



Tiina Koljonen, Juha Forsström, Veikko Kekkonen, Göran Koreneff, Maija Ruska, Lassi Similä, Katri Pahkala, Laura Solanko & Iikka Korhonen

Suomalaisen energiateollisuuden kilpailukyky ilmastopolitiikan muuttuessa

Suomalaisen energiateollisuuden kilpailukyky ilmastopolitiikan muuttuessa

Tiina Koljonen, Juha Forsström,
Veikko Kekkonen, Göran Koreneff,
Maija Ruska & Lassi Similä

VTT

Katri Pahkala

MTT

Laura Solanko & Iikka Korhonen

BOFIT



ISBN 978-951-38-7300-4 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 978-951-38-7301-1 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2009

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 1000, 02044 VTT

puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7001

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 1000, 02044 VTT

tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7001

Toimitus Leena Ukskoski

Edita Prima Oy, Helsinki 2009

Avainsanat energy markets, climate policy, electricity markets, fuel markets, bioenergy potentials, filed biomass, energy crops, climate change, resources, reserves, Russian gas, Russian electricity, future energy, greenhouse gas emissions

Tiivistelmä

Julkaisu on yhteenveto Tekesin ClimBus -ohjelman hankkeen ”Suomalaisen energiateollisuuden kilpailukyky ilmastopoliitiikan muuttuessa – SEKKI” tuloksista. Hanke toteutettiin VTT:n, MTT:n ja BOFITin yhteishankkeena, ja sen koordinaattorina toimi VTT. SEKKI-hankkeen tavoitteena oli arvioida suomalaisen energiateollisuuden kilpailukykyyn vaikuttavia tekijöitä ja toimintaympäristön muutoksia, kun tavoitteena on ilmastomuutoksen hillintä. Hankkeessa keskityttiin tulevaisuuden energijärjestelmien, energiamarkkinoiden, energian saataavuuden ja energian kysynnän kehityksen arviointiin vuoteen 2050 asti.

VTT:n työn keskeinen sisältö oli arvioida kriittisesti fossiilisten polttoaineiden riittävyttä ja uusiutuvien energialähteiden teknistä potentiaalia tulevaisuudessa. Pääpaino tarkasteluissa oli maakaasun saatavuuden arvioinnissa Euroopan näkökulmasta. Maakaasutarkastelut tehtiin yhteistyössä BOFITin kanssa, joka arvioi Venäjän kaasun riittävyttä ja vientiä Venäjältä Eurooppaan tulevaisuudessa. Bioenergian käytön voimakas lisääminen edellyttäisi erityisesti peltoalan hyödyntämistä energiakasvien tuotannossa. MTT:n työ painottui peltobioenergiapotentiaalien arviointiin alueellisesti ja globaalisti. Arvioissa huomioitiin riittävä ruoan tuotanto maailman kasvavalle väestölle.

VTT:n hankkeessa arvioitiin myös sähkömarkkinoiden ja sähkön hinnan kehitystä Pohjoismaissa, Keski-Euroopassa ja Venäjällä. Lisäksi koottiin arvioita sähkön kysynnän kehityksestä Pohjoismaissa sekä arvioitiin lisääntyvien lämpöpumppujen ja sähköautojen vaikutuksia sähköjärjestelmään ja -kysyntään. Eri osatehtävien tuloksia käytettiin lähtötietoina skenaariotarkasteluissa, joissa tarkasteltiin tulevaisuuden ilmastopoliitiikan vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin sekä energijärjestelmien kehitykseen ja investointeihin. Tarkastelujen painopisteet olivat Euroopan ja Aasian kehittyvien talouksien skenaariot sekä globaali energia- ja ilmastotulevaisuus.

Tiina Koljonen, Juha Forsström, Veikko Kekkonen, Göran Koreneff, Maija Ruska, Lassi Similä, Katri Pahkala, Laura Solanko & Iikka Korhonen. Suomalaisen energiateollisuuden kilpailukyky ilmasto-politiikan muuttuessa [The competitiveness of Finnish energy industry under developing climate policy]. Espoo 2009. VTT Tiedotteita – Research Notes 2487. 90 s.

Avainsanat energy markets, climate policy, electricity markets, fuel markets, bioenergy potentials, filed biomass, energy crops, climate change, resources, reserves, Russian gas, Russian electricity, future energy, greenhouse gas emissions

Abstract

This report gives a summary of the results of the research project “SEKKI – The Competitiveness of Finnish Energy Industry under Developing Climate Policy”. The research was part of ClimBus-programme by Tekes, the Finnish Funding Agency for Technology. The SEKKI research was carried out as a joint research project of VTT, MTT Agrifood Research Finland (MTT) and the Bank of Finland Institute for Economics in Transition (BOFIT). The coordinating partner was VTT. The objective of the project was to assess factors contributing to the competitiveness of the Finnish energy industry as well as the changes in the operational environment due to mitigation of climate change. The project focused on the assessment of the future development of energy systems, energy markets, energy availability and energy demand up to year 2050.

The central research question for VTT was to critically evaluate the sufficiency of fossil fuels resources and the technical potential of renewable energy sources in the future. Emphasis was put on the appraising the availability of natural gas from the European perspective. The natural gas evaluations were done in collaboration with BOFIT, who estimated the sufficiency of Russian gas and the export possibilities of Russian gas to the EU area in the future. High increase in the bioenergy consumption would require the utilization of arable land areas for energy crop cultivation. MTT’s work focused on evaluating field biomass potentials for different regions and globally. The estimates were calculated taking into account food production for the growing world population.

VTT research focused also on electricity market and electricity price developments in the Nordic countries, Central Europe and Russia. In addition, electricity demand in the Nordic countries was appraised, and the effects of a high number of new heat pumps and electric cars on the electricity system and load demand were assessed. The results of the different subtasks were used as inputs in scenario calculations, where the impacts of climate policies on future greenhouse gas emissions and energy investments were assessed. The analysis focused on scenarios for Europe and developing Asian countries as well as on the global energy and climate futures.

Alkusanat

Julkaisussa on esitetty hankkeen ”Suomalaisen energiateollisuuden kilpailukyky ilmastopolitiikan muuttuessa – SEKKI” tulosten yhteenveto, joka perustuu eri osahankkeiden päätuloksiin. Eri osatehtävien tuloksia on raportoitu tarkemmin erillisissä raporteissa sekä konferenssiartikkeleissa.

Tutkimus tehtiin Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT), Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) sekä Suomen Pankin siirtymätalouksien tutkimuslaitoksen (BOFIT) yhteishankkeena ja koordinaattorina toimi VTT. Tutkimus oli osa Tekesin ClimBus-ohjelmaa ja sitä rahoittivat Tekesin lisäksi Fingrid Oyj, Fortum Oyj, Gasum Oy, Metso Power Oy, Teknologiateollisuus ry, ulkoasiainministeriö, ÅF-Consult Oy, BOFIT, MTT ja VTT. Yhteishankkeen koordinaattorina ja vastuullisena johtajana toimivat teknologiapäällikkö Sanna Syri (30.9.2008 asti) sekä toimialajohtaja Kari Larjava (1.10.2008 lähtien) ja projektipäällikkönä toimi erikoistutkija Tiina Koljonen VTT:ltä. MTT:n ja BOFITin osahankkeiden vastuullisena johtajana toimivat erikoistutkija Katri Pakkala ja tutkimusohjaaja Iikka Korhonen. Projektin johtoryhmän puheenjohtajana toimi Risto Lindroos (Fingrid). Johtoryhmään kuuluivat lisäksi Marjatta Aarniala (Tekes), Björn Ahlnäs (Gasum), Timo Airaksinen (Teknologiateollisuus), Karoliina Anttonen (ulkoasiainministeriö), Pekka Järvinen (ÅF-Consult), Pirjo Peltonen-Sainio (MTT), Matti Rautanen (Metso Power), Eero Vartiainen (Fortum), Pekka Sutela (BOFIT), Satu Helynen (VTT), Kari Larjava (VTT), Sanna Syri (VTT) ja Tiina Koljonen (siht., VTT).

