalit ja alueelliset "mega-driverit"

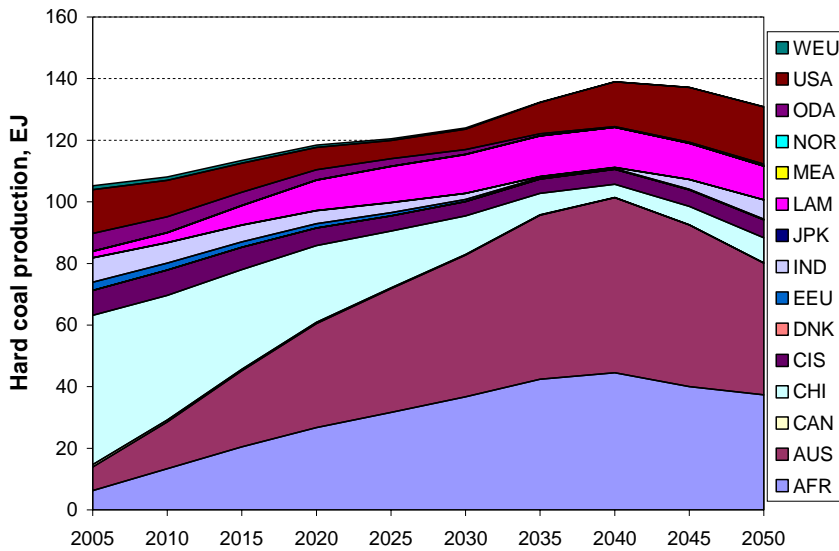


**Kuva 5.** Öljyn tuotannon kehitys alueittain AME-skenaariossa 3a (säteilypakote max.  $3,7 \text{ W/m}^2$ ). Alueiden lyhenteet on esitetty raportin alussa lyhennetaulukossa.

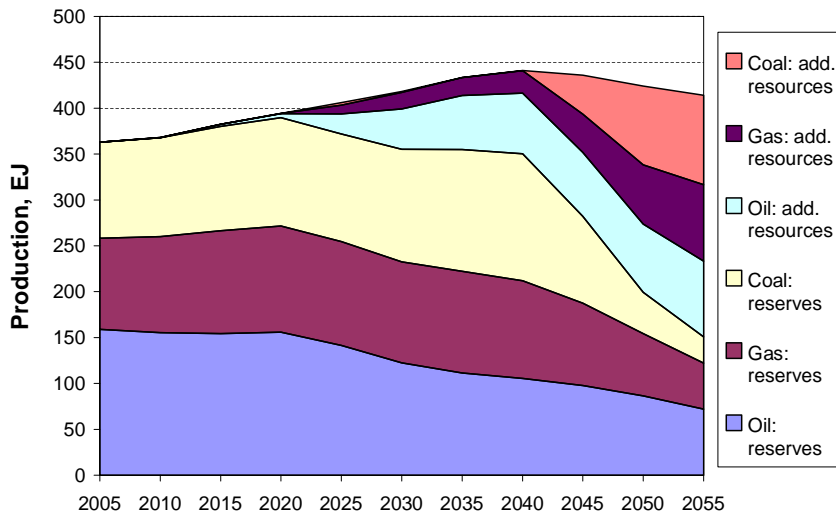


**Kuva 6.** Maakaasun tuotannon kehitys alueittain AME-skenaariossa 3a (säteilypakote max.  $3,7 \text{ W/m}^2$ ). Alueiden lyhenteet on esitetty raportin alussa lyhennetaulukossa.





**Kuva 7.** Kivihiilen tuotannon kehitys alueittain AME-skenaariossa 3a (säteilypakote max.  $3,7 \text{ W/m}^2$ ). Alueiden lyhenteet on esitetty julkaisun alussa lyhennetaulukossa.



**Kuva 8.** Öljyn, maakaasun ja kivihiilen tuotannon kehitys reserveistä ja uusista resursseista AME-skenaariossa 3a (säteilypakote max.  $3,7 \text{ W/m}^2$ ).

## 2.2 Energiainvestoinnit ja niiden rahoitus kehittyvissä maissa

*Tommi Ekholm*

### 2.2.1 Johdanto

Kohtuuhintaisen energian saatavuus on yksi perusedellytyksistä talouden kehitymiselle ja köyhyyden vähenemiselle kehittyvissä maissa. Modernien energiamuotojen, etenkin sähkön, tarjonnan lisääminen kehittyvissä maissa vaatii merkittäviä investointeja näiden maiden tuotanto- ja jakelukapasiteettiin tulevaisuudessa. Pitkällä aikavälillä kehittyvät maat tulevat olemaan myös merkittävässä asemassa osana kansainvälistä ilmastopoliittikkaa, mikä tulee lisäämään energiainvestointien tarvetta entisestään. Näitä tavoitteita varten tarvittavia pääomia ei välttämättä ole kuitenkaan saatavilla kehittyvissä maissa. Nämä kolme tekijää tulevat muodostamaan merkittävän haasteen kehittyvien maiden energijärjestelmän kehitykselle tulevana vuosikymmeninä.

Investoinnit energijärjestelmään ovat yleisesti ottaen hyvin pitkäikäisiä ja pääomavaltaisia. Pääomavaltaisuudesta johtuen sektorin investoinnit ovat hyvin riippuvaisia kohtuuhintaisen pääoman saatavuudesta, minkä puute voi johtaa liian matalaan investointiasteeseen, heikkoon saatavuuden ja korkeisiin energian hintoihin. Mahdollisia syitä ja ratkaisuita eri tyyppisiin pääomavajeisiin on kuvattu taulukossa 1.

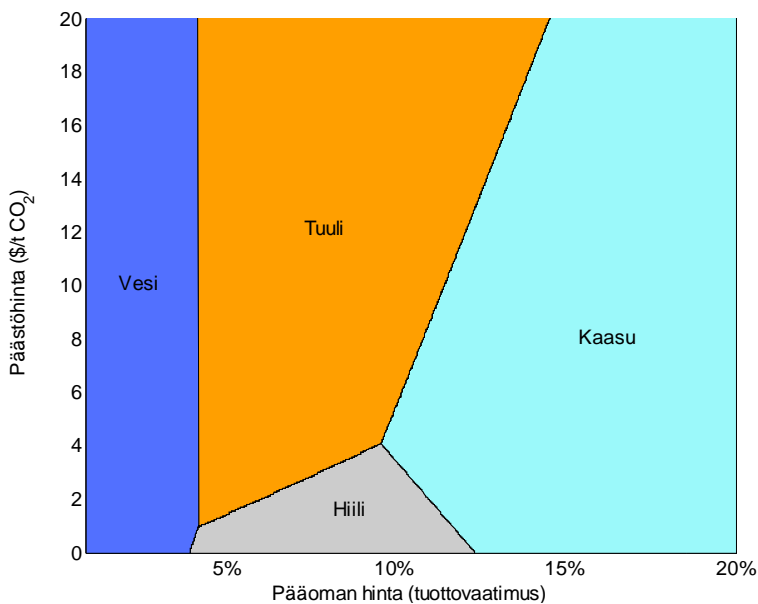
**Taulukko 1.** Yhteenveto erityyppisten pääomavajeiden syistä ja ratkaisuista.

Pääomavaje	Syitä pääomavajeelle	Ratkaisuita
Matala investointiaste yleisesti	Matala säästämisaste, kehitymätön rahoitussektori, makrotaloudellinen epävarmuus	Korkopoliittikka, omistusoikeuksien vahvistaminen, ulkomaisien investointien edistäminen
Matala investointiaste energiasektorilla	Epätehokas sääntely sektorilla, korkeat transaktiokustannukset energiainvestointeihin	Investointikannustimien parantaminen
Matala investointiaste tiettyyn teknologiaan	Korkea teknologiakohtainen riskipreemio	Erikoistunut rahoitus

Riittämätön pääoman saatavuus johtaa korkeaan pääoman hintaan eli investoinneilta vaadittavaan tuottoon, mikä osaltaan ohjaa sekä investointien määrää että tuotantokapasiteettiin vallittavaa teknologiaa. Toisaalta ilmastopoliittikka, tavoitteet vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja taloudelliset ohjauskeinot näiden toteuttamiseksi ohjaavat sähköntuotantoa fossiilista tuotantomuodoista uusiutuviin teknologioihin, jotka ovat fossiilia teknologioita pääomavaltaisempia. Toisaalta taas korkea pääoman hinta siirtää kilpailuetua fossiilisten teknologioiden suuntaan ja heikentää siten ilmastopoliittikan taloudellisten ohjauskeinojen vaikutusta. Näiden tekijöiden välistä suhdetta teknologiavalintaan sähköntuotannossa on havainnollis-

tettu kuvassa 9. Toisaalta fossiilisten polttoaineiden hintojen nousu sekä teknologian kehityksen myötä saavutettu uusien teknologioiden investointikustannusten alenema muuttaa eri teknologioiden keskinäistä kilpailuetua.

Pääomavajeen kannalta ongelmallisin alue on Saharan eteläpuolinen Afrikka. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin sähköntuotannon investointeja, pääoman tarjontaa sekä näiden yhteyttä ilmastopoliittikaan tällä alueella. Luvussa 2.2.2 esitellään investointien tilannetta historiallisesti sekä tarkastellaan mahdollisia arvioita pääoman tarjonnalle tulevaisuudessa. Oletettuun pääoman tarjontakäyrään perustuen luku 2.2.3 esittää skenaarioita Saharan eteläpuolisen Afrikan sähköntuotannosta. Alueen sähköistämistavoitteet, tuleva ilmastopoliittikka ja pääoman saatavuus on otettu huomioon.



**Kuva 9.** Havainnekuva pääoman ja päästöoikeuden hinnan vaikutuksesta investoitavaan sähköntuotantoteknologiaan, mikäli investointipäätös tehdään kustannusperusteisesti. Kuvaajan alueet esittävät eri pääoman ja päästöoikeuden hintataseilla tuotantokustannukset minimoivan teknologiavaihtoehdon. Korkeampi pääoman hinta lisää merkittävästi päästöoikeuden hintaa, joka vaadittaisiin uusiutuvaan sähkökapasiteettiin siirtymiseen. Investointikustannukset sekä polttoaineiden hinnat on otettu havainnollistavasta skenaariosta vuodelta 2030.

### 2.2.2 Sähköinvestointien rahoitustilanne Saharan eteläpuolisessa Afrikassa

Tarkkaa ja kattavaa tietoa energia- tai sähköinvestoinneista Saharan eteläpuolisessa Afrikassa ei ole saatavilla. IEA (2003, s. 365) on arvioinut, että sähköntuotantoon ja infrastruktuuriin kohdistuneet investoinnit alueella olisivat olleet noin

## 2. Energiatoimialan globaalit ja alueelliset ”mega-driverit”

1 % BKT:sta 1990-luvulla, mistä noin puolet olisi kohdistunut sähkön tuotantoon ja puolet sähkön siirtoon sekä jakeluun. Fosterin (2008) arvioiden mukaan vuosina 2001–2005 investoinnit olisivat olleet 1,1 % BKT:sta, ja investoinneista 40 % olisi tullut julkiselta sektorilta, 16 % yksityiseltä sektorilta, 32 % ulkomaisina investoinneina sekä 12 % kehitysapuna. Alueen kokonaisinvestointiaste on vaihdellut noin 15–25 % BKT:sta.

Vaikka sähkösektorin investoinnit ovat vain pieni osa eteläisen Afrikan kokonaisinvestoinneista, lisäpääoman saaminen ei ole ongelmattonta, sillä sähkösektorin investoinnit kilpailevat pääomasta myös muiden tärkeiden investointikohteiden, kuten vesihuollon, terveyshuollon, liikenneinfrastruktuurin ja tietoliikenteen, kanssa. Sektorin investointiasteen kasvattaminen vaatii siten kilpailevia kohteita paremman tuoton tarjoamista investoinnille. Koska myös muilla sektoreilla on investointikohteita, jotka voivat tarjota nykyistä tasoa parempaa tuottoa investoinneille, kilpailu pääomasta johtaa sektorikohtaiseen pääoman tarjontakäyrään. Tarjontakäyrä kertoo, kuinka paljon pääomaa sähköinvestointien on mahdollista kerätä kullakin investointien tuottotasolla markkinoiden tasapainotilanteessa.

Tarjontakäyrän määrittelemiseksi tutkimuksessa tarkasteltiin eri rahoituslähteitä sekä niiden historiallisia tuottoja. Koska kattavia lähtötietoja aiheesta ei ole saatavilla, investointimäärät sekä tuotot vaihtelevat suuresti ajan suhteen, ja historiallista kehitystä voidaan käyttää vain hyvin rajallisesti tulevan kehityksen ennustamiseen. Tutkimuksen energiaskenaarioita laskettiin eri tavoin parametrisoiduilla pääoman tarjontakäyrillä.

Julkisen sektorin investoinneista oletettiin, että ne voisivat kasvaa enintään tasolle 1 % BKT:sta, nykytason ollessa noin 0,5 %. Julkisen sektorin tuotto-odotuksena käytettiin arvioitua riskitöntä korkotasoa, joka on vaihdellut 5–10 %:n välillä (World Bank, 2010). Yksityisten investointien osuus on ollut viime vuosina noin 0,35 % (World Bank, 2011), ja määrän arvioitiin voivan kasvaa 0,5 %:n tasolle. Tuotto-odotukselle oletettiin 7 % riskipreemiota riskittömän tason päälle (World Bank, 2010). Suorille ulkomaisille sijoituksille ei oletettu maksimimäärää, mutta niiden riskipremio on alueen sisäistä yksityistä sektoria suurempi, arviolta 8 % (Damodaran, 2011; Fernandez et al. 2011). Ulkomaisten sijoitusten riskipreemiota toisaalta lisää valuuttakursseihin liittyvä riski sekä suurempi politiikkariski, toisaalta vähentää ulkomaisten sijoittajien portfolioiden parempi hajautus. Eri pääoman tarjontaan liittyvien parametrien arvioidut vaihteluvälit on esitetty taulukossa 2.

**Taulukko 2.** Eri sektoreiden oletettu kapasiteetti investoida sähköntuotantoon sekä tuotto-odotus.

	Investoinnit per BKT, enintään	Tuotto-odotus
Julkisen sektori	0,5–1 %	5–10 %
Yksityinen sektori	0,3–0,5 %	12–17 %
Suorat ulkomaiset sijoitukset	ei maksimia	13–18 %

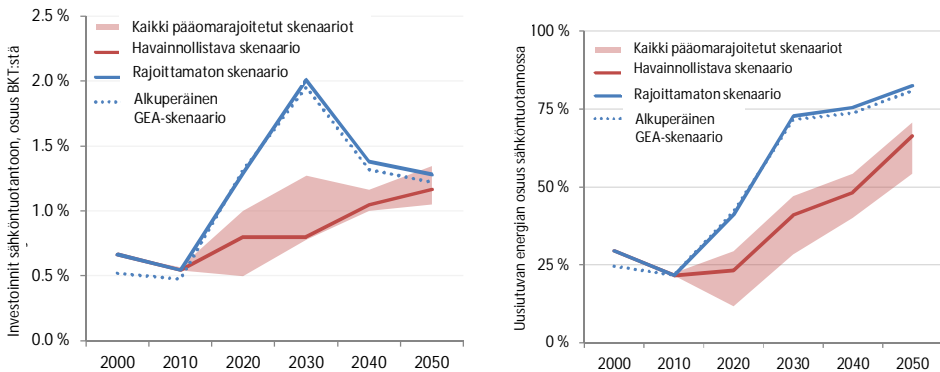
### 2.2.3 Skenaarioita Saharan eteläpuolisen Afrikan sähköntuotannosta

Skenaarioita vuoteen 2050 Saharan eteläpuolisen Afrikan sähköntuotannosta laskettiin alueen energijärjestelmää kuvaavalla yksinkertaistetulla energijärjestelmämallilla, joka oli kalibrioitu Global Energy Assessment -hankkeessa (GEA) tuotettuihin skenaarioihin (Riahi et al. 2012). GEA-skenaariot olettavat sähkön saatavuuden lisääntyvän Afrikassa merkittävästi nykytasosta vuoteen 2030 mennessä sekä Afrikan olevan osana kansainvälistä ilmastopolitiikkaa vuodesta 2020 alkaen. Jälkimmäisestä johtuen alueen CO<sub>2</sub>-päästöihin kohdistuu päästömaksu (tulkittavissa vaihtoehtoisesti joko päästöverona tai päästöoikeuksien hintana), joka on vuonna 2020 suuruudeltaan 34 \$/tCO<sub>2</sub>, ja kasvaa tämän jälkeen 5 %:n vuosivauhtia (Riahi et al. 2012).

Skenaarioissa huomioitiin rajoittunut pääoman tarjonta muodostamalla malliin tarjontakäyrä kaikilla eri variaatioilla taulukon 2 esittämistä arvioista. Pääoman rajoituksen vaikutusta arvioitiin vertaamalla pääomarajoitettuja skenaarioita skenaarioon, jossa pääomaa on tarjolla rajattomasti 5 %:n korolla.

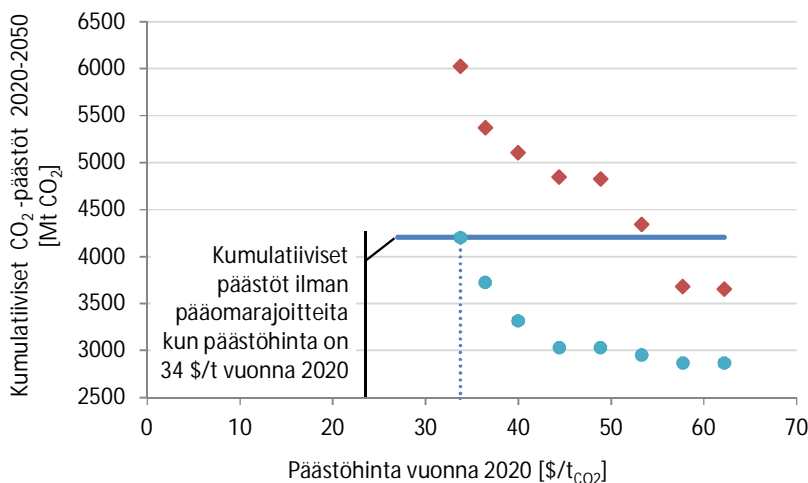
Pääomarajoitteella on merkittävä vaikutus sähköntuotantoskenaarioihin. Kuva 10 esittää skenaarioissa toteutuvia investointeja sähköntuotantoon sekä uusiutuvien osuutta tuotetusta sähköstä. Korkeampi pääoman hinta (korkeampi investointien tuottovaatimus) vähentää sekä kokonaisinvestointien määrää että muuttaa sähköntuotantokapasiteetin teknologiaportfoliota siten, että uusiutuvien tuotantomuotojen osuus kokonaistuotannosta on merkittävästi vähäisempää kuin pääomarajoittamattomassa skenaariossa. Pääomarajoitteen ja korkeamman pääoman hinnan vaikutus on siis kuten kuvassa 9 aiemmin havainnollistettiin. On kuitenkin hyvä huomata, että tuotetun sähkön määrä on kaikissa skenaarioissa sama, ts. erot investointien määrässä kuvaavat vain pääomaintensiivisten uusiutuvien tuotantomuotojen vähäisyyttä pääomarajoitettujen skenaarioiden alkupuolella. Tarkastelujakson loppupuolella oletettu päästöhinta kasvaa sellaiseksi, että uusiutuvat teknologiat tulevat kilpailukykyisiksi pääomavaltaisuudestaan ja korkeasta pääoman hinnasta huolimatta. Korkeampi pääoman hinta nostaa sähkön hintaa skenaarioiden välillä noin 10–20 %. Vaikutus on kohtalaisen pieni, koska skenaariot sopeutuvat korkeampaan pääomakustannukseen valitsemalla vähemmän pääomavaltaisia tuotantoteknologioita kuin rajoittamattomassa skenaariossa.

## 2. Energiatoimialan globaalit ja alueelliset ”mega-driverit”



**Kuva 10.** Investoinnit sähköntuotantoon (ylempi kuva) sekä uusiutuvien teknologioiden osuus sähköntuotannosta (alempi kuva) Saharan eteläpuolisessa Afrikassa eri skenaarioissa. Pääomaraioite vähentää investointien kokonaismäärää merkittävästi rajoittamattomaan skenaarioon verrattuna, mutta tästä huolimatta investointiaste nousee noin 1,2 %:n osuuteen BKT:stä nykyisestä 0,5 %:n tasosta vuoteen 2050 mennessä. Suuremmasta pääoman hinnasta johtuen uusiutuvien teknologioiden osuus on pienempi pääomaraioitetuissa skenaarioissa ja nousee merkittäväksi vasta myöhemmillä vuosikymmenillä päästöhinnan kasvaessa.

Kuten kuvassa 9 myös todettiin, korkeampi pääoman hinta edellyttää korkeampaa hintaa päästöoikeuksille, jotta investoinnit kohdistuisivat fossiilisten sijasta uusiutuvaan energiaan. Kuva 11 tarkastelee tätä riippuvuutta pääoman ja päästöhinnan välillä, mikäli tietty päästötavoite halutaan saavuttaa. Kuvassa on esitetty havainnollistava pääomaraioitettu sekä pääomaraioittamaton skenaario erilaisilla oletuksilla päästöjen hinnasta. Kuvaaja esittää vuoden 2020 hinnan, minkä jälkeen hinnan on oletettu kasvavan 5 % vuodessa. Mikäli päästöhinta pidetään alun perin oletetulla tasolla, 34 \$/tCO<sub>2</sub> vuonna 2020, pääomaraioite lisää energiantuotannon CO<sub>2</sub>-päästöjä 43 %. Mikäli taas pyritään pääsemään tällä hinnalla rajoittamattomassa skenaariossa saavutettavaan päästötasoon, tulee pääomaraioitetussa skenaariossa korottaa hintaa lähes 60 %, noin tasolle 55 \$/tCO<sub>2</sub>. Tällä hintatasolla pääomaraioittamattomassa skenaariossa päästäisiin kuitenkin noin kolmanneksella alkuperäistä päästötasoa alemmas. Pääoman saatavuudella on siis merkittävä vaikutus uusiutuvan energian investointeihin sekä tehokkaan ilmastopoliitikan toteuttamiseen.



**Kuva 11.** Kumulaatiiviset CO<sub>2</sub>-päästöt energiantuotannosta välillä 2020–2050 havainnollistavassa pääomarajoitetussa (punainen) ja rajoittamattomassa (sininen) skenaariossa kun päästöhintoja varioidaan. Päästöhinta kasvaa vuoden 2020 jälkeen x-akselilla ilmoitetusta arvosta 5 % vuodessa. Alkuperäisellä päästöhinnalla 34 \$/tCO<sub>2</sub> pääomarajoite kasvattaa toteutuvia päästöjä 43 % pääomarajoittamattomaan skenaarioon verrattuna. Jotta pääomarajoitetussa skenaariossa päästäisiin samalle päästötasolle kuin rajoittamattomassa skenaariossa, tulisi päästöhinnan nousta lähes 60 %, noin tasolle 55 \$/tCO<sub>2</sub>.

### 2.3 Energia- ja ilmastopoliitiikan vaikutukset EU:n energijärjestelmän kehitykseen

Seuraavassa esitetään SALKKU-hankkeen puitteissa toteutettua toista kansainvälistä skenaario- ja mallinnustyötä, EMF EU28 studya, jossa on arvioitu vähähiilisiä energijärjestelmäskenaarioita EU:lle vuoteen 2050 asti. Tässä työssä mallinnuskonsortio muodostui Stanford Universityn koordinoiman Energy Modelling Forumin (EMF) jäsenistä, jossa myös VTT on jäsenenä. EMF-konsortio on toteuttanut ja julkaissut vuosien aikana eri teemoihin liittyviä mallinnustutkimuksia. Parhailtaan on meneillään kolme EMF-studya, eli EU-studyn lisäksi on käynnissä globaali sekä Yhdysvaltojen kehitystä tarkasteleva skenaariotyö. EU-study käynnistyi vasta syksyllä 2011 ja se valmistuu vuoden 2012 lopussa, joten tässä esitetään alustavia VTT:n laskemia skenaariotuloksia EU:n kehitykselle. EMF EU28 -työn tulokset tullaan julkaisemaan tieteellisinä artikkeleina todennäköisesti Energy Economics -lehden erikoisnumerona.

EMF EU28 -työn tavoitteena on arvioida EU:n vähähiilisiä polkuja vuoteen 2050 mennessä eri energijärjestelmä-, markkina-, ja talousmalleilla ja eri skenaariooletuksilla toisaalta EU:n oman kehityksen näkökulmasta ja toisaalta erilaisissa globaaleissa ilmastopoliittikkakehityslinjoissa. Työn lähtökohtana on EU:n vuoden 2011 lopussa julkaisema EU Energy Roadmap, jossa arvioidaan EU:n vähähiilistä

kehitystä eri tulevaisuuspoluilla. EU Energy Roadmapin, samoin kuin EU EMF28 -studyn lähtökohtana on, että EU vähentää kasvihuonekaasupäästöjään vähintään 80 prosenttia vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990päästötasoon nähden. Kuvassa (Kuva 12) on esitetty EMF EU28 -studyn skenaariomatriisi sekä ympyröitynä VTT:n laskemissa huomioituiden skenaariot. 80 %:n päästövähennyskkenaarioita (EU5, EU7, EU9 & EU10) verrataan ns. Reference-skenaarioon (EU1 & EU4), jossa khk-päästövähennystavoite on asetettu 40 %:iin vuoteen 2050 mennessä sekä Baseline-skenaarioon (EU11), jossa ei ole oletettu mitään ilmastopolitiikkaa, ei edes EU:n asettamia sitovia tavoitteita vuodelle 2020. Sekä Reference- että tässä esitetyssä Mitigation 1 (EU6, EU7, EU9, EU10) -skenaarioissa on oletettu, että EU:n ulkopuoliset maat toteuttavat kansallisesti esitettyä ilmastopolitiikkaa (”Moderate Policy”), eli että kansainvälistä ilmastopöimusta ei ole olemassa eikä myöskään globaalia päästökauppaa.

Skenaariolaskelmat toteutettiin edellä esitetyllä VTT:n globaalilla TIMES-energiajärjestelmämallilla, jossa Eurooppa on kuvattu viitenä alueena: Suomi, Ruotsi, Tanska ja Norja on kuvattu maittain ja muu Eurooppa on jaettu Itä- ja Länsi-Eurooppaan. TIMES-aluejako ei siten vastaa nykyisiä EU-jäsenvaltioita, vaan niiden lisäksi mukana ”EU-30”-alueessa ovat Islanti, Norja, Sveitsi, Malta, Albania ja entisen Jugoslavian maat. Sen sijaan Turkki kuuluu Lähi-idän alueeseen.

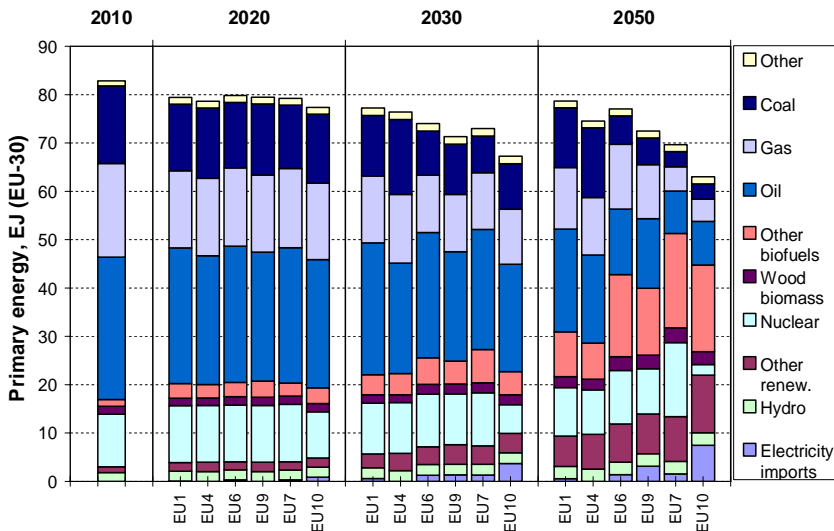
Kuvassa (Kuva 13) on esitetty primäärienergian kulutus Referenssi- ja 80 %:n päästövähennyskkenaarioissa. Kaikissa esitetyissä skenaarioissa fossiilisen polttoaineen osuus primäärienergiankulutuksesta kääntyy laskuun kasvavan energian hinnan myötä. Skenaariossa ”Green” (EU10) on oletettu kiihdytetty teknologian kehitys ja käyttöönotto ja lisäksi sähkön tuontia EU:n ulkopuolelta ei ole rajoitettu niin kuin muissa skenaarioissa. Green-skenaariossa CCS ei myöskään ollut sallittu, jonka vuoksi fossiilisten polttoaineiden käyttö supistuu merkittävästi.



## 2. Energiatoimialan globaalit ja alueelliset "mega-driverit"

Technology dimension		Default w CCS	Default w/o CCS	Pessimistic	Optimistic	Green
CCS		on	off	off	on	off
Nuclear energy		ref	ref	low	ref	low
Energy efficiency		ref	ref	ref	high	high
Renewable energies		ref	ref	ref	opt	opt
Policy dimension for the EU	Policy dimension for the Rest of the World (ROW)					
No policy baseline (no policy, also without the 2020 target)	no policy	EU11				
Reference: including the 2020 targets and 40% GHG reduction by 2050	"moderate policy" scenario ModPol; no emission trading across macroregions (but trade within macroregions e.g. within EU)	EU1	EU2	EU3	EU4	EU5
Mitigation1: 80% GHG reduction by 2050 (with Cap&Trade within the EU)	"moderate policy" scenario ModPol; no emission trading across macroregions (but trade within macroregions e.g. within EU)	EU6	EU7	EU8	EU9	EU10
Mitigation2: 80% GHG reduction by 2050 (with Cap&Trade within the EU)	IMAGE2.9 scenario; no emission trading across macroregions (but trade within macroregions e.g. within EU)	EU12			EU14	
Mitigation3: global 480ppme target with full Cap&Trade	IMAGE2.9 scenario; emission trading is allowed between all regions	EU13			EU15	

**Kuva 12.** EMF EU28 -studyn skenaariomatriisi. Ympyröidyt skenaariovariantit ovat mukana VTT:n laskelmissa.

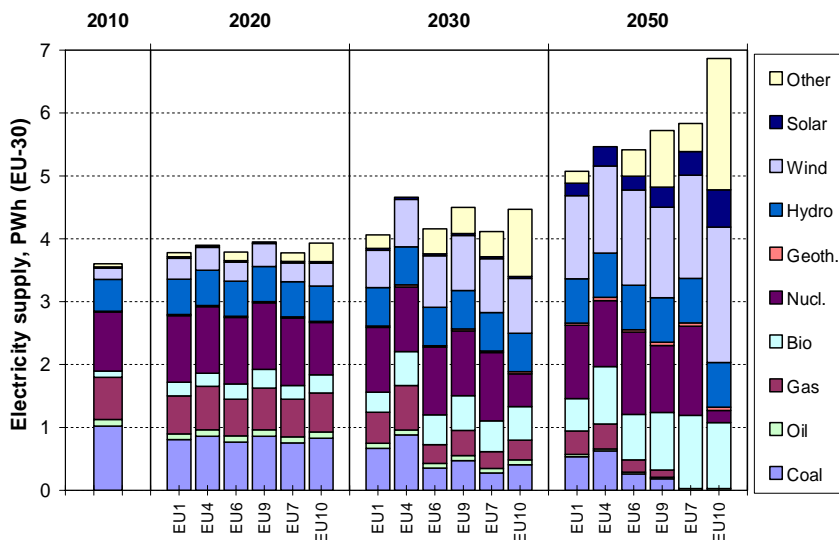


**Kuva 13.** Primäärienergian kulutus 40 %:n khk-päästövähennysskenaarioissa (EU1 & EU4) sekä 80 %:n khk-päästövähennysskenaarioissa (EU6, EU7, EU9 & EU10).

Kuvassa (Kuva 14) on esitetty sähköntuotanto EU-30-alueella. Kuvasta nähdään, että toisin kuin primäärienergian kulutus, sähkön kulutus kasvaa kaikissa skena-

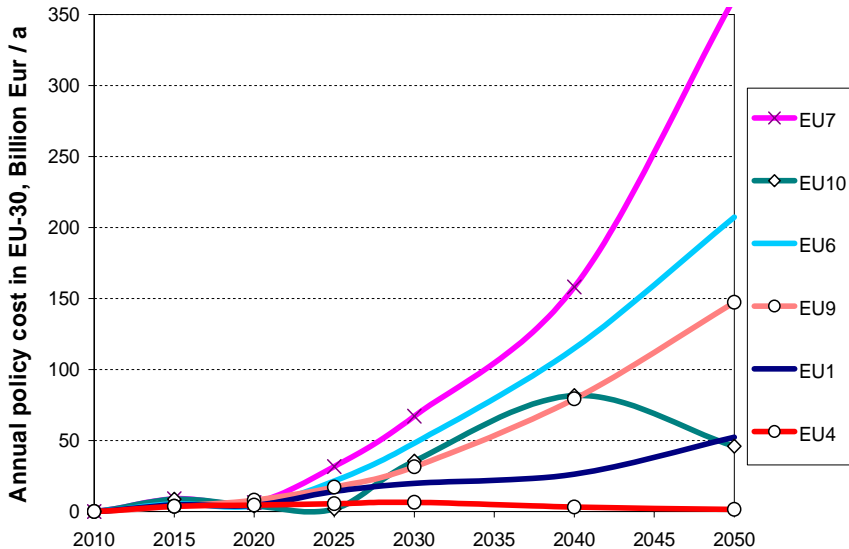
## 2. Energiatoimialan globaalit ja alueelliset "mega-driverit"

riossa. Ääritapauksena on jälleen "Green" (EU10) -skenaario, jossa sähkönkulutus lähes kaksinkertaistuu referenssivuoteen 2010 verrattuna ja jossa sähköntuotanto perustuu lähes 100 prosenttisesti uusiutuvaan energiaan. Tässä skenaariossa (aurinko)sähkön tuonti Afrikasta ja Lähi-idästä kasvaa myös merkittävästi.



**Kuva 14.** Sähköntuotanto 40 %:n khk-päästövähennysskenaarioissa (EU1 & EU4) sekä 80 %:n khk-päästövähennysskenaarioissa (EU6, EU7, EU9 & EU10).

Kuvassa 15 on lopuksi esitetty ilmastopoliitikan aiheuttamat vuosittaiset suorat kustannukset verrattuna Baseline-skenaarioon. Vuosikustannukset sisältävät kaikki teknologioiden investointeihin ja käyttöön sisältyvät kustannukset. Selkeästi korkeimmat kustannukset on tapauksessa, jossa oletetaan referenssitason teknologian kehitys ja lisäksi CCS-tekniikkaa ei oteta lainkaan käyttöön (EU7). Sen sijaan Green-skenaariossa (EU10), jossa oletetaan voimakas teknologian kehitys, vuosikustannukset kääntyvät laskuun vuoden 2040 jälkeen, vaikka investoinnit CCS:ään sekä uuteen ydinvoimaan oli mallitarkasteluissa kielletty.



**Kuva 15.** Päästöjen vähentämisen vuosittaiset suorat kustannukset Baseline-skenaarioon verrattuna 40 %:n khk-päästövähennysskenaarioissa (EU1 & EU4) sekä 80 %:n khk-päästövähennysskenaarioissa (EU6, EU7, EU9 & EU10).

## 2.4 Yhteenveto

Aasian kehittyvillä talouksilla tulee olemaan merkittävä vaikutus maailman energian kysynnän kehitykseen tulevana vuosikymmeninä ja siten Aasian kehityksen arviointi on erittäin tärkeää myös kansainvälisen ilmastopolitiikan ja globaalien energiemarkkinoiden kannalta. Nopeasti kasvavien Aasian talouksien pitkän aikavälin kehityksessä sekä kasvun nopeudessa ja painottumisessa on huomattavia epävarmuuksia, jonka vuoksi kehitystä arvioitiin useilla eri malleilla 20 organisaation toimesta hankkeessa Asian Modelling Exercise (AME), johon myös VTT osallistui. VTT:n skenaariolaskelmat tehtiin VTT:n globaalilla TIMES-energiajärjestelmämallilla, joka on alun perin kehitetty IEA:n ETSAP-yhteistyössä. VTT:ssä tehtiin yhteisten skenaariolaskelmien lisäksi myös herkkyystarkasteluja, joissa oletettiin asumisen, palvelujen ja liikenteen energian kysynnän kasvavan Aasian kasvavissa talouksissa VTT:n tuolloisessa mallissa käytettyjä perusoletuksia nopeammin. TIMES-mallin tulosten mukaan koko maailman primaarienergian kulutus kasvaa vuoteen 2050 mennessä Baseline-skenaariossa lähes kaksinkertaiseksi vuoden 2005 tasosta, mutta politiikkaskenaarioissa kasvu jää kyseisenä aikavälinä alimillaan vain 41 %:iin. Tulosten mukaan fossiilisten polttoaineiden globaali kysyntä kasvaa Baseline-skenaariossa tasaisesti vuoteen 2050 ja sen jälkeenkin, mutta kysyntä kääntyy politiikkaskenaarioissa laskuun jo ennen vuotta 2050. Voimakkaimmin politiikkaskenaarioissa vähenevät perusuraan verrattuna kivihien ja öljyn

käyttö, joista öljyn kulutus supistuu vuoteen 2050 mennessä useissa skenaarioissa jo selvästi alle nykytason. Kivihiilen ja maakaasun käyttö pysyy kuitenkin alimillaankin suunnilleen vuoden 2005 tasolla vuoteen 2050 saakka. Puubiomassan energiakäyttö vähenee maailmanlaajuisesti jonkin verran vuoteen 2020 mennessä, sillä joillakin alueilla kestävän kehityksen mukaiset käyttötasot ylittyvät jo nykyisin, eikä tätä skenaario-oletusten mukaan pidemmällä aikavälillä sallittu. Sen sijaan muun biomassan (erityisesti energiakasvit ja maatalouden sivutuotteet) käyttö kasvaa voimakkaasti politiikkaskenaarioissa. Oletetut peltubiomassojen tuotantopotentiaalit perustuvat pääosin MTT:ssä laadittuihin arvioihin.