Hankkeen tutkijat haluavat kiittää johtoryhmää aktiivisesta osallistumisesta ja ohjauksesta.

Kesäkuussa 2009

Tiina Koljonen

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	4
Alkusanat	5
Symboliluettelo	8
1. Johdanto	11
2. Globaalit ja alueelliset skenaariotarkastelut <i>Tiina Koljonen, Antti Lehtilä, Juha Forsström, VTT</i> <i>Laura Solanko, Iikka Korhonen, BOFIT</i>	13
2.1 Globaali ja alueellinen talous- ja väestönkehitys	15
2.2 Globaalit energia- ja päästöskenaariot	16
2.2.1 Venäjän talouden kehitys	18
2.3 EU:n energianhankinta vuoteen 2050 ja siihen liittyvä epävarmuus	19
2.3.1 Kuinka paljon kaasua Venäjältä?	19
2.3.2 Skenaariotarkastelut Global TIAM -mallilla	19
2.3.3 Euroopan maakaasun hankinnan skenaarioita	22
3. Fossiiliset polttoaineresurssit ja -markkinat <i>Maija Ruska, Tiina Koljonen, VTT</i>	29
3.1 Fossiilisten polttoaineiden resurssit ja markkinat	29
3.1.1 Öljy	31
3.1.2 Maakaasu	34
3.1.3 Hiili	35
4. Bioenergiaresurssit <i>Katri Pahkala, Kaija Hakala, Markku Kontturi, Oiva Niemeläinen, MTT</i> <i>Martti Flyktman, Tiina Koljonen, VTT</i>	39
4.1 Peltobioenergia	39
4.1.1 Datan validointi	40

4.1.2	Peltokasvituotannon määrä.....	41
4.1.3	Bioenergiaa kasvintuotannon sivuvirroista.....	43
4.1.4	Euroopan bioenergian tuotanto.....	44
4.1.5	Suomi.....	47
4.1.6	Maailman peltobioenergian tuotanto vuonna 2050.....	49
4.1.7	Tulosten tarkastelu.....	52
4.1.8	Metsäbioenergia.....	57
5.	Sähkömarkkinoiden tulevaisuus	
	<i>Veikko Kekkonen, Göran Koreneff, Rinat Abdurafikov, Lassi Similä, VTT...</i>	59
5.1	Taustaa.....	59
5.2	Sähkömarkkinoiden mallintaminen.....	60
5.3	Pohjoismaisten sähkömarkkinoiden toimivuus.....	62
5.4	Pohjoismaisten sähkömarkkinoiden integroituminen Keski-Euroopan markkinoihin.....	65
5.5	Pohjoismaat.....	67
5.6	Venäjän sähkömarkkinoiden kehitys.....	69
6.	Pohjoismaiden sähkön kysynnän kehitys tulevaisuudessa	
	<i>Göran Koreneff, Majja Ruska, Juha Kiviluoma, Jari Shemeikka, Bettina Lemström, Raili Alanen, Tiina Koljonen, VTT.....</i>	73
6.1	Sektorikohtaiset trendit.....	74
6.1.1	Lämmitys.....	74
6.1.2	Kotitaloudet.....	75
6.1.3	Teollisuus.....	76
6.2	Pohjoismaiset skenaariot sähkön kysynnälle.....	76
6.3	Lämpöpumppulämmitysten yleistymisen nostaa huipputehoja.....	77
6.4	Sähköautot yleistyvät liikenteessä.....	79
7.	Johtopäätökset.....	81
8.	Yhteenveto.....	85
	Lähdeluettelo.....	87

Symboliluettelo

ARA	Ilmoittaa määräsätaman, joka voi olla Antwerpen, Rotterdam tai Amsterdam
Baseline	Skenaariotarkasteluiden perusura, jossa kehityksen oletetaan jatkuvan nykyisen kaltaisena
BAU	Business as usual eli baseline
BRENT	Euroopassa öljyn hintareferenssinä käytetään Pohjanmeren Brent-öljyn hintaa, joka noteerataan Lontoon IPE-pörssissä
bb1	Biljoona barreliä eli miljardi barreliä eli 10^9 barreliä
bcm	Biljoonak kuutiometriä eli 10^9 m ³
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BKT	Bruttokansantuote
bl	Barreli, 0,159 m ³
BP	British Petroleum
CHP	Combined heat and power production, yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto
CIF	Cost, Insurance and Freight eli tavaran myyjä järjestää kuljetuksen määränpäähän
CIF ARA	Yleinen hiilen hintanoteeraus
EJ	Eksajoule, 10^{18} J
FOB	Free on Board, myyjä lastaa tavaran laivaan, ja ostaja maksaa rahdin
GE	Grain-equivalent, viljaekvivalentti, kasvien ravintoarvo muunnettuna vastaamaan viljaa

Global TIAM	Globaali energiajärjestelmämalli, joka on kehitetty IEA:n ETSAP-ohjelmassa
ka	Kuiva-aine
khk	Kasvihuonekaasupäästö
IEA	International Energy Agency
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change eli hallitusten välinen ilmastopaneeli
IPE	International Petroleum Exchange
IPS/UPS	Entisen Neuvostoliiton maiden sähköverkkojärjestelmä
LNG	Nesteytetty maakaasu
MH	VTT:n kehittämä sähkön markkinahintamalli
Mtoe	Miljoona öljykvivalenttitonnia, $41,868 * 10^{15}$ J
NEP	Nordic Energy Perspectives -hanke (ks. http://www.nordicenergy.org)
R/P	Reserves per Production, polttoainereservien suhde tuotantoon
Tcm	10^{12} kuutiometriä
TWh	10^{12} vattituntia
WEO	IEA:n vuosittain julkaisema kirja World Energy Outlook
WTI	West Texas Intermediate, Pohjois-Amerikassa yleisin raakaöljyn referenssilaatu
UCTE	Keski-Euroopan sähköverkkojärjestelmä

1. Johdanto

Euroopan parlamentti ja Eurooppa-neuvosto hyväksyivät joulukuussa 2008 ilmastonmuutosta koskevan laajan 20-20-20-aloitteen, eli EU-maat sitoutuivat vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä 20–30 prosentilla vuoteen 2020 mennessä, lisäämään uusiutuvien energialähteiden osuuden 20 prosenttiin verrattuna nykyiseen 8,5 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä ja parantamaan energiatehokkuutta 20 prosentilla vuoteen 2020 mennessä. Energiapakettiin sisältyy myös liikenteen uusituvien energialähteiden lisääminen 10 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä. EU:n uusi energiapolitiikka tulee merkittävästi muuttamaan EU:n energiajärjestelmää, ja tavoitteiden saavuttaminen tulee edellyttämään voimakkaita ohjaavia toimia, kuten uusia energiatukia tai -veroja. Marraskuussa 2008 Komissio teki ehdotuksen EU:n energian toimitusvarmuutta ja energia-alan solidaarisuutta koskevasta toimintasuunnitelmasta, jonka päämääränä on kestävä kehitys, kilpailukyky ja ennen kaikkea energian toimitusvarmuus. Kilpailukykyiset energiamarkkinat sekä pitkän aikavälin energia- ja ilmastopolitiikka ovat välttämättömät 20-20-20-tavoitteiden sekä vakaan investointiympäristön saavuttamiselle.

Fossiilisten polttoaineiden reservit ovat ehtymässä EU-maissa, joten EU on lähivuosina yhä riippuvaisempi tuontienergiasta huolimatta EU:n energia- ja ilmastopolitiikan täytöntöönpanosta. Energiahyödykkeiden tuonnin arvo vuonna 2008 oli noin 350 miljardia euroa, ja tuonnin osuuden kasvu yhdistettynä korkeisiin energian hintoihin tulee merkittävästi vaikuttamaan EU:n kilpailukykyyn. Energiatehokkuuden lisääminen sekä energialähteiden ja –toimitusten monipuolistaminen ovat siten tärkeä osa EU-valtioiden hyvinvoinnin ja kilpailukykyyn edistämistä. Energian kysynnän kasvu etenkin kehittyvissä talouksissa lisää fossiilisten polttoaineiden kysyntää, joten ehtyvien öljy- ja kaasukenttien reserveistä kilpailevat EU:n kanssa yhä useammat taloudet. Viime aikoina erityisen huolen aiheena ovat olleet Venäjän kaasutoimitukset EU-alueelle. Venäjällä on maail-

1. Johdanto

man 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.

Pitkällä aikavälillä ilmakehän lämpötilan nousun rajoittaminen EU:n esittämään kahteen asteeseen edellyttää siirtymistä lähes 0-päästöiseen energiajärjestelmään, joten vuotta 2020 koskevassa suunnitelmassa määritetään vasta ensimmäiset toimet ja jaksolla 2020–50 kohdataan todelliset haasteet. 20-20-20-ilmastopaketti sisältää päästökauppaa kaudella 2013–2020 koskevan direktiivin uusimisen. Tämän direktiivin oleellinen osa on taakanjakopäätös aloilla, jotka eivät nykyisin sisälly päästökauppaan. Näitä ovat muun muassa asuminen ja liikenne, jotka ovat energian tuotannon ja teollisuuden ohella tärkeimmät päästöjä aiheuttavat sektorit. EU:n energiatehokkuustavoitteilla pyritään saavuttamaan säästöjä tärkeimmillä energiankulutussektoreilla, ja tavoitteena on muun muassa edistää rakennusten energiatehokkuutta. EU:n tavoitteet biopolttoaineisiin ja uusiutuvaan sähkөөn siirtymisestä liikenteessä puolestaan tukevat khk-päästöjen vähentämistä liikenteessä.

SEKKI-hankkeessa tavoitteena oli tutkia suomalaisen energiateollisuuden kilpailukykyä, kun haasteena on päästöjen vähentäminen, niukkenevat energiareсурssit, energian hintojen nousu sekä pidemmällä aikavälillä täydellinen teknologinen murros kohti 0-päästöistä energiajärjestelmää. SEKKI-hanke on jatkoa Tekesin ClimBus-ohjelmaan kuuluneeseen SETELI-hankkeeseen (Suomalaisen energiateknologian kysyntä kansainvälisen ilmastopolitiikan muuttuessa), jossa tarkasteltiin puhtaan energiateknologian alueellisten kysyntöjen kehitystä skenaariotarkasteluin sekä teknologiaviennin rahoitusta painottuen Kioton pöytäkirjan puhtaan kehityksen mekanismeihin. SETELI-hanke toteutettiin yhteistyössä Helsingin kauppakorkeakoulun ja Suomen ympäristökeskuksen kanssa. SEKKI-hankkeessa painopiste tarkasteluissa oli paitsi globaaleissa ja alueellisissa skenaariotarkasteluissa, myös energiareсурsseihin ja markkinoihin liittyvissä kysymyksissä Suomen, Pohjoismaiden ja Euroopan näkökulmasta.

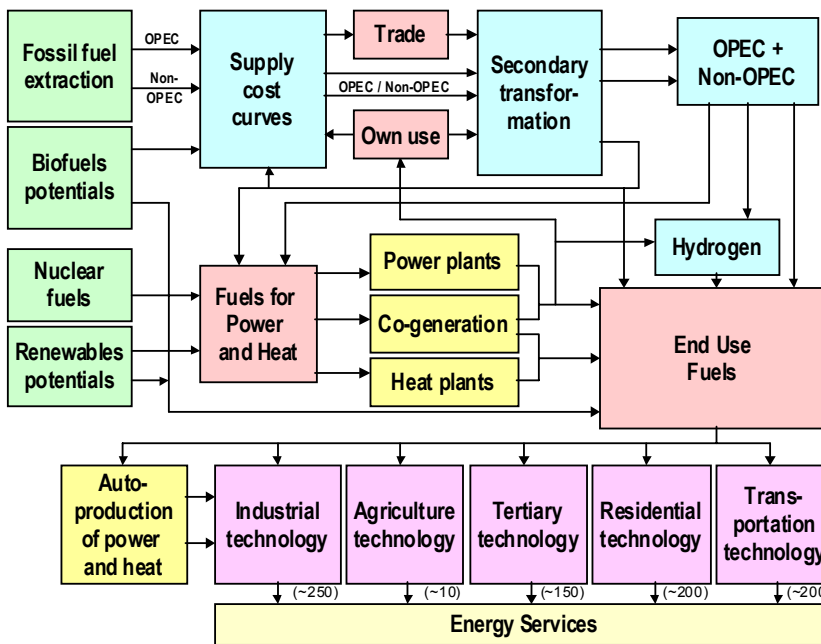
2. Globaalit ja alueelliset skenaariotarkastelut

Tiina Koljonen, Antti Lehtilä, Juha Forsström, VTT, Laura Solanko, Iikka Korhonen, BOFIT

SEKKI-hankkeessa tarkasteltiin globaaleja ja alueellisia energia- ja päästöskenaarioita Global TIAM -mallilla, jossa maailma on jaettu 15 alueeseen. Eri laskenta-alueiden välille on mallinnettu energiahyödykkeiden kauppa ja päästökauppa. Tavoitteena oli tarkastella lähinnä primäärienergiälähteiden käyttöä ja energian saatavuutta tulevaisuudessa. Alueellisissa skenaarioissa tarkastelun kohteena ovat Euroopan (pois lukien entisen Neuvostoliiton alue) ja kehittyvän Aasian energian kysyntä sekä energian saatavuus huomioiden tulevaisuuden mahdolliset kasvihuonekaasupäästöjen rajoitustavoitteet. Skenaarioiden lähtöoletuksia ja Global TIAM -mallin rakennetta on tarkemmin raportoitu Tekesin ClimBus-ohjelmaan kuuluneen SETELI-projektin loppuraportissa (Koljonen et al. 2008a) sekä kahdessa konferenssiartikkelissa (Koljonen et al. 2008b, Koljonen et al. 2009a).