TIMES-mallilla tehdyissä tarkasteluissa investoinnit toteutuvat ”optimaalisesti” ilman rajoituksia esimerkiksi pääoman suhteen. IIASA-yhteistyössä tarkasteltujen skenaarioiden perusteella pääomarajoitteella ja -hinnalla on merkittävä rooli investointien toteutumisella kehittyvissä maissa, etenkin ilmastotavoitteiden kannalta. Tutkimuksessa muodostettujen pääoman tarjontakäyrien perusteella pääomaa olisi periaatteessa riittävällä tasolla aiemmin esitettyjen sähköistämistavoitteiden täyttämiseksi, ja pääoman hinnan vaikutus sähkön hintaan olisi maltillinen. Pääoman korkea hinta vaikuttaa kuitenkin huomattavasti tuotantoteknologioiden valintaan suosimalla vähemmän pääomavaltaisia fossiilisia tuotantoteknologioita. Siten mahdollisesti tulevaisuudessa myös kehittyviä maita koskevat tavoitteet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi ovat haasteellisempia kuin mitä useissa aiemmissä tutkimuksissa on oletettu. Kansainvälisellä ilmastopolitiikalla voi olla kuitenkin myös merkittävä rooli investointipääoman muodostumisessa, sillä toteuttaessaan päästövähennyksiä osana globaalia ilmastopöytäkirjaa kehittyvät maat voivat myös saada merkittäviä tuloja kansainvälisen päästökaupan kautta. Aiemmissä tätä aihetta tarkastelevissa skenaarioissa (esim. den Elzen et al. 2005, 2008; Persson et al. 2006; Ekholm et al. 2010) tulojen on arvioitu vaihtelevan tasosta 0,1 % BKT:sta jopa 4,9 %:n tasolle. Eräs merkittävä aihe tuleville tutkimuksille olisikin, miten tällainen ilmastorahoitus kanavoituu kehittyvien maiden talouteen ja energiainvestointeihin.

EU:n vähähiilisiä polkuja tarkasteltiin EMF EU28 -skenaariotyössä useiden eri organisaatioiden toimesta ja eri malleilla. Kaikissa esitetyissä skenaarioissa primäärienergian kulutus ja fossiilisen polttoaineen osuus primäärienergiakulutuksesta kääntyy laskuun kasvavan energian hinnan myötä. Toisin kuin primäärienergian kulutus, sähkön kulutus kasvaa kaikissa skenaarioissa. Ääritapauksena on ”Green” (EU10) -skenaario, jossa sähkönkulutus lähes kaksinkertaistuu referenssivuoteen 2010 verrattuna ja jossa sähköntuotanto perustuu lähes sataprosenttisesti uusiutuvaan energiaan. Tässä skenaariossa investointeja ydinvoimaan ja CCS:ään ei sallittu, minkä vuoksi (aurinko)sähkön tuonti Afrikasta ja Lähi-idästä kasvoi merkittävästi.

### 3. Fossiiliset polttoainevarat ja -markkinat

*Tiina Koljonen, Göran Koreneff*

Fossiilisia polttoaineita käytetään globaalisti yhä enemmän, vaikka ilmastomuutoksen hillintä vaatisi päinvastaista suuntausta, ja kehitys jatkuu tällaisena vielä pitkän tovin. Epäkonventionaalisten kaasureservien dramaattisen nopea ja kustannustehokas käyttöönotto etenkin USA:ssa uuden tuotantoteknologian (horisontaalinen poraus ja hydraulinen murtaus) voimin kasvattaa reservejä ja hidastaa polttoainehintojen nousua. Polttoainereservien ehtyminen tai polttoaineiden hintojen huomattava kallistuminen ei tapahtune lähiaikoina. Sen sijaan hintojen volatiliiteetti kasvaa poliittisen epävakauden ja esimerkiksi äärimmäisten sääilmiöiden aiheuttamien toimitushäiriöiden vuoksi.

IEA:n (2011) arvioiden mukaan maakaasun osuus maailman energiakäytöstä lisääntyy parilla prosenttiyksiköllä vuoteen 2035 mennessä, samalla kun öljykulutus vähenee yli viisi prosenttiyksikköä ja hiilen kulutus kolme prosenttiyksikköä. Polttoainevaroista ja kysynnöistä on esitetty yhteenveto tämän luvun lopussa perustuen pääasiassa IEA:n esittämiin arvioihin.

Fossiilisia polttoainevaroja ja -markkinoita on esitelty paremmin erillisessä SALKKU-raportissa Fossiiliset polttoainevarat ja -markkinat (Ruska et al. 2012).

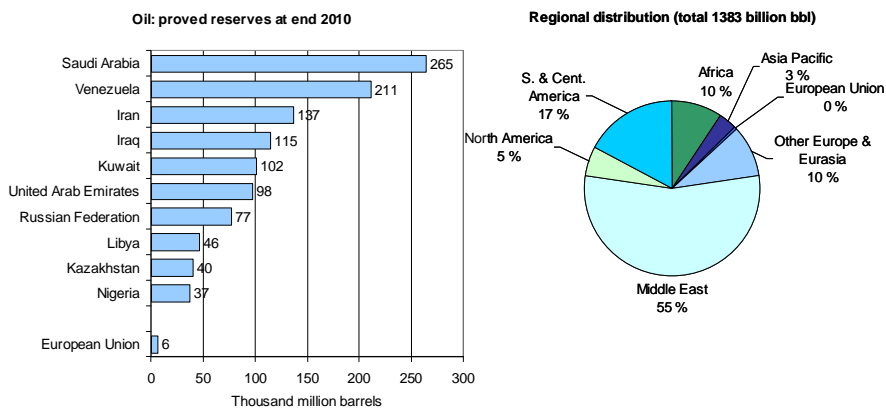
#### 3.1 Öljy

Öljy on maailman eniten käytetty polttoaine, vaikka sen markkinaosuus onkin laskenut aina 1970-luvulta lähtien. Vuonna 2010 öljyn osuus primäärienergiankulutuksesta oli 33 %. Öljyn kysyntä laski nopeasti öljykriisin jälkeen, kun öljyn hinta nousi voimakkaasti. Sama tilanne on havaittavissa 2000-luvulla, kun öljyn hinta kääntyi jälleen voimakkaaseen nousuun. Öljyn globaali kulutus on kuitenkin kasvanut vuosittain johtuen pitkälti kehittyvien talouksien kysynnän kasvusta. OECD-maissa öljyn kulutuksen kasvu on ollut hyvin maltillista viime vuosikymmenet ja vuoden 2005 jälkeen öljyn käyttö on kääntynyt peräti pieneniseen laskuun. Yli 50 % maailman öljystä käytetään liikenteessä ja loput energiantuotannossa ja teollisuuden raaka-aineena (Ruska et al. 2012).

### 3.1.1 Öljyvarat

Suurin osa maailman öljyreserveistä, noin 77 %, on OPEC-maiden omistuksessa. Vaikka useiden OPECin ulkopuolisten maiden öljyntuotanto on alkanut hiipua (vrt. esim. Pohjanmeren kentät, Meksiko, osa USA:n tuotannosta) useat maat ovat myös lisänneet tuotantoaan, kuten Venäjä, Keski-Aasia ja Länsi-Afrikka. Lisäksi Kanadan öljyhiikka, Meksikon lahden kentät sekä viime vuosina myös öljyliuske-reservien hyödyntämiseen liittyvä teknologian kehitys on lisännyt OPECin ulkopuolisten maiden öljyntuotantoa. BP:n reservitietojen mukaan vuoden 2010 lopussa öljyreservit olivat 1 380 Gbl, eli suuremmat kuin koskaan aiemmin (Finley 2012). Tunnettujen, teknisesti ja taloudellisesti hyödynnettävissä olevien öljyvarojen suhde vuoden 2010 tuotantoon, eli ns. R/P-arvo (reserves per production), oli noin 46 vuotta, joka ei kuitenkaan kerro, kuinka pitkäksi aikaa öljyvaroja todellisuudessa riittää käytettäväksi maailmalla. Tähän vaikuttaa etenkin öljyn kysynnän kehitys, mutta myös useat öljyn tuotantoon ja hintaan liittyvät tekijät.

Kuvassa 16 on esitetty öljyreservien maantieteellinen jakautuminen ja kymmenen suurimman maan reservit BP:n tilastojen mukaan (BP 2011). Kuvassa ei ole huomioitu Kanadan öljyhiikkareservejä, joiden suuruudeksi BP arvioi 143,1 Gbl.



**Kuva 16.** Öljyreservit vuonna 2010 (data: BP 2011). Luvut eivät sisällä Kanadan öljyhiikkaesiintymiä.

Öljyreservien raportointiin liittyy merkittäviä epävarmuuksia ja epätasällisyyksiä, joita on esitetty aiemmassa raportissa Koljonen et al. (2009), ja tässä raportissa esitetään ainoastaan yhteenveto vuoden 2009 jälkeen julkaistusta tiedosta. Epätasällisyyksiä aiheuttaa reservien öljyn laadun, määrän ja luokittelun standardien puute, tekniset epävarmuudet liittyen epäkonventionaalisiin resurssiin ja myös merkittävässä määrin taloudellisista ja poliittisista syistä annetut väärät reserviarviot.

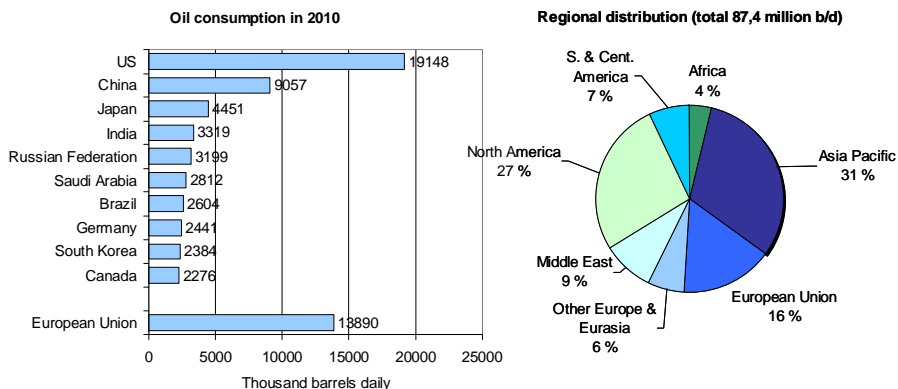
Öljyn tuoreimmat reserviarviot vaihtelevat eri lähteistä (Oil&Gas Journal 2011, IEA 2009, BP2011) välillä 1 354 Gbl ja 1 526 Gbl. Öljyreservien arvioitu määrä on

lisääntynyt noin kymmenellä prosentilla viimevuosina. Vuonna 2010 sekä Iran että Irak nostivat öljyreserviarvioitaan, mitä ei kuitenkaan näissä reserviarvioissa ole otettu huomioon. Oil & Gas Journalin mukaan OPECin vuosiraportti ilmoitti Venezuelan reserviarvion kasvuksi peräti 85 Gbl vuoden 2010 tasosta. Mikäli Venezuelan ilmoittama reservikasvu olisi huomioitu, olisi se noussut maailman suurimaksi öljyreservimaaksi ohi Saudi-Arabian (Oil&Gas Journal 2011).

IEA (2011) arvioi konventionaalisia öljyresursseja olevan 1 300 Gbl ja epäkonventionaalisia 2 700 Gbl.

### 3.1.2 Öljyn kysyntä

Maailma kuluttaa 87,4 miljoonaa barrelia päivässä eli 31,9 Gbl vuodessa. Kuvassa (Kuva 17) on esitetty öljyn kulutus vuonna 2010 BP:n tilastojen (2011) mukaan. Ylivoimaisesti suurin öljynkuluttaja on Yhdysvallat, joka kuluttaa yli 20 % maailman öljystä. Vuoden 2005 jälkeen Yhdysvaltojen öljynkulutus on kuitenkin keskimäärin laskenut ollen nykyään samalla tasolla kuin 1990-luvun lopussa. Kiina on maailman toiseksi suurin öljynkuluttaja, jonka kulutus on puolestaan noin kaksinkertaistunut kymmenessä vuodessa. Vuonna 2010 Kiina kulutti noin 10 % maailman öljystä ja kasvua edelliseen vuoteen nähden oli yli 10 %. (BP 2011).



Kuva 17. Öljyn kulutus vuonna 2010 (data: BP 2011).

### 3.1.3 Öljyn tuotanto

1980-luvun puolestavälistä asti Venäjän federaatio on ollut joko maailman suurin tai toiseksi suurin öljyn tuottaja. Saudi-Arabia on tasaisesti nostanut tuotantoaan Yhdysvaltojen öljyntuotannon hiipuessa. Myös EU-maiden öljyntuotanto on selvästi hiipunut 2000-luvulla. Vuonna 2010 OPEC-maiden osuus öljyntuotannosta oli yli 40 % ja BP:n arvioiden mukaan jopa 75 % öljyntuotannon kasvusta voisi tulla OPEC-maista 20 vuoden sisällä (BP 2012).

## 3.2 Maakaasu

Vuonna 2009 maakaasun osuus maailman primäärienergiankulutuksesta oli 24 %, ja se oli kolmanneksi käytetyin polttoaine öljyn ja hiilen jälkeen. Maakaasun osuus energiantuotannossa on kasvanut viime vuosina, ja maltillisen kasvun odotetaan jatkuvan. Maakaasun käyttöä on lisännyt etenkin ilmastonmuutoksen hillintä ja siihen liittyvät energia- ja ilmastopoliittiset toimenpiteet: maakaasun polttamisesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ovat selvästi öljyn ja hiilen hiilidioksidipäästöjä pienemmät, mikä on päästökaupan myötä tuonut maakaasulle kilpailuedun energiantuotannossa etenkin EU-alueella.

Tunnettujen, teknisesti ja taloudellisesti hyödynnettävissä olevien maakaasuvarojen suhde tuotantoon, eli ns. R/P-arvo (reserves per production), on noin 60 vuotta. Maakaasureservien suuruus on jatkuvasti kasvanut viime vuosikymmenten ajan, vaikka maakaasua onkin tuotettu yhä enenevässä määrin. Uusien maakaasuesiintymien löytäminen, tuotantoteknologioiden kehittyminen ja maakaasun hinnan nousu ovat siis muuttaneet osan resursseista reserveiksi. Viime vuosina reservit ovat kasvaneet etenkin Turkmenistanissa uusien esiintymien löytymisen myötä sekä Pohjois-Amerikassa, jossa liuskekaasun ja muiden epäkonventionaalisten kaasuesiintymien hyödyntämisessä on edistytty merkittävästi. Epäkonventionaalisen maakaasun tuotanto kasvaa voimakkaasti: vuonna 2007 USA:n kaasuntuotannosta jo noin puolet saatiin epäkonventionaalisista esiintymistä.

### 3.2.1 Maakaasureservit ja -resurssit

Maakaasua saadaan maankuoren kalliomuodostumissa sijaitsevista esiintymistä. Konventionaalisissa maakaasuesiintymissä maakaasu on huokoisessa hiekassa ja karbonaatissa, jossa kaasu pääsee vapaasti virtaamaan maan suuren permeabiliteetin (läpäisevyyden) takia. Epäkonventionaalisista varoista voidaan nykyteknikalla taloudellisesti tuottaa maakaasua tiheä kaasu -esiintymistä<sup>5</sup> (tight gas), hiiliesiintymien yhteydessä sijaitsevista kaasuesiintymistä (Coal Bed Methane, CBM) sekä liuskekaasusta (shale gas). Kaasun tuotanto metaanihydraateista ei ole vielä kaupallisessa vaiheessa, mutta monet pilottiprojektit tähtäävät kaupallisen tuotannon aloittamiseen noin vuoden 2020 tienoilla. Toistaiseksi metaanihydraatteihin perustuvan kaasuntuotannon saaminen taloudellisesti kannattavaksi on kuitenkin epävarmaa.

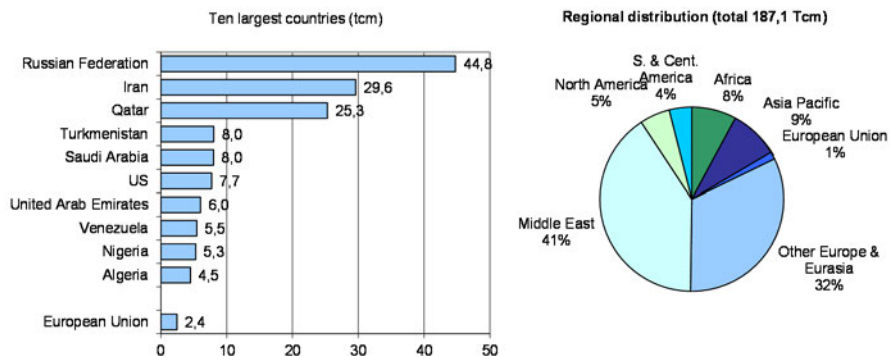
Kuvassa 18 on esitetty todennettujen maakaasureservien, 187,1 tcm, maantieteellinen jakauma ja kymmenen reserveiltään suurinta valtiota. Maakaasuvarat ovat voimakkaasti keskittyneet Venäjälle ja Lähi-itään. Venäjän osuus maailman todennetuista reserveista on noin 24 %, ja yhdessä Iranin ja Qatarin kanssa osuus

---

<sup>5</sup> Tiheä kaasu -esiintymä on huonon permeabiliteetin eli läpäisevyyden omaavassa pieni-huokoisessa hiekkakivessä tai karbonaatissa. Maakaasu on alkujaan muodostunut esiintymän ulkopuolella, ja virrannut miljoonien vuosien kuluessa tiheä kaasu -esiintymään.

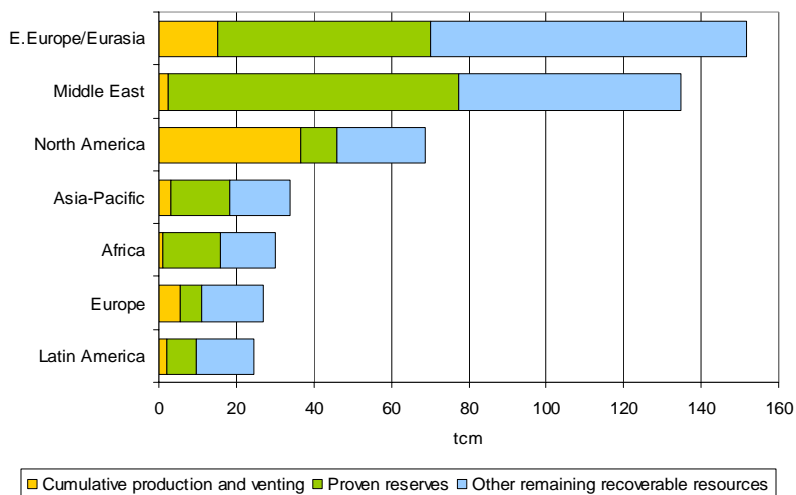


on 53 %. Kymmenen suurinta kaasukenttää sisältää 38 % todennetuista maakaasureserveistä (IEA 2009). Näistä puolet sijaitsee Venäjällä. Lähes neljännes (23 %) todennetuista reserveistä on maailman suurimmassa kaasukentässä North Field/South Parsissa Iranin ja Qatarin rajalla.



**Kuva 18.** Maakaasun todennetut reservit vuoden 2010 lopulla (data: BP 2011).

Nykyisin tunnettujen, teknisesti ja taloudellisesti hyödynnettävissä olevien maakaasureservien lisäksi maankuoressa arvioidaan olevan erittäin suuria määriä kaasua, jota ei ole vielä löydetty tai jota ei ainakaan toistaiseksi voida taloudellisesti hyödyntää. Resurssien suuruus arvioidaan tilastollisin menetelmin geologisen tiedon perusteella, joten arviot ovat aina epätarkkoja. Kuvassa 19 on esitetty IEA:n estimaatit, yhteensä 471 tcm, lopullisesti hyödynnettävissä olevan konventionaalisen maakaasun resursseista alueittain.

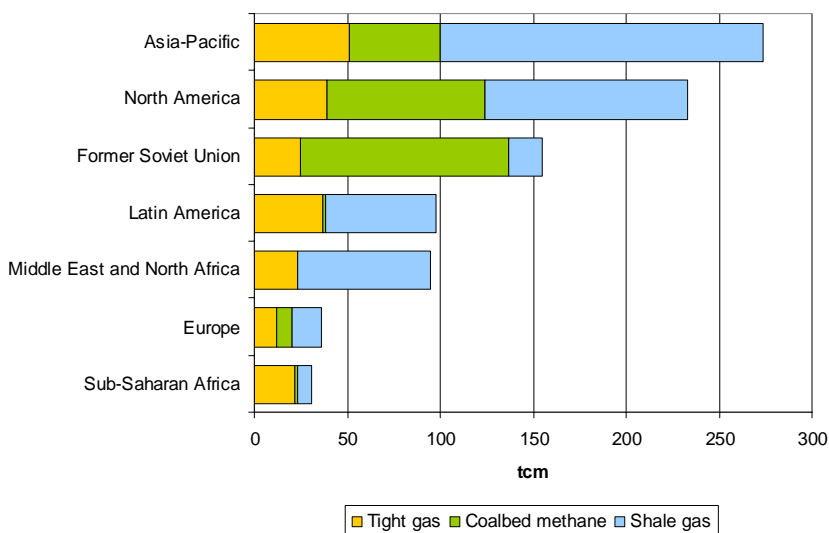


**Kuva 19.** Arvio konventionaalisen maakaasun lopullisesti hyödynnettävissä olevasta määrästä alueittain (data: IEA 2009).

### 3. Fossiiliset polttoainevarat ja -markkinat

Viime vuosina resurssit ovat merkittävästi kasvaneet, kun epäkonventionaalisten esiintymien hyödyntämisessä käytetyt teknologiat, kuten horisontaalinen poraus ja hydraulinen murtaminen, ovat kehittyneet ja tulleet edullisemmiksi. Uusien porausten ja tutkimusten – etenkin USA:ssa – myötä saadaan lisäksi koko ajan uutta tietoa.

Kuvassa 20 on esitetty IEA:n tekemä arvio epäkonventionaalisista maakaasuresursseista alueittain. Euroopan epäkonventionaaliset maakaasuresurssit ovat suhteellisen pienet verrattuna muihin alueisiin mutta kuitenkin suuremmat kuin konventionaaliset resurssimme. Yhteensä maankuoressa arvioidaan olevan noin 900 tcm epäkonventionaalista kaasua, mutta luotettavia arviota siitä, kuinka suuri osa tästä voitaisiin lopulta hyödyntää, ei vielä ole voitu tehdä. IEA (2009) tosin arvioi hyödynnettävissä olevia konventionaalisia kaasuvaroja olevan 404,5 tcm ja hyödynnettävissä olevia kaasuvaroja kokonaisuudessaan 785 tcm, eli täten hyödynnettäviä epäkonventionaalisia maakaasuresursseja olisi arviolta 380 tcm.

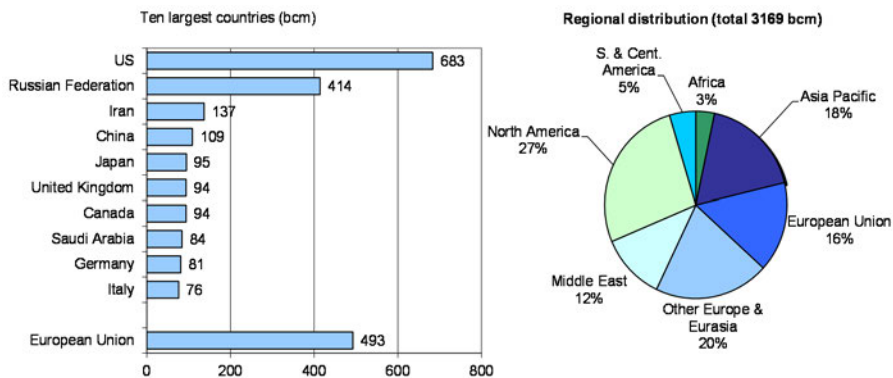


**Kuva 20.** Arvio epäkonventionaalisen maakaasun kokonaisresursseista (data: IEA 2009).

IEA on arvioinut, että mikäli USA:n ulkopuolisten epäkonventionaalisten maakaasuvarojen hyödynnettävyys olisi muualla maailmassa suhteessa sama kuin USA:ssa eikä globaaleja epäkonventionaalisia varoja ole merkittävästi yliestimoitu, riittäisi kaasu jopa 250 vuodeksi nykyisellä tuotannolla. IEA:n arvion mukaan maakaasuvarat riittävät hyvin kattamaan ennakoitun kysynnän kasvun vuoteen 2030 ja pitkälle tämän jälkeenkin, mikäli tarvittavat investoinnit infrastruktuuriin tehdään ajoissa.

### 3.2.2 Maakaasun kysyntä

Vuonna 2010 kaasua kulutettiin globaalisti 3 169 bcm, eli 7,4 % enemmän kuin vuonna 2009, jolloin kysyntä oli talouden taantumien takia noin 70 bcm alempi kuin edeltävänä vuonna. Kulutuksen alueellinen jakauma ja suurimmat kaasun käyttäjät on esitetty kuvassa 21. Selvästi suurimmat maakaasun käyttäjät ovat USA ja Venäjä. EU:n kaasunkulutus oli vuonna 2010 493 bcm, joten kaasua käytetään enemmän kuin Venäjällä. EU:ssa kasvu on ollut hyvin maltillista, noin 12 % aikajaksolla 2000–2010. Vuodesta 2000 Lähi-itä, Kaakkois-Aasia ja Afrikka ovat suurin piirtein kaksinkertaistaneet ja Kiina on jopa 3,5-kertaistanut kaasun käyttönsä. Kiinan kahdennentoista viisivuotissuunnitelman mukaan maakaasun käyttöä aiotaan vielä 2,5-kertaistaa vuoteen 2015 mennessä eli 260 bcm:ään (IEA GAS 2011). Kaasun suurimmista käyttäjistä valtaosalla on tai on ollut merkittävät omat kaasuvarat. Japani on kaasun suhteen kuitenkin täysin tuontiriippuvainen.



Kuva 21. Maakaasun kulutus vuonna 2010 (data: BP 2011).

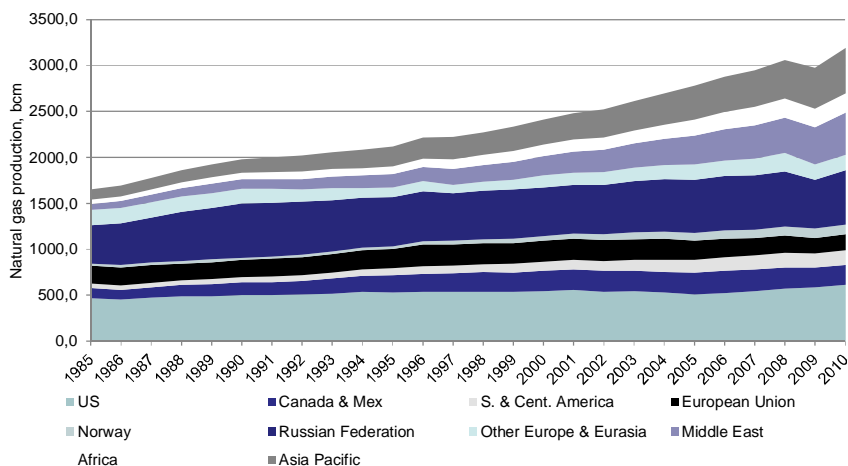
Sekä EIA että IEA ennustavat referenssiskenaarioissaan (eli business as usual -skenaario) maakaasun globaalien kysynnän vuonna 2030 olevan 4,3 tcm. Yli 80 % kysynnän kasvusta tulisi OECD:n ulkopuolisista maista. IEA:n referenssiskenaarioissa kaasun osuus primäärienergian kulutuksesta pysyy melko samana vuoteen 2030.

### 3.2.3 Maakaasun tuotanto

Selvästi suurimmat maakaasun tuottajat ovat Venäjä ja USA, näiden tuotanto on yli kolminkertainen suhteessa kolmanneksi suurimpaan tuottajaan eli Kanadaan. Kuvassa 22 on esitetty maakaasun globaalien tuotannon kehittyminen 1985–2010. Globaali maakaasun tuotanto on tällä aikavälillä kasvanut jatkuvasti. Eri tuotantoalueet ovat sen sijaan erilaisissa vaiheissa.

### 3. Fossiiliset polttoainevarat ja -markkinat

Epäkonventionaalisista esiintymistä saadaan nykyisin noin puolet USA:n kaasuntuotannosta, ja Kanadan epäkonventionaalinen kaasuntuotanto kasvaa voimakkaasti. Muualla maailmassa arviot epäkonventionaalisen kaasun varoista ja hyödynnettävyydestä ovat huomattavasti epävarmempia, mutta voidaan olettaa, että tuotanto kasvaa lähivuosina.



**Kuva 22.** Maakaasun tuotanto vuosina 1985–2010 (data: BP 2011).

**Pohjois-Amerikan** maakaasuntuotannon kasvu pysähtyi vuonna 2001. Tuotannossa olleet maakaasuesiintymät olivat saavuttaneet tuotantohiippunsa, eikä uusia suuria esiintymiä enää löytynyt. Tiukka tuotantotilanne johti korkeisiin maakaasun hintoihin ja kysynnän alenemiseen. Korkeat hinnat kuitenkin kannustivat maakaasuntuottajia kehittämään tuotantotekniikoita, kuten horisontaalinen poraaminen ja hydraulinen murtaminen, ja etsimään uusia esiintymiä. USA:n maakaasuntuotanto on viime vuosina kasvanut merkittävästi epäkonventionaalisen maakaasun voimin. IEA (2009) arvioi, että epäkonventionaalisen kaasun keskimääräinen tuotantokustannus alitti konventionaalisen kaasun kustannuksen vuonna 2007. Liuskekaasun tuotantokustannus on välillä 8 €/MWh ja 18 €/MWh.

**Venäjän** kaasuntuotanto vuonna 2010 oli 589 bcm. Venäjän energiastrategian mukaan tuotanto kasvaa 876–940 bcm:ään vuonna 2030 (Gromov 2009). Nykyisin käytössä olevien kaasukenttien tuotanto on kuitenkin jo ohittanut hiippunsa, ja uusien suurten kenttien käyttöönotto voi viivästyä. Esimerkiksi suuren Shtokmanin kentän tuotantoon ottamista on viivästetty finanssikriisin aiheuttaman maakaasun hinnan romahtamisen takia.

**EU-alueen** maakaasun tuotanto saavutti hiippunsa 235 bcm vuonna 1996. Vuoden 2004 jälkeen EU:n kaasuntuotanto on alentunut hitaasti, ja tuotanto oli vuonna 2010 175 bcm. EU:n maakaasuntuotanto oli 36 % kulutuksesta vuonna 2010, ja Norjasta tuotiin noin 20 % kulutuksesta. Suurin osa tuontikaasusta tuodaan Venäjältä. Venäjän kaasuntuotannon varmuus on viime vuosina ollut esillä

vuoden 2008 Venäjä–Georgiakonfliktin ja vuoden 2009 Venäjä–Ukraina-kaasuntoimituskiistan takia. IEA arvioi EU:n maakaasuntuotannon alenevan 103 bcm:ään vuoteen 2030 mennessä (IEA 2009). **Norjan** maakaasuntuotannosta (106 bcm vuonna 2010) lähes kaikki kuljetetaan putkitse Ison-Britannian ja Manner-Euroopan markkinoille. Norjan valtion ennusteiden mukaan kaasuntuotanto kasvaa seuraavan kymmenen vuoden sisällä noin 125–140 bcm:ään. Norjan suurimmat kaasukentät on kuitenkin jo otettu tuotantoon, ja näistä lähes kaikki ovat saavuttaneet suunnitellun suurimman tuotantomääränsä.

#### 3.2.4 Euroopan liuskekaasuresurssit ja niiden hyödyntäminen

Euroopan liuskekaasuesiintymät eivät ole geologisesti yhtä hyviä kuin USA:n (Stevens 2010): esiintymät ovat pienempiä, syvemmällä, pirstaleisempia ja saviempia eli huonommin murtuvia. On arvioitu, että liuskekaasun läpimurtoon Euroopassa tarvitaan yli 25 €/MWh:n markkinahintataso (Korn 2010), eli selvästi korkeampi kuin USA:ssa.

Euroopan parlamentille tehdyssä selvityksessä (EP 2011) suhtaudutaan melko negatiivisesti sekä liuskekaasuresurssien riittävyydelle että niiden kaupalliseen hyödyntämiseen erityisesti esitettyjen ympäristövaikutusten valossa. Raportti käsittelee seikkaperäisesti useita ympäristöongelmia, kuten myrkyllisten kemikaalien ruiskuttamista maaperään kaikkineen siihen liittyvine riskeineen: muun muassa pohjavesien saastumisuhkat, radioaktiivisten hiukkasten vapautuminen ja jopa maanjäristysriskit (1–3 Richterin asteikolla). Raportti kuvastaa melko hyvin sitä, että julkinen mielipide läntisessä Euroopassa suhtautuu hydrauliseen murtamiseen melko negatiivisesti. Hydraulinen murtaminen on Ranskassa hyväksytyn lain mukaan (EP 2011) sallittua vain tiukassa valvonnassa ja tieteellisistä syistä, ja se on myös Saksan Nordrhein-Westfalenissa kovassa vastatulessa. Tosin, vastaavaa NUMBY-ilmiötä (Not Under My Back Yard) on kasvavassa määrin myös USA:ssa muun muassa raportoitujen onnettomuuksien lisääntyessä ja hyödyntämisen lähestyessä kaupungeja (Science 2010). Useat lähteet, kuten Science (2010) ja IEA (IEA GAS 2011) mutta myös EP 2011, toteavat, että liuskekaasuun liittyneet ongelmatilanteet ovat pääasiassa tulosta huonosta toimeenpanosta, olemattomista ympäristövaatimuksista tai valvonnasta, ei tekniikassa itsessään olevista puutteista.

Liuskekaasun hyödyntäminen vaatii muun muassa suuren maankäytön, pahimmillaan Yhdysvalloissa jopa kuusi tai useamman kaivon jätevesialtaineen, teineen ja putkineen neliökilometrille (EP 2011). Eurooppa on merkittävästi tiheimmin asutettu kuin USA, mikä myös asettaa omat rajoituksensa, varsinkin kun maanomistaja ei Euroopassa omista mineraalioikeuksia niin kuin USA:ssa. Myös veden tarve on suuri, kuten myös syntyvän jäteveden, mikä Euroopan tiukempien ympäristölakien takia voi olla vaativampaa. Euroopassa maakaasuputkisto on monopolien takana kun taas USA:ssa kaasuputkisto on liberalisoitu ja avoin kaikille (Stevens 2010).

On todettava, että Euroopassa toimintaympäristö liuskekaasulle on kaikin puolin huomattavasti USA:ta kriittisempi. Esimerkiksi GDF-Suez ei odota Eurooppaan samanlaista liuskekaasuvallankumousta Euroopan energiamarkkinoilla kuin USA:ssa (EER May 9, 2011), ja samaan päätyvät myös Korn (2010) ja Kefferpütz (2010), ja IEA:n (IEA GAS 2011) vuoteen 2035 yltävissä maakaasuskenaariossa epäkonventionaalisten maakaasuresurssien hyödyntäminen on kovin vähäistä OECD-Euroopassa. Valonpilkahduksiakin löytyy: Puolan liuskekaasuvarannot ovat korkealaatuisia ja suhteellisen ylhäällä ja sijaitsevat usein haja-asutusalueilla (Kefferpütz 2010). Puolan nykyisen maakaasukäytön riippuvuus Venäjältä sekä ympäristöasenne vanhana itäblokin maana ovat myös seikkoja, jotka madaltavat liuskekaasuvarantojen hyödyntämiskynnystä.

#### 3.2.5 Maakaasumarkkinat

Maakaasulla ei ole vastaavia aidosti globaaleja markkinoita kuten öljyllä. Kuljetaminen on sidottu suuria investointeja vaativaan LNG- tai putki-infrastruktuuriin. Kaasumarkkinat ovat myös öljymarkkinoita varhaisemmassa kehitysvaiheessa.

Euroopan oma kaasuntuotanto on jo ohittanut huippunsa, ja Eurooppa on yhä enenevässä määrin riippuvainen tuontikaasusta. Tuontikaasu ostetaan yleensä öljyn hintakehitykseen sidotuilla pitkillä sopimuksilla, ja kaasun hinta seuraa myös maiden sisäisessä kaupassa näissä sopimuksissa sovittuja tuontihintoja. EU:n sisällä ei ole vielä yhtenäisiä kaasun sisämarkkinoita, mutta tämä on EU:n tavoitteena.

Pohjois-Amerikan ja Yhdistyneiden kuningaskuntien kaasumarkkinat ovat muita markkina-alueita kehittyneemmät. Näillä alueilla kaasulla on oma markkinahintansa. Öljyn hinta vaikuttaa toki kaasun hintaan tuotteiden korvaavuuden takia, mutta kaasun hinta ei ole sopimuksissa indeksoitu öljyn hintaan. Kummallakaan alueella tuotanto ei ole keskittynyt yhdelle yhtiölle, vaan toimijoita on ollut useita. Nämä tekijät ovat yhdessä markkinoiden kilpailullisuuden kehittymistä tukevan regulaation kanssa edesauttaneet tehokkaasti kilpailujen maakaasumarkkinoiden syntymistä.

Viime vuosina LNG:n markkinahinta on laskenut putkikaasuun nähden, kun koko LNG:n logistiikkaketjun kustannuksissa on tapahtunut merkittävää tehostumista ja toisaalta kysyntä on USA:n hiipuneen kysynnän myötä vähentynyt.

### 3.3 Hiili

Hiilen kysyntä on 2000-luvulla kasvanut huomattavasti muiden fossiilisten polttoaineiden kysyntää nopeammin. Hiilen käyttö on kasvanut ennen kaikkea Kiinan talouskasvun ja sitä myötä lisääntyneen sähköntuotannon takia. Vuonna 2000 Kiinan hiilen kulutus oli 737 Mtoe, 31 % globaalista kysynnästä. Vuonna 2010 Kiinan hiilen kulutus oli lähemmäs 2,5-kertaistunut 1 714 Mtoe:iin, ja osuus globaalista kysynnästä oli 48 %. Keskeiset energiajärjestöt ennustavat hiilen käytön voimakkaan kasvun yhä jatkuvan.

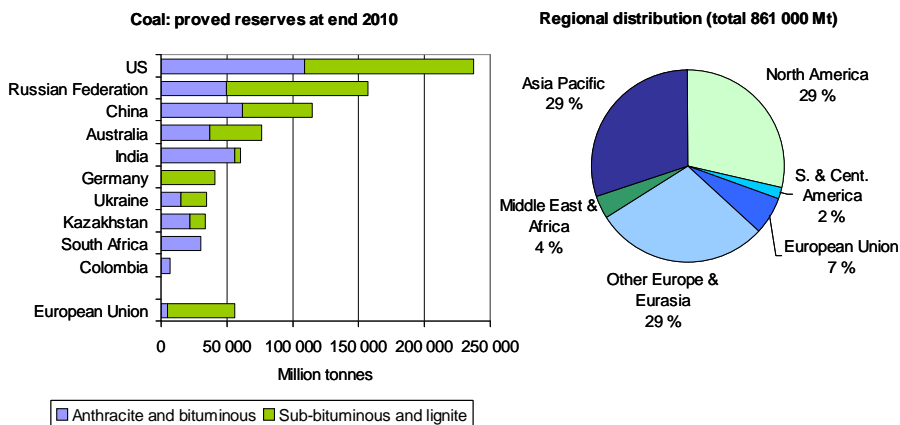
Taloudellisesti ja teknisesti käytettävissä olevat hiilivarat ovat moninkertaisesti suuremmat kuin öljy- tai maakaasuvarat. BP:n tilastojen mukaan vuoden 2010

lopussa hiilen todennettujen reservien suhde tuotantoon oli 118 vuotta. Vastaava R/P-luku oli öljylle 46 vuotta ja maakaasulle 59 vuotta. Suhteessa öljyyn hiilivarat sijaitsevat huomattavasti tasaisemmin eri maailman osissa.

Suurin osa louhitusta hiilestä käytetään tuotantomaassa. Valtioiden rajat ylittävä hiilen kauppa on kuitenkin kasvanut voimakkaasti ja lähes kaksinkertaistunut 2000-luvulla. Maailmankaupan kasvu on nostanut myös kuljetusten hintoja ja lisännyt kuljetusinfrastruktuurin tarvetta.

### 3.3.1 Hiilivarat

Kuvassa 23 on esitetty todennettujen hiilireservien alueellinen jakauma sekä kymmenen reserveiltään suurinta valtiota BP:n (2011) mukaan. Reservit on BP:n tilastoissa jaettu kahteen kategoriaan: antrasiittiin ja bitumiseen hiileen sekä puoli-bitumiseen hiileen ja ligniittiin. Globaalisti todennetut varat jakautuvat tonnimääräisesti lähes tasan näille kahdelle luokalle. Hieman alle 60 % reserveista on kolmen valtion (USA:n, Venäjän ja Kiinan) alueilla, ja reserveiltään suurimpien kymmenen maan yhteenlasketut hiilivarat ovat yli 90 % globaaleista varoista.



**Kuva 23.** Todennetut hiilireservit vuoden 2010 lopussa (data: BP 2011).

Taulukossa 3 on esitetty tarkemmin saksalaisen BGR:n (2010) hiilen reservi- ja resurssiarviot vuodelta 2010. Arvion mukaan jäljellä olevat resurssit olisivat globaalisti kivihiilelle 16 404 Gt ja ligniitille 4 345 Gt. Todennettujen reservien osuus jäljellä olevista resursseista olisi siten vain 4,4 %.

**Taulukko 3.** Hiilireservit ja resurssit (lähde: BGR 2010).

Gt Country/Region	Hard coal		Lignite	
	Reserves	Resources	Reserves	Resources
Europe	19	475	66	291
CIS	124	2 879	94	1 287
Africa	33	55	0	0
Middle East	0	45	0	0
Austral-Asia	307	5 412	70	1 057
North America	238	6 632	33	1 421
Latin America	9	27	5	20
Antarctica		150		
EU-27	18	474	53	278
<b>World</b>	<b>729</b>	<b>15 675</b>	<b>269</b>	<b>4 076</b>

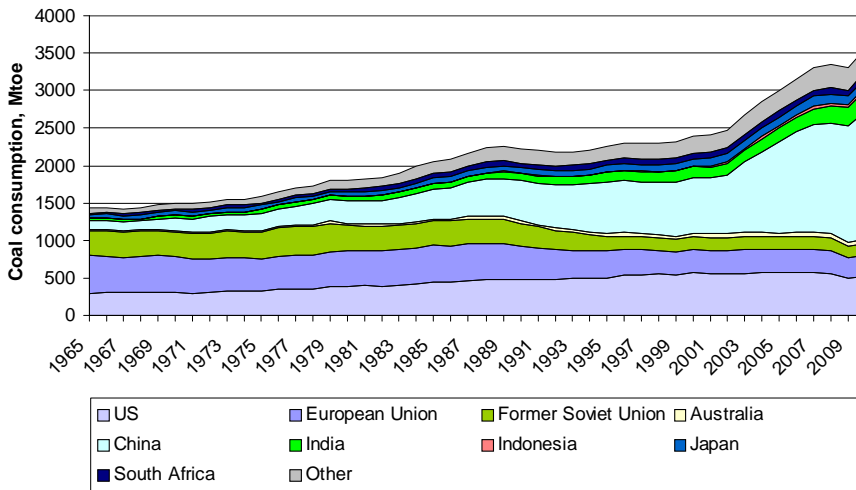
Hiiliresurssit ovat BGR:n mukaan erittäin suuret verrattuna hiilireserveihin. Yleisesti oletetaan, että resursseja voidaan muuttaa reserveiksi kysynnän kasvaessa. Hiilireservit ovat siis pysyneet lähes samalla tasolla tai vähentyneet viime vuosikymmenien aikana siitä huolimatta, että hiilen kysyntä on kasvanut voimakkaammin kuin minkään muun fossiilisen polttoaineen. Myös hiilen hinnan nousun olisi pitänyt siirtää resursseja reserveiksi, mutta toisaalta monissa Euroopan maissa hiilireservien romahtaminen on johtunut siitä, että kansalliset hiilen tuotantotuet on poistettu.

### 3.3.2 Hiilen kysyntä

Vuonna 2010 eri hiililajeja käytettiin yhteensä 3 556 Mtoe<sup>6</sup>. Suurin osa tuotetusta hiilestä käytetään tuotantomaassa, joten suurimmat hiilen käyttäjät ovat samalla suurimmat hiilen tuottajat. Kiinan, USA:n ja Intian yhteenlaskettu osuus hiilenkäytöstä on noin 70 %. Neljänneksi suurin hiilen käyttäjä on Japani, joka tuo lähes kaiken käyttämänsä hiilen ulkomailta. EU:n osuus globaalista hiilenkäytöstä on noin 8 %. Hiilen kulutus on 2000-luvulla kasvanut erittäin voimakkaasti (Kuva 24).

<sup>6</sup> Hiilen käyttötiedot esitetään energiayksiköissä, jotka sisältävät sekä kivihiilen että ruskohiilen käytön. 1 Mtoe = 11,63 TWh, joten 3 556 Mtoe on vastaavasti 41 400 TWh.





**Kuva 24.** Hiilen kulutus vuosina 1965–2010 (data: BP 2011).

Ilmastonmuutoksen hillintä edellyttää hiilidioksidipäästöjen voimakasta vähentämistä. Koska hiilen käyttö lisää hiilidioksidipäästöjä enemmän kuin muiden fossiilisten polttoaineiden käyttö, ovat mahdollisten uusien päästörajoitusten vaikutukset voimakkaita hiilen kulutusskenaarioissa. Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (CCS) pysyvästi maanalaisiin geologisiin muodostumiin mahdollistaisi hiilen käytön pidemmällä aikavälillä. CCS on vasta demonstraatioasteella, ja sen kaupalliseen käyttöönnottoon liittyy monia epävarmuustekijöitä.

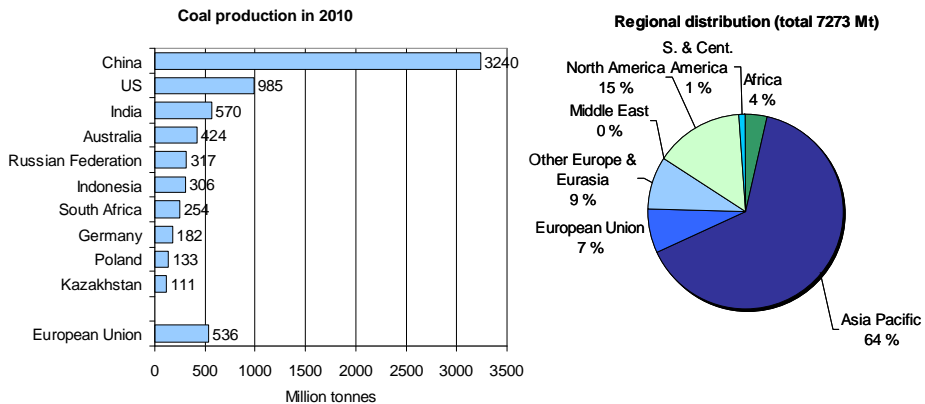
Vuonna 2008 kaksi kolmannelta tuotetusta hiilestä käytettiin sähköntuotannossa ja yksi viidennes teollisuudessa (IEA 2010). IEA ennakoி New policies -skenaariossa sektoreiden osuuksien säilyvän likimain ennallaan vuoteen 2035 asti ja kokonaiskysynnän kasvavan 4 101 Mtoe:hen.

### 3.3.3 Hiilen tuotanto

Yli puolet tuotetusta kivihiilestä saadaan maanalaisista kaivoksista. Menetelmää käytetään etenkin Kiinassa, jossa noin 95 % tuotannosta tulee maanalaisista kaivoksista (BGR 2010). Kaivokset ovat yleensä alle 500 m syviä, mutta hiiltä pitkään tuottaneilla alueilla keskisyvyys saattaa olla huomattavasti suurempikin. Tällaisia syviä kaivoksia on etenkin Euroopassa, jossa hiiltä on tuotettu yli 100 vuoden ajan.

Vuonna 2010 hiiltä tuotettiin 7 273 miljoonaa tonnia (Kuva 25). Noin 45 % hiilestä tuotetaan Kiinassa, 14 % USA:ssa ja 6 % Intiassa. EU:n osuus globaalista hiilentuotannosta on noin 8 %, ja suurimmat eurooppalaiset hiilentuottajamaat ovat Venäjän lisäksi Saksa ja Puola.

### 3. Fossiiliset polttoainevarat ja -markkinat



**Kuva 25.** Hiilen tuotanto vuonna 2010 (data: BP 2011).

Globaali hiilen tuotanto lähti 2000-luvulla voimakkaaseen kasvuun Kiinan talouskasvun vauhdittamana. Muilla alueilla tuotannon kasvu on ollut huomattavasti maltillisempaa. Tuotanto on vähentynyt Euroopassa hiilivarojen vähentyessä ja entisen Neuvostoliiton maissa talousjärjestelmän romahtaessa.

Useat tahot ovat esittäneet, että hiilen resurssit ei ehkä saadakaan muutettua reserveiksi, ja hiilen saatavuus rajoittaisi siten hiilen tuotannon kasvua, esimerkiksi Höök et al. (2010).

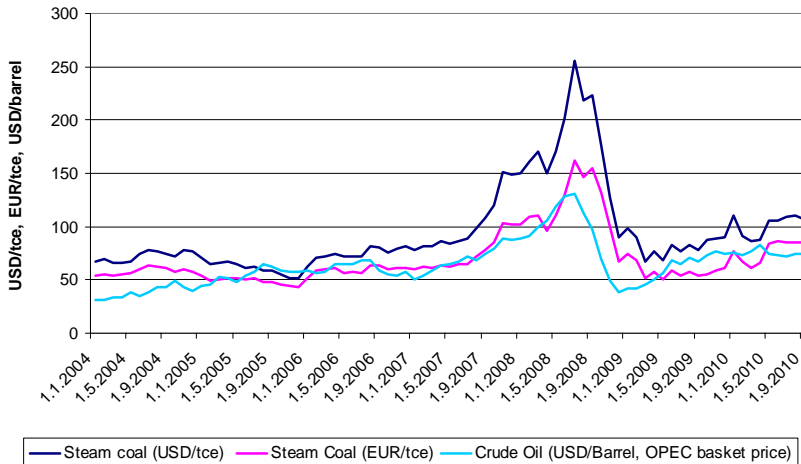
#### 3.3.4 Hiilimarkkinat

Hiili myydään usein bilateraalilla eli kahdenvälisillä sopimuksilla. Hiilen tuotanto vaatii huomattavia pääomia, ja samoin hiilen käyttö esimerkiksi sähkötuotannossa edellyttää suuria investointeja. Suurten investointien takia suositaan pitkäaikaisia kahdenvälisiä sopimuksia. Toisaalta hiililaaduissa on suuria eroja, ja voimalaitokset tai muut tuotantolaitokset eivät voi vaihtaa käyttämäänsä hiililaatua helposti täysin uuteen hiileen. Erityisesti koksihiilen käytössä laatueroilla on suuri merkitys, mikä lisää pitkien kahdenvälisten sopimusten suosiota.

Fossiilisten polttoaineiden hinnat nousivat voimakkaasti 2000-luvun alkupuolella. Vuonna 2000 hiilen keskimääräinen tuontihinta EU:hun oli 35 USD/t. Vuonna 2008 hinta oli lähes nelinkertaistunut 138 USD:hen tonnilta (IEA COAL 2010). Koksihiiltä louhitaan teknisesti samalla tavalla kuin höyryhiiltä, mutta koksihiillelle asetetut laatuvaatimukset ovat erittäin korkeita. Koksihiiltä tuotetaan verrattain harvoista esiintymistä. Esimerkiksi USA:n Appalakeilla koksihiiltä louhitaan erittäin ohuista esiintymistä, ja tuotantokustannukset voivat olla jopa 80 USD/t.

Kuvassa 26 on esitetty hiilen hinta ARA-satamissa. Saksalainen BGR on vertaillut vientimarkkinoille suunnatun kivihiilen tuotantokustannuksia eri alueilla. Tuotantokustannukset ovat keskimäärin alhaisempia niillä alueilla, joilla hiiltä voidaan louhia avokaivoksilla. Venäjän, Venezuelan, Etelä-Afrikan, Indonesian ja Kolumbian hiilen tuotantokustannukset ovat välillä 15–20 USD/t. Esimerkiksi Sak-

sassa kivihiilen tuotantokustannuksiksi arvioitiin vuonna 2007 170 €/tce (hiilekvi-  
valenttitonni), mikä vastaa 265 USD/t (BGR 2010).



**Kuva 26.** ARA-satamiin tuodun hiilen hinnan (MCIS Steam Coal Marker Price, 7 000 kcal/kg) ja öljyn maailmanmarkkinahinnan kehitys vuosina 2004–2010 (data: Euracoal).

Hiilen hinta seuraa öljyn hintaa. Hiilen käyttöä ei voi kuitenkaan yleensä suoraan korvata öljyllä. Öljyn hinta vaikuttaa voimakkaasti maakaasun hintaan, ja hiilen hintalinkki öljyyn selittyikin tämän kytköksen kautta. Hiili ja maakaasu kilpailevat keskenään etenkin Euroopan sähköntuotannossa.

Yhtenä osatekijänä vuosien 2004–2008 korkeiksi kasvaneille hiilen hinnoille oli se, että hiilen kysynnän nopeasti kasvaessa tuotanto- ja kuljetusinfrastruktuuria ei pystytty yhtä nopeasti lisäämään. Eri tuottajamaissa pullonkauloja oli eri kohdissa tuotantoketjua, Australiassa ongelmana oli liian pieni satamakapasiteetti, Etelä-Afrikassa ei pystytty lisäämään hiilen tuotantoa. Korkeat hinnat kuitenkin käynnistivät useita infrastruktuuriprojekteja, jotka tulevat vähentämään pullonkauloja pitkällä aikavälillä.

Taantuma vähensi erityisesti koksishiilen kulutusta, jolloin tuotanto- ja kuljetuskapasiteettia vapautui höyryhiillelle. Rahtien hinnat alenivat voimakkaasti, mikä alensi myös hiilen kokonaishintaa EU:ssa.

Kehittyvien Aasian maiden, erityisesti Kiinan hiilen kysyntä on 2000-luvulla kasvanut erittäin voimakkaasti. Talouskasvun jatkuessa hiilen kysynnän kasvun ennakoidaan edelleen jatkuvan vahvana. IEA:n uusimpien skenaarioiden mukaan (IEA 2011) hiilen käyttö Kiinassa kasvaa vuoteen 2035 mennessä noin 2 820 Mtce:hen, kun kulutus vuonna 2009 oli 2 179 Mtce. IEA olettaa, että Kiinan hiilen kotimainen tuotanto kasvaa vastaavasti, ja on 2 739 Mtce vuonna 2035. Vaikka Kiina on viime vuosiin asti ollut netto-omavarainen kivihiilen suhteen, on useissa lähteissä esitetty, että Kiinan hiilen tuotantoa ei voida enää huomattavasti

kasvattaa, sillä tuotantoa rajoittavat sekä hiilireservit että infrastruktuuri. Arvioiden mukaan Kiinan hiilen tuotannon kasvu ei pysy kotimaisen hiilen kysynnän kasvun mukana, vaan Kiinasta tulee merkittävä hiilen ostaja.

#### 3.4 Yhteenvedo polttoainevaroista ja kysynnöistä

Fossiilisten polttoaineiden reservi- ja resurssiarviot sekä kysynät nyt ja vuonna 2035 on esitetty TWh:na taulukossa 4. Reservien suhdetta (R/P) vuosituotantoon on laskettu sekä nykykysynnällä että vuoden 2035 kysynnällä. Resurssiarvioissa maakaasulle ja öljylle on huomioitu vain hyödynnettävissä olevat resurssit, eikä esimerkiksi metaanihydraatteja ei ole lainkaan noteerattu.

**Taulukko 4.** Öljyn, maakaasun ja hiilen kysynät, reservit ja resurssit TWh:na. Reservitietojen lähteenä on BP (2011), resurssien lähteenä on IEA (2009, 2011) ja BGR (2010)<sup>7</sup>, nykyisen kysynnän lähteenä on BP (2011) ja vuoden 2035 kysynnän lähteenä IEA (2011).

	Öljy	Maakaasu	Hiili	Yhteensä
<b>Kysyntä 2010, TWh/vuosi</b>	50 600	33 200	41 400	125 200
<b>Kysyntä 2035, TWh/vuosi</b>	54 000	45 700	47 700	147 400
<b>Reservit, milj.TWh</b>	2,2	1,9	6,0	10,1
<b>Konv. resurssit, milj.TWh</b>	2,1	2,2	109,4 <sup>8</sup>	113,7
<b>Epäkonv.resurssit, milj.TWh</b>	4,3	3,7	17,0 <sup>9</sup>	25,0
<b>R/P<sub>2010</sub>, vuosia</b>	43	57	145	81
<b>R/P<sub>2035</sub>, vuosia</b>	41	42	126	69
<b>Varat / kysyntä<sub>2035</sub>, vuosia</b>	159	171	2 776	1 188

Reservien riittävyys on yli 40 vuotta kasvavallakin kysynnällä sekä öljyllä että maakaasulla, ja hiilellä reilusti yli sata vuotta. Otettaessa myös resurssit mukaan polttoainevaroihin, saadaan satojen vuosien riittävyydet ja kokonaisuudessaan jopa yli tuhannen vuoden riittävyys fossiilille polttoaineille. Fossiilisten polttoaineiden hyödyntäminen jatkuu entistä suurempana, mutta painopiste on kehittyvissä maissa ja erityisesti Aasiassa. Euroopassa eri direktiivit ajavat kulutusta pois varsinkin hiilestä ja öljystä, ja toisaalta maakaasun tuotannon hiipuminen EU-alueella ja tuontiriippuvuuden lisääntyminen motivoivat EU:ta panostamaan entistä

<sup>7</sup> Energiamuunnoskertoimina on käytetty kivihiille resurssia laskettaessa 6 000 kcal/kg ja ligniitille 3 750 kcal/kg ja reservejä laskettaessa 6 000 kcal/kg. Maakaasun miljardi kuutiometriä (1 bcm) on konvertoinnissa muutettu 10 TWh:iin, ja öljyn barreli 1,586 MWh:iin.

<sup>8</sup> kivihiili (BGR 2010)

<sup>9</sup> ligniitti (BGR 2010)

voimallisemmin uusiutuviin energialähteisiin, etenkin kun ydinvoiman tulevaisuus on epävarma Fukushima onnettomuuden jälkeen tehtyjen poliittisten päätösten vuoksi.

Viime vuosina on runsaasti keskusteltu liuskekaasun hyödyntämisestä ja sitä myöten kaasureserviarvioiden mahdollisesta ”ylöskorjauksesta” tulevaisuudessa. Liuskekaasusta ei kuitenkaan välttämättä tule Euroopalle merkittävää tekijää epäedullisten sekä geologisten, ympäristöllisten, lainsäädännöllisten ja kustannuksellisten olosuhteiden vuoksi, ja ennen kaikkea not-in-my-back-yard-tyyppisten poliittisten kompastuskivien vuoksi. Liuskekaasun hyödyntäminen muualla kuin Yhdysvalloissa vaatisi paljon uutta poraus- ja kaivoskalustoa, mikä tosin myös tarjoaa mahdollisuuden tällaisen tekniikan tarjoajille. Euroopasta löytyvä nykyinen kalusto on täysin riittämätön, jos liuskekaasua aiotaan hyödyntää, mikä voi tarjota hyvin paikan eurooppalaisille nopeille toimijoille. Toisaalta tietotaito on paljolti USA:n energiayhtiöiden käsissä, samoin kuin esimerkiksi Puolan etsintäoikeudet, jolloin riskinä on että tarvittava uusi kalusto hankitaan ko. yritysten vanhoilta toimittajilta.

Esitetyt AME-skenaariot globaalista ja Aasian kehityksestä osoittivat, että öljyn- ja kaasuntuotanto nykyisellä infrastruktuurilla kääntyy laskuun jo vuoden 2020 tienoilla ja vastaavasti hiilellä vuoden 2040 tietämillä huolimatta fossiilisten käytön osuuden laskusta suhteessa primäärienergian kokonaiskäyttöön. Uuden tuotantokapasiteetin ja infrastruktuurin rakentaminen vaatii valtavia investointeja, jotka eivät toteudu, ennen kuin fossiilisten polttoaineiden markkinahinnat kasvavat riittävästi korkeiksi. Onkin oletettavaa, että fossiilisten polttoaineiden markkinahinnat jatkavat nousuaan myös tulevaisuudessa. Lisäksi markkinahinnat ovat enenevässä määrin herkkiä toimitushäiriöille ja spekulatioille, kun tuotantomarginaalit kulutukseen nähden pienevät ja tuotanto enenevässä määrin keskittyy poliittisesti epävakaille alueille.

## 4. Peltobiomassat

*Katri Pahkala, Kaija Hakala, Timo Lötjönen,  
Oiva Niemeläinen, Heidi Rintamäki, Esa Aro-Heinilä*

### 4.1 Euroopan peltobiomassapotentiaali ja peltobioenergian tuotantoon vapautuva maa-ala

Bioenergiaa pitää voida tuottaa pellolla ilman että ruokahuolto vaarantuu. Kun ruokaa tuotetaan pellolla liharuokavaliota varten, tarvitaan paljon enemmän peltoalaa kuluttajaa kohden kuin jos käytetään enemmän kasvisruokaa. SEKKI-tutkimuksen (Hakala et al. 2009, Pahkala et al. 2009) perusteella todettiin, että ruokaa riittäisi hyvin kaikkien maailman ihmisten ruokkimiseen nyt ja tulevaisuudessa, jos käytettäisiin pääasiassa kasvisruokaa. Ruoantuotanto ei sen sijaan riittäisi runsaasti lihaa sisältävän ruokavalion ylläpitoon nyt eikä tulevaisuudessa suurimmassa osassa maailmaa. SALKKU-tutkimuksessa tarkasteltiin, kuinka paljon peltoalaa voitaisiin ottaa bioenergian tuotantoon tällä hetkellä ja tulevaisuudessa, jos vallitsevana olisi kasvis- tai sekaruokavalio. Lisäksi tarkasteltiin mahdollisia nykyisen ja tulevaisuuden skenaarioita biomassan tuottamisessa: paljonko biomassaa voitaisiin tuottaa bioenergiaksi, jos tuotanto olisi tehokasta ja kestävä ja paljonko tilanteessa, jossa ruokaa tuotetaan tehottomasti ja suuri osa tuotetusta ruoasta häviää eri tuotantoportaita. Tarkastelut tehtiin sekä nykyhetkelle että tulevaisuudelle. Tulevaisuuden tarkastelussa otettiin huomioon paitsi teknologian kehitys, myös ilmastonmuutoksen vaikutukset. Ilmastonmuutos saattaa tuoda joillekin alueille (esim. Pohjois-Eurooppa) lisää tuotantopotentiaalia, mutta vähentää joidenkin alueiden (esim. Saharan eteläpuolinen Afrikka) tuotantopotentiaalia. Tulevaisuutta tarkasteltiin IPCC:n skenaario B1:n<sup>10</sup> mukaan (Nakicenovic et al. 2000, Parry et al. 2004). Tässä skenaariossa ilmasto muuttuu vain vähän ja siten

---

<sup>10</sup> B1-skenaariossa oletetaan maltillinen energian ja väestön kasvu ja lisäksi oletetaan talouden rakenteellinen muutos kohti palvelu- ja informaatioyhteiskuntaa. Uuden vähäpäästöisen teknologian käyttöönoton ja talouden rakenteen muutoksen myötä kasvihuonekaasupäästöt kasvavat maltillisesti vuoteen 2050 asti ja kääntyvät laskuun vuoden 2050 jälkeen.

myös tuotantopotentiaali muuttuu vain vähän eri alueilla. Suurempi vaikutus tulevaisuuden tuotantopotentiaaliin onkin etenkin OECD:n ulkopuolisissa maissa teknologian (kasvinjalostus, maanparannus, korjuu-, kuljetus- ja varastointitekno- logia) kehityksellä.

Bioenergian tuotantoon vapautuvaa peltoalaa ja sillä tuotettavan potentiaalisen bioenergian määrää arvioitiin maakohtaisesti. Tämä poikkesi SEKKI-projektin tutkimuksesta, jossa tuotantoa arvioitiin alueittain (Hakala et al. 2009, Pahkala et al. 2009). Alueellinen tarkastelu ottaa osittain huomioon tuotannon jakautumisen eri tuottajatahojen kesken. Maittain tehtävässä tarkastelussa jokaisen maan kyky tuottaa peltobioenergiaa lasketaan sen oman ruoantuotannon ja väkiluvun mukaan, mikä ei kerro koko totuutta, mutta saattaa hyvinkin vastata tulevaa tilannetta.

#### 4.1.1 Aineisto ja menetelmät

Maakohtainen tämänhetkinen ruoantuotanto laskettiin FAOn kasvintuotantotilas- toista (<http://faostat.fao.org>) kymmenen vuoden keskiarvona (1998–2007). Euroo- pan puoleisen Venäjän tuotanto (Eur.Venäjä) laskettiin venäläisistä tilastoista (<http://www.gks.ru>). Ruoantuotannon arvioinnissa otettiin mukaan koko peltokasvi- tuotanto: viljat, öljykasvit, palkoviljat, juurikasvit, peruna, hedelmät ja marjat, vi- hannekset, pähkinät, kuitukasvit, sokerikasvit ja nurmikasvit. Nurmikasvien tuotanto arvioitiin pinta-alan perusteella, koska FAO:n tilastoissa ei ole kerrottu nurmikasvien tuotantomääriä eri maissa. Lyhytaikaisten nurmien tuotannoksi arvioitiin 5 tonnia hehtaarilta (t/ha) ja pysyvien nurmien tuotannoksi 2,5 t/ha jokaisessa tutkitussa maassa.

Kasviryhmiä tuotannosta laskettiin maittain 10 vuoden keskiarvot, jotka muu- tettiin kasviryhmä kerrallaan vastaamaan vehnän tonnimäärää eli tuotannosta muodostettiin GE-ekvivalenttiarvot (GE = grain equivalent) kertoimilla, jotka ottavat huomioon kunkin kasviryhmän sadon vesi-, hiilihydraatti-, öljy- ja proteiinipitoisuu- den (Penning de Vries et al. 1997). Saatujen arvojen ja kunkin maan väkiluvun perusteella laskettiin, paljonko tuotantoa ja vastaavasti maata tarvitaan kasvisruo- kavalion, sekaruokavalion ja lihapainotteisen ruokavalion tyydyttämiseen. Ruoan- tuotantoon tarvittava maa-ala laskettiin keskimääräistä hehtaarikohtaista GE-arvoa käyttäen.

Kaikilla kolmella ruokavaliolla käytettiin kahta tulevaisuusskenaariota: 1) *Hyvä kehitys*. Peltoviljelyn tehokkuus ja sadot kasvavat 0,81 % vuodessa OECD-maissa ja 2,22 % vuodessa entisen Neuvostoliiton maissa (Paillard et al. 2011), ruokaa ei tuhlata eikä muutakaan hävikkiä synny, jolloin yksinkertainen GE-tuotanto riittäisi. 2) *Huono kehitys*. Peltoviljelyn tehokkuus ja sadot eivät kasva OECD-maissa, ja entisen Neuvostoliiton maissa ne kasvavat vain 1,33 % vuodessa (Paillard et al. 2011), ruokaa tuhlataan ja hävikkiä syntyy kuten tällä hetkellä, jolloin kunkin asukkaan tarpeiden tyydyttämiseen tarvitaan minimimäärään verrattuna kaksinkertainen GE- määrä.

Tulokset on esitetty neljällä tulevaisuuden ja nykyhetken skenaariolla: 1) Hyvä kehitys ja kasvisruokavalio, 2) Hyvä kehitys ja sekaruokavalio, 3) Huono kehitys ja

kasvisruokavalio ja 4) Huono kehitys ja sekaruokavalio. Lihapainotteista ruokavaliota ei otettu mukaan tulosten esittämiseen, sillä se tuotti vapautuvaa, bioenergiapelloksi sopivaa alaa vain 12 maassa mukana olleista 27 maasta hyvän kehityksen skenaariossa ja vain yhdessä maassa (Islanti) huonon kehityksen skenaariossa. Esimerkiksi suomalaisten nykyinen ruokavalio lienee keskimäärin lihapainotteisen ja sekaruokavalion välissä. Huonon kehityksen skenaarioon sisältyvä ruoan tuhlaus ja hävikki kuvaa parhaiten nykyistä toimintatapaa.

Tulevaisuuden skenaariot laskettiin vuosille 2020, 2030 ja 2050. Käytetyt ilmastomuutoskertoimet eri maille on esitetty taulukoissa 5–7. Nyt käsitellyistä maista kaikki muut maat lasketaan Paillardin et al. (2011) kirjassa OECD-maiksi paitsi entisen Neuvostoliiton maat Moldova, Ukraina, Valko-Venäjä ja Venäjä. Nyt tehdyssä laskelmassamme myös entisen Neuvostoliiton maat Viro, Latvia ja Liettua luetaan entiseen Neuvostoliittoon kuuluviksi. Tätä tulkintaa tukee paitsi geopolitiittinen todellisuus, myös se, että Baltian maiden sadot ovat tällä hetkellä huomattavasti pienemmät kuin Ruotsilla, joka kuuluu kuitenkin samaan ilmastovyöhykkeeseen siltä osin, missä viljelyä eniten on, ja sadot nousevat vähitellen Ruotsin tasolle, jos kertoimena käytetään hyvässä skenaariossa 2,22 %.

Bioenergian tuotantoon vapautuvalla peltoalalla voidaan käyttää joko perinteisiä viljelykasveja, erityisiä bioenergiakasveja tai puuvartisia kasveja kuten pajua. Tässä laskelmassa Länsi-Euroopan alueella on käytetty ruokohelpeä, Mischantusta, rypsiä (tai rapsia) ja auringonkukkaa suhteissa 0,2-0,2-0,4-0,2. Entisen Neuvostoliiton alueella on käytetty ruokohelpeä, rypsiä (tai rapsia), auringonkukkaa ja ohraa suhteissa 0,1-0,2-0,4-0,3 ja Itä-Euroopan alueella on käytetty ruokohelpeä, Mischantusta, rypsiä (tai rapsia) ja auringonkukkaa suhteissa 0,2-0,2-0,4-0,2. Laske-  
tut energia-arvot ovat biomassan kokonaisenergia-arvoja pellolla (18 MJ/kg kuiva-  
ainetta, Soimakallio et al. 2009). Arvoista ei ole poistettu lannoitteisiin, peltotyöhön,  
korjuuseen eikä kuljetukseen laskettavaa energiamäärää eikä niitä ole kerrottu  
mahdollisen polttolaitoksen hyötysuhteella.

#### 4.1.2 Eri maiden biomassapotentialit

Taulukoissa 5–7 on listattu, miten paljon peltoalaa kunkin maan kokonaispeltoalasta (osuus pellosta) voitaisiin ottaa bioenergian tuotantoon eri kehitysskenaarioilla. Taulukossa 5 ja 6 ovat Skandinavian maiden ja Baltian maiden tiedot, taulukossa 6 ovat Keski-Euroopasta tutkimukseen valittujen maiden tiedot ja taulukossa 7 entisen Neuvostoliiton maiden tiedot.

Bioenergian tuotantoon vapautuvien peltojen ala riippuu eniten ruokavaliosta. Kasvisruokavalio säästäisi niin paljon viljelyalaa, että kaikki tutkimuksessa olevat maat pystyisivät tuottamaan bioenergiaa pellolla "Hyvän kehityksen" (määritelmät, ks. Aineisto ja menetelmät) oloissa. "Huonon kehityksen" oloissa suurimmalla osalla nyt tutkimuksessa olleista maista olisi mahdollisuus tuottaa ainakin jonkin verran bioenergiaa pellolla, jos ruokavalio olisi kasvisvoittoinen. Poikkeuksena ovat vain Belgia, Hollanti, Iso-Britannia, Italia, Norja ja Portugali, jotka "Huonon kehityksen" oloissa eivät kasvisvaltaisellakaan dieetillä pystyisi tuottamaan bio-



energiaa pellolla. Kun siirrytään sekaruokavalioon, suurin osa nyt tutkituista maista ei pystyisi tuottamaan bioenergiaa pelloillaan "Huonon kehityksen" oloissa. Entisen Neuvostoliiton maissa huonommallakin kehitysrytmillä vapautuisi ajan mittaan peltoalaa bioenergian tuottamiseen myös sekaruokavaliolla (Valko-Venäjä, Ukraina, Moldova ja Viro). Entisen Neuvostoliiton ja Itä-Euroopan maissa sadot ovat olleet huomattavasti heikompia kuin muissa vastaavan ilmastovyöhykkeen maissa (Metzger et al. 2005) eli satovaje on niissä erityisen suuri. Tästä johtuen teknologinen kehitys voi johtaa nykyiseen verrattuna kaksinkertaisiin (Itä-Euroopan maat) tai jopa nelinkertaisiin satoihin (entisen Neuvostoliiton maat) nykyiseen verrattuna vuosisadan puoliväliin mennessä (Olesen & Bindi 2002; Ewert et al. 2005). Kun nyt tehdyn tutkimuksen valossa tarkastelee näitä maita, niiden väkiluku kasvaa vain vähän tai jopa vähenee, mutta tuotantopotentiaali kasvaa huomattavasti, mikä johtaa yhä suurempaan potentiaaliseen peltobioenergian tuottoon. Sadot näissä maissa saattavat hyvän teknologisen kehityksen oloissa kasvaa niin paljon, että ne jopa ylittävät nykyiset Länsi-Euroopan sadot, jos kehitys kulkee joko FAO:n viimeisen 10 vuoden trendin mukaan tai Paillard et al. (2011) parhaiden arvioiden mukaan.