Kuvassa 1 on esitetty Global TIAM -mallin perusrakenne sekä kuvassa 2 ja taulukossa 1 mallin käyttämä aluejako. Malli käsittää koko energijärjestelmän primäärienergian tuotannosta energian kulutukseen. TIAM-mallijärjestelmä sisältää myös ilmastomallin, joten mallilla voidaan tarkastella myös kasvihuonekaasupäästöjen vaikutuksia ilmakehän lämpenemiseen. TIAM-mallissa on kuvattu kaikki Kioton pöytäkirjan kasvihuonekaasupäästöt ja tietokanta käsittää eri päästöjen vähennysteknologiat sekä arviot niiden kustannusten kehityksistä. Tietokanta käsittää myös arviot fossiilisten polttoaineiden resursseista sekä uusiutuvien energialähteiden alueellisista potentiaaleista.

2. Globaalit ja alueelliset skenaariotarkastelut



Kuva 1. Global TIAM -mallin rakenne.



Kuva 2. Global TIAM -mallin aluejako.

2.1 Globaali ja alueellinen talous- ja väestönkehitys

Arviot globaalin talouden ja väestön kehityksistä ovat tärkeimmät muuttajat arvioitaessa energian kysynnän ja kasvihuonekaasupäästöjen kehitystä. Taulukossa 1 esitetään TIAM-skenaarioissa käytetyt alueelliset bruttokansantuotteen (BKT) kehitykset eri aikajaksoilla. BKT-arviot ovat lähellä kansainvälisen IEA-organisaation julkaisemia Reference-skenaarion oletuksia vuoteen 2050 asti (IEA 2008a). Vuoden 2000 alun toteutunut BKT erityisesti Aasian kehittyvissä talouksissa oli taulukon arvioita korkeampi, mutta nykyisessä taloustilanteessa lähivuosien BKT-arviot ovat alentuneet aiemmista arvioista. Vuoden 2020 jälkeisissä BKT-arvioissa epävarmuus kasvaa erityisesti kehittyvien talouksien osalta.

Väestön kasvuennusteissa on käytetty Yhdistyneiden Kansakuntien ennustetta vuoteen 2050 asti, jonka mukaan maailman väkiluku vuonna 2050 olisi noin yhdeksän miljardia (United Nations 2007). Myös YK tekee väestönkasvusta erilaisia skenaarioita, joissa merkittävänä muuttujana ovat oletukset AIDSiin kuolleiden ihmisten määrästä erityisesti nykyisissä kehitysmaissa.

2. Globaalit ja alueelliset skenaariotarkastelut

Taulukko 1. Aluejako ja alueiden BKT-kasvuoletukset Global TIAM -skenaarioissa.

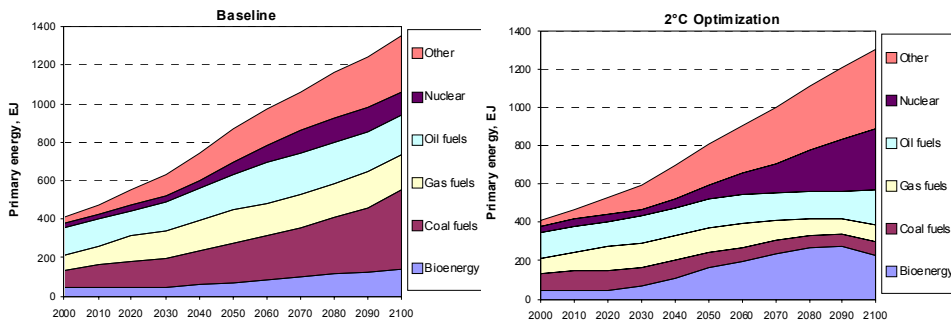
Region		2000-2020	2020-2050	2050-2100
AFR	Africa	3.5 %	4.0 %	3.5 %
AUS	Australia – New Zealand	3.4 %	2.3 %	1.1 %
CAN	Canada	2.5 %	1.3 %	1.0 %
CHI	China (includes Hong Kong, excludes Chinese Taipei)	7.0 %	3.6 %	1.5 %
CSA	Central and South America	3.8 %	3.0 %	2.4 %
EEU	Eastern Europe	4.5 %	3.1 %	1.5 %
FSU	Former Soviet Union (includes the Baltic states)	5.0 %	3.9 %	2.2 %
IND	India	7.1 %	4.6 %	2.3 %
JPN	Japan	1.6 %	1.2 %	-0.8 %
MEA	Middle-East (includes Turkey)	4.4 %	3.9 %	2.6 %
MEX	Mexico	3.9 %	3.1 %	2.7 %
ODA	Other Developing Asia ¹⁾	6.6 %	4.2 %	2.0 %
SKO	South-Korea	7.0 %	3.6 %	1.5 %
USA	United States	2.2 %	1.5 %	0.8 %
WEU	Western Europe (EU-15, Iceland, Malta, Norway, Switzerland)	2.4 %	1.1 %	0.4 %

¹⁾ Bangladesh, Brunei, Chinese Taipei, Indonesia, North Korea, Malaysia, Myanmar, Nepal, Pakistan, Philippines, Singapore, Sri Lanka, Thailand, Vietnam, Southeast islands

2.2 Globaalit energia- ja päästöskenaariot

Kuvassa 3 esitetään globaali primäärienergian kehitys baseline- (eli business as usual) ja ilmastopolitiikkaskenaarioissa (alla 2 °C -skenaario) vuoteen 2100 asti. Ilmastopolitiikkaskenaariossa tavoitteena oli Euroopan Unionin esittämä kahden asteen rajoite ilmakehän lämpötilan nousulle. Global TIAM -mallissa 2 °C -tavoite vastaa noin 450 ppm kasvihuonekaasujen (khk) pitoisuustavoitetta, kun ilmaston herkkyydeksi oletetaan kolme astetta. Ilmaston herkkyyssparametri kuvaa maapallon tasapainolämpötilan muutosta, johon keskilämpötila hakeutuu, kun ilmakehän CO₂-pitoisuus asettuu tasolle 550 ppm. Ilmakehän herkkyyttä ei tunneta tarkasti, sen epävarmuusalue on IPCC:n mukaan 2–4,5 °C (IPCC 2007a).

2. Globaalit ja alueelliset skenaariotarkastelut

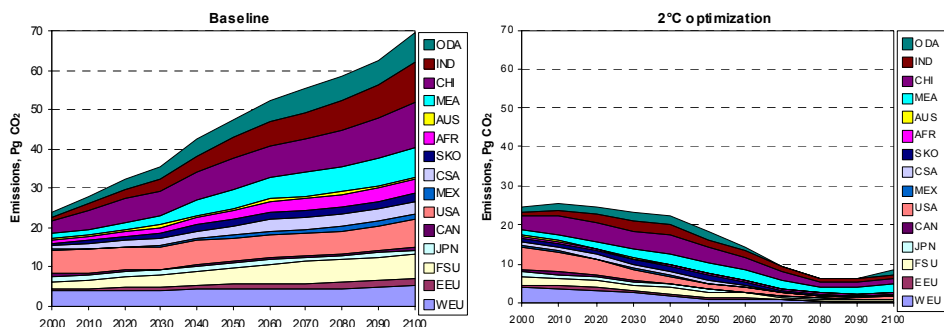


Kuva 3. Globaali primäärienergian kulutus baseline ja 2 °C -skenaarioissa. Other-sektori on pääosin muuta uusiutuvaa energiaa kuin bioenergiaa.