Ruoantuotannosta vapautuvalla pellolla tuotetut maakohtaiset energiamäärät (TWh/vuosi) on ilmoitettu taulukoissa 5–7. Energia-arvot ovat biomassan kokonaisenergia-arvoja pellolla. Esim. Suomessa voitaisiin tuottaa biomassaa siten, että sen energia-arvo pellolla olisi tällä hetkellä 50 TWh ja vuonna 2050 noin 90 TWh. Tuotannon kannattavuus ja todellinen kasvihuonekaasupäästövähennys-potentiaali ovat tällä hetkellä keskustelun kohteena (Soimakallio et al. 2009).

#### 4.1.3 Yhteenveto

Bioenergian tuotantoon vapautuvien peltojen ala riippuu eniten ihmisten ruokavaliosta. Kasvisruokavalio säästäisi niin paljon viljelyalaa, että suurin osa tutkimuksessa olevista maista pystyisi jo tällä hetkellä viljelemään bioenergiakasveja yli puolella peltoalastaan, jos kehitys sujuisi myönteisesti sekä tuotannon että kulutuksen osalta. Lihapitoista ruokavaliota ei otettu tässä lainkaan huomioon, mutta jo sekaruokavalion vaikutus on dramaattinen. Sekaruokadieetillä suurimmalla osalla maista voitaisiin siirtää alle puolet peltoalasta bioenergian tuotantoon hyvänkin kehityksen oloissa eikä useissa maissa bioenergian tuotantoon jäisi ollenkaan peltoalaa. Tulevaisuudessa tilanne paranee hiukan bioenergian tuotannon kannalta, kun teknologian ja kasvinjalostuksen kehitys parantavat tuotanto-oloja ja satoja etenkin entisen Neuvostoliiton maissa. Joissakin maissa, etenkin Pohjois-Euroopassa, myös ilmastomuutos vaikuttaa myönteisesti, kun se ei etene kovin voimakkaasti. Samalla useimpien tarkastelussa olevien maiden väkiluku nousee vain vähän (<http://faostat.fao.org>), mikä osaltaan vapauttaa peltoja ruoantuotannosta.

#### 4. Peltobiomassat

**Taulukko 5.** Bioenergian tuotannossa olevan potentiaalisen peltoalan osuus koko peltoalasta (osuus pellostä) ja peltobioenergian potentiaalinen energiantuotanto (TWh) Suomessa, Skandinaviassa ja Baltian maissa tällä hetkellä (keskiarvo 1998–2007) ja vuosina 2020, 2030 ja 2050 neljän eri skenaarion mukaan (Hyvä kehitys ja Huono kehitys ja kummassakin kehitysskenaariossa kasvis- (veg.) ja sekaruoka (seka)). Kunkin maan nimen alapuolella on kerroin, jonka mukaan tuotantoa on muutettu ennakoitujen ilmastonmuutoksen vaikutusten mukaan (B1-skenario) vuoteen 2050 mennessä (Parry et al. 2004).

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

**Taulukko 6.** Bioenergian tuotannossa olevan potentiaalisen peltoalan osuus koko peltoalasta (osuus pellostä) ja peltobioenergian potentiaalinen energiantuotanto (TWh) Keski-Euroopan maissa tällä hetkellä (keskiarvo 1998–2007) ja vuosina 2020, 2030 ja 2050 neljän eri skenaarion mukaan (Hyvä kehitys ja Huono kehitys ja kummassakin kehitysskenaariossa kasvis- (veg.) ja sekaruoka (seka)). Kunkin maan nimen alapuolella on kerroin, jonka mukaan tuotantoa on muutettu ennakoitujen ilmastomuutoksen vaikutusten mukaan (B1-skenario) vuoteen 2050 mennessä (Parry et al. 2004).

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

#### 4. Peltobiomassat

**Taulukko 6** jatkuu.

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

**Taulukko 7.** Bioenergian tuotannossa olevan potentiaalisen peltoalan osuus koko peltoalasta (osuus pellostasta) ja peltobioenergian potentiaalinen energiantuotanto (TWh) entisen Neuvostoliiton maissa tällä hetkellä (keskiarvo 1998–2007) ja vuosina 2020, 2030 ja 2050 neljän eri skenaarion mukaan (Hyvä kehitys ja Huono kehitys ja kummassakin kehitysskenaariossa kasvis- (veg.) ja sekaruoka (seka)). Kunkin maan nimen alapuolella on kerroin, jonka mukaan tuotantoa on muutettu ennakoitujen ilmastomuutoksen vaikutusten mukaan (B1-skenario) vuoteen 2050 mennessä.

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

## 4.2 Peltoviljelyn sivutuotteet ja niiden bioenergiapotentiaali

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

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

### 4.2.1 Sivutuotepotentiaalien määrittäminen

*Teoreettinen sivutuotepotentiaali* saadaan määritettyä kasvin satoindeksin avulla. Satoindeksi =  $sato_{ka}/(sato_{ka}+sivutuote_{ka})$ . Satoindeksit (korjatun kuiva-ainesadon suhde koko maanpäälliseen kuivaan biomassaan) on määritetty tutkimuksellisesti useimmille viljelykasveille (Pahkala et al. 2009, Hakala et al. 2009).

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

*Teknis-taloudellinen sivutuotepotentiaali*: Teoreettisesta sivutuotepotentiaalista vähennetään potentiaaleja rajaavat biologiset, tekniset ja taloudelliset tekijät. Esimerkiksi viljakasvien oljen osalta teknis-taloudellinen potentiaali saadaan laskettua seuraavasti (Edwards et al. 2005): teoreettinen sivutuotepotentiaali – peltoon jäävä osuus – maan kasvukunnon vaatima osuus – sivutuotteiden vaihtoehtoiskäytön osuus – sääolojen takia käyttökelvoton osuus – suuren kuljetusetäisyyden takia käyttökelvoton osuus. Nämä teoreettista potentiaalia rajoittavat tekijät vaihtelevat alueittain, maalajeittain ja mm. muiden energialähteiden hintojen mukaan.

Kasvijätteiden vuosittainen poistaminen vähentää maan multavuutta ainakin luonnostaan niukasti orgaanista aineesta sisältävillä maalajeilla (Powlson et al. 2011). Täysin varmaa vastausta siihen, kuinka usein kasvijätteet voitaisiin maan viljavuuden heikentymättä poistaa, ei ole pystytty antamaan. Vastaukseen vaikuttavat mm. maalaji, ilmasto-olot, topografia, eroosioherkkyys, viljelykierto, satotasot, orgaanisen lannoitteen määrä ja muokkaustekniikka. Kirjallisuudessa esiintyvät mm. seuraavat arviot: kasvijätteet voitaisiin poistaa joka kolmas vuosi, joka toinen vuosi tai kahtena vuonna kolmesta (Blanco-Canqui & Lal 2009, Powlson et al. 2011). Tämän tutkimuksen laskelmaan valittiin keskimäinen arvo eli kasvijätteet voitaisiin kestävästi poistaa joka toinen vuosi.

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

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

Kasvinviljelyn sivutuotteiden energiasisältö on alhainen. Siten esimerkiksi paa-  
latun oljen maksimin kuljetusetäisyyden on arvioitu olevan luokkaa 100–200 km,  
oljen hinnasta ja kuljetuskustannuksista riippuen. Mikäli sivutuotetta käyttävää  
jalostuslaitosta ei ole taloudellisen kuljetusmatkan päässä, rajautuu teoreettinen  
potentiaali tästä johtuen. On kuitenkin vaikea arvioida, mihin uusia biojalostamoja  
syntyy, joten kuljetustekijää ei käytetty rajaavana tekijänä tässä tutkimuksessa.

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

Teknisen kehityksen oletettiin kasvattavan satoja OECD-maissa 0,81 % vuo-  
dessa ja entisen Neuvostoliiton maissa 2,2 % vuodessa (Paillard et al. 2011).  
Ilmastonmuutoksen oletettiin valtiosta riippuen lisäävän tai vähentävän satoja 5 %  
vuoteen 2050 mennessä (Parry et al. 2004). Arvioitaessa sivuvirtavolyymien ener-  
giasisältöä laskentaperusteena käytettiin kuiva-aineen poltossa saatavaa tehollista  
lämpöarvoa. Eri kasveista peräisin olevan kuiva-aineen lämpöarvo vaihtelee suhteellisen vähän. Kirjallisuuden perusteella sivutuotteiden kuiva-aineen energia-  
arvoksi valittiin 18 MJ/kg eli 5 kWh/kg (Alakangas 2000, Soimakallio et al. 2009).

#### 4.2.2 Sivutuotepotentiaali Euroopan eri maissa

Peltokasvien sivutuotteiden potentiaalista valtaosa, 70–90 %, koostuu kaikissa  
tarkastelluissa maissa viljakasvien oljista, Alankomaita lukuun ottamatta (taulukot  
2–6). Siellä perunan ja muidenkin erikoiskasvien osuus on niin suuri, että oljen  
määrä sivutuotteista jää alle 50 %:iin. Sivutuotteiden määrä muodostuu viljelypinta-  
alan ja satojen tulona, joten suurimmat sivutuotemäärät löytyvät Länsi-Euroopassa  
suuruusjärjestyksessä Ranskasta, Saksasta, Isosta-Britanniasta, Italiasta ja Es-  
panjasta (Taulukko 8). Itä-Euroopassa suurimpia ovat Venäjän Euroopan puolei-  
set osat, Ukraina ja Puola. Ukrainan nyt suhteellisen heikkojen satojen arvellaan  
kasvavan tulevaisuudessa nopeasti, joten se ohittaisi sivutuotteiden määrässä  
Saksan vuoteen 2050 mennessä.

Venäjällä peltokasvien viljely on keskittynyt valtaosin maan Euroopan puoleisiin  
osiin. Tällä hetkellä tuon alueen sivutuotepotentiaali on likimain samankokoinen  
Ranskan kanssa, mutta sen arvioidaan ohittavan Ranskan jo vuonna 2030. Mainit-  
takoon, että USA:n sivutuotepotentiaali on tällä hetkellä yli viisinkertainen Ranskan tai  
Venäjän Euroopan puoleisten osien potentiaaliin (Taulukko 8). Yhdysvalloissakin  
70 % sivutuotteesta koostuu viljojen oljesta, mutta erityispiirteenä on öljykasvien  
(mm. soija) varsien suuri osuus.

Pohjoismaissa suurin sivutuotemäärä muodostuu Tanskassa, jossa sitä myös  
hyödynnetään energiaksi jo varsin hyvin, ehkä parhaiten maailmassa (Nikolaisen  
et al. 1998, Edwards et al. 2005). Tanskan teknis-taloudellinen sivutuotepotentiaali  
on 2,8-kertainen Suomeen verrattuna ja 1,7-kertainen Ruotsiin verrattuna  
(Taulukko 8). Tanskan peltopinta-ala keskittyy selvästi pienemmälle alueelle kuin

#### 4. Peltobiomassat

Suomessa tai Ruotsissa, joten logistiikka on Tanskassa kannattavampaa järjestää. Samoin syksyn korjuuolot ovat Tanskassa muita pohjoismaita edullisemmat. Toisaalta Tanskalla ei ole metsää käytettävissä energian tuotantoon läheskään siinä määrin kuin Ruotsilla ja Suomella. Näistä syistä johtuen on helppo ymmärtää, miksi peltokasvien sivutuotteiden hyödyntäminen energian tuotantoon on yleisintä juuri Tanskassa, mutta tilanteeseen pääsemiseen on tarvittu myös sopiva, vuosikymmeniä jatkunut poliittinen tahtotila (Nikolaisen et al. 1998).

Teknisen kehityksen oletettiin kasvattavan satoja OECD-maissa 0,81 % vuodessa ja entisen Neuvostoliiton maissa 2,2 % vuodessa (Paillard et al. 2011). Ilmastonmuutoksen oletettiin valtiosta riippuen lisäävän tai vähentävän satoja 5 % vuoteen 2050 mennessä (Parry et al. 2004). Arvioitaessa sivuvirtavolyymin energiasäiltöä laskentaperusteena käytettiin kuiva-aineen poltossa saatavaa tehollista lämpöarvoa. Eri kasveista peräisin olevan kuiva-aineen lämpöarvo vaihtelee suhteellisen vähän. Kirjallisuuden perusteella sivutuotteiden kuiva-aineen energia-arvoksi valittiin 18 MJ/kg eli 5 kWh/kg (Alakangas 2000, Soimakallio et al. 2009).

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

Maa	Tekninen potentiaali 1 000 t ka	Tekninen energia-potentiaali, TWh	Teknis-taloudellinen energia-potentiaali, TWh			Viljan oljen suhteellinen osuus
			1998–2007	2030	2050	
<b>POHJOISMAAT</b>	1998–2007	1998–2007	1998–2007	2030	2050	
Suomi	2 378	<b>11,9</b>	<b>2,4</b>	<b>2,8</b>	<b>3,4</b>	0,89
Tanska	6 588	<b>32,9</b>	<b>6,6</b>	<b>7,9</b>	<b>9,5</b>	0,87
Norja	806	<b>4,0</b>	<b>0,8</b>	<b>1,0</b>	<b>1,2</b>	0,93
Ruotsi	3 818	<b>19,1</b>	<b>3,8</b>	<b>4,6</b>	<b>5,5</b>	0,87
<b>BALTIAN MAAT</b>						
Viro	486	<b>2,4</b>	<b>0,7</b>	<b>1,1</b>	<b>1,6</b>	0,77
Latvia	912	<b>4,6</b>	<b>1,4</b>	<b>2,0</b>	<b>3,0</b>	0,79
Liettua	2 097	<b>10,5</b>	<b>3,1</b>	<b>4,6</b>	<b>7,0</b>	0,80
<b>LÄNSI-EUROOPPA ja USA</b>						
Alankomaat	2 299	<b>11,5</b>	<b>3,4</b>	<b>4,1</b>	<b>5,0</b>	0,47
Belgia	2 435	<b>12,2</b>	<b>3,7</b>	<b>4,4</b>	<b>5,3</b>	0,71
Espanja	13 354	<b>66,8</b>	<b>20,0</b>	<b>23,9</b>	<b>28,8</b>	0,87
Italia	14 518	<b>72,6</b>	<b>21,8</b>	<b>26,0</b>	<b>31,3</b>	0,87
Itävalta	3 437	<b>17,2</b>	<b>5,2</b>	<b>6,2</b>	<b>7,4</b>	0,82
Irlanti	1 378	<b>6,9</b>	<b>2,1</b>	<b>2,5</b>	<b>3,0</b>	0,89
Iso-Britannia	17 982	<b>89,9</b>	<b>27,0</b>	<b>32,2</b>	<b>38,8</b>	0,79
Kreikka	3 162	<b>15,8</b>	<b>4,7</b>	<b>5,7</b>	<b>6,8</b>	0,91



Luxemburg	89	<b>0,4</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	0,83
Portugali	857	<b>4,3</b>	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>	<b>1,8</b>	0,81
Ranska	50 305	<b>251,5</b>	<b>75,5</b>	<b>90,2</b>	<b>108,5</b>	0,80
Saksa	38 079	<b>190,4</b>	<b>57,1</b>	<b>68,2</b>	<b>82,1</b>	0,78
Sveitsi	865	<b>4,3</b>	<b>1,3</b>	<b>1,6</b>	<b>1,9</b>	0,75
USA	277 083	<b>1 385,4</b>	<b>415,6</b>	<b>496,6</b>	<b>597,8</b>	0,71
<b>ITÄ-EUROOPPA</b>						
Albania	373	<b>1,9</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>	<b>1,2</b>	0,90
Bosnia-Herzegovina	761	<b>3,8</b>	<b>1,1</b>	<b>1,7</b>	<b>2,5</b>	0,91
Bulgaria	4 268	<b>21,3</b>	<b>6,4</b>	<b>9,4</b>	<b>14,2</b>	0,81
Kroatia	2 089	<b>10,4</b>	<b>3,1</b>	<b>4,6</b>	<b>7,0</b>	0,85
Moldova	1 757	<b>8,8</b>	<b>2,6</b>	<b>3,9</b>	<b>5,8</b>	0,75
Puola	22 443	<b>112,2</b>	<b>33,7</b>	<b>49,6</b>	<b>74,7</b>	0,80
Romania	11 321	<b>56,6</b>	<b>17,0</b>	<b>25,0</b>	<b>37,7</b>	0,83
Slovakia	2 478	<b>12,4</b>	<b>3,7</b>	<b>5,5</b>	<b>8,3</b>	0,78
Slovenia	347	<b>1,7</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>1,2</b>	0,88
Tšekki	5 878	<b>29,4</b>	<b>8,8</b>	<b>13,0</b>	<b>19,6</b>	0,76
Ukraina	27 401	<b>137,0</b>	<b>41,1</b>	<b>60,6</b>	<b>91,2</b>	0,73
Unkari	8 992	<b>45,0</b>	<b>13,5</b>	<b>19,9</b>	<b>29,9</b>	0,83
Valko-Venäjä	4 761	<b>23,8</b>	<b>7,1</b>	<b>10,5</b>	<b>15,9</b>	0,69
Venäjä *	48 981	<b>244,9</b>	<b>73,5</b>	<b>108,3</b>	<b>163,1</b>	0,82
* Euroopan puoleiset osat						

#### 4.2.3 Yhteenveto

Peltokasvien sivutuotteiden potentiaalista valtaosa, 70–90 %, koostuu kaikissa tarkastelluissa maissa viljakasvien oljista. Suurimmat sivutuotemäärät löytyvät Länsi-Euroopassa suuruusjärjestyksessä Ranskasta, Saksasta, Isosta-Britanniasta, Italiasta ja Espanjasta. Itä-Euroopassa suurimpia ovat Venäjän Euroopan puoliset osat, Ukraina ja Puola. Ukrainan ja Venäjän nyt suhteellisen heikkojen satojen arvellaan kasvavan tulevaisuudessa nopeasti. Pohjoismaissa suurin sivutuotemäärä muodostuu Tanskassa, jossa sitä myös hyödynnetään energiaksi jo varsin hyvin, ehkä parhaiten maailmassa. Kaikki pelloilla muodostuva sivutuotemäärä ei ole kuitenkaan käytettävissä energiaksi tai biojalostamoiden raaka-aineeksi. Tutkimusten mukaan merkittävin rajoittava tekijä on maan kasvukunnon säilyttäminen, mikä edellyttää jättämään osan kasvijätteistä maan multavuutta parantamaan. Tässä tutkimuksessa oletettiin, että 50 % kasvijätteestä tulee jättää vuosittain pelloille. Arvioon sisältyy kuitenkin suurta epävarmuutta alueittain ja maala-jeista johtuen. Lisäksi sivutuotteiden käyttöä bioenergiaksi rajaavat mm. kotieläinten kuivikekäyttö, liian pitkät kuljetusmatkat ja epäedulliset korjuusajat. Kuitenkin

arviomme mukaan vähintään 20–30 % vuosittain muodostuvasta sivutuotteen määrästä olisi teknis-taloudellisesti arvioiden käytettävissä esimerkiksi bioenergiaksi. Euroopan suurissa maatalousmaissa tämä tarkoittaa 20–75 TWh:n teknis-taloudellista energiapotentiaalia per valtio. Suomessakin sivutuote-energialla voi olla merkitystä hajautetussa energiantuotannossa ja keskitetyssäkin tuotannossa muiden uusiutuvien energiamuotojen tukena.

### 4.3 Kannustimien ja hintasuhteiden merkitys CHP-tuotantoketjuissa

#### 4.3.1 Peltobioenergian nykyinen toimintaympäristö

Peltobioenergiaa voidaan tuottaa monella eri tavalla. On energiakasveja ja sivutuotteita, joista tuotetaan lämpöä ja sähköä polttamalla. On kasveja ja sivutuotteita, jotka sopivat biokaasutukseen. Biokaasusta voidaan jalostaa sähköä ja lämpöä tai tuottaa liikennepolttoainetta. Jotkut kasvit sopivat parhaiten suoraan liikennepolttoaineiden, kuten etanolin tai biodieselin, tuottamiseen. Toisen sukupolven teknologiat mahdollistavat tulevaisuudessa liikennepolttoaineiden valmistamisen lähes mistä tahansa biomassasta. Seuraavassa keskitytään kuitenkin lähinnä yhdistetyn lämmön- ja sähköntuotannon (CHP) tuotantoketjuihin.

Viljelijän näkökulmasta bioenergia-, ruoka- ja rehukasvit sekä erilaiset maisema/viherlannoituskasvit kilpailevat paikasta hänen pelloillaan. Niitä kasveja viljellään, jotka näyttävät kulloinkin kannattavimmilta. Samalla tavalla erilaiset biomassat kilpailevat paikasta CHP-laitoksen tai biojalostamon raaka-ainelistalla. On huono asia, jos viljelijöiden tarjonta ja biojalostamoiden kysyntä eivät kohtaa. Näin näyttäisi olevan käymässä ruokohelven tuotannolle Suomessa, vaikka sinänsä helpi on oikein hyvä bioenergian tuottaja.

Hintasuhteet ja kannustimet ratkaisevat bioenergiatuotannon laajuuden. Tuotannon pitää olla pitkällä aikavälillä kannattavaa niin viljelijöille, kuljetusyrityksille kuin energian jalostajillekin. Jos näin on, tuotantoa syntyy varmasti, kuten Saksassa, jossa peltobioenergiaa tuotettiin vuonna 2008 jo noin 1,75 miljoonan hehtaarin alueella, mikä vastaa noin 63 TWh (Rechberger & Lötjönen 2009). Puolen miljoonan hehtaarin alueella viljellään kasvibiomassaa biokaasun tuotantoon. Saksassa on käytössä tuntuva biomassalla tuotetun sähkön syöttötariffi, joka nostaa peltobioenergian hinnan korkeammalle kuin mikä olisi pelkästään markkinavoimien määräämä hinta. Suomessakin on nyt syöttötariffijärjestelmä, mutta se koskee peltobioenergiaa ainoastaan suuren luokan biokaasulaitoksissa.

EU:ssa on käytössä päästökauppa-kannustinmekanismi, joka koskee energiantuotantoa suurissa, polttoaineteholtaan yli 20 MW:n laitoksissa. Tammikuussa 2012 sen kannustinvaikutus oli alhaisesta päästöoikeuden hinnasta johtuen vähäinen, vain noin 3 eur/MWh. Korkeammillakaan hinnoilla (20–30 eur/ CO<sub>2</sub> t) kannustusvaikutus ei tule olemaan esimerkiksi Suomessa peltoenergian kannalta riittävä. Tarvittaisiin tehokkaampi kannustin, esimerkiksi Saksan kaltainen, luokkaa 100 eur/MWh oleva kaikelle biomassasähkölle maksettava syöttötariffi. Tämä on

suuruusluokaltaan noin 10-kertainen päästökaupan kannustinvaikutukseen nähden. Suomessa biokaasusähkön syöttötariffiksi on säädetty 83,50 €/MWh<sub>e</sub> + lämpöpremio ja lisäksi biokaasulaitoksille myönnetään investointitukea. Suomen järjestelmä kattaa kuitenkin vain osan biokaasulaitoksista.

#### 4.3.2 Teknologian ja kasvinjalostuksen mahdollisuudet peltobioenergiatuotannon lisääjinä

Peltobioenergian kannattavuuden parantaminen on mahdollista myös tuotantokustannuksia karsimalla. Teknologisilla ratkaisuilla voidaan vaikuttaa peltoenergian korjuukustannuksiin ja myös talteen saatavan sadon määrään. Koko tuotantoketjua tarkasteltaessa mukaan tulevat myös kuljetuskustannukset ja biomassan käsittelykustannukset voimalaitoksella. Näitäkin voidaan hieman alentaa uusien teknologisten keinoin. Kasvinjalostuksen avulla voidaan parantaa peltoenergiakasvien satoa ja hyötysuhdetta eli tuottaa enemmän biomassaa pienemmillä tuotantopanoksilla.

Koska peltobioenergiaa voidaan tuottaa monen eri kasvin avulla, ratkaisut ovat kasvi- ja aluekohtaisia, mm. erilaisista ilmasto-oloista ja tuotantoympäristöstä johtuen. CHP-tuotantoon sopivia ja kohtuullisen tuotantovolyymien saavuttaneita kasveja ovat Euroopassa mm. energiapaju, ruokohelpi, viljanolki ja *Miscanthus*, toki paljon muitakin on tutkittu. Yhteistä näille on se, että niiden korjuu ajoittuu maan kantavuuden kannalta huonoon aikaan, josta voi aiheutua korjuutöiden hidastumista ja kasvustojen ennenaikaista tuhoutumista. Tähän voisi olla ratkaisuna itsekulkevat ja teloin varustetut korjuukoneet, jolloin kulkukykyä ja pintapainetta saadaan alennettua. Myös koneiden painoa pitäisi pystyä keventämään, mutta tämä on monesti ristiriidassa tehokkuusvaatimusten kanssa.

Viljojen oljet, ruokohelpi ja *Miscanthus* pyritään korjaamaan kuivina, jolloin niiden lämpöarvo on korkea, säilyvyys hyvä ja käsittelykustannukset kohtuullisia, kun ylimääräistä vettä ei tarvitse siirtää ja kuljettaa. Sääoloista johtuen tämä ei aina onnistu ja märkääkin biomassaa joudutaan korjaamaan tai korjuu jää kokonaan tekemättä. Pitäisi selvittää, millä tekniikoilla esimerkiksi märkää viljanolkea pystytään kohtuullisin kustannuksin säilömään. Samoilla kasveilla energiatiheys (MWh/m<sup>3</sup>) jää korjuuvaiheessa melko alhaiseksi. Tästä aiheutuu tarpeettoman suuria varastointi-, kuljetus- ja käsittelykustannuksia, kun biomassojen suuri tilavuus rajoittaa käsittelyketjujen tehoa. Paalaus-, briketointi- ja pelletointitekologioita olisi kehitettävä. On myös esitetty ns. tiivistuotekonseptia, jossa kuivasta biomassasta puristettaisiin brikettiä löyhempiä paloja. Tällöin massan kuljetus halpenisi ja syöttö voimalaitoksilla olisi yksinkertaista, kun tuote muistuttaisi isopalaista haketta.

Nykyiset Pohjoismaissa viljellyt ruokohelpilajikkeet on kehitetty alun perin eläinten rehuksi eli mahdollisimman hyvin sulavaksi. Energiantuotannossa tärkeitä ominaisuuksia ovat suuri sato pienillä ravinnepanostuksilla ja kohtuullisella vesimäärällä, vähäinen variseminen talven aikana, hyvä laonkesto ja hyvä polttoainelaatu. Energiantuotantoon olisi tarpeen jalostaa oma helpilajikkeensa, mikä toivottavasti parantaisi satoja ja alentaisi kustannuksia. Energiapajulla energiantuotantoon

ja peltoviljelyyn sopivia lajikkeita onkin jo useita. Pajuntuotantoa uhkaavat useat taudit, kuten lehtiruosteet. Lajikejalostuksen avulla ruosteresistenssiä on saatu parannettua.

Tällä hetkellä viljojen kasvinjalostus pyrkii tuottamaan entistä lyhytkortisempia ja myöhäisempiä viljalajikkeita. Tavoitteena on suunnata biomassantuottoa korresta jyväsatoon. Energiaoljen hyödyntämisen kannalta tämä on haitaksi, sillä olkisato pienenee ja myöhäisten lajikkeiden myötä korjuu siirtyy sääoloiltaan huonompaan ajankohtaan. Onneksi meillä on käytettävissä runsaasti erityyppisiä lajikkeita, joista voi valita energiatuotantoon sopivimman. Tämä tietysti edellyttää, että olkienergiasta maksetaan riittävästi, jotta kannattaa valita jyväsadon kannalta heikompi lajike.

Länsi-Euroopan maille on yhteistä se, että niillä jokaisella on muutama vakiintunut ja jo jonkinlaisen volyymin saavuttanut peltoenergian muoto. Näiden tuotantoketjut osataan jo aika hyvin. Tuotanto laajentuisi nopeasti sekä hehtaarisadolla että hehtaanimäärillä mitattuna, mikäli tuotanto olisi paremmin kannattavaa. Teknologisilla ratkaisuilla ja kasvinjalostuksella kannattavuutta voidaan hieman parantaa, mutta monesti ei riittävästi. Tarvitaan rahallisia kannustimia tai mieluummin parempi hinta tuotteesta.

#### 4.3.3 Teknologian vientimahdollisuudet Suomesta

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

Suomessa saattaisi kannattaa kehittää korsibiomassojen korjuuseen ja pakkaamiseen tarkoitettua ns. tiivistuotemenetelmää, jota on tarkemmin kuvattu edellä. Tällä olisi kysyntää maailmanlaajuisesti. Toinen kehittämistä kaipaava kohde voisi olla korsibiomassaa hyödyntävien laitosten paalinsyöttö- ja -purkulinjat. Niitä valmistetaan kyllä ulkomailla, mutta puunsyöttö- ja murskauslinjoista saadulla kokemuksella toteutuksesta saattaisi tulla paremmin toimiva.

Suomalainen kattilateknologia leijupolttomenetelmineen on maailmalla tunnettua. Nämä kattilat on suunniteltu pääasiassa turpeen, puun ja kivihiilen polttoon. Peltobiomassoissa on jonkin verran kattiloita syövyttävää klooria, sekä tuhkan ja petihiekan sintraantumista aiheuttavia alkaleita. Siten nykyiset leijupolttokattilat eivät parhaalla tavalla sovi peltobiomassojen polttoon suurilla polttoaineosuuksilla, vaan ohjeissa rajataan esimerkiksi helven maksimiosuudeksi 20 % energiasisällöstä, kun loppuosuus on turvetta (Lötjönen & Knuutila 2009). Kattiloiden uusinvestointeja ja vientiä varten olisi hyvä pohtia, saadaanko peltobiomassojen polton aiheuttamat erityisvaatimukset toteutettua leijukattiloissa vai kannattaisiko näitä

varten suunnitella esimerkiksi arinatekniikkaan perustuvat omat kattilatyypinsä. Kilpailu tässä on kovaa mm. keski-eurooppalaisten valmistajien taholta. Samoin myös pienemmissä kokoluokissa (esimerkiksi omakotitalojen pellettikattilat) saataisi olla kysyntää peltobiomassoja mm. pelletteinä polttaville kattilamalleille.

Nestemäisten polttoaineiden valmistaminen biomassoista (mm. lignoselluloosa) on tulevaisuuden teollisuudenala. Teknologiat näihin osataan jo periaatteessa, mutta lopulliset läpimurrot syntyvät vasta sitten, kun kannattavuusraja saavutetaan. Suomessa on jo pilottilaitokset olemassa biodieselin tekemiseksi puusta ja etanolin jalostamiseksi oljesta ja ruokohelvestä (mm. NSE Biofuel Oy, Chempolis Oy). Näiden teknologioiden lopulliseen kaupallistamiseen ja vientiin kannataisi satsata valtiovallan taholtakin.

#### **4.4 Nurmialueilta biomassaa Euroopan bioenergian tuotantoon**

Nurmirehun saatavuus bioenergian tuotantoon riippuu olennaisesti sen kysynnästä karjan ruokinnassa. Nurmikasvien sato käytetään märehittäjien ja hevosten rehuksi, ja nurmirehu on tiettyyn rajaan korvattavissa viljaväkirehulla. Nurmirehu – etenkin laidunrehu – on edullista rehua siellä, missä luonnonolosuhteet ovat suotuisat ja mahdollistavat pitkän laidunkauden, kuten Irlannissa ja Uudessa-Seelannissa. Jos nurmirehu korjataan ja varastoidaan, ovat nurmirehun tuotanto-, korjuu- ja varastointikustannukset rehuyksikköä kohti usein suuremmat kuin viljan maailmanmarkkinahinta. Kun viljan maailmanmarkkinahinta on alhainen, nousee väkirehun osuus karjan käyttämästä rehusta. Vastaavasti viljan hinnan ollessa korkea pyrkivät karjatilalliset korkeaan nurmirehuosuuteen karjan ruokinnassa. Tietty minimiosuus märehittäjän rehusta tulee olla karkearehua pötsin normaalin toiminnan varmistamiseksi. Märehittäjien lukumäärä on vähentynyt Euroopassa, ja se on vähentänyt nurmirehun tarvetta.

Nurmisadon määrä on vaikeasti arvioitavissa. Laidunnettavien nurmien osalta viljelijää kiinnostaa laitumilta tuotettu maidon ja lihan määrä eikä tuotettu nurmisadon määrä, joten se on usein jäänyt selvittämättä. Myös säilörehuksi tai heinäksi korjattavan nurmen sadon määrän arviointi on epätarkkaa, koska sadon kuiva-ainepitoisuus voi vaihdella kostean säilörehusadon 15 prosentista kuivaheinän lähes 90 prosenttiin. Sadon määrän arviointia vaikeuttaa lisäksi se, että nurmisato voidaan korjata useita kertoja kasvukaudessa. Myös viljelyn voimaperäisyys vaikuttaa nurmen hehtaarisatoihin. Nurmen satotietoja ei maataloustilastoissa juuri esitetäkään ja tämän vuoksi nurmisatojen ja käytettävissä olevan biomassan määrää on suhteellisen heikosti tunnettu.

Nurmibiomassa soveltuu bioenergian tuotantoon mm. polttamalla tai prosessoimalla biokaasuksi (Prochnow et al. 2009a ja b). Heinäbiomassoista saadaan biokaasutuksella energiaa noin 3 MWh/ kuiva-ainetonni (Lehtomäki 2006). Prochnowin et al. (2009a) mukaan nurmibiomassojen syötespesifiset metaanisaannot ovat suurempia korjuun aikaistuessa, kun taas pinta-alaspesifiset metaanisaannot nousevat hehtaarikohtaisten biomassasatojen kohotessa. Nurmibiomassat sopivat

hyvin biokaasulaitosten syötteenksi, vaikka nurmimassan käytössä on havaittu joitakin teknisiä ongelmia (Prochnowin et al. 2009a).

##### **4.4.1 Nurmialat ja nurmea käyttävät eläimet maittain**

Nurmen osuus maatalousmaasta vaihtelee voimakkaasti maittain – Bulgariassa nurmia on noin 11 prosenttia maatalousmaasta ja Irlannissa yli yhdeksänkymmentä prosenttia. Nurmia on kaksi kolmasosaa maatalousmaasta tai enemmän Irlannissa, Sveitsissä, Latviassa, Luxemburgissa, Sloveniassa ja Isossa-Britanniassa. Neljännes tai vähemmän nurmia maan maatalousmaasta on Bulgariassa, Unkarissa, Ukrainassa ja Kroatiassa, Puolassa ja Tanskassa neljännes. Ukrainassa nurmien osuus maatalousmaasta on alle 20 prosenttia. Suurimmat hehtaarimääräiset nurmialat Euroopassa ovat Ranskassa ja Isossa-Britanniassa.

Raportissa (Niemeläinen 2012a) tarkastellaan nurmiviljelyalojen määrää suhteessa nurmea käyttävien eläinten lukumääriin maittain. Jos nurmiala on suuri nurmea käyttävää eläintä kohti, on todennäköistä, että nurmea olisi käytettävissä muuhunkin tarkoitukseen kuin rehuksi, jos sen käyttö olisi taloudellisesti mielekästä. Länsi-Euroopassa nurmialaa on useimmissa maissa alle 1,0 ha laiduntavaa eläinyksikköä kohti (Taulukko 9). Suomen 1,0 ha nurmialaa laiduntavaa eläinyksikköä kohti kuvaa sangen tehokasta nurmen tuotantoa. Alaan ei ole laskettu mukaan nurmimaisia kesantoaloja, jotka ovat Suomessa suuret. Baltian maissa, Ruotsissa ja Slovakiassa näyttäisi olevan mahdollisuuksia nurmituotannon tehostamiseen ja silloin nurmirehua olisi käytettävissä bioenergian raaka-aineeksi. Ukrainassa, Romaniassa, Portugalissa ja Espanjassa suuri nurmiala laiduntavaa eläintä kohden selittynee alhaisella tuottavuudella kuivuuden vuoksi ja myös maidon ohran keskisadot ovat alhaiset. USA:ssa ja Venäjällä on erittäin paljon nurmialaa laiduntavaa eläintä kohden. Niissä maissa on mahdollisuuksia käyttää nurmia bioenergian tuotantoon. Prochnowin et al. (2007) tarkastelun mukaan laiduntavien eläinten lukumäärä on laskenut EU-27-maissa jo 20 vuotta ja kaikkea nurmialaa ei enää tarvita eläinten rehuksi. He laskivat vuonna 2020 nurmia olevan käytettävissä bioenergian tuotantoon EU-27-alueella yhteensä 9,2 milj. ha, jolta saataisiin satoa 35,9 milj. tonnia kuiva-ainetta, joka vastaa 610,3 PJ tai 14,6 Mtoe vuosittain. Pysyvien nurmien keskisadoksi oletettiin heidän tarkastelussaan 3,9 ton kuiva-ainetta/ha/v ja laiduntavaa eläintä kohti tarvittavan nurmialan määräksi 0,715 ha. Tosin Prochnow et al. (2007) toteavat, että vuosina 1988–1991 nurmialaa laiduntavaa eläintä kohti oli 0,595 ha joka saattaisi parhaiten kuvata laiduntavaa eläinyksikköä kohti tarvittavan nurmialan määrää.

**Taulukko 9.** Nurmialan, eläinyksiköiden (EY) ja laiduntavien eläinyksiköiden määrä (LEY) (1 000 kpl) EUROSTAT Farm Structure Surveyn (vuosi 2007) mukaan maittain, laiduntavaa eläinyksikköä kohti laskettu nurmiala eräissä maissa. \*-merkityissä maissa kaikki esitetyt arvot on tuotettu FAOSTAT-tilastoista. Laskennallisen ylimääräisen nurmialan energiapotentiaalin laskentaperuste taulukon alaviitteessä 2. (Niemeläinen 2012a). Ohran sato: lähde FAOSTAT vuoden 2007 hehtaarisato.

<i>Pohjois- maat</i>	<i>Nurmiala ha<sup>1</sup></i>	<i>Eläinyk- sikkö EY 1000 kpl</i>	<i>Laidunta- via LEY %</i>	<i>Laidunta- via LEY 1 000 kpl</i>	<i>Nurmi- ala ha/LEY</i>	<i>Ylimääränur- men energia- potentiaali TWh<sup>2</sup></i>	<i>Ohran sato kg/ha</i>
Suomi	695	1 152	59,9	690	1,0	3,4	3 721
Tanska	672	4 582	25,9	1 187	0,6	0,0	4 916
Norja	678	1 267	70,7	896	0,8	1,7	3 448
Ruotsi	1 502	1 740	68,0	1 183	1,3	9,5	4 484
<b><i>Baltian maat</i></b>							
Viro	443	308	67,0	206	2,1	3,8	2 666
Latvia	725	458	65,8	302	2,4	6,5	2 412
Liettua	828	904	63,8	576	1,4	5,8	2 658
<b><i>Länsi-Eurooppa ja USA</i></b>							
Alankomaat	1 244	6 415	45,6	2 925	0,4	0,0	5 778
Belgia	762	3 786	50,6	1 916	0,4	0,0	7 705
Espanja	8 845	14 333	44,6	6 393	1,3	55,3	3 700
Italia	5 140	9 886	56,0	5 536	0,9	21,8	3 555
Itävalta	1 375	2 459	60,3	1 483	0,9	5,8	4 195
Irlanti	3 696	5 900	91,2	5 380	0,7	5,6	6 713
Iso-Britannia	10 009	13 651	80,4	10 976	0,9	41,1	5 656
Kreikka	1 074	2 612	78,2	2 043	0,5	0,0	2 304
Luxemburg	91	161	87,9	142	0,6	0,1	4 838
Portugali	2 089	1 986	62,2	1 235	1,7	16,2	1 857
Ranska	12 597	22 500	67,4	15 165	0,8	42,0	5 577
Saksa	6 861	17 951	54,3	9 747	0,7	12,2	5 417
Sveitsi*	1 219			1 357	0,9	4,7	6 036
USA*	252 477			85 839	2,9	2 412	3 228

#### 4. Peltobiomassat

Itä-Eurooppa							
Albania*	421			832	0,5	0,0	2 500
Bosnia-Herzegovina*	1 032			505	2,0	8,7	2 935
Bulgaria	315	920	60,6	558	0,6	0,0	2 247
Kroatia*	304			461	0,7	0,3	3 818
Puola	3 572	10 742	43,7	4 694	0,8	9,1	3 252
Romania	3 724	4 197	69,5	2 917	1,3	23,7	1 569
Slovakia	775	707	56,5	400	1,9	6,4	3 142
Slovenia	316	540	65,7	355	0,9	1,2	3 664
Tšekki	1 297	2 040	52,3	1 067	1,2	7,9	3 797
Ukraina*	7 933			5 540	1,4	55,3	1 463
Unkari	752	2 100	32,1	674	1,1	4,2	3 166
Valko-Venäjä*	3 276			3 335	1,0	15,3	2 847
Venäjä*	92 095			20 261	4,5	959	1 859

1) Sisältää Eurostat Farm Structure Surveyn maitten osalta pysyvät nurmet ja karkearehukasvit ja FAO:n tilastoja käytettäessä pysyvät nurmet ja lyhytaikaiset nurmet.

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

Suurin nurmien energiapotentiaali nykyisen nurmialan ja kotieläintuotannon nurmialasta lienee Euroopan maista Isolla-Britannialla ja Ranskalla (Taulukko 9). Laskelmassa Espanjan, Ukrainan ja Romanian nurmialan energiapotentiaali todennäköisesti yliarvioidaan koska kuivuus haittaa ao. maiden kasvintuotantoa, mikä näkyy myös ao. maiden alhaisina ohran hehtaarisatoina (Taulukko 9). Myös Suomen lyhyen kasvukauden oloissa vain 0,6 ha nurmialaa laiduntavaa eläinyksikköä kohden on optimistinen arvio.

#### 4.4.2 Suomessa käytettävissä oleva nurmisato bioenergian tuotantoon

Suomessa on sellaisia "Hoidettu viljelemätön pelto" (HVP) ja viherkesantopeltoja lähes 190 000 ha, joilta kasvimassa voitaisiin hyödyntää esimerkiksi biokaasuntuotantoon. Pääasiassa kasvustot ovat monivuotisia nurmia. Satovaihtelu ao. lohkoilla on suurta (1 330–10 300 kg ka/ha) (Niemeläinen et al. 2012). On siis sellaisiakin HVP-lohkoja, joilla on suuri sato hyödynnettäväksi. HPV-peltojen lohkokoko on sangen pieni, mutta valtaosa HVP-lohkojen kokonaispinta-alasta muodostuu suurimmista lohkoista. Maatalousviraston vuoden 2010 lohkotietoaineiston perusteella 60,4 prosenttia eli 78 111 ha luonnonhoitonurmen kokonaisalasta 129 370 ha muodostui lohkoista, joiden koko oli vähintään 1,45 ha. Viherkesantotalasta 62,4 prosenttia eli 27 441 ha muodostui lohkoilta, joiden pinta-ala on vähintään



1,61 ha (Niemeläinen et al. 2012). Näitä korjuutekniikan kannalta kohtuullisen kokoisia lohkoja oli yhteensä 105 000 ha. Olettamalla kuiva-ainesadon määräksi 4 ton/ha olisi vuosittain bioenergiaksi korjattavissa oleva kuiva-ainesato 420 000 tonnia ja energiatuotto 1,26 TWh, kun 1 tonni kuiva-ainetta tuottaa 3 MWh. Tämä 1,3 TWh:n energiatuotto olisi taulukossa 5 tuotantonurmilta saatavissa olevan 3,4 TWh:n lisäksi eli Suomen nurmilähteistä olisi 4,7 TWh:n potentiaalinen energiasato.

Rehunurmien satovaihtelun vuoksi on oletettavaa, että ajoittain muodostuu ”ylijäämä” säilörehua, joka sopisi biokaasun syötteenä biokaasulaitoksissa. Jo maatilamittakaavan laitoksissa, jotka perustuvat lannan käyttöön, nurmibiomassaa voidaan käyttää lisäsyötteenä. Jos biokaasusta tuotetaan liikennepolttoainetta, olisi biokaasulaitoksen koon oltava 3–4 MW. Riittävän kuiva-ainemassan tuottamiseen tarvittaisiin silloin nurmialaa noin 1 000 ha, kun nurmen viljely olisi intensiivistä ja hehtaarisato 7 500 kg ka/ha (suullinen tiedonanto Jukka Rintala v. 2011). Nurmimassan kuljetusmatka biokaasulaitokseen ei saisi olla suuri. Vuoden 2010 pelto-lohkotietojen perusteella luonnonhoitopellon määrä (monivuotiset nurmikasvit) oli Forssan, Tammelan, Jokioisten, Someron, Ypäjän ja Humppilan kuntien alueella 3 305 ha, viherkesantojen määrä 652 ha ja suojavyöhykenurmen ala 561 ha. Lisäksi ruokohelpeä oli energiatuotannossa 294 ha. Yhteensä ao. lohkojen ala oli 4 812 ha. Kuljetusmatka esimerkiksi Forssan biokaasulaitokselle olisi noin 20 kilometriä. Kasvulohkojen lukumäärä oli yhteensä 3 493 kpl. Kuinka suuri osa lohkoista olisi käytettävissä bioenergian tuotantoon, ei ole tiedossa. Laskelma osoittaa, että suhteellisen lyhyen kuljetusmatkan piiristä olisi tuotettavissa huomattavia nurmibiomassamääriä. Jos ao. pelloilla nurmen hehtaarisato olisi 4 tonnia kuiva-ainetta/ha, niin 7 500 tonnia kuiva-ainetta pystyttäisiin tuottamaan jo noin 40 prosentilla ao. 4 800 hehtaarin peltoalalta. Oletettavasti Suomessa on useita sellaisia alueita, joilla käytettävissä oleva HVP- ja viherkesantopeltoala olisi riittävän suuri ja maantieteellisesti riittävän suppealta alueelta korjattavissa, jos tuotanto muuten olisi taloudellisesti kannattavaa.

Nurmibiomassoja on Suomessa eri lähteistä käytettävissä bioenergian tuotantotilanteita varten, jos niiden käyttäminen on taloudellisesti järkevää. Myös sadon tuotanto- ja korjuuketjut ovat olemassa.

#### 4.4.3 Esimerkki Brasilian bioenergian tuotannon sovellettavuudesta

Brasilia on maataloustuotannon suurvalta ja tärkeä maataloustuotteiden viejä. Brasilian etanolin tuotanto peltobiomassasta on mittavaa. Nykyinen Brasilian maataloustuotanto on pitkäaikaisen ja määrätietoisin kehityksen tulos (ANON. 2010). Kehitys on vaatinut panostusta tuotannon nopeaan lisäämiseen (Niemeläinen 2012b). Mahdollisesti muuallakin maailmassa on sellaisia alueita, joiden tuottavuutta voitaisiin lisätä merkittävästi. Onko tuotannon kehittämiseen tarvittavia resursseja käytettävissä ja suunnataanko ne maatalouden kehittämiseen, voi olla kriittinen tekijä, joka estää kehittymisen. Kuivuus vaikuttaa ratkaisevasti mm. Vähän-Aasian alueella Turkmenistanin, Uzbekistanin, Kazakstanin ja Mongolian nurmien tuotantomahdollisuuksiin. Afrikassa sen sijaan on useita maita, joissa sademäärä

on riittävä ja nurmialaa on runsaasti. Tällaisia maita ovat mm. Angola, Mosambik, Sudan ja Tansania (Niemeläinen 2012b).

Brasilian saavutettujen ratkaisujen soveltamisessa Afrikkaan on epävarmuustekijöitä, mm. epävakaa poliittiset olosuhteet, investointeihin tarvittavien varojen puute ja vähäinen sadanta alueilla, missä sopivaa maata olisi käytettävissä. Suotuisilla alueilla voi olla mahdollisuuksia tuottaa energiaa nurmibiomassoista. Energian tuotanto ja ravinteiden kierrätysmahdollisuus voivat luoda tietyillä alueilla kehittämisen edellytyksiä. Campbell et al. 2008 arvioivat, että maataloustuotannon ulkopuolelle jääneiden maatalousmaiden keskimääräinen maanpäällisen biomassan tuotto maailmassa 4,3 tonnia/ha/v, ja suurimmat sadot saataisiin trooppisten alueiden nurmilta (7–20 t/ha/v). Biomassasadosta saatavalla energialla olisi heidän mukaansa suurin merkitys eräissä Afrikan maissa, joissa nurmet ovat suhteellisen satoisia ja maan fossiilisten polttoaineiden käyttö on vähäistä.

#### **4.5 Kansainvälinen bioenergiakauppa – biopolttoainetavoitteiden vaikutukset viljelyalan käyttöön**

Maailmanlaajuinen biopolttoaineiden tuotanto on kasvanut jatkuvasti tällä vuosituonnilla. Biopolttoaineet on nähty keinona ehkäistä ilmastonmuutosta, vähentää liikenteen riippuvuutta fossiilisista öljyvaroista ja edistää maaseudun kehitystä. Kannustavana tekijänä ovat toimineet viralliset edistämistoimenpiteet, jotka ovat luoneet edellytykset sekä kysynnän että tarjonnan kasvamiseen. Positiivisten odotusten vastakauksi on muodostunut huoli biomassojen tuotannon kestäväydestä ja vaikutuksesta ruokaturvaan.

Tämän selvityksen ydinkysymyksenä oli tarkastella eri maissa asetettujen biopolttoainetavoitteiden vaikutuksia maatalouteen ja viljelyalan käyttöön. Tarkastelun kohteena ovat liikennekäyttöön tarkoitetut nestebiolpolttoaineet. Selvityksessä tarkastellaan Fischer:n (2009) tutkimustulosten skenaarioihin biopolttoaineiden kehityksestä vuoteen 2020, 2030 ja 2050 mennessä. Tarkastelun kohteena on useita skenaarioita, ja näitä verrataan viiteskenaarioon, jonka tehtävänä on toimia neutraalina lähtökohtana. Fischer:n tulokset perustuvat AEZ- ja WFS-malleihin. Mallit käsittävät muun muassa demografiset ja sosioekonomiset tekijät, tuotannon ja kulutuksen dynamiikan sekä kansainvälisen kaupan dynamiikan.

##### **4.5.1 Biopolttoainemarkkinoiden kehitykseen vaikuttavat tekijät**

Maailman liikennebiopolttoaineiden kysynnän oletetaan kasvavan myös seuraavien vuosikymmenten aikana, vuoden 2010 tasosta 150 prosenttia vuoteen 2030 mennessä. Kysynnän ennakoitaan kasvavan kaikkialla maailmassa, erityisesti kehitysmaissa, Yhdysvaltojen ja Euroopan pysyessä biopolttoaineiden suurimpina kuluttajina. Vaikka suurin osa biopolttoaineista tullaan jatkossakin tuottamaan ja kuluttamaan paikallisesti, myös niiden kansainvälisen kaupan ennakoitaan kasvavan merkittävästi. Biopolttoainetuotannon laajentamisen keinoina ovat valtion tuet, laajentuneet biopolttoaineiden käytön tavoitteet ja pakolliset sekoitussuhteet. En-

simmäisen sukupolven, viljaan ja öljysiemeniin perustuva biopolttoaineiden tuotannon kasvu vaikuttaa elintarvikkeiden hintoihin ja heikentää etenkin maailman köyhimpien pääsyä ruokamarkkinoille. (WEC 2010b.)

Keskeinen biopolttoaineiden kehitykseen vaikuttava kysymys on biopolttoaineiden tuotantoon käytettävissä oleva peltoala. Seuraavan kahden vuosikymmenen aikana väestön ennakoidaan kasvavan noin prosentin vuositasolla. Ruoantuotantoon on estimoitu tarvittavan vuoteen 2030 mennessä 120 miljoonaa hehtaaria lisää maa-alaa, jotta kasvaneen väestön ravitseminen voidaan taata (WBGU 2010, s. 49). Osaltaan tähän vaikuttaa kasvava tulotaso ja lisääntyvä urbanisoituminen – kuluttajien preferenssien muutokset – jotka yhdessä lisäävät ruuan ja energian kysyntään kohdistuvia paineita.

Osaratkaisuna pellonkäyttöpaineeseen on maatalouden tuotantotapojen kehittyminen ja toisen sukupolven biopolttoaineiden teknologioiden kehittyminen. Näiden lisäksi olennaista on luoda järjestelmiä, jotka takaavat koko toimintaketjun kestävyuden, niin maankäytön, tuotantotapojen, energiatehokkuuden, kasvihuonepäästöjen kuin riittävän elintarviketarjonnan osalta. Läpinäkyvien sertifiointijärjestelmät ovat keskeisessä roolissa, jotta kehitystä voidaan ohjata tavoiteltuun suuntaan.

#### 4.5.2 Biopolttoaineskenaarioiden vaikutukset

Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden tuotannosta aiheutuva perusmaataloushyödykkeiden kysynnän kasvu aiheuttaa markkinoiden epätasapainoa ja johtaa maailmanmarkkinahintojen nousuun. Skenaariotarkastelun tuloksista on nähtävissä että, mitä pienempi osuus ensimmäisen sukupolven biopolttoaineilla on biopolttoaineiden kokonaiskäyttömäärästä, sitä pienempi vaikutus toiminnalla on elintarvikkeiden hintoihin. Vuoteen 2020 mennessä viljakasvien ja viljelykasvien hinnat nousevat 10–35 prosenttia. Hintarakenteen muutokset ovat melko samankaltaiset myös vuonna 2030. Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden kehityspolku vaatii sekä lisäämään viljakasvien tuotantoa että vähentämään näiden kulutusta muualla. Tarkastelussa oletettiin, että lähes 70 prosenttia biopolttoaineiden tuotantoon käytettävistä viljakasveista muodostuu tuotannon tehostumisesta ja lisääntymisestä. Loput 30 prosenttia muodostuu viljakasvien rehu- ja elintarvikekäytön vähenemästä. Tästä 75 prosenttia kohdentuu kehitysmaihin.

Biopolttoaineen lisääntynyt tuotanto aiheuttaa niin suoria kuin epäsuoria muutoksia maan käyttöön. Suorilla muutoksilla tarkoitetaan uuden maan käyttöönottoa biopolttoaineiden tuotantoon. Epäsuorat maan käytön muutokset johtuvat siitä, että biopolttoaineiden tuotantoon otetaan maata käyttöön jo maatalousmaana käytettävästä maasta, jolloin sen tuotanto syrjäyttää ruuan, rehun sekä kuidun tuottamiseen tarvittavaa maa-alaa.

Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden kehityskulku vaatii kokonaiskorjuualan olevan noin 1 500 miljoonaa hehtaaria vuonna 2020, mikä vastaa noin 60 miljoonan hehtaarin (4 %) lisäystä nykyiseen korjuuun. Kehittyneet maat voivat vastata biopolttoaineiden lisääntyneestä kysynnästä aiheutuvaan lisäkorjuualan tarpeeseen 17–14 miljoonalla hehtaarella, kehitysmaiden osuuden ollessa 30–38

miljoonaa hehtaaria. Kokonaisuun käytön lisäyksestä 80 prosenttia tapahtuu Afrikassa ja Etelä-Amerikassa. Teknisessä mielessä bioenergian tuotantoon käyttöön otettavissa olevan potentiaalisen maa-ala on erittäin suuri, 700–800 miljoonaa hehtaaria. Tosin tuotannon taso vaihtelee paljon, ja tuotantoinfrastruktuurin kehittäminen vaatii merkittävää panostusta. Näiden pinta-alojen valossa lienee selvää, että biopolttoaineille asetetut tavoitteet voidaan saavuttaa vuoteen 2050 mennessä kiihdyttämällä lignoselluloosapohjaisten toisen sukupolven biopolttoaineiden raaka-aineiden tuotantoa ja laajuutta. Kunhan viljely kohdentuu maatalouden kannalta marginaalisille alueille, tavoitteet voidaan saavuttaa ilman merkittävää kilpailua viljelymaan käytöstä, vaikutusta elintarvikkeiden hintoihin ja globaaliin ruokaturvaan.

Kehityspolut vaativat panostusta niin tutkimustoimintaan, innovaatioiden hyödyntämiseen, investointeihin kuin tuotantotoiminnan alkutaipaleen tukemiseen. Kotimaisen energia- ja teknologiateollisuuden mahdollisuutena on demonstraatio- ja kehitystoiminta. Raaka-aineet ja markkinat löytyvät maailmalta.

## 5. Energiahyödykkeiden merikuljetukset

*Lassi Similä*

### 5.1 Taustaa ja tavoitteet

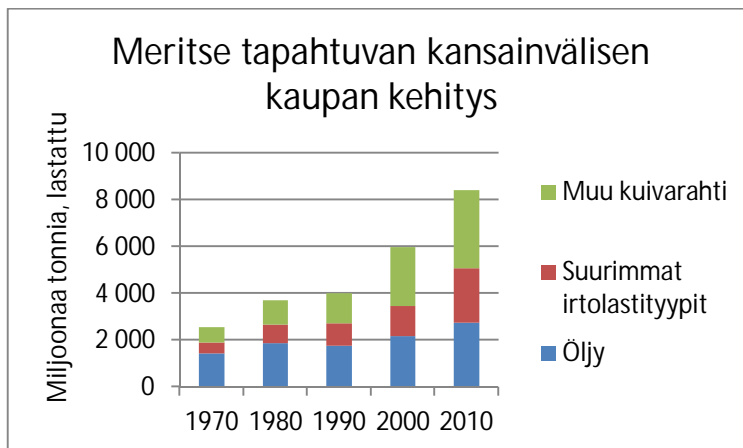
Laivakuljetukset liittyvät olennaisesti maailman nykyiseen energiajärjestelmään. Esimerkiksi vuonna 2010 tuotetusta raakaöljystä, maailmanlaajuisesti merkittävimmistä energianlähteistä, lähes 50 % kuljetettiin meritse tuotantopaikoilta jalostettavaksi tai käyttökohteisiin, ja nämä kuljetukset muodostavat yli 20 % maailman kaikkien merikuljetusten massasta (BP 2011, UNCTAD 2011).

Niukkenevien ja lokalisoituvien energiavarojen sekä tiukentuvien päästörajotusten ympäristössä globaalien energiajärjestelmän muutoksilla voidaan arvioida olevan vaikutuksia polttoaineiden laivakuljetuksiin ja päinvastoin.

SALKKU-hankkeen energiahyödykkeiden merikuljetusta käsittelevässä osuudessa (Similä 2012) on suoritettu merikuljetusten kehitystä tarkasteleva kirjallisuuskatsaus. Katsauksessa jäsennetään energiahyödykkeiden laivakuljetusten kustannusten ja hinnan muodostumista sekä tärkeimpiä tulevaisuuden kehitykseen vaikuttavia tekijöitä. Tuloksia voidaan hyödyntää mm. tulevaisuuden energialiiketoiminnan toimintaympäristön skenaarioanalyysissä. Tässä yhteenvetoraportissa esitellään julkaisun (Similä 2012) tärkeimmät tulokset.

### 5.2 Energiahyödykkeiden kuljetusten nykytila: kuljetusmäärät, reitit ja aluskalusto

Merikuljetusten kokonaismäärä vuonna 2010 oli 8 408 miljoonaa tonnia (Mt) (UNCTAD 2011). Energiahyödykkeiden laivakuljetuksista on tästä kokonaismäärätilastosta helposti erotettavissa öljyn kuljetukset (2 752 Mt) ja hiilen kuljetukset (904 Mt). Öljyn kuljetukset koostuivat raakaöljyn kuljetuksista (1 800 Mt) ja öljytuotteiden (esimerkiksi bensiini, diesel) kuljetuksista (968 Mt). LNG:n kuljetusten määrä (tuonti) vuonna 2010 oli 220 Mt (298 bcm) (BP 2011). Karkeasti nämä energiahyödykkeet muodostavat vajaa puolet kansainvälisten laivakuljetusten kokonaismassasta (Kuva 27).



**Kuva 27.** Meritse tapahtuvan kansainvälisen kaupan kehitys. Suurimmat irtolastityypit sisältävät rautamalmin, viljan, hiilen, bauksiitin/alumiinioksidin ja fosfaatin kuljetukset. (Tietojen lähde: UNCTAD 2011)

Energiahyödykkeiden kuljetuksissa käytettävien alusten kokoluokka- ja tyypikirjo on moninainen. Eri tuotteiden kuljettaminen vaatii teknisiltä ominaisuuksiltaan erilaisia alustyyppisiä.

Polttoaineiden laivakuljetukset ovat pääasiassa irtolasti- tai erikoiskuljetuksia. Raakaöljy ja öljyjalosteet kuljetetaan raakaöljy- ja tuotetankkereilla (*crude oil tankers, product tankers*). Hiili ja kiinteät biomassat kuljetetaan puolestaan irtolastialuksilla (*bulk carriers*), etanolia ja biodieseliä kuljetetaan kemikaalitankkereissa (*chemical tankers*). LNG:n kuljettaminen vaatii omanlaisiaan erikoisaluksia (*LNG carriers*).

Merenkulussa alusten koko ilmaistaan yleensä kykynä kuljettaa lastia. Massan lastinkantokyvystä käytetään usein alusten kokoa kuvaavaa yksikköä dwt (deadweight (tonne), kuollut paino). Tämä luku sisältää henkilöstön, varastojen, lastin, makean veden ja polttoaineen jne. suurimman sallitun yhteispainon. Suuremmat alukset operoivat yleensä pidemmällä matkoilla ja pienemmät lyhyemmillä.

Taulukko 10 esittää tyypillisiä energiahyödykkeiden kuljetusreittien ja kuljetuksissa käytettävien alusten ominaisuuksia.

**Taulukko 10.** Tyypillisiä energiahyödykkeiden merikuljetusreittien ja kuljetuksissa käytettävien alusten ominaisuuksia. Matkojen pituuksiin voi vaikuttaa huomattavasti, kierretäänkö mantereet vai käytetäänkö kanavia. Matka-aikoihin voivat vaikuttaa odotusajat (esimerkiksi laituripaikan vapautuminen, luotsinodottelu) tai sääolosuhteista johtuvia viivästyksiä (virrat, tuulet, jää) tai alennetulla nopeudella kulkemista (esimerkiksi kapeikot, kanavat, manöveeraus). Taulukon ei ole tarkoitus kattaa kaikkia kuljetuksia, pikemminkin antaa karkea käsitys energiahyödykkeiden kuljetusten suuruusluokista. (Tietojen lähteitä: Stopford 2009, Bradley et al. 2009, UNCTAD 2011, Lamers et al. 2012, BP 2011)

	Kuljetettava energiahyödyke			
	Kivihiili	Raakaöljy	LNG	Pelletit <sup>11</sup>
Alusten koko, tyypillinen/vaihteluväli	60 000 – > 100 000 dwt	70 000–500 000 dwt	135 000 m <sup>3</sup>	10 000–100 000 dwt  Keskimääräinen lasti 20 000–30 000 t
Käytettävä alustyyppi	Irtolastialukset (Kuivairtolastialukset)	Raakaöljytankkerit	LNG-tankkerit	Irtolastialukset (Kuivairtolastialukset)
Esimerkki tyypillisestä kuljetusreitistä	Australia–Japani	Saudi-Arabia–USA	Qatar–Japani	Kanada–Hollanti
Tyypillinen/keskimääräinen matka	3 000–5 500 mailia <sup>12</sup>	4 500–75 00 mailia	3 700–41 00 mailia	2 700/8 900 mailia (Kanadan itä- ja länsirannikko)
Kokonaiskuljetusmäärä v. 2010	904 Mt	1 800 Mt	220 Mt	2,5 Mt
Tyypillinen matkanopeus	14–15 solmua	14–15 solmua	20 solmua	14–15 solmua
Yhdensuuntainen matka-aika esimerkkimatkalla ja nopeudella	8–16 vrk	13–22 vrk	8–9 vrk	7–23 vrk

Kansainvälisessä meriliikenteessä kuljetetaan kahta eri **kivihiilen** tyyppiä. Nämä ovat koksihiili, jota käytetään lähinnä terästeollisuudessa ja höyryhiili, jota käytetään

<sup>11</sup> Tässä taulukossa on esitetty EU:n alueelle tulevat pellettikuljetukset, ja matkoina Kanadan länsirannikolta ja itärannikolta Eurooppaan suuntautuvat laivakuljetukset. EU:n sisäisissä kuljetuksissa (4,2 Mt v. 2010) käytetään pääasiassa pienempiä aluksia ja myös maantiekuljetuksia) (Lamers et al. 2012).

<sup>12</sup> Kaikista englanninkielisistä lähteistä ei ilmene, tarkoitetaanko maamailia (1609 metriä) vai merimailia (1852 metriä). Tässä oletetaan tiedot merimailleiksi.

## 5. Energiahyödykkeiden merikuljetukset

sähkötuotannossa. Vuonna 2009 höyryhiilen osuus kivihiilen kokonaiskaupasta oli noin 75 %.

Hiilen markkinoilla kysynnän katsotaan jakautuvan Atlantin markkinoihin<sup>13</sup>, jotka koostuvat Länsi-Euroopan hiiltä tuovista maista (Yhdistyneet kuningaskunnat, Saksa ja Espanja) ja Tyynenmeren markkinoihin, jotka koostuvat Aasian teollisuusmaista ja kehittyvistä maista, joista merkittävimmät ovat Japani, Etelä-Korea ja Taiwan. Tyynenmeren markkinoilla välitetään noin 57 % maailman höyryhiilen kaupasta.

Kivihiilen kauppavirrat on esitetty kuvassa (Kuva 28). Euroopan suurimmat hiilentuotajat ovat Iso-Britannia ja Saksa. Suurin osa Atlantin markkinoilla myytävästä hiilestä tuotetaan Venäjällä, Kolumbiassa ja Etelä-Afrikassa. Tyynenmeren markkinoiden höyryhiilen kysyntä oli vuonna 2008 noin 471 Mt, ja suurimmat hiilen ostajat olivat Japani, Etelä-Korea ja Taiwan. Tyynenmeren markkinoiden suurimmat höyryhiilen viejät olivat Indonesia, Australia ja Etelä-Afrikka (Ruska et al. 2012). Hiilen keskimääräinen kuljetusmatka (merikuljetukset) vuosina 1963–2005 on vaihdellut noin 3 000–5 500 mailin välillä (Stopford 2009).

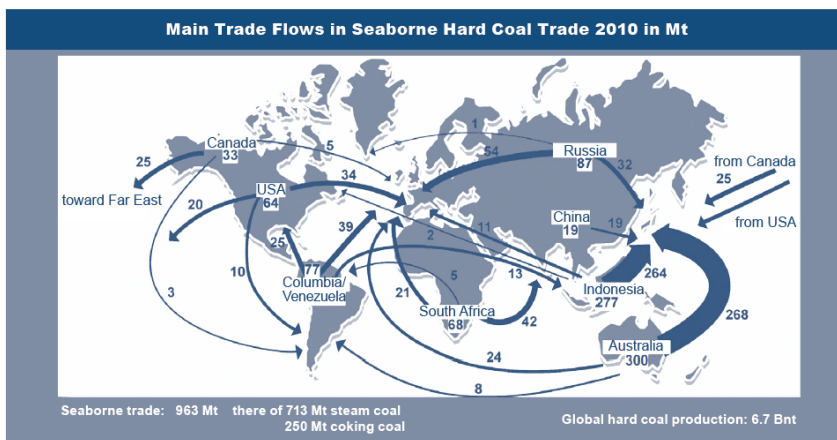


Figure 7 Source: VDKI, Hamburg 2011

**Kuva 28.** Kivihiilen kauppavirrat 2010. (Lähde: VKDI 2011)

**Raakaöljyn** keskimääräinen merikuljetusmatka vuosina 1963–2005 on vaihdellut noin 4 500 ja 7 500 mailin välillä (Stopford 2009). Vuonna 2010 eniten raakaöljyä kuljetettiin laivakuljetuksilla Lähi-idästä. Tätä seurasivat siirtymätalouksista (entisestä Neuvostoliitosta), Afrikasta ja Amerikan kehittyvistä maista lähtevät kuljetukset. Kuljetukset suuntautuivat pääasiassa Pohjois-Amerikkaan, kehittyvään Aasiaan, Eurooppaan ja Japaniin (BP 2011, UNCTAD 2011). Öljytuotteiden kuljetusmatkat ovat tyypillisesti lyhyempiä, ja niillä käytettävät tankkerit pienempiä.

<sup>13</sup> <http://www.worldcoal.org>

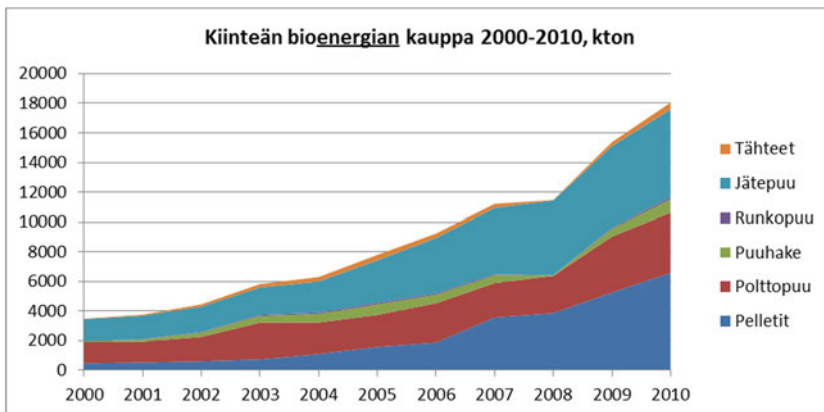


**LNG:n** kokonaistuontimäärät maailmalla kasvoivat vuosina 2006–2010 noin 8 %:n vuosivauhtia. Vuonna 2010 tuontimäärä saavutti 298 bcm:n (220 Mt) määrän. Maailmanlaajuinen LNG-kauppa kattaa nyt 9 % maakaasun globaalista kysynnästä. Qatarin toimittamat määrät olivat suurin kasvun lähde, ja Qatar edustaa nyt neljäsosaa koko maailman LNG:n toimituksista ollen kaksi kertaa suurempi kuin toiseksi suurin toimittaja, Indonesia (IEA 2011). Merkittävimmät LNG:tä tuovat maat ovat Japani ja Etelä-Korea sekä Euroopan maista Espanja ja Ranska. LNG:n kuljetukset ovat alueellisempia kuin raakaöljyllä, keskimääräinen kuljetusmatka vuosina 2006–2010 oli 3 700–4 100 mailin luokkaa.

**Biomassa ja bioenergiajalosteet.** Merkittävimmät meriteitse kuljetettavat bioenergiatuotteet ovat liikenteen biopolttoaineina käytettävät bioetanoli ja biodiesel, sekä pelletit, joita käytetään sähkön- ja lämmöntuotannossa. Raakabiomassaa (puuhake, ra'at kasviöljyt, maatalousjätteet) kuljetetaan pääasiassa edelleenjalostusta varten, mutta myös jonkin verran energiaksi.

**Etanolin** tyypillisin kuljetusreitti on kulkenut Brasiliasta Euroopan satamiin, kuten Antwerpeniin ja Rotterdamiin (Bradley et al. 2009). Kansainvälinen etanoli-kauppa vuonna 2010 oli 3,0 Mt (FAPRI-ISU 2011). Bioetanolin *polttoainekäytön* kansainvälinen kauppa (nettomäärä) vuonna 2009 oli arvion Lamers et al. (2011) mukaan noin 1,4–1,8 Mt (37–47 PJ). Verrattuna etanolin tuotantoon (1 600 PJ vuonna 2009) kansainvälinen polttoaine-etanolin kauppa on pieniä.

**Biodieselin** kansainvälinen kauppa on kasvanut erittäin nopeasti, ollen noin 1,7 Mt (80 PJ) vuonna 2009, noin 80-kertainen vuoteen 2005 verrattuna (Lamers et al. 2011; IPCC SRREN 2011). Tuotanto vuonna 2009 oli noin 12 Mt (565 PJ), joten biodieselistä valtaosa käytetään paikallisesti. Suurimmat kuljetusmäärät ovat Argentiinasta ja Yhdysvalloista Eurooppaan, pienemmissä määrin biodieseliä kuljetetaan myös Malesiasta ja Indonesiasta Pohjois-Amerikkaan (Lamers et al. 2011). Vuonna 2010 biodieselin kansainvälinen kauppa oli n. 1,9 Mt (FAPRI-ISU 2011).



**Kuva 29.** Kansainvälinen kiinteiden biopolttoaineiden kauppa 2000–2010. Pellettien kaupan kasvu on ollut merkittävää. (Tietojen lähde: Lamers et al. 2012)

Kiinteiden biopolttoaineiden suora kansainvälinen kauppa oli lähteen Lamers et al. (2012) mukaan vuonna 2010 18 Mt, joista suurimmat osat kattoivat puupelletit (6,6 Mt), puujäte (6 Mt) ja polttopuu (4 Mt) (Kuva 29). EU:n sisäinen kauppa käsittää noin 2/3 kiinteiden biopolttoaineiden kaupasta, ja sisältää myös maantiekuljetuksia. Pellettien maailmankaupan määrä on noussut eksponentiaalisesti 2000-luvulla. Puuhakkeen (0,9 Mt), tähteiden (0,3 Mt) ja raakapuun (0,3 Mt) polttoainekäytön kauppamäärät ovat verrattain pieniä. (Lamers et al. 2012)

**Pellettien** pääasialliset EU:n ulkopuoliset kuljetusreitit kulkevat Pohjois-Amerikasta (Kanada, USA) Eurooppaan, erityisesti Ruotsiin, Alankomaihin ja Belgiaan, ja Yhdysvaltoihin. Vuonna 2007 koko maailman pellettien merikuljetusten arvioitiin olevan 2,4 Mt (Bradley et al. 2009). Tuonti EU:n alueelle vuonna 2010 oli noin 2,5 Mt, josta Kanadasta 0,93 Mt ja Yhdysvalloista 0,74 Mt. EU:n sisäinen kauppa (tuonnit) oli vuonna 2010 4,17 Mt. Tämä määrä sisältää myös rekkakuljetuksia. Globaalisti pellettien tuotanto vuonna 2010 oli 15,7 Mt (230 PJ), pääasiallisesti Euroopassa, USA:ssa ja Kanadassa, joten tuotannosta suurin osa käytetään paikallisesti (Lamers et al. 2012).