Kuvasta 3 nähdään, että fossiilisista polttoaineista hiilen kulutus noin kaksinkertaistuu vuoteen 2050 mennessä baseline-skenaariossa, kun taas 2 °C -skenaariossa hiilen kulutus lähes puolittuu samalla aikajaksolla. Maakaasun ja öljyn käytön kasvut ovat maltillisempia sekä baseline että 2 °C -skenaarioissa. Bioenergian kulutus kasvaa 2 °C -skenaariossa maksimiarvoonsa, joten oletetulla bioenergian maksimipotentiaalilla on merkittävä vaikutus skenaarioihin. Bioenergian potentiaaliarvioita sekä niiden taustoja esitetään luvussa 4. Myös muiden uusiutuvien energialähteiden, erityisesti tuulivoiman, käyttö kasvaa rajusti etenkin 2 °C -skenaariossa. Tuuvoimapotentialiarviot perustuvat VTT:n tekemään arvioon, jotka on raportoitu SETELI-hankkeen loppuraportissa (Koljonen et al. 2008a).

Kuvassa 4 esitetään globaalien CO₂-päästöjen kehitys baseline- ja 2 °C -skenaarioissa eri TIAM-alueilla. 2 °C -skenaariossa CO₂-päästöjen tulisi vähentyä noin kolmannekseen vuoden 2000 tasosta. Baseline-skenaariossa kehittyvän Aasian (Kiina, Intia, Kaakkois-Aasia) yhteenlasketut CO₂-päästöt kasvavat noin 30 %:iin maailman kokonaispäästöistä vuoteen 2050 mennessä. 2 °C -skenaariossa kehittyvien maiden CO₂-päästöt eivät saisi juurikaan kasvaa nykytasosta ja teollisuusmaiden CO₂-päästöjen tulisi vähentyä vähintään 80 %:iin vuoden 2000 tasosta.

2. Globaalit ja alueelliset skenaariotarkastelut



Kuva 4. Globaalien CO₂-päästöjen kehitys baseline ja 2 °C -skenaariossa.

2.2.1 Venäjän talouden kehitys

Tällä vuosikymmenellä Venäjän talous on kasvanut keskimäärin noin seitsemän prosenttia joka vuosi, mutta seuraavien vuosien talouskehitys tulee olemaan selvästi heikompaa. Vaikka Venäjä ei ole niin integroitunut maailmantalouteen kuin esimerkiksi Kiina, kysynnän heikkeneminen lähes kaikkialla maailmassa haittaa myös Venäjän kehitystä. Venäjän tärkeimmän vientituotteen, öljyn, lähes 70 %:n hinnanlasku vuoden 2008 heinäkuun huipusta leikkaa sekä vienti- että verotuloja selvästi. Lisäksi pääomavirrat Venäjälle ovat ehtyneet. Myös Venäjän pankkijärjestelmä on vaikeuksissa. Näiden tekijöiden vaikutuksesta Venäjän talous supistunee jonkin verran vuonna 2009, ja vuoden 2010 kehitys riippuu hyvin paljon maailmantalouden elpymisestä. Mikäli talouskasvu lähtee käyntiin, raaka-aineiden hinnat nousevat vuoden 2008 tasolta. Tämä lisää välittömästi tuloja ja kysyntää Venäjällä. Viimeaikainen kehitys paljastaa kuitenkin sen, että viime vuosien hyvä talouskehitys ei ole johtanut talouden rakenteiden merkittävään monipuolistumiseen. Yli 60 % vientituloista tulee edelleen energiasta, ja valtio saa energiasektoria verottamalla yli puolet verotuloistaan. Palvelusektori on viime vuosina kasvanut, mutta kotimainen kysyntäkin näyttää lyhyellä aikavälillä riippuvan varsin paljon vientituloista ja ulkomailta lainatusta pääomasta.

2.3 EU:n energianhankinta vuoteen 2050 ja siihen liittyvä epävarmuus

2.3.1 Kuinka paljon kaasua Venäjältä?

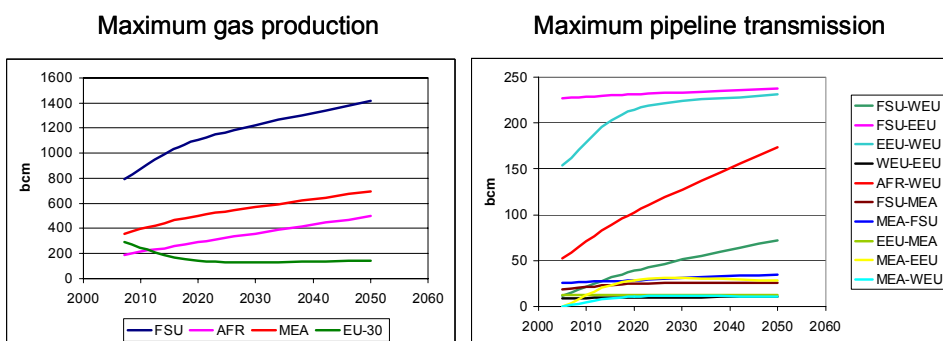
Venäjän kaasun tuotantoa ja vientiä on arvioitu BOFITin raportissa (Solanko & Ollus 2008). Venäjä on maailman suurin maakaasun viejä ja Euroopalle merkittävä kaasun toimittaja. Venäjän kaasun tuotanto ja vienti on kasvanut varsin maltillisesti viime vuosina. Kotimainen kulutus on kuitenkin viime vuosina kasvanut tuotantoa nopeammin, ja on aiheellista kysyä, paljonko lisääntyneestä tuotannosta riittää vientiin. Venäjä on hitaasti vapauttamassa kaasun kotimarkkinahintoja, minkä pitäisi keskipitkällä aikavälillä kannustaa energiatehokkuuteen kotimaassa sekä leikata kulutuksen kasvua. Seuraavien kymmenen vuoden aikana vientimäärät eivät voi kuitenkaan merkittävästi kasvaa, mikä johtuu pääosin uuden tuotantokapasiteetin puutteesta. Sen jälkeen, jos suunnitellut suurinvestoinnit uusiin kenttiin onnistuvat, tilanne voi olla toinen. Venäjä suunnittelee myös vientiputkikapasiteetin kasvattamista tuotantoa nopeammin, mikä mahdollistaa kaasun myynnin sinne, mistä kulloinkin luvataan maksaa parasta hintaa. Venäjän osuus EU-27:n nykyisestä energiatarjonnasta tuskin nousee, mutta kaasumarkkinoiden erityispiirteistä johtuen Gazprom tulee jatkossakin olemaan keskeinen peluri Euroopan energiamarkkinoilla.