**Puuhakkeen** maiden rajojen ylittävät kuljetukset energiakäyttöön on toistaiseksi rajoittunut käytännössä Euroopan sisäiseen kauppaan, ja energiakäyttöön kuljetusten kokonaismääräksi arvioidaan 0,9 Mt vuonna 2010. Hakkeen viennin kokonaismäärä vuonna 2009 oli 25,2 Mt, joten energiakäyttö muodostaa vain muutamia prosentteja hakkeen viennistä. Huonolaatuisempaa haketta sisältynee lisäksi jonkin verran tilastoissa jätepuukategoriaan (vientä 4,5 Mt vuonna 2010). Suurimpia puuhakkeen tuojia vuonna 2010 olivat Japani, Kiina ja Suomi, ja viejämaita Australia, Yhdysvallat ja Chile. (Lamers et al. 2012)

Pääosa hakkeen energiakuljetuksista on ollut pienten laivojen liikennettä Baltian satamista Ruotsin CHP- ja Ison-Britannian sähkölaitoksiin. Sellu- ja paperiteollisuus on kuitenkin kuljettanut haketta pitkiäkin matkoja (Australiasta ja Brasiliasta). Täten vastaava on mahdollista myös energiasovelluksissa (Bradley et al. 2009).

### 5.3 Laivakuljetusten kustannusrakenne ja kustannuskehitys

#### 5.3.1 Kuljetusmarkkinoista, sopimuksista ja hintatiedoista

Merikuljetusten markkinat voidaan jakaa laivanrakennus-, romutus- ja rahtimarkkinoihin. Katsauksessa Similä (2012) on keskitytty rahtimarkkinoihin.

Merikuljetusten hintojen kehityksestä on olemassa historiatietoja erilaisten indeksien ja keskihintojen muodossa. Näiden tulosten hyödyntämiseksi energiahyödykkeiden kuljetusten tarkastelussa (Similä 2012) selvitettiin, mitkä alukset soveltuvat energiahyödykkeiden kuljetuksiin (luku 5.2) sekä toisaalta seuraavassa käsiteltävät laivakuljetusmarkkinoiden rakenne, toimijat ja sopimusmallit.

Rahtimarkkinoilla osa kaupasta toteutetaan lyhyen aikavälin spot-markkinoiden ja osa pitkäaikaisten sopimusten avulla. Pitkäaikaiset sopimukset ovat mm. keino jakaa pitkäkestoisten investointien riskejä. Pitkät sopimukset ovat houkuttelevia myyjälle, kun kuljetuskustannukset ovat suuria verrattuna tuotteen arvoon. Lyhyen

aikavälin markkinoiden edut tulevat esiin tilanteissa, joissa kysyntä ja tarjonta voivat muuttua nopeasti.

Öljynkuljetuksille oli pitkään tyypillistä, että tankkerit oli sidottu pitkällä, jopa 15–20 vuoden sopimuksilla. Ennen 1970-luvun öljykriisejä noin 80 % tankkerilaivastosta oli rahdattu pitkäaikaisilla sopimuksilla, kun nykyään tilanne on kääntynyt päinvastaiseksi pitkien sopimusten osuuden ollessa noin 20 % (Stopford 2009).

LNG-markkinoilla on viime aikoina vahvistunut lyhyen aikavälin spot-markkinoiden rooli. On arvioitu, että n. 20 % LNG-kaupoista (2008) muodostuu lyhyen aikavälin markkinoilla, kun vielä 2000-luvun alussa lyhyen aikavälin markkinoiden osuus oli olematon. Spot-markkinoiden osuuden on arvioitu olevan edelleen kasvussa. (Thompson 2009).

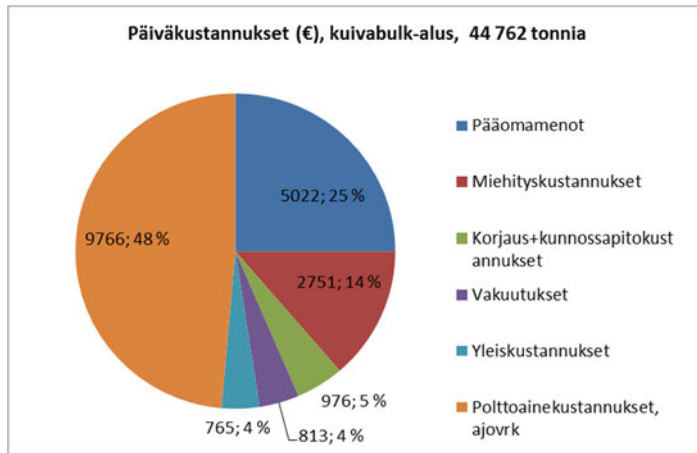
Laivakuljetusten markkinoihin vaikuttaa suuri joukko muuttujia, ja markkinoilla on useita toimijoita, joiden päätösten perusteella hinnat ja kuljetusmäärät määräytyvät. Markkinoilla toimii mm. varustamoja (shipowners), rahtaajia (charterers), laivaoperaattoreita ja laivameklareita (ship brokers), jotka välittävät kauppooja kuljetuspalveluita erilaisille tuotteille tarvitsevien ostajien ja niitä tarjoavien myyjien välillä

Yleisesti mainittuja sopimustyypppejä laivojen rahtauksessa ovat aikarahtaus, "time charter" ja matkarahtaus, "voyage charter". Näiden erot ovat seuraavat:

- **Aikarahtaus** (time charter): sopimus kuljetuksesta, jossa rahtaaja hallitsee aluksen käyttöä tietyn ajanjakson. Aluksen vuokrana suoritetaan kiinteä päivä- tai kuukausimaksu, esimerkiksi 20 000 \$ / päivä. Tässä sopimusmallissa varustamo vastaa käyttökustannuksista (palkat jne.) sekä pääomakustannuksista. Rahtaaja maksaa matkakohtaiset polttoainekustannukset, satamamaksut, lastaus/purkumaksut ja muut lastikustannukset, ja johtaa laivan operatiivista toimintaa.
- **Matkarahtaus** (voyage charter): rahtaaja vuokraa aluksen tiettyä, määriteltä matkaa varten, ja varustamo huolehtii polttoaineet, henkilöstön ja muut tarvikkeet matkaa varten.

Päivävuokrien kehityksestä on saatavilla alusluokittaisia aikasarjoja. Ne eivät sisällä energiahyödykkeiden kuljetusten matkakohtaisia kustannuksia, joista polttoainekustannus on merkittävä tekijä (ks. esimerkki, Kuva 30). Päivävuokra-aikasarjoja täytyy täydentää matkakohtaisilla kustannuksilla, mikäli halutaan tarkastella energiahyödykkeiden kuljetuskustannuksia esimerkiksi kuljetettua tonnia kohden.

## 5. Energiahyödykkeiden merikuljetukset

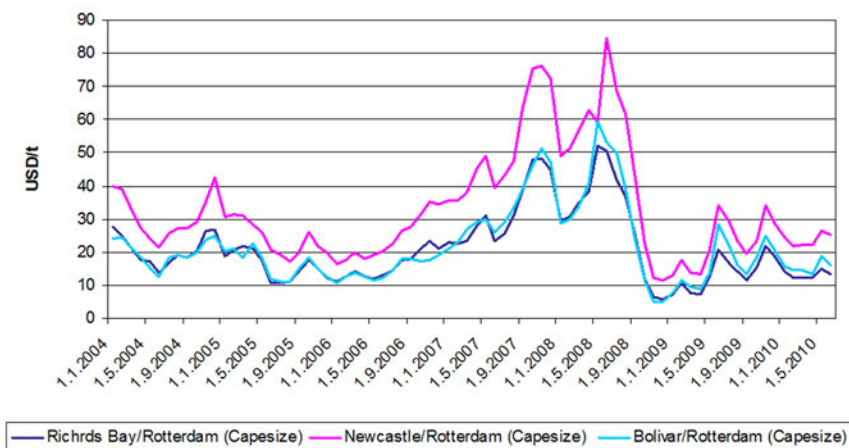


**Kuva 30.** Esimerkki alusten päiväkustannusten jakaumasta. Esimerkissä on kuvattu kuivairtolastialusten päiväkustannukset syväysluokkien keskiarvolla Suomen oloissa (Tietojen lähde: Karvonen & Makkonen 2009). Päiväkustannusten rakenne vaihtelee mm. alustyyppin koon ja hintasuhteiden mukaan.

### 5.3.2 Energiahyödykkeiden kuljetuskustannusten kehitys

Öljyn ja hiilen kuljetusten kuljetuskustannus mitattuna tonnia kohti on reaalisesti pitkällä aikavälillä (1950-luvulta asti) pienentynyt, erityisesti verrattuna muihin talouden sektoreihin (Stopford 2009).

Yleisesti laivakuljetusten markkinahinnat ja niistä johdetut polttoaineiden yksikkökuljetuskustannukset vaihtelevat voimakkaasti. Kuva 31 esittää esimerkkinä hiilen kuljetuskustannuksia Rotterdamiin eri satamista Capesize-kokoluokan (> 100 000 dwt) laivoilla. Hiilen kuljetuskustannukset Kolumbiasta (Bolivar) ja Etelä-Afrikasta (Richards Bay) Rotterdamiin ovat vaihdelleet tyypillisesti välillä 10–25 €/tonni, mutta kohosivat vuosina 2007–2008 huomattavasti korkeammiksi.



**Kuva 31.** Hiilen kuljetusten kustannuskehitys Rotterdamiin Capesize-kokoluokan aluksilla eri satamista vuosina 2004–2010. (Tietojen lähde: Euracoal )

Energiahyödykkeiden kuljetuskustannus tonnia kohti riippuu muun muassa aluksen koosta ja reitistä. Päivävuokrat ja polttoaineiden hinnat vaihtelevat voimakkaasti. Taulukkoon (Taulukko 11) on koottu esimerkkinä arvioita eräiden energiahyödykkeiden kuljetuskustannuksista tonnia kohti. Arviot eivät ole suoraan vertailukelpoisia eri ajankohtien vuoksi. Taustaoletuksia on tarkemmin esitetty polttoaineittain katsauksessa Similä (2012).

**Taulukko 11.** Tonnia kohti laskettuja energiahyödykkeiden kuljetuskustannuksia eri lähteistä.

	Raakaöljy	Kivihiihi	LNG	Pelletit
Matka (yhdensuuntainen)	Persianlahti–Yhdysvaltojen länsirannikko	Etelä-Afrikka–Rotterdam	5 000 mailia	Pohjois-Amerikka–Eurooppa
Aluksen/lastin koko	280 000 dwt	>100 000 dwt (Capesize)	170 000 m <sup>3</sup>	ei spesifioitu
Kuljetuskustannusarvio, tyypillinen/vaihteluväli	6–25 \$/tonni (2002–2006)	10–25 \$/tonni (2004–2007)	36 \$/tonni (2011)	27–69 €/tonni (2002–2008)
Lähteet	Stopford 2009	Euracoal	Thakur 2011	Sikkema et al. 2011

### 5.4 Johtopäätöksiä

SALKKU-hankkeessa suorittua energiahyödykkeiden merikuljetusten kirjallisuus-tarkastelua ohjasivat projektisuunnitelman tavoitteet.

1. Hinnan määräytyminen kuljetusmarkkinoilla perustuen historiatietoon
2. Tulevaisuuden kehityksen arvioiminen ml. laivakuljetusten kysynnän kehitys ja hintaa ohjaavien tekijöiden arviointi.

Tavoitteita varten tarkasteltiin kirjallisuudesta eri energiahyödykkeiden kuljetusten hintakehitystä, tärkeimpiä tulevaisuuden kehitykseen vaikuttavia tekijöitä, laivakuljetuskustannusten rakennetta ja hinnanmuodostusta kuljetusmarkkinoilla.

Yleisellä tasolla havaitaan laivakuljetusten markkinahintojen vaihtelevan hyvin voimakkaasti. Lähihistoriassa (2000-luvulla) vaihtelua havaitaan enemmän hiilen ja biomassan kuljetuksiin soveltuvien kuivien irtolastien kuljetusten kuin raakaöljyn kuljetusten kohdalla. Yleisesti hintakehityksessä tapahtui vuosien 2003–2008 voimakkaita nousuja, jolloin useat hintoja kuvaavat indeksit nousivat kaikkien aikojen ennätyksiin.

Vuosien 2003–2008 kehityksestä on käytetty selityksenä voimakasta Kiinan talouskasvua. Teollisuustuotannon siirtyminen Kiinan ja tuotannon kasvu Kiinassa lisäsi laivakuljetusten ja alusten kysyntää voimakkaasti. Laivakuljetuskapasiteetti lisääntyikin huomattavasti 2000-luvun ensimmäisen vuosikymmenen lopulla. Hinnat romahtivat, kun tuotanto ja kuljetustarve pienenivät vuoden 2008 finanssikriisin aikana, jolloin ylikapasiteettia kuljetusmarkkinoilla oli runsaasti. Esimerkiksi kuivien irtolastien kuljetusten hintoja kuvaava *Baltic Dry Index* putosi n. 94 % vuoden 2008 kuuden viimeisen kuukauden aikana.

Vuosien 2009–2011 rahtihintataso oli alhainen. Irtolastialuksilla ei lähivuosinaakaan arvioida olevan kapasiteettipulaa, pikemminkin ylikapasiteettia. Telakoiden ylläpito jatkuu, ja mikäli vanhoja aluksia ei romuteta, tämä johtaa siihen, että irtolastialusten rahtihintojen matala taso jatkuu. (UNCTAD 2011).

Öljytankkerien rahtihinnat toipuivat vuonna 2011 hieman finanssikriisin vaikutuksista, tosin useimmissa tapauksissa vain hieman, ja hinnat jäivät pitkän aikavälin keskiarvon alapuolella. LNG-kuljetusten hintakehitys oli yleisestä hintakehityksestä poikkeavaa, ja ne nousivat kaikkien aikojen ennätykseensä vuonna 2011 (UNCTAD 2011).

Tulevaisuuden kehitystä laivakuljetusten kysynnän suhteen arvioidaan katsastamalla skenaariotutkimuksia (IEA 2011, Cocchi et al. 2011). Öljyn kysynnän kasvu on IEA:n New Policies -skenaariossa (IEA 2011) kokonaisuudessaan peräisin kehittyvien talouksien liikennesektorin kasvusta, ja se riippuu voimakkaasti kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamistoimista. Sähköntuotanto säilyy pääasiallisena hiilen kysyntää ajavana tekijänä vuoteen 2035 asti. IEA (2011) nostaa maailman suurimman hiilentuottajan, Kiinan, joka on viime vuosina kääntynyt nettoviejästä nettotuojaksi, mahdollisen hiilen tuonnin jatkumisen erityisenä hiilimarkkinoiden kehitykseen vaikuttavana tekijänä.

LNG-kuljetusten arvioidaan olevan yhä kasvussa, joskaan ei välttämättä prosentuaalisesti samaa tahtia kuin viime vuosina. LNG-kaupan kasvu koko maailmassa on New Policies -skenaariossa 240 bcm vuoteen 2035 mennessä (IEA 2011), mikä vastaa 3,3 %:n keskimääräistä vuosikasvua, kun kasvu vuosina 2006–2010 oli keskimäärin 8 %.

Bioenergiahyödykkeiden kuljetusten volyymien arvioidaan voivan kasvaa. Esimerkiksi puupellettien EU-27 -alueelle suuntautuva kauppa kasvaa vuoteen 2020 mennessä eri skenaarioissa tasolle 16–33 Mt nykyisestä alle 3 Mt tasosta. Korkeamman skenaarion toteutuminen edellyttäisi tehdasinvestointeja ja nopeaa kehitystä nopeakiertoisten kasvien energiaviljelmissä (esim. Eukalyptus) tietyillä potentiaalisilla ventialueilla (Brasilia, Uruguay, Länsi-Afrikka, Mosambik, Venäjä) (Cocchi et al. 2011). Nestemäisten biopolttoaineiden kauppamäärien kehityksessä niiden edistämiseksi toteutettujen politiikkatoimien merkitys on ollut erittäin suuri (Lamers et al. 2011). Bioenergiahyödykkeiden merikuljetusmäärät ovat toistaiseksi pieniä verrattuna ”perinteisiin” fossiilisiin polttoaineisiin, raakaöljyyn ja öljyjalosteisiin, kivihiileen ja LNG:hen.

**Yleisesti** laivakuljetusten **kysyntään** vaikuttavia tekijöitä ovat lähteen (Stopford 2009) mukaan:

1. Maailmantalous
2. Meritse tapahtuva tavarakauppa
3. Keskimääräinen kuljetusmatka
4. Satunnaishokit (esim. öljykriisit, talouslamat)
5. Kuljetuskustannukset.

Tekijöistä (1–5) katsauksessa on kiinnitetty eniten huomiota eri energiahyödykkeiden kuljetuskuljetuskustannuksiin. Tyypillisesti öljyllä on energiahyödykkeistä pienin kuljetuskustannus suhteessa tuotteen arvoon. Öljyn kuljetuksissa tarkastellut kuljetuskustannukset ovat usein maksimissaan 10 %:n luokkaa. Suhteessa suurimmat kuljetuskustannukset ovat pellettien, hakkeen, hiilen ja LNG:n merikuljetuksilla. Katsauksessa löydettiin esimerkkejä, joissa hiilen ja pellettien kuljetuskustannukset olivat kokonaistoimituskustannuksista 45 %:n luokkaa. LNG-kuljetuksissa kuljetuskustannusten osuus on ollut 10–30 %. Sekä rahdin että polttoaineiden hinnat ovat vaihdelleet voimakkaasti, ja muun muassa matka ja kuljetuksen nopeus vaikuttavat yksittäisten kuljetusten kustannuksiin ja hintoihin.

Hintaa ohjaavia tekijöitä on luokiteltu lähteessä UNCTAD (2010b), joka tutkii öljyn hinnan vaikutusta rahtihintoihin. Öljyn hinnan ohella **rahdin hintaan vaikuttavia tekijöitä** ovat (UNCTAD 2010) mukaan:

1. Laivakuljetusten kysyntä (esim. kaupan volyymit)
2. Satamatason muuttujat (esim. satamainfrastruktuurin laatu)
3. Tuotetason muuttujat (esim. arvo/painosuhteet ja tuotteiden hinnat)
4. Toimialatason muuttujat (esim. rahtaajien ja alustoimittajien välisen kilpailun taso)

## 5. Energiahyödykkeiden merikuljetukset

---

5. Teknologiatason muuttajat (esim. konttikuljetusten mahdollisuudet, laivojen koko ja skaalaedut)
6. ”Institutionaaliset muuttajat” (lainsäädäntö ja regulaatio)
7. Maakohtaiset muuttajat (esim. vientimarkkinoiden houkuttelevuus).

**Skaalaedut**, joiden vuoksi aluskoon kasvattaminen on pienentänyt yksikköä kohti laskettuja kuljetuskustannuksia, ovat olleet merkittävä tekijä merikuljetusten kustannusten reaalisessa laskussa pitkällä aikavälillä (1950-luvulta alkaen). Esimerkiksi Yhdysvalloista Japaniin kulkevien hiililaivojen koko on eräällä reitillä jopa 15-kertaistunut 1950-luvulta 2000-luvulle (Stopford 2009). Esimerkiksi LNG-tankkerien keskimääräinen koko on ollut yhä kasvussa. Laivojen koon kasvattamista voivat rajoittaa väylä- ja kanavainfrastruktuuri sekä satamien ja terminaalien ominaisuudet. Lyhyillä reiteillä, joustavasti liikuttaessa ja arvokkaita tuotteita kuljettaessa pienempien laivojen edut pääsevät oikeuksiinsa. Merikuljetusten kustannustehokkuutta ovat parantaneet myös uusi teknologia, paremmat satamat, tehokkaampi lastinkäsittely ja alusten ulosliputtaminen.

2000-luvun hintakehitykseen on merkittävästi vaikuttanut kuljetusten kysyntä, johon on vaikuttanut maailmantalouden kehitys. Poliittikatoimenpiteet meriliikenteen ympäristövaikutusten, kuten CO<sub>2</sub>-päästöjen sekä rikkipäästöjen vähentämiseksi ovat merkittäviä lähitulevaisuudessa rahdin kustannuksiin ja hintaan vaikuttavia tekijöitä.



## 6. Energiamarkkinoiden kehitys

*Juha Forsström, Göran Koreneff*

### 6.1 Maakaasuresursseista ja markkinoista

#### 6.1.1 Mihin tarkoitukseen?

SALKKU-hankkeessa on laadittu malli, jolla voidaan tutkia mm. maakaasuresursien riittävyttä, kysynnän ja tarjonnan kohtaamista, maakaasun globaalin kaupan kehittymistä ja vertailla eri tahojen laatimien kaasun käyttöskenaarioiden realistisuutta. Lisäksi malli organisoii maakaasumarkkinoiden seurantaan, sillä mallin lähtötiedot määrittelevät ne suureet, joiden arvot on pidettävä ajantasaisena.

#### 6.1.2 Kaasun tuotanto

Hankkeessa on laadittu kaasun tuotannon, siirron ja kulutuksen malli globaalilla tasolla. Lähtökohtana on ollut lähteä liikkeelle kaasukentältä ja edetä sieltä markkinavuorovaikutuksen välittämänä loppukäyttöön asti.

Voidaanko ajatella, että resurssia otetaan käyttöön ikään kuin suuresta altaasta tarpeen mukaan ilman dynaamisia rajoitteita? Allasvaihtoehto on yksinkertaisin mahdollinen, mutta jääkö tällöin jotain oleellista mallin ulkopuolelle? Jos tarkoitus on hahmotella markkinoiden lähiajan kehitystä, markkinavoiman käytön edellytyksiä tai vastaavia lyhyen aikavälin kysymyksiä, niin tällöin resurssipuolen rakenteellinen kuvaus on lienee turha. Tässä hankkeessa on kuitenkin tarkoitus nimenomaisesti tarkastella resurssien käytön riittävyttä sekä kysynnän ja tarjonnan kohtaamisen mahdollisia kehityskulkuja pidemmällä aikavälillä, jolloin resurssien rakenteellinen kuvaus on luonnollinen valinta.

Niissä malleissa, joissa resurssin ominaislaatu on huomioitu, kuvataan kentän kaasuntuotantomahdollisuus kolmivaiheisella tuotantofunktiolla. Ensimmäisessä vaiheessa tuotanto kasvaa nolasta suunniteltuun tuotantomäärään hyvin lyhyellä aikavälillä kentän koko tuotantoaikaan verrattuna. Toinen vaihe on tasatuotannon vaihe, jossa tuotantomaksimi on asennetun tuotantotehon suuruinen. Se ilmoitetaan

tyypillisesti osuutena kentän resurssimäärästä, esim. 5 %. Tällöin kenttä tyhjenisi 20 vuodessa, jos koko sen tuotantoajan tuotanto voitaisiin pitää tässä maksimituotantomoodissa. Tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, vaan kun 40–50 % kentän kaasusta on tuotettu, siirtyy kenttä alenevan tuotannon vaiheeseen. Tällöin tuotannon maksimi on vakio-osuus kentän jäljellä olevasta kaasusta. Kun kaasuntuotanto alenee kynnyksrajaa alle, esim. 2 % asennetusta maksimituotannosta, kenttä suljetaan kannattamattomana.

Kun tarkastellaan yhden tuottajamaan kaasun tuotantoa, niin kenttien resursseja ei voi vain summata yhteen ja tarkastella näin saatua summakenttää, sillä tällöin esim. tuotannon aleneminen on nopeampaa kuin käytännössä havaittu tuotannon pieneneminen. Uppsalan fyysikoiden (Söderbergh et al. 2009) mukaan yhden kentän tuotannon alenema on tyypillisesti 7–20 % vuodessa, mutta koko maan (tai esiintymän) tasolla se on vain 3–4 % vuodessa. Kun kentän koko kasvaa, niin samalla sen maksimituotannon suhde kentän kokoon alenee, mikä johtaa hitaampaan tuotannon alenemisvauhtiin vähenevän tuotannon vaiheessa. On siis joitain tekijöitä, jotka vaikuttavat siihen, että kenttien yhdelmä tuottaa eri tuloksen kuin vastaavan kokoinen yksittäinen kenttä.

Esiintymät koostuvat useista kentistä, joiden kokojakauma on Mohrin (2010) mukaan eksponentiaalinen, ts. suurin ja ensimmäiseksi käyttöön otettava kenttä kattaa tyypillisesti 20–40 % koko esiintymän resurssista ja loppu resurssista jakautuu lukuisten pienten kenttien kesken. Tiedot perustuvat Pohjanmeren ja USA:n tietoihin. Vertailu Venäjän Nadim-Pur-Taz-alueen kenttiin tuottaa saman tuloksen. Esiintymän käyttöönotto alkaa riittävän suuresta yksittäisestä kentästä ja lähialueen pienemmät kentät voidaan taloudellisesti järkevällä tavalla liittää tuotantojärjestelmän osaksi myöhemmin. Todellisiin esiintymätietoihin perustuva esiintymäalueiden keskinäinen kokojakauma noudattaa tietynlaista kaavaa ja SALKKU-hankkeessa laadittu kaasumalli noudattaa tätä piirrettä.

Kunkin maan kaasuresurssit jakautuvat esiintymiin ja kukin esiintymä edelleen kenttiin. Esiintymiä ja kenttiä otetaan käyttöön kumulatiivisen tuotannon kasvun mukaan. Tässä noudatetaan Mohrin tekemää analyysiä kuitenkin sillä poikkeuksella, että käyttöönottoa nopeutetaan kysynnän kasvaessa nopeasti.

Kaasun tuotantokustannukset kasvavat esiintymästä toiseen. Kussakin maassa otetaan ensin käyttöön edullisimmat esiintymät ja edetään kohti kalliimpia. Kuljetuskustannukset ja paikalliset tekijät vaikuttavat siihen, että eri alueilla tuotetaan samaan aikaan erihintaista kaasua.

### 6.1.3 Markkinarakenne

Mallissa kysyntä jakautuu kahdeksaan markkina-alueeseen. Tuottajia (maita, valtioita) on noin 40. Kunkin markkina-alueen yksittäisten maiden kaasun kysyntä summataan yhteen ja se muodostaa alueen kysynnän. Se allokoituu tuottajien hintakilpailukyvyyn mukaan eri tuottajille markkina-allokaatiomekanismin kautta. Oman alueen tuottajat ovat samassa asemassa kuin sinne vievätkin tuottajat. Tarjontahinta koostuu tuotanto- ja kuljetuskustannuksista. Tuottajat tuottavat siis

yhdelle tai useammalle markkinalle, oma markkina-alue mukaan lukien. Kahden maan välistä kauppaa ei ole. Kaupankäynti on tällä tavoin anonyymiä.

Tuottaja, jonka kaasu on hinnaltaan muita korkeampi, menettää markkinaosuut-  
 taan ajan kuluessa. Mitä kalliimpaa kaasu on, sitä nopeammin markkinaosuus  
 pienenee. Kaupankäynti perustuu pitkäaikaisille, 20 vuoden sopimuksille, joita  
 solmitaan tarpeen mukaan vuosittain. Tarve syntyy joko kulutuksen kasvusta tai  
 vanhojen sopimusten umpeutumisesta, tai molemmista. Muutokset markkina-  
 osuuksissa ovat sopimusjakson pituuden vuoksi pääosin vähittäisiä.

### 6.1.4 Kaasun kysyntä

Kysynnän kasvun perusura määräytyy BKT:n kehityksestä: Kun BKT kasvaa tietyn  
 prosenttin vuodessa, niin kaasun käyttö kasvaa tähän verrannollisesti. Kaasun  
 hinta vaikuttaa kysynnän määrään joko sitä lisäten tai vähentäen. Tätä hin-  
 tasopeutumista kuvataan kysynnän hintajoustolla.

### 6.1.5 Tasapaino

Malli toimii kysyntävetoisesti. Tuottajat sopeutuvat kysyntään tuotantokoneistoaan  
 mukauttamalla. Jos jonkin tuottajan tuotanto ei riitä kysyntää tyydyttämään ja  
 samalle markkinalle toimittavilla muilla tuottajilla on vapaata kapasiteettia, niin  
 malli hakee jokaisella aika-askeleella tuotannon ja kulutuksen välisen tasapainon  
 tuottajien hinnat ja tuotantokyvyn huomioiden.

### 6.1.6 Globaalit resurssit

Aluksi kaasu oli vain kiusallinen öljyntuotannon sivuvirta, joka vain poltettiin pois.  
 Vähitellen siitä kehittyi erillinen polttoaine, jonka energiatiheys on kuitenkin alhai-  
 nen. Sen vuoksi kaasun kuljetus ja varastointi on kallista, mikä johti sen käyttöön  
 pääasiassa kotimarkkinoilla. Perinteisesti kaukokuljetukset on hoidettu enimmäk-  
 seen putkikuljetuksina, mutta viime aikoina kaasun nesteytystekniikan kehitty-  
 minen on alentanut sen kustannuksia ja se on lisännyt kaasun LNG-kauppaa. LNG:n  
 energiatiheys on noin 600-kertainen normaalipaineiseen kaasuun verrattuna.

Kansainvälinen kauppa on ollut suhteellisen vähäistä kaasun käyttöön nähden.  
 Taulukossa (Taulukko 12) on esitetty kaasun toimitukset vuonna 2008.

**Taulukko 12.** Kaasun toimitukset vuonna 2008.

	Pohj.Amerikka	Aasia-Tyyni	Eurooppa
	%	%	%
Oma tuotanto	88	62	54
Lähialueputki	11	3	8
LNG-lähtuonti	1	18	9
Kaukoalueputki	0	0	29
LNG-kaukotuonti	0	16	0

Euroopan riippuvuus kaasun tuonnista on kasvanut jatkuvasti 1970-luvulta lähtien ja kasvu jatkuu yhä. Venäjä ja Algeria ovat suurimmat Euroopan tuontitoimittajat. Aasia on selvästi suurin LNG:n käyttäjä.

Maailman konventionaaliset maakaasuvarannot ovat jakautuneet epätasaisesti. Venäjä, Iran ja Qatar omistavat yhteensä yli puolet BP:n raportoimista todennetuista reserveistä. On selvää, että pitkän aikavälin tarkasteluissa Venäjän ja Lähi-idän valtioiden markkinaosuus tulee kasvamaan muiden alueiden varojen ehtyessä.

Venäjän varat sijaitsevat suurelta osin hyödynnettävyydeltään hankalassa ympäristössä, mikä tekee niiden käyttöönotosta paitsi vaikeaa niin myös kallista. Käyttöönoton investoinnit ovat mahdollisia vasta, kun ostajat ovat valmiita sitoutumaan riittävän pitkään ja hinnakkaisiin toimitussopimuksiin tuottajan kanssa, sillä varojen hyödyntämisen teknis-taloudelliset riskit on jollain sopivalla tavalla pystyttävä jakamaan osapuolten kesken.

Lähi-idässä kaasuvarat ovat teknisesti Venäjän resursseja helpommin hyödynnettävissä. Iranin kaasuvarojen käyttöönottoon liittyy juuri tällä hetkellä vakavia poliittisia ongelmia, mutta niiden voi olettaa aikaa myöden liudentuvan. Qatar on puolestaan tehnyt päätöksen, jonka mukaan se rajoittaa tuotannon tiettyyn määrään vuodessa. Tällainen poliittinen tuotantorajoitus on kuitenkin arvaamaton, sillä sen voi muuttaa yhdessä hetkessä toiseksi.

Konventionaalisten varojen ehtyminen Pohjois-Amerikassa ja epäkonventionaalisten kaasuvarojen hyödyntämistekniikan kehittyminen on tehnyt jo osasta epäkonventionaalisia varoja kaupallisesti hyödynnettäviä. Yhdysvalloissa erityisesti liuskekaasu on jo syrjäyttänyt ennakoitun LNG:n tuontilisäyksen, vaikka käsitykset liuskekaasun kustannuksista ovatkin osin ristiriitaisia. Liuskekaasuvarat ovat USA:ssa mittavat. Niiden hyödyntäminen ei ole ongelmatonta myöskään ympäristön kannalta, sillä kaasun tuotannossa käytettävät kemikaalit muodostavat ympäristöriskin.

Kaasun varastoinnin vaikeudesta johtuen kaasujärjestelmän tuotannon ja kulutuksen yhtäaikaisuuden vaatimus muistuttaa sähköjärjestelmän vastaavaa tilannetta. Se antaa perusteen erityiselle kaasun toimituksen varmuuteen liittyvälle pohdiskelulle. Kaasuhanojen sulkemisen vaikutus tuntuu nopeasti tuotantoketjun kulutuspuolella. Ero öljyyn on selvä. Öljyn varastointi on helpompaa ja halvempaa

ja yhdistettynä toimiviin maailmanmarkkinoihin kuluttajamaat eivät vastaavalla tavalla jää alttiiksi jonkun tietyn öljyn tuottajamaiden mahdolliselle kiristykselle. Öljytuottajamaiden järjestö OPEC pystyy toki halutessaan aiheuttamaan suuren markkinahäiriön.

Kaasuntuottajat ovat perustaneet OPECia (the Organisation of Petroleum Exporting countries) vastaavan järjestön GECF (The Gas Exporting Countries Forum) vuonna 2001. Järjestöön kuuluu 11 jäsenmaata. Sen ei uskota halutessaankaan pystyvän 1970-luvun OPEC-maisiin manöövereihin.

Venäjän valtavat kaasuvarat ovat jo pitkään olleet myös Euroopan maiden käytössä. Venäjän oma kaasunkulutus on valtavaa. Tehostamisen varaa on paljon, mutta kaasun hinta pidetään poliittisin päätöksin niin alhaisena, että varoja ei kerry välttämättömiin uusinvestointeihin tuotantopuolella. Kaasun vienti Eurooppaan on siten ainoa keino Gazpromille rahoittaa uusien tuotantoalueiden käyttöönottoa Venäjällä.

Pohjois-Afrikka on hyvin lähellä Eurooppaa, ja sieltä tuodaan sekä putkikuljetuksena että LNG:nä kaasua Eurooppaan. Lähi-itäkään ei ole liian kaukana putkikuljetuksille, mutta putkilinjat kulkevat väistämättä hankalien alueiden poikki, mikä tekee LNG-kuljetukset myös Lähi-idästä houkuttelevaksi.

### 6.1.7 Vientimahdollisuuksista

Jokaisen tuotantoalueen oma kaasun käyttö vaikuttaa voimakkaasti siihen, kuinka paljon kaasua riittää vientiin. Niin Venäjällä, Lähi-idässä kuin Pohjois-Afrikassakin oma kaasunkulutuksen kehittyminen on tärkeä vientimahdollisuuksien määrittämässä. Lähi-idässä osa kaasun kulutuksesta liittyy öljyn tuotantoon: öljyn ja kaasun yhteisiintymän kaasu pumpataan takaisin esiintymään öljyn tuotannon tehostamiseksi.

### 6.1.8 Euroopan kaasunhankinnan tulevaisuus

Mallilaskelmilla voidaan tutkia kaasuvarojen oletetun käytön ja niiden tuotannon yhteensovittamisen ongelmia. Vaikka varoja olisikin kokonaismääräisesti riittävästi tarjolla, niin kohtaako kysyntä ja tarjonta ajassa? Mitkä tekijät vaikuttavat Euroopan kaasunhankinnan onnistumiseen jatkossa? Voisiko Eurooppa omalla määrätietoisella toiminnalla vaikuttaa suotuisimman tulevaisuuden toteutumiseen?

Euroopan kaasunhankintaan vaikuttavia tekijöitä ovat

- Omien kaasuvarojen ehtyminen
  - Epäkonventionaalisten varojen hyödyntäminen
- Norjan rajalliset varat
- Venäjän vientimahdollisuudet
  - oma kulutuksen kehittyminen
  - uusien tuotantoalueiden käyttöönotto
- Hankinta Pohjois-Afrikasta

## 6. Energiamarkkinoiden kehitys

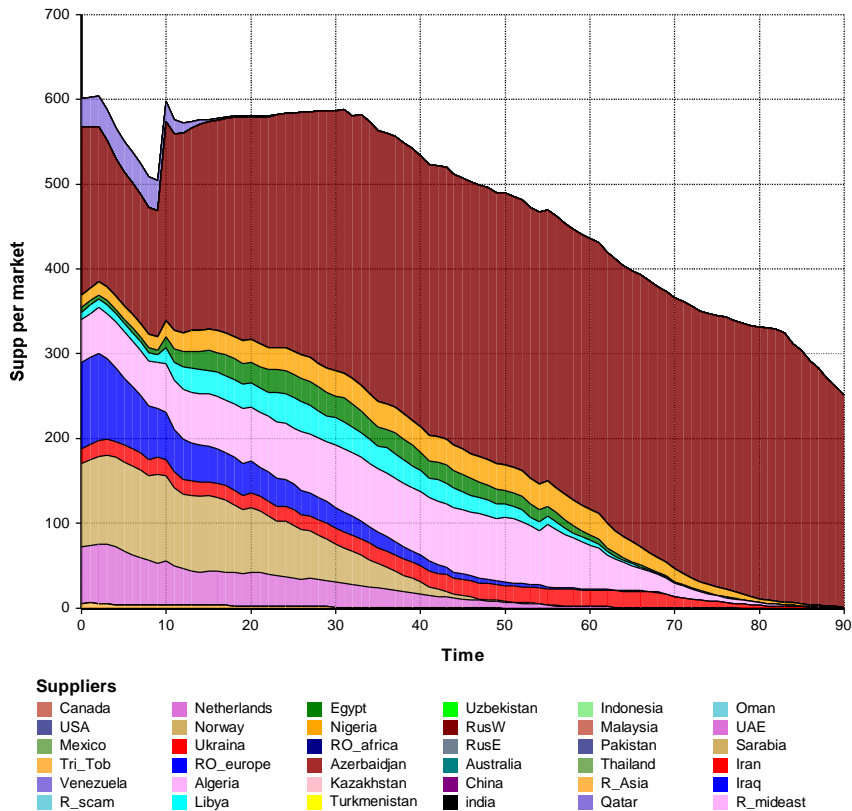
---

- Oman kulutuksen kehittyminen
  - Vienti toisaalle
- Hankinta Lähi-idästä
  - Oma kulutus
  - Iranin poliittinen tilanne
  - Aasian markkinan vetovoima
- Aasian kysynnän kasvu talouden kasvun myötä
- Pohjois-Amerikan LNG-kysynnän kasvu
  - Konventionaalisten varojen ehtyminen
  - Liuskekaasuvarojen hyödyntämismahdollisuuksien epävarmuus
  - Muut epäkonventionaalisten varojen käyttömahdollisuus.