2.3.2 Skenaariotarkastelut Global TIAM -mallilla

EU-30-alueen energiavarmuutta vuoteen 2050 asti tarkasteltiin erikseen rajoittamalla maakaasun tuontia EU-30-alueelle verrattuna perustapaukseen, jossa investoinnit uuteen maakaasun tuotantoon ja maakaasuinfrastruktuuriin tapahtuvat kysynnän kasvaessa. EU-30-alue vastaa kuvassa 2 esitettyä EEU + WEU-aluetta. Baseline- ja 2 °C -skenaarioiden lisäksi laskettiin 2 °C & gas -skenaario, jossa ilmastotavoitteiden lisäksi rajoitettiin investointeja maakaasun tuotantoon ja siirtoon sekä LNG-tuotantoon ja -terminaleihin. Kuvassa 5 on esitetty 2 °C & gas -skenaariossa oletetut kaasun maksimituotannot EU-30-alueella, FSU-alueella, Lähi-idässä ja Pohjois-Afrikassa sekä maksimi kaasun siirtokapasiteetti (putkisiirto ja LNG). Kaasun maksimituotannossa on oletettu, että investoinnit Bonanenkovo-, Jamal- ja Stokhman-kentille toteutuvat. Lisäksi on oletettu, että kaasuntuotanto muilla FSU-alueen kaasukentillä kasvaa nykyisestä sekä investointeja pienten, itsenäisten yritysten kaasukentillä. Afrikan ja Lähi-idän tuotannon

2. Globaalit ja alueelliset skenaariotarkastelut

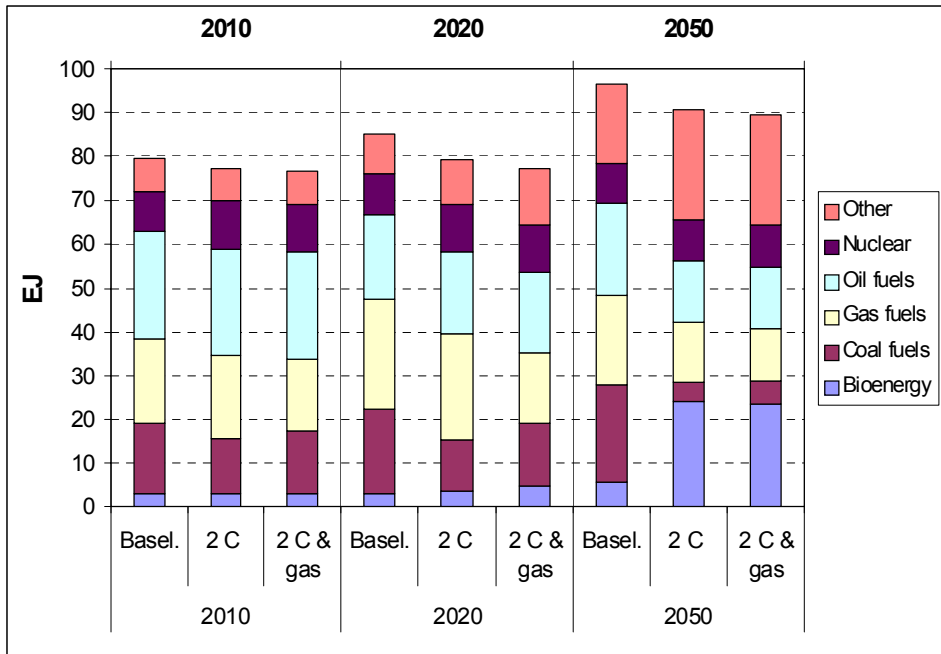
lisäys on laskettu historiatiedon perusteella, eli lähtökohtana on konservatiivinen oletus kaasun tuotannon lisääksestä. EU-30-alueella oletettiin, että vuoden 2020 jälkeen uudet investoinnit korvaavat hiipuvien kaasukenttien tuotannon. Maksimi siirtokapasiteetin taustalla ovat ilmoitetut putki- ja LNG-terminaalien investointisuunnitelmat vuoteen 2020 asti. Kuvassa 5 esitetään maakaasun maksimituotanto- ja siirtokapasiteetit vuoteen 2050 asti 2 °C & gas -skenaariossa. Global TIAM -malli laskee puolestaan maakaasun kaupan ja eri alueiden oman käytön.



Kuva 5. Maakaasun maksimituotanto ja –siirtokapasiteetti 2 °C & gas -skenaariossa.

Kuvassa 6 esitetään EU-30-alueen primäärienergian kulutus eri skenaarioissa. Kuvasta nähdään, että kaasun maksimikulutus saavutetaan vuonna 2020, jonka jälkeen lisääntyvät hiilen käyttö baseline-skenaarioissa sekä uusiutuvat energialähteiden käytöt 2 °C ja 2 °C & gas -skenaarioissa. 2 °C & gas -skenaario osoittaa, että rajoitukset kaasun saatavuudessa pienentävät kaasun käyttöä EU-30-alueella vuonna 2020, eli ilmastopolitiikkaskenaariossa kaasun saatavuus EU-30-alueelle tulisi kriittiseksi tekijäksi.

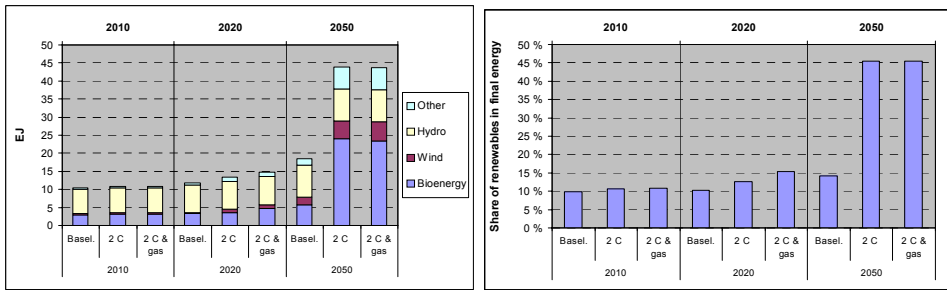
2. Globaalit ja alueelliset skenaariotarkastelut



Kuva 6. Primäärienergian kulutus EU-30-alueella baseline-, 2 °C ja 2 °C & gas -skenaarioissa.

Kuvassa 7 esitetään uusiutuvan energian kulutus energian loppukäytöstä (ei vastaa EU-direktiivin mukaista määrittelyä uusiutuvien energialähteiden osuudesta energiankulutuksessa). Laskelmien mukaan vuonna 2020 EU:n tavoitteita ei saavutettaisi 2 °C tai 2 °C & gas -skenaarioissa, mikäli ohjaavana tekijänä on ainoastaan päästöoikeuden hinta. Sen sijaan vuonna 2050 uusiutuvien energialähteiden osuus olisi jo yli 45 % energian loppukulutuksesta. Skenaarioiden perusteella voisimme olettaa, että päästöoikeuden hinnan nousun tuoma parempi kannattavuus ei riitä vuoden 2020 tavoitteen saavuttamiseksi, vaan tarvitaan myös muita tukimekanismeja kuin pelkkä päästöoikeuden hinnan nousun tuoma parempi kannattavuus. Lisäksi tulee huomioida, että vuoden 2050 ilmastopoliittikkaskaenaarion energiajärjestelmä edellyttää mittavia muutoksia koko energiajärjestelmässä ja etenkin infrastruktuurin osalta, jossa perinteisesti uudistumisnopeus on hyvin hidasta. Maakaasun osalta edellä esitettyjen ns. determinististen skenaarioiden realismisuutta tarkasteltiin lisäksi SEKKI-hankkeessa laaditulla Euroopan maakaasun hankintaa kuvaavalla mallilla.

2. Globaalit ja alueelliset skenaariotarkastelut



Kuva 7. Uusiutuvan energian kulutus loppukäytöstä.