Näitä tekijöitä varioimalla luodaan valituille vuosille Euroopan kaasunhankinnan mahdollisten tulevaisuuksien joukko. Pyrkimyksenä on tiivistää moniulotteiset tulokset muutamaa keskeiseen kuvaan.

### 6.1.9 Alustavia tuloksia

Varsinaiset tulokset tulevat käsittelemään Euroopan kaasunhankinnan mahdollisuuksia eri tekijöiden vaikutuksesta valittuna vuonna. Kuvassa 32 on esimerkki vain yhdestä ajoista yli ajan. Tulokset muodostetaan kymmenistä tai sadoista ajoista, joiden valittua vuotta koskeva informaatio kootaan yhteen tai useampaan yhteenvetotaulukkoon ja -kuvaan.



**Kuva 32.** Euroopan kaasunhankinnan eräs tulevaisuusura. Venäjän kehityshanke myöhästyy Euroopan näkökulmasta hieman, mikä aiheuttaa saatavuuden pienen notkahduksen.

## 6.2 Sähkömarkkinat

Sähkömarkkinoiden kehitystä on tässä projektissa tutkittu VTT:n Markkinahintamallilla (MH-malli, engl. VTT-EMM). Sähkömarkkinoiden kehitykseen vaikuttaa usea tekijä, joista osaa on jo käsitelty aikaisemmissa luvuissa. IEA:n World Energy Outlookin (IEA 2011) skenaariot luetaan arvovaltaisimpien skenaarioiden joukkoon. IEA esittää kolme pääskenaariota: New Policies (IEA New), Current Policies (IEA Current) ja 450 ppm (IEA 450). Skenaariossa IEA Current toteutetaan nykyiset ja päätetyt toimet kasvihuonekaasujen hillintään, IEA New:ssa otetaan vielä mukaan eri maiden luvattut toimet ja IEA 450:ssa otetaan mukaan sellaiset toimet, että ilmakehän CO<sub>2</sub>-pitoisuus rajoittuu 450 ppm:ään. Polttoainehintojen kehitys vastaa näitä toimia. Esimerkiksi IEA 450 -skenaariossa hiilidioksidin rajoittamistarpeet näkyvät sekä korkeana päästöoikeushintana että laajamittaisena uusiutuvien

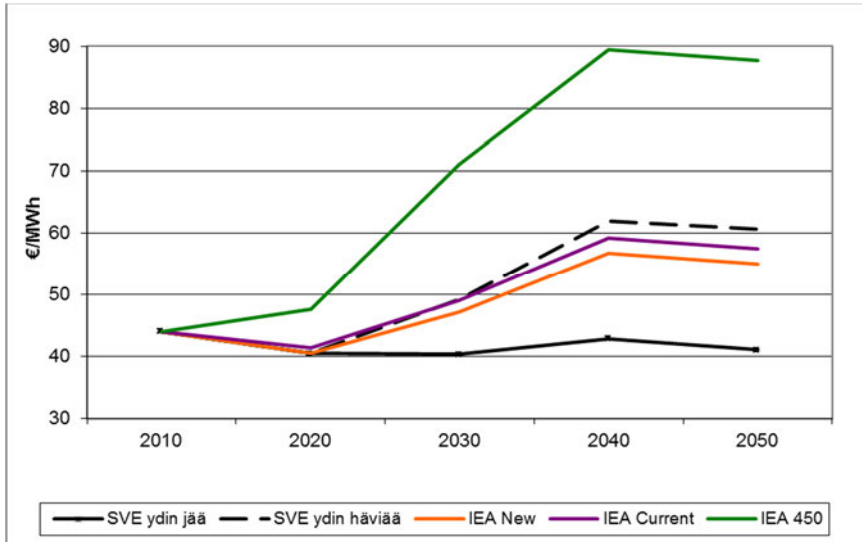
energiälähteiden hyödyntämisenä, mikä johtaa fossiilisten polttoaineiden alhaiseen käyttöön ja sitä kautta myös hintaan.

Pohjoismaisten sähkömarkkinoiden tulevaisuustarkastelussa nojaututaan IEA:n kolmen skenaarion reaalisiin polttoaine- ja päästöoikeushintaestimaatteihin. Myös vienti- ja tuontihinnat Pohjoismaiden ulkopuolelle on sidottu näihin polttoaine- ja päästöoikeushintoihin. Pohjoismaisen kapasiteettikehityksen osalta nojaututaan pääasiassa VTT:n TIMES-mallin antamiin osviittoihin (vrt. luku 2.1). Ruotsin ydinvoiman kehitys on nostettu tarkastelussa merkittäväksi herkkyystekijäksi. Sille onkin arvioitu kolme polkua IEA:n New-polttoainehintaskenaariossa:

1. lähivuosien tehonkorotusten jälkeen reilun 10 000 MW kapasiteetti pysyy muuttumattomana vuoteen 2050 asti (SVE ydin jää),
2. voimalaitokset ajetaan alas 50 vuoden ikäisinä (SVE ydin häviää) ja
3. voimalaitokset ajetaan alas 50 vuoden ikäisinä, mutta uutta korvaavaa kapasiteettia rakennetaan yhteensä 3 600 MW (IEA New).

Sähkön markkinahintaskenaariot esitetään kuvassa (Kuva 33). Kaikkein korkein hinta esiintyy skenaariossa 450, missä päästöoikeuden hintakin on korkeimmillaan. IEA Current- ja IEA New -skenaarioiden hintaero on vähäinen. Ruotsin ydinvoimaskenaariot "SVE ydin häviää" ja "SVE ydin jää" asettuvat molemmiin puolin IEA Newta, kuten olettaa sopii, ja niiden keskinäinen hintaero on lopussa noin 20 €/MWh eli erittäin merkittävä. Ruotsi hyväksyy jo ajatuksen, että vanhoja yksiköitä saa korvata uusilla, kunhan lukumäärä ei muutu. Tämä tarkoittaa sitä, että parhaimmillaan ydinvoiman kokonaiskapasiteetti voisi Ruotsissa nousta 16 000–17 000 MW:iin, eli esitettyä vielä paljon korkeammaksi.





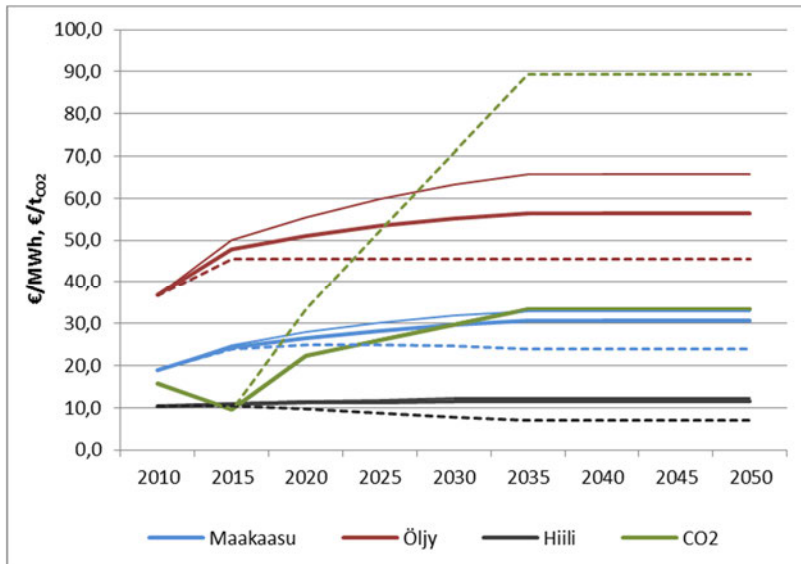
**Kuva 33.** Sähkön markkinahinnan kehittymisen skenaarioita 2010–2050. Polttoaine- ja päästöoikeushintakehitysskenaariot 2010–2035 vastaavat IEA:n (2011) New Policies (IEA New), Current Policies (IEA Current) ja 450 ppm (IEA 450) -skenaarioita, minkä jälkeen hintoja on pidetty vakiona. "SVE ydin häviää" ja "SVE ydin jää" seuraavat IEA New -hintoja, mutta Ruotsin ydinvoimakapasiteetti joko poistuu kokonaan tai ei lainkaan, kun IEA Newssa vanhaa kapasiteettia korvataan 3 600 MW:n edestä.

### 6.2.1 Polttoaine- ja päästöoikeushinnat

Polttoaine- ja päästöoikeushintakehitys seuraa, kuten todettua, vuoteen 2035 asti IEA:n reaalisia skenaariohintoja, mihin nämä loppuvat, sen jälkeen hintojen on oletettu olevan vakiot (Kuva 34). Päästöoikeuksien hintoja ilmoitetaan IEA:ssa (2011) vain vuosille 2020–2035, joten vuoden 2010 hinnaksi on otettu vuoden 2010 loppupuolen hintataso ja vastaavasti vuoden 2015 hintana on vuoden 2011 lopussa voimassa ollut forward-hinta vuodelle 2014.

IEA Currentissa on hiukan kalliimpaa polttoainetta kuin IEA Newssa, koska IEA Currentissa on vähemmän energiatehokkuusparannuksia ja uusiutuvan energian lisäyksiä. IEA 450:ssa ryhdytään puolestaan voimakkaisiin toimiin ilmastomuutoksen hillinnässä, mikä nostaa päästöoikeuksien hintaa mutta alentaa fossiilisten polttoaineiden kulutusta ja kysyntää ja siten myös hintaa.

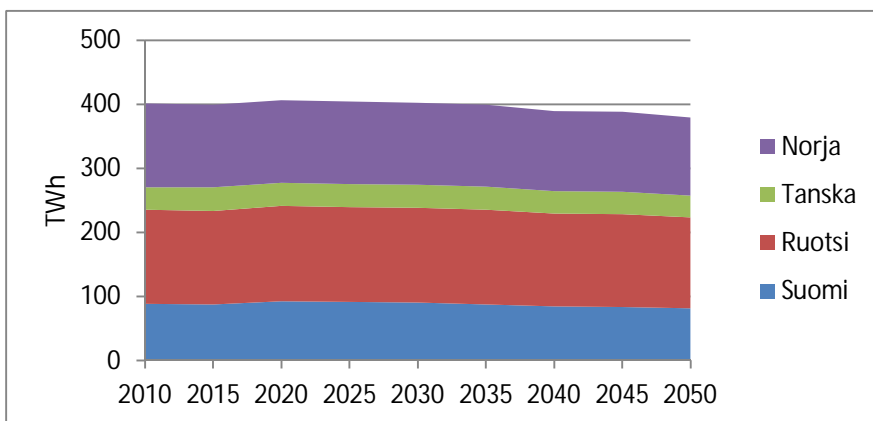
## 6. Energiamarkkinoiden kehitys



**Kuva 34.** Skenaariossa käytetyt polttoaine- ja päästöoikeushinnat. Paksulla viivalla on IEA New-, ohuella viivalla IEA Current- ja katkoviivalla IEA 450 -hinnat. IEA Current jää kuvassa välillä IEA New -viivan taakse hintojen ollessa samat. Hintojen 2010–2035 lähteenä on IEA (2011) lukuun ottamatta päästöoikeuden hintoja 2010–2015. Vuoden 2035 jälkeen hinnat pysyvät tarkasteluissa vakiona.

### 6.2.2 Kulutus

Pohjoismaisen sähkön kulutuksen on tarkastelussa oletettu kasvavan alussa vuoteen 2020 asti ja pienenevän sen jälkeen kohti vuotta 2050 mentäessä (Kuva 35).



**Kuva 35.** Pohjoismaisen sähkön kulutuksen arvioitu kehitys 2010–2050.

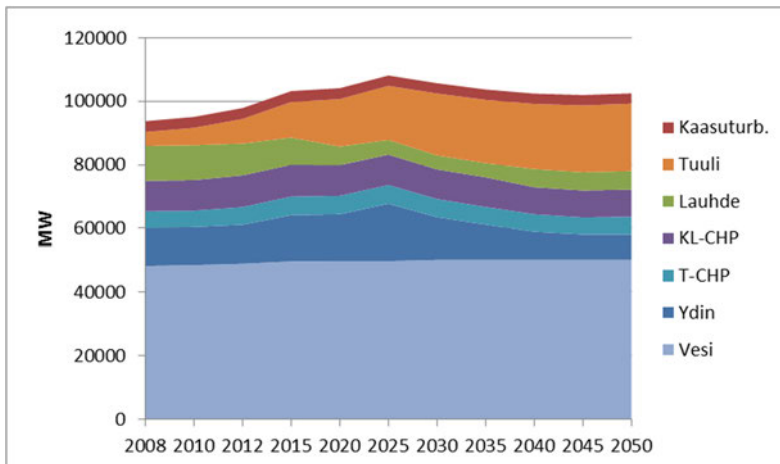
### 6.2.3 Kapasiteettikehitys

Tarkasteluissa käytetty pohjoismainen kapasiteettikehitys muun kuin Ruotsin ydinvoiman osalta seuraa soveltuvin osin VTT:n TIMES-mallista saatua kehityskaarta. Perusskenaarion (IEA New) mukainen kapasiteettikehitys 2010–2050 esitetään kuvassa (Kuva 36). Suomeen on lisätty 2 600 MW ydinvoimaa (6. ja 7. yksikkö) ennen vuotta 2025, mutta ei muita yksiköitä. Loviisan yksiköt poistuvat vuoden 2030 molemmin puolin ja Olkiluoto 1 ja 2 vastaavasti vuoden 2040 molemmin puolin. Kokonaisuudessaan vuonna 2050 ydinvoimaa löytyy 7 800 MW Pohjoismaissa, kun tällä hetkellä liikutaan 12 tuhannen megawatin tuntumassa.

Vesivoimakapasiteettia ei ole lisätty juurikaan, vaikka esimerkiksi Norjassa on etenkin pienmuotoista potentiaalia hyödyntämättä. Eri yhteyksissä on tosin arvioitu, että sateisuus lisääntyy ja sitä myötä myös virtaama ja vesivoiman tuotanto, vaikkei voimalaitosten kapasiteettia lisättäisikään. Tarkasteluissa vesivirtaaman lisäys on Pohjoismaissa kaikkiaan vain reilut 5 TWh vuoteen 2050 mennessä.

Tuulivoimakemitystä on arvioitu maltillisesti. Vuonna 2020 on koossa 15 000 MW ja vuonna 2050 jo yli 21 000 MW, millä päästään yli 50 TWh:n vuosituotantoon. Tuulivoima on nykyisellään tukitoimien varassa ja meritulivoiman osalta sitäkin enemmän. Tukitoimien kehittyminen on vaikeasti arvioitavissa ja riippuu tietenkin asetettavista tavoitteista.

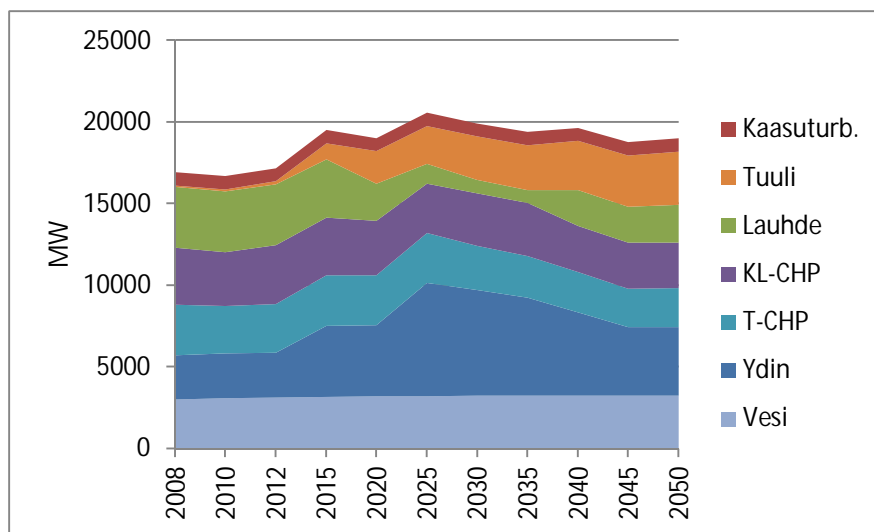
Yhteistuotantokapasiteetissa tapahtuvat muutokset ovat nettovaikutuksiltaan vähäiset, lähinnä kaukolämpöyhteistuotantokapasiteetti hieman alenee mm. siirtymisestä alhaisemman rakennusasteen bioenergiayhteistuotantoon. Lauhdelaistosten kapasiteettia poistuu käytöstä merkittävästi, mutta enemmänkin voisi poistua vaikuttamatta tuloksiin.



**Kuva 36.** Pohjoismaisen sähköntuotantokapasiteetin arvioitu kehitys 2008–2050 olettaen, että Ruotsin poistuvasta ydinvoimakapasiteetista osa, 3 600 MW, korvataan uusilla yksiköillä. KL-CHP on kaukolämmön ja T-CHP on teollisuuden yhteistuotantosähköä.

## 6. Energiamarkkinoiden kehitys

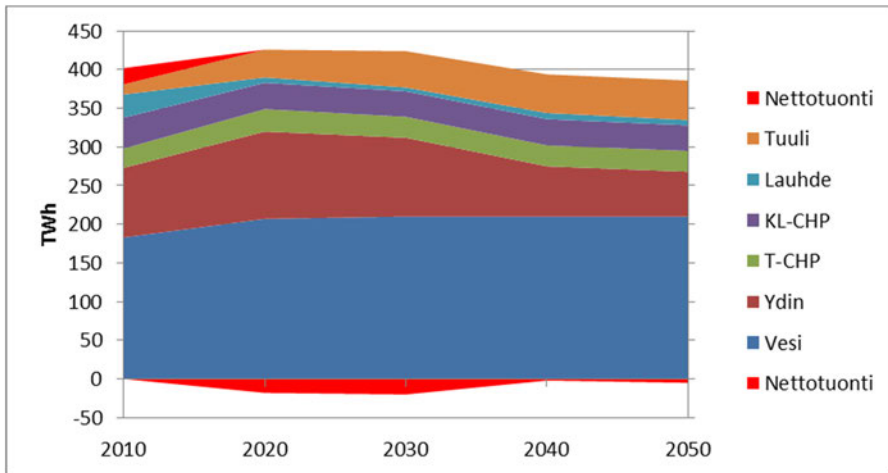
Suomen arvioitu kapasiteettikehitys esitetään kuvassa (Kuva 37). Tuulivoiman lisäys tapahtuu pääosin vuoteen 2020 mennessä, jonka jälkeen lisäystä tulee alle 50 MW per vuosi. Lauhdevoimassa tapahtuu voimakasta poistumista, mutta jonkin verran uutta kapasiteettia rakennetaan vuoden 2035 jälkeen. Yhteistuotannon tuotantokapasiteetti vähenee n. 20 % välillä 2020–2050.



**Kuva 37.** Arvio Suomen sähköntuotantokapasiteetin kehityksestä 2010–2050. KL-CHP on kaukolämmön ja T-CHP on teollisuuden yhteistuotantosähköä.

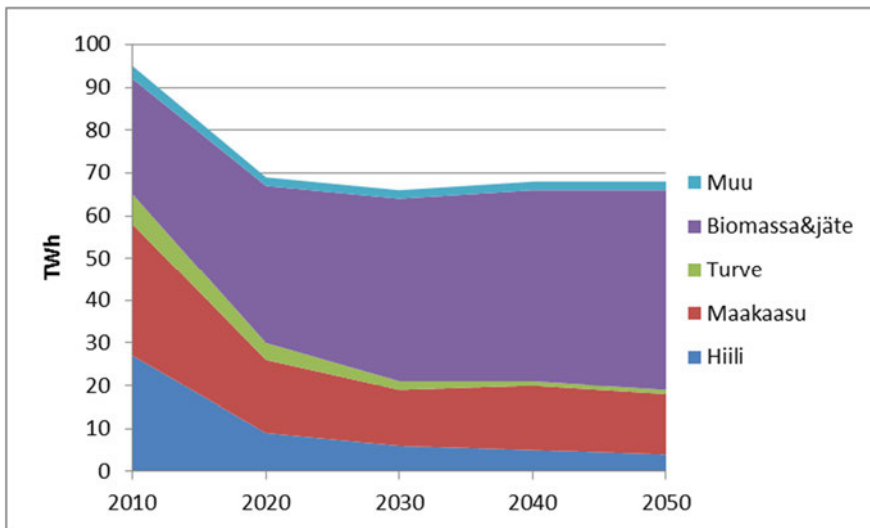
### 6.2.4 Sähkön tuotanto tuotantomuodoittain ja energialähteittäin

Sähkön tuotantotavat kehittyvät MH-mallin tulosten perusteella kuvan (Kuva 38) mukaisesti. Vuoden 2010 vesivoimatuotanto on laskettu todellisen vesivirtaaman, joka oli normaalivuotta alhaisempi, mukaan ja muulloin normaalivesivuoden mukaan. Merkille pantavaa on lauhdevoimatuotannon väheneminen lähes olemattomiin. Todellisuudessa lauhdetuotantoa esiintyisi enemmän, sillä MH-malli ei esimerkiksi mallinna tuulivoiman stokastisuutta eikä markkina-alueen sisäisiä pullonkauloja. Tulokset kuitenkin kertovat siitä, että näillä kapasiteetti- ja kysyntäoletuksilla lauhdetuotannon rooli siirtyy entistä enemmän marginaaliin, huipputehon tuotantoon ja tuotannon säätöön. Markkina-alueen ylijäämän ansiosta huonotkaan vesivuodet eivät pakottaisi kovin suuriin nettotuonteihin tai lauhdetuotantoihin vuosina 2020 ja 2030. Tapauksessa, jossa ruotsalaisia ydinvoimaloita ei korvata millään tavalla, Pohjoismaat muuttuisivat sähkön nettotuojiksi vuonna 2040 ja 2050 samalla kuin lauhdetuotanto kasvaisi parilla kolmella TWh:lla.



**Kuva 38.** MH-mallin mukainen sähkön tuotanto tuotantomuodoittain Pohjoismaissa 2010–2050 mukaan lukien nettotuonti.

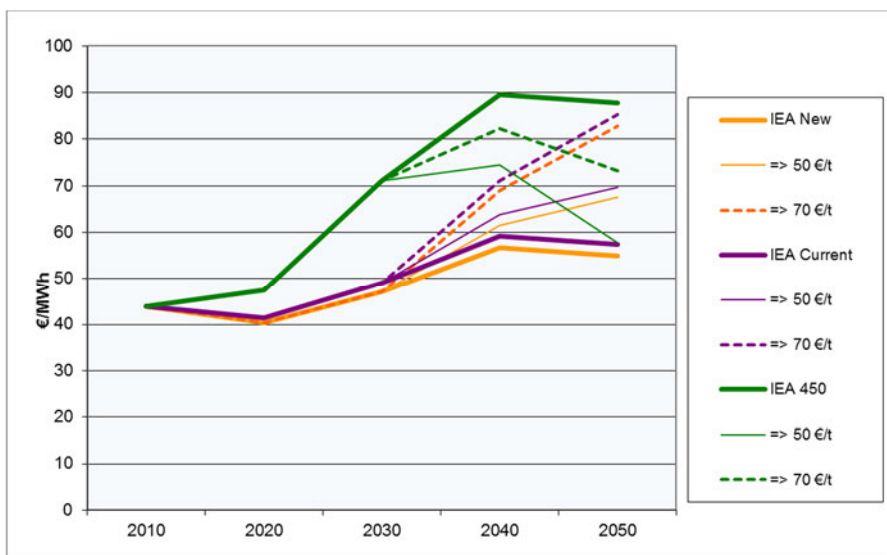
Tarkasteltaessa lämpövoimalaitoksissa tuotettua sähköä polttoaineittain vuosina 2010–2050 (Kuva 39) nähdään, että bioenergian käyttö kasvaa voimakkaasti samalla, kuin hiilen ja turpeen käyttö vähenee.



**Kuva 39.** MH-mallin mukainen lämpövoimalaitosten sähkön tuotanto polttoaineittain Pohjoismaissa 2010–2050. Muihin polttoaineisiin luetaan tässä öljy, masuunikaasu ja määrittelemättömät.

### 6.2.5 Markkinahinnan herkkyystarkastelut

Tutkimuksessa tarkasteltiin myös markkinahinnan herkkyyttä päästöoikeushinnan vaihteluihin. Perusskenaarioissa päästöoikeuden hintahan pysyy vakiona vuoden 2035 jälkeen. Kullekin IEA-hintaskenaariolle laskettiin kaksi vaihtoehtoista skenaariota, jossa päästöoikeuden hinta muuttuu asteittain vuodesta 2035 vuoteen 2050 tasolle 50 €/t tai 70 €/t. Tuloksista (Kuva 40) nähdään päästöoikeusmaksun suuri merkitys sähkön markkinahintaan, vaikkei lauhdetuotannolle ole juuri kysyntää esim. IEA New-skenaariossa, tosin siinäkin päästöoikeuden hinnan nousu lisää lauhdetuotantoa ja vientiä Pohjoismaiden ulkopuolelle.



**Kuva 40.** Pohjoismaisen markkinahinnan herkkyystarkastelua 2040–2050 päästöoikeuden hinnan suhteen eri IEA:n hintaskenaarioissa.

### 6.2.6 Yhteenveto

Sähkön markkinahinta alenee vuoteen 2020 mentäessä muun muassa voimakkaan uusiutuviin energioihin suuntautuvan panostuksen takia mutta myös ydinvoimassa tapahtuvien tehonkorotusten ja uusien laitosten myötä. Vuoden 2020 jälkeen sähkön markkinahinta siirtyy nousu-uralle polttoaine- ja päästöoikeushintojen vetämänä. Vuoden 2040 jälkeen markkinahintaa alentaa kulutuksen pienentyminen ja uusiutuvien energiaressurssien lisääntyvä hyödyntäminen. Pohjoismaissa Ruotsin ydinvoiman tulevaisuusnäkymät painavat vaa'assa paljon: ajettaessa ydinvoima kokonaan alas hinta nousee 20 €/MWh verrattuna siihen, että kapasiteettia pidettäisiin muuttumattomana eli karkeasti 1 000 MW perusvoimaa vastaa noin 2 €/MWh markkinahinnassa.

Kaiken kaikkiaan, polttoaineiden ja päästöoikeuden hintakehityksellä tulee olemaan merkittävä vaikutus sähkön markkinahintaan myös tulevaisuudessa, vaikka fossiilisilla polttoaineilla tuotetun sähkön määrää alenee noin viiteen prosenttiin jo lähivuosikymmeninä nykyisillä kulutustasoilla.

Tarve lauhdevoimalaitoksille tulee entistä enemmän lyhytaikaisen vaihtelun eli tuulivoiman tasaamistarpeesta energiatuotantotarpeen vähentyessä. Huippukulutuksen tuotantotarve tai huonojen vesivuosien tasaustarve pienentyy koko ajan. Onkin hyvä pohtia, hyötyisikö sähköntuotantojärjestelmä siitä, että lisättäisiin yhteistuotantolaitosten lauhdetuotantokykyä esimerkiksi siirtymällä enenevässä määrin vastapainelaitoksista väliottovoimalaitoksiin kuin myös apulauhduksiin.

## 7. Johtopäätökset

SALKKU-hankkeessa tarkasteltiin energialiiketoimintaan liittyviä globaaleja ja alueellisia megatrendejä, joita ajavat nopea talouden kasvu erityisesti kehittyvän Aasian maissa, rajalliset energiaresurssit, energiamarkkinoiden kehitys sekä ilmastomuutoksen hillintä ja sitä myöden uuden, vähäpäästöisen energiateknologian kehitys ja käyttöönotto. Energian kulutuksen on arvioitu kasvavan talouden ja väestönkasvun myötä huolimatta ohjaavista poliittisista toimenpiteistä ja kasvavasta energian hinnasta. Fossiiliset energialähteet tulevat myös tulevaisuudessa olemaan pääasiallinen energialähde, vaikka uusiutuvien energialähteiden käyttö kasvaisikin merkittävästi tulevaisuudessa. Uusiutuvien energialähteiden käytön merkittävää lisäystä rajoittavat monet tekijät, jotka usein liittyvät sosiaalisiin ja ekologisiin näkökulmiin. Esimerkiksi bioenergian tuotannon merkittävä lisäys vaatii peltoalan hyödyntämistä energiakasvien tuotantoon, joka kilpailee ruoantuotannon kanssa. Edellä esitettyjä asiakokonaisuuksia on tutkittu eri mallinnus- ja laskentamenetelmin hyödyntäen aiemman SEKKI-hankkeen tuloksia tarkastelujen lähtökohtina. Energiamarkkinatarkasteluissa on lisäksi tutkittu merikuljetusten ja kuljetusmarkkinoiden kehitystä, joka on tuonut myös uutta näkökulmaa markkinatarkasteluihin.

Aasian kehittyvillä talouksilla tulee olemaan merkittävä vaikutus maailman energian kysynnän kehitykseen tulevina vuosikymmeninä ja siten Aasian kehityksen arviointi on erittäin tärkeää myös kansainvälisen ilmastopoliitikan ja globaalien energiamarkkinoiden kannalta. Nopeasti kasvavien Aasian talouksien pitkän aikavälin kehityksessä sekä kasvun nopeudessa ja painottumisessa on huomattavia epävarmuuksia, jonka vuoksi kehitystä arvioitiin useilla eri malleilla 20 organisaation toimesta hankkeessa Asian Modelling Exercise (AME), johon myös VTT osallistui. VTT:n skenaariolaskelmat tehtiin VTT:n globaalilla TIMES-energiajärjestelmämallilla, joka on alun perin kehitetty IEA:n ETSAP-yhteistyössä. VTT:ssä tehtiin yhteisten skenaariolaskelmien lisäksi myös herkkyystarkasteluja, joissa oletettiin asumisen, palvelujen ja liikenteen energian kysynnän kasvavan Aasian kasvavissa talouksissa VTT:n tuolloisessa mallissa käytettyjä perusoletuksia nopeammin. TIMES-mallin tulosten mukaan koko maailman primäärienergian kulutus kasvaa vuoteen 2050 mennessä Baseline-skenaariossa lähes kaksinkertaiseksi vuoden 2005 tasosta, mutta politiikkaskenaarioissa kasvu jää kyseisenä aikavälinä alimillaan vain 41 %:iin. Tulosten mukaan fossiilisten polttoaineiden globaali kysyntä



kasvaa Baseline-skenaariossa tasaisesti vuoteen 2050 ja sen jälkeenkin, mutta kysyntä kääntyy politiikkaskenaarioissa laskuun jo ennen vuotta 2050. Voimakaimmin politiikkaskenaarioissa vähenevät perusuraan verrattuna kivihiilen ja öljyn käyttö, joista öljyn kulutus supistuu vuoteen 2050 mennessä useissa skenaarioissa jo selvästi alle nykytason. Kivihiilen ja maakaasun käyttö pysyy kuitenkin alimillaankin suunnilleen vuoden 2005 tasolla vuoteen 2050 saakka. Puubiomassan energiakäyttö vähenee maailmanlaajuisesti jonkin verran vuoteen 2020 mennessä, sillä joillakin alueilla kestävä kehityksen mukaiset käyttötasot ylittyvät jo nykyisin, ja tätä ei skenaario-oletusten mukaan pidemmällä aikavälillä sallittu. Sen sijaan muun biomassan (erityisesti energiakasvit ja maatalouden sivutuotteet) käyttö kasvaa voimakkaasti politiikkaskenaarioissa. Oletetut pelto-biomassojen tuotantopotentiaalit perustuvat pääosin MTT:ssä laadittuihin arvioihin.

TIMES-mallilla tehdyissä tarkasteluissa investoinnit toteutuvat ”optimaalisesti” ilman rajoituksia esimerkiksi pääoman suhteen. IIASA-yhteistyössä tarkasteltujen skenaarioiden perusteella pääomarajoitteella ja -hinnalla on merkittävä rooli investointien toteutumisella kehittyvissä maissa, etenkin ilmastotavoitteiden kannalta. Tutkimuksessa muodostettujen pääoman tarjontakäyrien perusteella pääomaa olisi periaatteessa riittävällä tasolla aiemmin esitettyjen sähköistämistavoitteiden täyttämiseksi, ja pääoman hinnan vaikutus sähkön hintaan olisi maltillinen. Pääoman korkea hinta vaikuttaa kuitenkin huomattavasti tuotantoteknologioiden valintaan, suosien vähemmän pääomavaltaisia fossiilisia tuotantoteknologioita. Siten mahdollisesti tulevaisuudessa myös kehittyviä maita koskevat tavoitteet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi ovat haasteellisempia kuin mitä useissa aiemmissä tutkimuksissa on oletettu. Kansainvälisellä ilmastopolitiikalla voi olla kuitenkin myös merkittävä rooli investointipääoman muodostumisessa, sillä toteuttaessaan päästövähennyksiä osana globaalia ilmastosopimusta kehittyvät maat voivat myös saada merkittäviä tuloja kansainvälisen päästökaupan kautta. Aiemmissä tätä aihetta tarkastelevissa skenaarioissa (esim. den Elzen et al. 2005, 2008; Persson et al. 2006; Ekholm et al. 2010) tulojen on arvioitu vaihtelevan tasosta 0,1 % BKT:sta jopa 4,9 % tasolle. Eräs merkittävä aihe tuleville tutkimuksille olisikin, miten tällainen ilmatorahoitus kanavoituu kehittyvien maiden talouteen ja energia-investointeihin.

EU:n vähähiilisiä polkuja tarkasteltiin EMF EU28 -skenaariotyössä useiden eri organisaatioiden toimesta ja eri malleilla. Kaikissa esitetyissä skenaarioissa primäärienergian kulutus ja fossiilisen polttoaineen osuus primäärienergiankulutuksesta kääntyy laskuun kasvavan energian hinnan myötä. Toisin kuin primäärienergian kulutus, sähkön kulutus kasvaa kaikissa skenaarioissa. Ääritapauksena on ”Green” (EU10) -skenaario, jossa sähkönkulutus lähes kaksinkertaistuu referenssivuoteen 2010 verrattuna ja jossa sähköntuotanto perustuu lähes 100 prosenttisesti uusiutuvaan energiaan. Tässä skenaariossa investointeja ydinvoimaan ja CCS:ään ei sallittu, jonka vuoksi (aurinko)sähkön tuonti Afrikasta ja Lähi-idästä kasvoi merkittävästi.

Fossiilisten polttoaineiden reservit riittävät ainakin puoli vuosisataa ja hyödynnettävät resurssit huomioiden vähintään puolitoista vuosisataa polttoaineittain

kasvavallakin kulutuksella. Hiiliresurssien ansiosta fossiiliset varat riittävät kattamaan yli tuhannen vuoden kulutusta olettaen polttoaineet vaihtokelpoisiksi.

Fossiilisten polttoaineiden kulutus kasvaa, mutta painopiste on kehittyvissä maissa ja erityisesti Aasiassa. Euroopassa eri direktiivit ajavat kulutusta pois varsinkin hiilestä ja öljystä. Maakaasun tuotannon hiipuminen, tuontiriippuvuuden lisääntyminen ja korkea hinta Euroopassa eivät sinänsä rohkaise siihenkään panostamiseen, mutta esimerkiksi LNG:n tuontikapasiteetin lisääminen tai paikallisten liuskekaasuvarojen hyödyntämisen aloittaminen muuttaisi tilannetta. Toisaalta AME-skenaariotarkasteluissa maakaasun globaali kulutus säilyi selvällä kasvurallalla myös ilmastonmuutosta hillitsevissä politiikkaskenaarioissa.

USA:n palautuva maakaasumavaraisuus on muuttanut LNG-markkinoita ostajan markkinoiksi jopa keskipitkällä tähtäimellä, mitä antanee Euroopalle mahdollisuuden edullisempaan LNG-tuontiin Lähi-idästä, ellei Aasian kasvava kysyntä ime Lähi-idän resurssivirtaa pääasiassa sinne. Venäjän valtavat, joskin suurelta osin hankalasti hyödynnettävät kaasuvarat olemassa olevien putkiyhteyksien päässä takaavat sen, että se säilyy Euroopan merkittävimpänä kaasuntoimittajana myös tulevaisuudessa.

Liuskekaasusta ei välttämättä tule Euroopalle merkittävää tekijää epäedullisten sekä geologisten, ympäristöllisten, lainsäädännöllisten ja kustannuksellisten olosuhteiden että ennen kaikkea not-in-my-back-yard-tyyppisten poliittisten kompastuskivien vuoksi. Liuskekaasun hyödyntäminen vaatii paljon uutta poraus- ja kaivokalustoa. Euroopasta löytyvä nykyinen kalusto on täysin riittämätön, jos liuskekaasua aiotaan hyödyntää, mikä voi tarjota hyvin paikan eurooppalaisille nopeille toimijoille. Toisaalta tietotaito on paljolti USA:n energiayhtiöiden käsissä, samoin kuin esimerkiksi Puolan etsintäoikeudet, jolloin riskinä on, että tarvittava uusi kalusto hankitaan ko. yritysten vanhoilta toimittajilta.