2.3.3 Euroopan maakaasun hankinnan skenaarioita

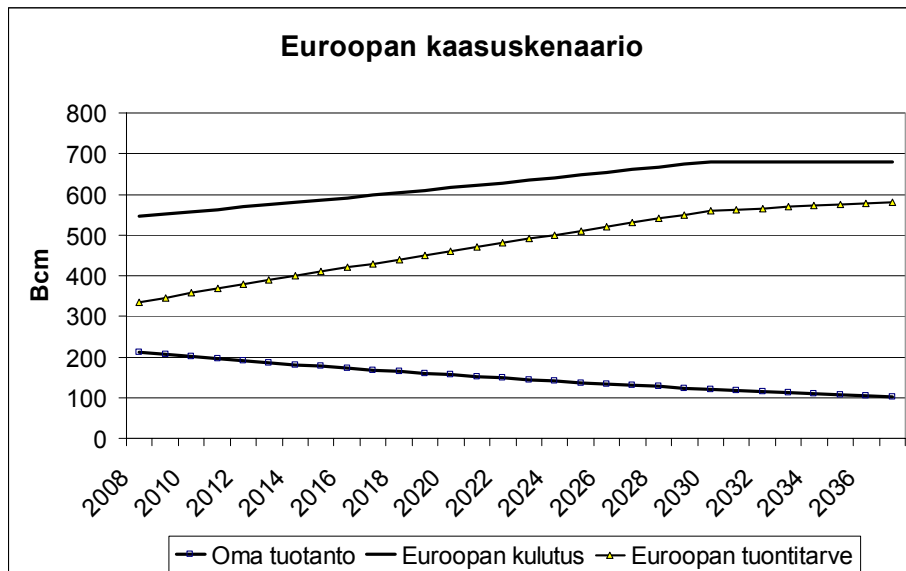
Euroopan maakaasun hankintaa kuvaavalla mallilla voidaan tarkastella muualla esitettyjen skenaarioiden realistisuutta, erityisesti kysynnän ja tarjonnan kohtaamista. Merkittävimmät asiaan vaikuttavat seikat ovat kaasukenttien käyttöönoton, tuotannon ja siirtojärjestelmän laajentamisen ajoitus sekä pitkällä aikavälillä myös kaasuntuottajan resurssien riittävyys. Vientikykyyn vaikuttaa osaltaan tuottajamaan oman kulutuksen kehittyminen ajan myötä. Laadittu malli on tarkoitettu Monte Carlo -simulointeihin. Se tarkoittaa, että valitut lähtötiedot kuvataan todennäköisyysjakaumin yksittäisen luvun asemesta. Näin voidaan tarkastella epävarmojen suureiden vaihteluvälin vaikutusta tulossuureisiin. Koska lähtötiedot kuvataan jakaumina, niin myös tulokset ovat jakaumia. Seuraavassa asetetaan malliin WEO 2008 skenaario kaasun kysynnän kehityksestä (IEA 2008b) ja tarkastellaan joitakin ajon tuloksia. Varsinaiset simulointiajojen analyysitulokset on kuvattu omassa raportissaan (Forsström 2009).

Lähi-idän kaasuvarat ovat mittavat, noin 40 % maailman kaasuvaroista, mutta vain murto-osa niistä on kansainvälisen kaupan piirissä. Esimerkiksi Iran ja Saudi-Arabia tuottavat toistaiseksi kaasua vain omaan käyttöön. Laskelmissa oletetaan, että Lähi-idän maat osallistuvat kaasun kysynnän kasvaessa globaaliin kauppaan aiempaa voimallisemmin, mm. mainitut maat aloittavat viennin noin vuonna 2020. Resurssien määrät eri maissa on mallilaskelmissa kuvattu epävarmoiksi. Niissä on oletettu, että kaasua löytyy lisää keskimäärin 20 % todennettujen varojen lisäksi. Lisälöytöjen määrä kuvataan todennäköisyysjakaumalla, ja löydöt tulevat käyttöön logistisen kasvukäyrän mukaisesti. Venäjän kenttien käyttöönotosta on oletettu, että vuonna 2018 alkaa Jamalin niemimaan kaasu-

2. Globaalit ja alueelliset skenaariotarkastelut

kenttien käyttöönotto ja sitä ennen nykyisiä tuotantoalueita laajennetaan siten, että tuotantokyky voi kasvaa maltillisesti. Pohjoisten merialueiden kaasuvarojen käyttöönotto alkaa aikaisintaan vuonna 2040. Kaasuntuotannon määrä Venäjällä seuraa suunnilleen BOFITin arvioita (Solanko & Ollus 2008).

Kaasun kulutuksen epävarmuus niin tuottajamaissa kuin ostajamaissakin on keskeinen suure skenaarioanalyseissa. Esitetyssä esimerkissä kaasun kulutukset on sovitettu WEO 2008:n (IEA 2008b) mukaisiksi niin kaasun tuottajamaissa kuin Euroopassa, USA:ssa ja Aasiassakin. Eurooppa kilpailee ostajana USA:n ja Aasian kanssa LNG-markkinoilla. Monte Carlo -simuloinnissa kulutuksen epävarmuus on merkittävin tulossuureiden vaihteluiden syy. Euroopan kulutus kuvataan skenaariotyypillisesti, sillä mielenkiinnon kohteena on se, miten skenaarion mukainen kaasun hankinta voi toteutua annettujen olosuhteiden vallitessa.



Kuva 8. Euroopan kaasunkäyttö ja -hankinta.

Euroopan kulutuksen ja kaasunhankinnan, eli oman tuotannon ja tuonnin, kehittyminen näkyy kuvassa 8. Keskeiset kaasuvirrat vuosina 2006 ja 2030 kuvataan taulukossa 2. Taulukosta puuttuvat mallissa esiintyvät tuottajat Norja ja Kaspianmeren alueen tuottajat. Viimemainitut vievät kaasua Venäjän siirtoputkiston kautta Eurooppaan. Venäjä aloittaa kaasun viennin Kiinaan ja Japaniin WEO:n skenaarion mukaan. Se on suuruudeltaan vuonna 2030 yhtä suurta kuin Kas-

2. Globaalit ja alueelliset skenaariotarkastelut

pianmeren alueen vienti nyt Venäjälle. Merkille pantavaa taulukossa 2 on Afrikan viennin voimakas kasvu Eurooppaan. Euroopan tuonti yhteensä on taulukon mukaan 478 bcm (billion cubic meters).