Biopolttoaineen lisääntynyt tuotanto aiheuttaa niin suoria kuin epäsuoria muutoksia maan käyttöön. Suorilla muutoksilla tarkoitetaan uuden maan käyttöönottoa biopolttoaineiden tuotantoon. Epäsuorat maan käytön muutokset johtuvat siitä, että biopolttoaineiden tuotantoon otetaan maata käyttöön jo maatalousmaana käytettävästä maasta, jolloin sen tuotanto syrjäyttää ruuan, rehun sekä kuidun tuottamiseen tarvittavaa maa-alaa. Biopolttoaineskenaarioiden vaatima peltoala verrattuna maailman vuoden 2000 korjuualaan on huomattava (ks. kuva 15), vuoteen 2020 mennessä 30–55 %, vuoteen 2030 mennessä 32–75 % ja vuoteen 2050 mennessä 30–70 %. Bioenergian tuotantoon vapautuvien peltojen ala riippuu eniten ihmisten ruokavaliosta. Kasvisruokavalio säästäisi niin paljon viljelyalaa, että suurin osa tutkimuksessa olevista maista pystyisi jo tällä hetkellä viljelemään bioenergiakasveja yli puolella peltoalastaan, jos kehitys sujuisi myönteisesti sekä tuotannon että kulutuksen osalta. Lihapitoista ruokavaliota ei otettu tässä tutkimuksessa lainkaan huomioon, mutta jo sekaruokavaliion vaikutus on dramaattinen. Sekaruokadieetillä suurimmalla osalla maista voitaisiin siirtää alle puolet peltoalasta bioenergian tuotantoon hyvänkin kehityksen oloissa eikä useissa maissa bioenergian tuotantoon jäisi ollenkaan peltoalaa. Tulevaisuudessa tilanne paranee hiukan bioenergian tuotannon kannalta, kun teknologian ja kasvinjalostuksen kehitys parantavat tuotanto-oloja ja satoja etenkin entisen Neuvostoliin-

ton maissa ja joissakin maissa, etenkin Pohjois-Euroopassa, myös ilmastonmuutos vaikuttaa myönteisesti, kun se ei etene kovin voimakkaasti. Samalla useimpien tarkastelussa olevien maiden väkiluku nousee vain vähän, mikä osaltaan vapauttaa peltoja ruoantuotannosta. Peltokasvien sivutuotteiden potentiaalista valtaosa, 70–90 %, koostuu kaikissa tarkastelluissa maissa viljakasvien oljista. Suurimmat sivutuotemäärät löytyvät Länsi-Euroopassa suuruusjärjestyksessä Ranskasta, Saksasta, Isosta-Britanniasta, Italiasta ja Espanjasta. Itä-Euroopassa suurimpia ovat Venäjän Euroopan puoliset osat, Ukraina ja Puola. Ukrainan ja Venäjän nyt suhteellisen heikkojen satojen arvellaan kasvavan tulevaisuudessa nopeasti. Pohjoismaissa suurin sivutuotemäärä muodostuu Tanskassa, jossa sitä myös hyödynnetään energiaksi jo varsin hyvin, ehkä parhaiten maailmassa. Myös nurmia voitaisiin hyödyntää bioenergian tuotannossa. Nurmen osuus maatalousmaasta vaihtelee voimakkaasti maittain: Bulgariassa nurmia on noin 11 prosenttia maatalousmaasta ja Irlannissa yli yhdeksänkymmentä prosenttia. Suurin nurmien energiapotentiaali nykyisen nurmialan ja kotieläintuotannon nurmialasta lienee Euroopan maista Isolla-Britannialla ja Ranskalla.

Merikuljetusten kysyntää ohjaavat maailmantalous, meritse tapahtuva tavara-kauppa, keskimääräinen kuljetusmatka, satunnaishokit ja kuljetuskustannukset. Merikuljetusten kokonaismäärä vuonna 2010 oli 8 408 Mt, josta energiahyödykkeet muodostivat vajaa puolet. Näistä suurimmat luokat muodostivat öljyn kuljetukset (2 752 Mt) ja hiilen kuljetukset (904 Mt). LNG:n kuljetukset vuonna 2010 oli 220 Mt (298 bcm). Bioenergiahyödykkeiden merikuljetusmäärät ovat pieniä verrattuna ”perinteisiin” fossiilisiin polttoaineisiin, esimerkiksi pellettien tuonti EU:n alueelle vuonna 2010 oli noin 2,5 Mt, josta merikuljetukset Kanadasta ja Yhdysvalloista muodostivat kaksi kolmasosaa.

Muun muassa matka, kuljetuksen nopeus ja aluksen koko vaikuttavat yksittäisten kuljetusten kustannuksiin ja hintoihin. Tyypillisesti öljyllä on energiahyödykkeistä pienin merikuljetuskustannus suhteessa tuotteen arvoon. Öljyn merikuljetuskustannukset ovat usein maksimissaan 10 %:n luokkaa tuotteen arvosta. Suhteessa suurimmat kuljetuskustannukset ovat pellettien, hakkeen, hiilen ja LNG:n merikuljetuksilla. Esimerkiksi LNG:n kuljetuskustannusten osuus on ollut tyypillisesti 10–30 %. Merikuljetusten hintakehityksessä on tyypillisesti nähtävissä syklejä. Merikuljetusten yleisessä hintakehityksessä vuosien 2003–2008 välillä tapahtui voimakkaita nousuja, ja useat hintoja kuvaavat indeksit nousivat kaikkien aikojen ennätyksiin. Vuosien 2009–2011 rahtihintataso oli alhainen. LNG-kuljetusten hintakehitys on viime vuosina ollut yleisestä hintakehityksestä poikkeavaa, ja ne nousivat kaikkien aikojen ennätykseensä vuonna 2011.

Energiahyödykkeiden merikuljetuksissa käytettävien alusten koot vaihtelevat muutamien tuhansien tonnien lyhyen matkan pellettikuljetuksista useiden satojen tuhannen tonnien pitkän matkan raakaöljytankkereihin. Suuremmat alukset operoivat yleensä pidemmillä matkoilla ja pienemmät lyhyemmillä. Skaalaedut, joilla aluskoon kasvattamisella pienennetään yksikköä kohti laskettuja kuljetuskustannuksia, ovat olleet merkittävä tekijä merikuljetusten kustannusten kehittymisessä. Laivojen koon kasvattamista voivat rajoittaa väylä- ja kanavainfrastruktuuri sekä satamien ja terminaalien ominaisuudet, ja toisaalta pienemmät laivat voivat sopeutua

paremmin kysynnän vaihteluihin. Poliittikatoimenpiteet meriliikenteen ympäristövaikutusten, kuten CO<sub>2</sub>-päästöjen sekä rikkipäästöjen vähentämiseksi ovat merkittäviä lähitulevaisuudessa rahdin kustannuksiin ja hintaan vaikuttavia tekijöitä.

Sähkömarkkinamallilla tehdyissä tarkasteluissa sähkön markkinahinta alenee Pohjoismaissa vuoteen 2020 mentäessä muun muassa voimakkaan, uusiutuviin energioihin suuntautuvan panostuksen takia mutta myös ydinvoimassa tapahtuvien tehonkorotusten ja uusien laitosten myötä. Vuoden 2020 jälkeen sähkön markkinahinta siirtyy nousu-uralle polttoaine- ja päästöoikeushintojen vetämänä. Vuoden 2040 jälkeen markkinahintaa alentaa kulutuksen pienentyminen ja uusiutuvien energiaresurssien lisääntyvä hyödyntäminen. Kaiken kaikkiaan, polttoaineiden ja päästöoikeuden hintakehityksellä tulee olemaan merkittävä vaikutus sähkön markkinahintaan myös tulevaisuudessa, vaikka fossiilisilla polttoaineilla tuotetun sähkön määrää alenee noin viiteen prosenttiin jo lähivuosisikymmeninä. Pohjoismaissa Ruotsin ydinvoiman tulevaisuusnäkyvät painavat myös vaa’assa paljon: ajettaessa sikäläinen ydinvoima kokonaan alas hinta nousee 20 €/MWh:lla verrattuna siihen, että kapasiteettia pidettäisiin muuttumattomana. Karkeasti 1 000 MW perusvoimaa vastaa noin 2 €/MWh markkinahinnassa.

Tarve lauhdevoimalaitoksille tulee entistä enemmän lyhytaikaisen vaihtelun eli tuulivoiman tasaamistarpeesta energiatuotantotarpeen vähentyessä. Huippukulutuksen aikainen tuotantotarve tai huonojen vesivuosien tasaustarve pienentyy koko ajan. Onkin hyvä pohtia, hyötyisikö sähköntuotantojärjestelmä siitä, että lisättäisiin yhteistuotantolaitosten lauhdetuotantokykyä esimerkiksi siirtymällä enenevässä määrin vastapainelaitoksista väliottovoimalaitoksiin.

## Lähdeluettelo

- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 2045. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>.
- ANON. 2010. Brazil has revolutionised its own farms. Can it do the same for others? The Economist 26.8.2010 <http://economist.com/node/16886442>.
- BGR 2010. Energy Resources 2009. Reserves, Resources, Availability. Crude Oil, Natural Gas, Coal, Nuclear Fuels, Geothermal Energy. Status 10.11.2009. Translation of the German Study. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). [http://www.bgr.bund.de/clin\\_144/nn\\_335074/EN/Themen/Energie/Produkte/energyresources\\_2009.html?\\_nnn=true](http://www.bgr.bund.de/clin_144/nn_335074/EN/Themen/Energie/Produkte/energyresources_2009.html?_nnn=true).
- Blanco-Canqui, H. & Lal, R. 2009. Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. Critical Reviews in Plant Science 28, s. 139–163.
- BP 2011. BP Statistical Review of World Energy 2011. <http://www.bp.com/>.
- BP 2012. BP Energy Outlook 2030. London, January 2012. <http://www.bp.com/>.
- Bradley, D., Diesenreiter, F., Wild, M. & Tromborg, E. 2009. World biofuel maritime shipping study. For IEA Task 40. <http://www.bioenergytrade.org/downloads/worldbiofuelmaritimeshippingstudyjuly120092df.pdf>.
- Campbell, J.E., Lobell, D.B., Genova, R.C. & Field, C.B. 2008. The global potential of bioenergy on abandoned agricultural lands. Environmental Science & Technology 42, s. 5791–5794.
- Cocchi, M. et al. 2011. Global wood pellet industry market and trade study. IEA Bioenergy Task 40: Sustainable International Bioenergy trade. [http://www.bioenergytrade.org/downloads/t40-global-wood-pellet-market-study\\_final.pdf](http://www.bioenergytrade.org/downloads/t40-global-wood-pellet-market-study_final.pdf).
- Damodaran, A. 2011. Country Default Spreads and Risk Premiums, [http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New\\_Home\\_Page/datafile/ctrypre m.html](http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/ctrypre m.html), viitattu 16.6.2011.

- den Elzen, M., Lucas, P. & van Vuuren, D. 2005. Abatement costs of post-Kyoto climate regimes. *Energy Policy* 33, s. 2138–2151.
- den Elzen, M.G.J., Lucas, P.L & van Vuuren D.P. 2008. Regional abatement action and costs under allocation schemes for emission allowances for achieving low CO<sub>2</sub>-equivalent concentrations. *Climatic Change* 90, s. 243–268.
- Edwards, R.A.H., Suri, M., Huld, T.A. & Dallemand, J.F. 2005. GIS-based assessment of cereal straw energy resource in the European Union. *Proceedings of the 14th European Biomass Conference & Exhibition. Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*, 17.–21. October 2005, Paris.
- EER May 9, 2011. No shale gas revolution in Europe? *European Energy Review*, May 9, 2011. Internet newsletter. Castel publishers.
- Ekholm, T., Soimakallio, S., Moltmann, S., Höhne, N., Syri, S., Savolainen, I. 2010. Effort sharing in ambitious, global climate change mitigation scenarios. *Energy Policy* 38, s. 1797–1810.
- EP 2011. Liuskekaasun ja -öljyn tuotannon vaikutukset ympäristöön ja ihmisten terveyteen. Lechtenböhmer, S., Altmann, M., Capito, S., Matra, Z., Weindorf, W. & Zittel, W. Euroopan parlamentin ympäristön, kansainterveyden ja elintarvikkeiden turvallisuuden valiokunta (ENVI), Euroopan parlamentti, kesäkuu 2011. IP/A/ENVI/ST/2011-07. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/envi/2011/464425/IPOL-ENVI\\_ET\(2011\)464425\(PAR11\)\\_FI.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/envi/2011/464425/IPOL-ENVI_ET(2011)464425(PAR11)_FI.pdf).
- EU 2011a. Euroopan komissio. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle. Etenemissuunnitelma – siirtyminen kilpailukykyiseen vähähiiliseen talouteen vuonna 2050. Bryssel 8.3.2011. KOM(2011) 112 lopullinen. 16 s. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0112:FIN:FI:PDF>.
- EU 2011b. European Commission. Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of Regions. A resource-efficient Europe – Flagship initiative under the Europe 2020 Strategy. Brussels, 26.1.2011.

- COM(2011) 21. 16 p. [http://ec.europa.eu/resource-efficient-europe/pdf/resource\\_efficient\\_europe\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/resource-efficient-europe/pdf/resource_efficient_europe_en.pdf).
- Euracoal 2010. European association for coal and lignite. <http://www.euracoal.org/>.
- Ewert, F., Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Metzger, M.J. & Leemans, R. 2005. Future scenarios of European agricultural land use I. Estimating changes in crop productivity. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 107, s. 101–116.
- FAPRI-ISU 2011. World Agricultural Outlook. Published by the Food and Agricultural Policy Research Institute with centers at Iowa State University, Ames, and the University of Missouri, Columbia. <http://www.fapri.iastate.edu/outlook/2011/>.
- Fernandez, P., Aguirreamalloa, J. & Avendaño, L.C. 2011. Market Risk Premium Used in 56 Countries in 2011: A Survey with 6,014 Answers. Working Paper WP-920, IESE Business School, University of Navarra.
- Finley, M. 2012. The Oil Market to 2030 – Implications for Investment and Policy. *Economics of Energy and Environmental Policy*. 1(1), s. 25-36.
- Fischer, G. 2009. World Food and Agriculture to 2030/50: How do climate change and bioenergy alter the long-term outlook for food, agriculture and resource availability? In proceedings FAO Expert Meeting on How to Feed the World in 2050. Tulostettu 27.08.2011. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/ak542e/ak542e00.pdf>.
- Foster, V. 2008. Africa Infrastructure Country Diagnostic, Overhauling the Engine of Growth: Infrastructure in Africa, World Bank.
- Graham, R.L., Nelson, R., Sheehan, J., Perlack, R.D. & Wright, L.L. 2007. Current and potential U.S. corn stover supplies. *Agronomy Journal* 99, s. 1–11.
- Gromov 2009. Strategic development of the Russian gas industry for the year 2030. International seminar “Natural gas markets” 2009 Grenoble, France. <http://www.energystrategy.ru>.
- Hakala, K., Kontturi, M. & Pahkala, K. 2009. Field biomass as global energy source. *Agricultural and Food Science* 18, s. 347–365.

- Höök, M., Zittel, W., Schindler, J. & Aleklett, K. 2010. Global coal production outlooks based on a logistic model. *Fuel*. Vol. 89, Issue 11, November 2010, s. 3546–3558.
- IEA 2009. *World Energy Outlook 2009*. International Energy Agency. OECD/IEA 2009.
- IEA 2010. *World Energy Outlook 2010*. International Energy Agency. OECD/IEA 2010.
- IEA 2011. *World Energy Outlook 2011*. International Energy Agency. OECD/IEA 2011.
- IEA COAL 2010. *Coal Information (2010 Edition)*. International Energy Agency. OECD/IEA 2010.
- IEA GAS 2011. *Are we entering a golden age of gas? World energy outlook 2011/ Special report*. International Energy Agency. OECD/IEA 2011.
- IPCC SRREN 2011. Chum, H., Faaij, A., Moreira, J., Berndes, G., Dhamija, P., Dong, H., Gabrielle, B., Goss Eng, A., Lucht, W., Mapako, M., Masera Cerutti, O., McIntyre, T., Minowa, T. & Pingoud, K. 2011. *Bioenergy*. In: *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlomer, C. von Stechow (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. [http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC\\_SRREN\\_Ch02.pdf](http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Ch02.pdf).
- International Energy Agency (IEA). 2003. *Power Generation Investment in Electricity Markets*.
- Karvonen, T. & Makkonen, T. 2009. *Aluskustannukset 2009. Merenkululaitoksen julkaisu* 3/2009. [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf5/mkl\\_2009-3\\_aluskustannukset\\_2009.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf5/mkl_2009-3_aluskustannukset_2009.pdf).
- Kefferpütz 2010. *Shale Fever: Replicating the US gas revolution in the EU?* Kefferpütz, R. CEPS Policy brief no. 210, June 2010. Centre for European Policy Studies, Brussels, 2010. Saatavilla: <http://www.ceps.eu/book/shale-fever-replicating-us-gas-revolution-eu>.



- Koljonen, T., Ruska, M., Pahkala, K., Flyktman, M., Forsström, J., Kiviluoma, J., Kirkinen, J. & Lehtilä, A. 2009. Energiaresurssit ja -markkinat. VTT Tiedotteita 2489. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2489.pdf>.
- Korn 2010. Prospects for unconventional gas in Europe. Korn, A. E.ON 2010. Powerpoint-esitys pidetty 5.2.2010. [http://www.eon.com/de/download/ir/20100205\\_Unconventional\\_gas\\_in\\_Europe.pdf](http://www.eon.com/de/download/ir/20100205_Unconventional_gas_in_Europe.pdf).
- Lamers, P., Hamelinck, C., Junginger, M. & Faaij, A. 2011. International bioenergy trade – A review of past developments in the liquid biofuel market. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, s. 2655–2676.
- Lamers, P., Junginger, M., Hamelinck, C. & Faaij, A. 2012. Developments in international solid biofuel trade – an analysis of volumes, policies, and market factors. Accepted for publication in *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. DOI:10.1016/j.rser.2012.02.027.
- Lötjönen, T. & Knuutila, K. (toim.) 2009. Pelloilta energiaa – opas ruokohelven käyttäjille. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Jyväskylä Innovation. 44 s.
- Metzger, M.J., Bunce, R.G.H., Jongman, R.H.G., Mucher, C.A. & Watkins, J.W. 2005. A climatic stratification of the environment of Europe. *Global Ecology and Biogeography* 14, s. 549–563.
- Mohr, S.H. 2010. Projection of world fossil fuel production with supply and demand interactions, Ph.D. Thesis, the University of Newcastle Australia 2010.
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Jung, T.Y., Kram, T., La Rovere, E.L., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Raihi, K., Roehrl, A., Rogner, H.-H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N. & Dadi, Z. 2000. Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Niemeläinen, O. 2012a. Nurmien potentiaalinen biomassa bioenergian tuotantoon Euroopassa. In MTT Raportti 14/2012 Peltobiomassat tulevaisuuden energiaresurssina. Käsikirjoitus.

- Niemeläinen, O. 2012b. Mahdollisuudet bioenergian tuotantoon kehittyvillä alueilla – onko case Brasilia sovellettavissa muualle? In MTT Raportti 14/2012 Pel-tobiomassat tulevaisuuden energiaresurssina. Käsikirjoitus.
- Niemeläinen, O., Virkkunen, E., Jauhainen, L. & Lötjönen, T. 2012. Kuinka paljon viherkesanto- ja hoidettu viljelemätön pelto -lohkoilla olisi sato biokaasun tuotantoon? Maataloustieteen Päivät 2012. [http://www.smts.fi/Kasvintuotanto\\_jalostuu/Niemelainen\\_Kuinka%20paljon.pdf](http://www.smts.fi/Kasvintuotanto_jalostuu/Niemelainen_Kuinka%20paljon.pdf).
- Nikolaisen, L., Nielsen, C., Larsen, M.G, Nielsen, V., Zielke, U., Kristensen, J.K. & Holm-Christensen, B. 1998. Straw for energy production. Technology – Environment – Economy. Second Edition. The Centre for Biomass Technology, Denmark.
- Oil&Gas Journal 2011. Oil&Gas Journal. PennWell Corporation.
- Olesen, J.E. & Bindi, M. 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. European Journal of Agronomy 16, s. 239–262.
- Orava, R. 1980. Oljen korjuu ja käyttö maataloilla. Työtehoseuran julkaisuja 226.
- Pahkala, K., Hakala, K., Kontturi, M. & Niemeläinen, O. 2009. Peltobiomassat globaalina energianlähteenä. Maa- ja elintarviketalous 137.
- Paillard, S., Treyer, S. & Dorin, B. (coordinators) 2011. Agrimonde: Scenarios and Challenges for Feeding the World in 2050. Editions Quae (Cirad and INRA), France.
- Parry, M.L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M. & Fischer, G. 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. Global Environmental Change 14, s. 53–67.
- Penning de Vries, F.W.T, Rabbinge, R. & Groot, J.J.R. 1997. Potential and attainable food production and food security in different regions. Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences 352, s. 917–928.

- Persson, T.A., Azar, C. & Lindgren, K. 2006. Allocation of CO<sub>2</sub> emission permits – Economic incentives for emission reductions in developing countries. *Energy Policy* 34, s. 1889–1899.
- Powelson, D., Glendining, M., Coleman, K. & Whitmore, A. 2011. Implications for soil properties of removing cereal straw: Results from long-term studies. *Agronomy Journal* 103, s. 279–287.
- Prochnow, A., Pöchl, M., Jacobs, H., Heierman, M. & Idler, C. 2007. Potential of grassland in the EU to renewable resources. NJF Report 3: 4, s. 31–36. <http://www.njf.nu/site/redirect.asp?p=3743>.
- Prochnow, A., Heiermann, M., Phlöchl, M., Linke, B., Idler, C., Amon, T. & Hobbs, P.J. 2009a. Bioenergy from permanent grassland – A review: 1. Biogas. *Bioresource Technology* 100, s. 4931–4944.
- Prochnow, A., Heiermann, M., Phlöchl, M., Linke, B., Idler, C., Amon, T. & P.J. Hobbs. 2009b. Bioenergy from permanent grassland – A review: 2. Combustion. *Bioresource Technology* 100, s. 4931–4944.
- Rechberger, P. & Lötjönen, T. 2009. Introduction. In: Lötjönen, T. (Ed.). *Energy from field energy crops – a handbook for energy producers*. Jyväskylän Innovation Oy. S. 6–13.
- Riahi, K. et al. 2012. Energy pathways for sustainable development. In: *The global energy assessment: Toward a more sustainable future*. IIASA, Laxenburg, Austria and Cambridge University Press, Cambridge UK.
- Ruska, M., Koljonen, T. & Koreneff, G. 2012. Fossiiliset polttoainevarat ja -markkinat. Julkaistaan VTT Technology -sarjassa.
- Science 2010. Natural gas from shale burst onto the scene; Not under my back yard, thank you. *Science*, Vol. 328, 25 June 2010, s. 1624–1626. AAAS. <http://www.sciencemag.org/>.
- Sikkema, R., Steiner, M., Junginger, M., Hiegl, W., Hansen, M.T. & Faaij, A. 2011. The European wood pellet markets: current status and prospects for 2020. *Biofuels*, *Bioprod.* *Bioref.* 5, s. 250–278.

- Similä, L. 2012. Energiahyödykkeiden merikuljetukset. Julkaistaan VTT Technology -sarjassa.
- Soimakallio, S., Mäkinen, T., Ekholm, T., Pahkala, K. & Mikkola, H. 2009. Greenhouse gas balances of transportation biofuels in Finland – Dealing with the uncertainties. *Energy Policy* 37(1), s. 80–90.
- Stevens 2010. The ‘Shale Gas Revolution’: Hype and Reality. Stevens, P. A Chatham House Report, September 2010. The Royal Institute of International Affairs, Chatham house, London, 2010. ISBN 978 1 86203 239 2. Saatavilla: [http://www.chathamhouse.org/sites/default/files/public/Research/Energy,%20Environment%20and%20Development/r\\_0910stevens.pdf](http://www.chathamhouse.org/sites/default/files/public/Research/Energy,%20Environment%20and%20Development/r_0910stevens.pdf).
- Stopford, M. 2009. *Maritime Economics*. 3<sup>rd</sup> Edition. Routledge, Taylor & Francis Group, London and New York. 815 s.
- Söderbergh, B., Jakobsson, K., Aleklett, K. 2009. European energy security: The future of Norwegian natural gas production. *Energy Policy* 37, s. 5037–5055.
- TEM 2011. Energiakatsaus 2/2011. Työ- ja elinkeinoministeriö, Energiaosasto. Valtioneuvosto, 2011.
- Thakur, N. 2011. LNG Shipping economics on the rebound. *Petroleum Economist*, 02 March 2011. <http://www.petroleum-economist.com/Article/2801286/LNG-shipping-economics-on-the-rebound.html>.
- Thompson, S. 2009. The New LNG Trading Model. Short-term Market Developments and Prospects. Poten & Partners, Inc. <http://www.igu.org/html/wgc2009/papers/docs/wgcFinal00351.pdf>.
- UNCTAD 2010. Oil Prices and Maritime Freight Rates: An Empirical Investigation. Technical report by the UNCTAD secretariat. UNCTAD/DTL/TLB/2009/2. United Nations Conference on Trade and Development. [http://www.unctad.org/en/docs/dtltlb20092\\_en.pdf](http://www.unctad.org/en/docs/dtltlb20092_en.pdf).
- UNCTAD 2011. Review of Maritime Transport 2011. United Nations Conference on Trade and Development. [http://www.unctad.org/en/docs/rmt2011\\_en.pdf](http://www.unctad.org/en/docs/rmt2011_en.pdf).

- VKDI 2011. Verein Der Kohlenimporteure, Annual Report 2011. Facts and Trends 2010/2011. The German Coal Importer Association, Hamburg.  
<http://www.verein-kohlenimporteure.de/>.
- WBGU 2010. Future Bioenergy and Sustainable Land Use. London : Earthscan.
- WEC 2010a. Survey of Energy Resources 2010. World Energy Council. Saatavilla:  
<http://www.worldenergy.org/publications/3040.asp>.
- WEC 2010b. Biofuels: Policies, Standards and Technologies. Tulostettu  
<http://www.worldenergy.org/documents/biofuelsformattedmaster.pdf>.
- World Bank, 2010. World Development Indicators & Global Development Finance database.
- World Bank, 2011. Private Participation in Infrastructure (PPI) Project Database, saatavilla osoitteessa <http://ppi.worldbank.org>. (Viitattu 7.12. 2011.)



Nimeke	<b>Suomalainen tulevaisuuden energialiiketoiminta – skenaariot ja strategiat</b> <b>SALKKU-hankkeen yhteenvetoraportti</b>
Tekijä(t)	Tiina Koljonen, Göran Koreneff, Lassi Similä, Juha Forsström, Tommi Ekholm, Antti Lehtilä, Maija Ruska, Katri Pahkala, Kaija Hakala, Timo Lötjönen, Oiva Niemeläinen, Heidi Rintamäki & Esa Aro-Heinilä
Tiivistelmä	<p>Raportissa on esitetty yhteenveto hankkeen ”Suomalainen tulevaisuuden energialiiketoiminta – skenaariot ja strategiat (SALKKU)” tuloksista. SALKKU-hanke on toteutettu VTT:n ja MTT:n yhteishankkeena ja koordinaattorina toimi VTT ja sen tavoitteena oli analysoida tulevaisuuden energialiiketoimintaa ja siihen vaikuttavia tekijöitä vuoteen 2050 asti. SALKKU-hankkeen tutkimustyö pohjautui osittain aiempaan Tekesin Climbus-ohjelman hankkeeseen ”Suomalaisen energiateollisuuden kilpailukyky ilmastopolitiikan muuttuessa – SEKKI”, jonka tulokset on julkaistu vuonna 2009 VTT:n ja MTT:n raportisarjoissa. SALKKU-hankkeessa keskityttiin tarkastelemaan tulevaisuuden energialiiketoimintaa arvioimalla energian kysynnän, tarjonnan ja markkinoiden kehitystä pitkällä aikavälillä, kun taustalla vaikuttavat tulevaisuuden energia- ja ilmastopolitiikka, hupenevat fossiiliset energiaressurssit sekä kasvava väestön ja talouskehitys. Energian kysyntää arvioitiin globaalisti, EU:ssa ja erityisesti kehittyvän Aasian talouksissa. Energian tarjonnan kehitysten arvioinnissa keskityttiin fossiilisiin polttoainereserveihin ja resursseihin sekä peltobioenergian teknisiin ja teknistaloudellisiin potentiaaleihin, joihin liittyy suuria epävarmuuksia kasvavan ruokatarpeen, muuttuvien ruokatottumusten, sekä toisaalta voimakkaasti kasvavan bioenergian kysynnän myötä. SALKKU-hankkeen rinnakkaisena hankkeena toimi Etlatiedon EnTech-hanke (Energiateknologian viennin ja kansainvälisen kilpailukyyn analyysi ja seuranta), jossa arvioitiin suomalaisen energiatoimialan kehitystä teknologian viennin näkökulmasta.</p> <p>VTT:n työn keskeinen sisältö oli arvioida tulevaisuuden ilmastopolitiikan vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin sekä energijärjestelmien kehitykseen ja investointeihin. Painopiste tarkasteluissa oli Euroopan ja Aasian kehittyvien talouksien skenaarioissa. Tässä hyödynnettiin osin laajaa kansainvälistä yhteistyötä ja osin eri osatehtävien tuloksia. Aasian kehitystä arvioitiin kansainvälisessä verkostohankkeessa Asian Modelling Exercise (AME) ja EU:n kehitystä Energy Modelling Forumin (EMF) EU-selvityksessä. VTT:n toinen keskeinen osatehtävä oli arvioida kriittisesti fossiilisten polttoaineiden riittävyttä tulevaisuudessa sekä polttoaineiden käyttöön vaikuttavia tekijöitä kuten polttoainemarkkinat merikuljetuksineen. Maakaasumarkkinoita varten kehitettiin erillinen markkinamalli, lisäksi arvioitiin pohjoismaisten sähkömarkkinoiden kehittymistä vuoteen 2050 asti. Bioenergian käytön voimakas lisääminen edellyttäisi erityisesti peltoalan hyödyntämistä energiakasvien tuotannossa. MTT:n työ painottui peltobioenergian teknistaloudellisten potentiaalien arviointiin alueellisesti ja globaalisti. Arvioissa huomioitiin riittävä ruoan tuotanto maailman kasvavalle väestölle, peltobiomassan käytön vaikutukset maaperään ja mahdolliset ilmastonmuutoksen vaikutukset. Lisäksi tarkasteltiin erityisesti peltobioenergian kilpailukykyä.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-7839-9 (nid.) ISSN 2242-1211 (nid.) ISBN 978-951-38-7840-5 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> ) ISSN 2242-122X (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )
Julkaisu aika	Toukokuu 2012
Kieli	Suomi, englanninkielinen tiivistelmä
Sivumäärä	115 s.
Projektin nimi	Suomalainen tulevaisuuden energialiiketoiminta – skenaariot ja strategiat (SALKKU)
Toimeksiantajat	VTT, MTT
Avainsanat	Energy scenarios, emission scenarios, fuel reserves, fossil fuels, field bioenergy, electricity markets, gas markets, ship transport, Asian energy, clean energy, future energy
Julkaisija	VTT PL 1000, 02044 VTT, Puh. 020 722 111





Title	<b>Future of Finnish energy business – scenarios and strategies</b> <b>Summary report of the SALKKU research project</b>
Author(s)	Tiina Koljonen, Göran Koreneff, Lassi Similä, Juha Forsström, Tommi Ekholm, Antti Lehtilä, Maija Ruska, Katri Pahkala, Kaija Hakala, Timo Lötjönen, Oiva Niemeläinen, Heidi Rintamäki & Esa Aro-Heinilä
Abstract	<p>This report gives a summary of the results of the research project “Future of Finnish energy business – scenarios and strategies” (SALKKU). The SALKKU research was carried out as a joint research project of VTT Technical Research Centre of Finland (VTT) and MTT Agrifood Research Finland (MTT). The coordinating partner was VTT. The objective of the project was to assess the future energy business and factors contributing to it up to year 2050. The research in SALKKU is partly a continuation of the work done in the research project “SEKKI – The Competitiveness of Finnish Energy Industry under Developing Climate Policy”, which was a part of the ClimBus-programme of Tekes, the Finnish Funding Agency for Technology, and the results of which have been published in VTT’s and MTT’s report series in 2009.</p> <p>The focus in SALKKU project was on assessing future energy businesses by analysing the development of energy demands and supplies as well as energy markets under the influence of future energy and climate policies, depleting fossil resources, growing population, and the economic development. The demand for energy was studied on a global, an EU, and especially on an Asian level. On the supply side the focus was both on fossil reserves and resources and on the technical and the techno-economical potential of field bioenergy. There are vast uncertainties concerning the growth in food demand and changing eating habits on one hand, and the demand for bioenergy on the other hand. The EnTech project by Etlatiето, a subsidiary of ETLA, The Research Institute of the Finnish Economy, was carried out as a parallel project to SALKKU. The EnTech project assessed the development of energy technology export of the Finnish energy industry.</p> <p>One part of the work at VTT was to analyse the impacts of future climate policies on greenhouse gas emissions, on the development of the energy systems, and on clean energy investments. The area of focus was on long term energy and emission scenarios for Europe and the developing economies in Asia. An extensive international collaboration was utilized in scenario analysis, and the results from different subtasks were used as inputs in VTT’s own modelling work. The development in Asia was assessed in the international network undertaking of Asian Modelling Exercise (AME), while the development in the EU was analysed in the EU study by Energy Modelling Forum (EMF). Another central part of VTT’s work was to critically estimate the sufficiency of fossil fuel resources and to assess drivers for their future use, such as the development of fuel markets and the costs of sea transportation. A new model was developed to analyse global natural gas markets; also, the Nordic electricity market up to 2050 was scrutinized.</p> <p>A steep increase in the use of bioenergy would especially demand the utilisation of field area to grow energy crops. MTT’s work mainly focused on the evaluation of regional and global techno-economic potentials of field bioenergy taking into account sufficient food production to feed the growing global population, the effects of harvesting field biomass on the soil organic matter, and possible impacts of climate change. In addition, the competitiveness of field bioenergy was studied.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-7839-9 (soft back ed.) ISSN 2242-1211 (soft back ed.) ISBN 978-951-38-7840-5 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> ) ISSN 2242-122X (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )
Date	May 2012
Language	Finnish, English abstract
Pages	115 p.
Name of the project	Future of Finnish energy business – scenarios and strategies (SALKKU)
Commissioned by	VTT Technical Research Centre of Finland, MTT Agrifood Research Finland (MTT)
Keywords	Energy scenarios, emission scenarios, fuel reserves, fossil fuels, field bioenergy, electricity markets, gas markets, ship transport, Asian energy, clean energy, future energy
Publisher	VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland, Tel. 020 722 111

## Suomalainen tulevaisuuden energialiiketoiminta – skenaariot ja strategiat

SALKKU-hankkeen yhteenvetoraportti

SALKKU-hankkeessa (Suomalainen tulevaisuuden energialiiketoiminta – skenaariot ja strategiat) on tutkittu suomalaiseen energialiiketoimintaan vaikuttavien tekijöiden tulevaisuusnäkyymiä. Hankkeessa tutkittiin ilmastonmuutoksen hillinnän vaikutuksia tulevaisuuden energijärjestelmiin skenaariotarkasteluin, fossiilisia polttoainevaroja, niiden markkinoiden kehittymistä ja esimerkkivaikutuksia sähkömarkkinoihin. Lisäksi tutkittiin peltobioenergian hyödyntämispotentiaalia ja eri polttoaineiden merikuljetusten näkyymiä. Hanke toteutettiin VTT:n ja Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) yhteishankkeena. Peltobioenergiaa koskevat tutkimustulokset on julkaistu MTT:n raporttisarjassa.

SALKKU-hankkeen tulokset esitellään erillisissä julkaisuissa. Koosteet tuloksista on koottu SALKKU-hankkeen yhteenvetoraporttiin ”Suomalainen tulevaisuuden energialiiketoiminta – skenaariot ja strategiat” (tämä). Hanke on osittain jatkoa SEKKI-hankkeelle, ks. VTT Tiedotteita 2487 (2009).

SALKKU-hankkeen julkaisuja VTT Technology -sarjassa:

- 22 Similä, Lassi. Energiahyödykkeiden merikuljetukset. 2012.
- 25 Koljonen, Tiina, Koreneff, Göran, Similä, Lassi, Forsström, Juha, Ekholm, Tommi, Lehtilä, Antti, Ruska, Maija, Pahkala, Katri, Hakala, Kaija, Lötjönen, Timo, Niemeläinen, Oiva, Rintamäki, Heidi, & Aro-Heinilä, Esa. Suomalainen tulevaisuuden energialiiketoiminta – skenaariot ja strategiat. SALKKU-hankkeen yhteenvetoraportti. 2012.
- 28 Ruska, Maija, Koljonen, Tiina, Koreneff, Göran & Lehtilä, Antti. Fossiiliset polttoainevarat ja -markkinat. 2012.
- 29 Forsström, Juha. Kenen kaasua poltat, Eurooppa? 2012.

ISBN 978-951-38-7839-9 (soft back ed.)

ISBN 978-951-38-7840-5 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN 2242-1211 (soft back ed.)

ISSN 2242-122X (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)