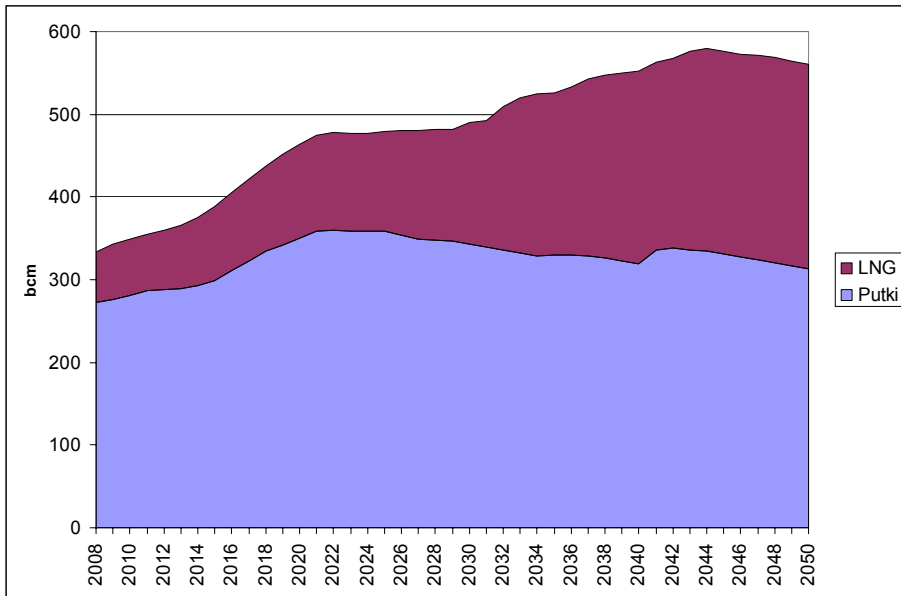
Taulukko 2. Alueiden väliset kaasuvirrat, yksikkö bcm. Sarakkeet kuvaavat ostajia ja rivit myyjä.

2006 / 2030	Eurooppa	USA (LNG)	Aasia (LNG)
Venäjä	137 / 156	0 / 2	
Lähi-itä	12 / 61 (LNG)	0 / 93	43 / 180
Afrikka	88 / 261 (putki ja LNG)	6 / 12	0 / 4

WEO:n skenaarion mukaan Euroopan tuonti Venäjältä ei juuri kasva vuoteen 2030 mennessä. Tällöin ei siis ole tarvetta uudelle putkikapasiteetille tai uuden kapasiteetin puuttuessa tuonti ei voi kasvaa. Mahdollinen Itämeren putki toisi vaihtoehtoisen reitin Venäjältä Eurooppaan, mikä sekä parantaisi siirron luotettavuutta että lisäisi kapasiteettia. Malliajossa on valittu, että Venäjän efektiivinen putkikapasiteetti Eurooppaan kasvaa puolet uuden Itämeren putken kapasiteetin määrästä. Pitkään suunniteltu Nabucco-putki avataan malliajossa oletettavasti vuonna 2014. Kaasua siihen syöttävät aluksi vain Kaspianmeren alueen tuottajat, myöhemmin myös Iran. Afrikasta Eurooppaan kulkevan siirtolinjaston kapasiteettia laajennetaan 30 bcm vuonna 2015. Nykyisten tuottajien lisäksi sen kautta alkaa virrata myös nigerialaista kaasua. Nigerian oletetaan liittyvän Pohjois-Afrikan putkijärjestelmään 25 bcm kapasiteetin yhdysputkella, joka rakennetaan Saharan poikki. LNG:n vastaanottokapasiteettia rakennetaan Euroopassa siten, että sen kapasiteetti riittää. LNG-toimituksen pullonkaulat, jos niitä ilmenee, sijaitsevat tuotantopäässä.

Malliajossa vuoden 2030 Euroopan tuonti on 490 bcm, eli vastaavuus WEO-skenaarioon on erinomainen. Mallissa Norja vie Eurooppaan, mutta WEO:n laskelmissa Norjan tuotanto on Euroopan tuotantoa. Kyse on Euroopan maantieteellisen ja poliittisen (EU) kartan eroista.

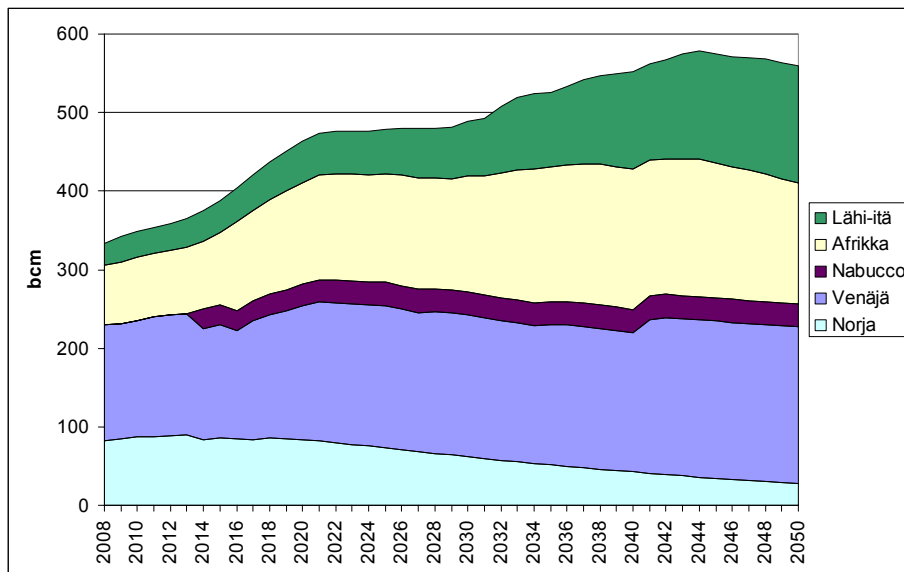
2. Globaalit ja alueelliset skenaariotarkastelut



Kuva 9. Euroopan tuonti eri tuotteissa.

LNG:n tuonti kasvaa voimakkaammin noin vuodesta 2020 eteenpäin putkikaasun tuonnin kääntyessä laskuun. Erityisesti Norjan varat alkavat ehtyä. Nyt suunnitelmassa olevat putki-investoinnit eivät riitä kattamaan kasvavaa Euroopan tuontitarvetta, minkä vuoksi LNG:n osuus kasvaa tulevaisuudessa. Se on merkittävä rakenteellinen muutos Euroopan kaasun hankinnassa. Koska Aasiassa kaasun tarpeen kasvu kanavoituu Lähi-idän kaasuvarojen kysynnäksi ja myös USA laajentanee omaa kaasuntuontiaan, niin LNG:n globaali merkitys väistämättä kasvavaa. Alueellisesti Euroopan tuonti jakautuu eräässä tapauksessa kuvan 10 mukaisesti.

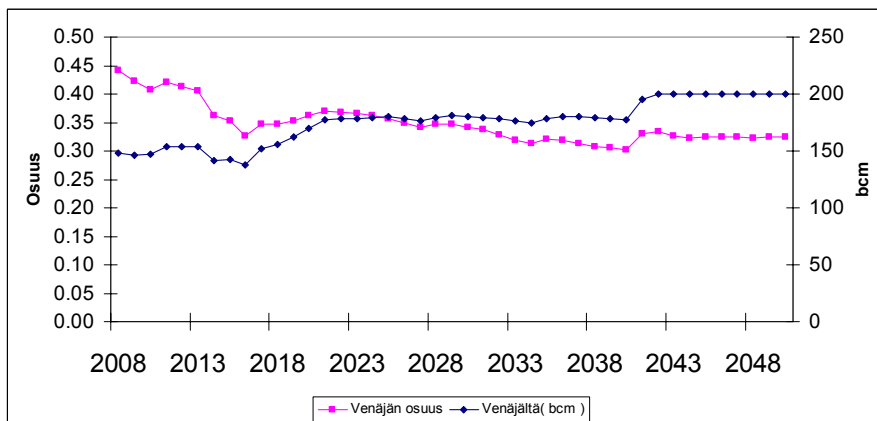
2. Globaalit ja alueelliset skenaariotarkastelut



Kuva 10. Euroopan kaasuntuonti alueellisesti.

Mallista ei saa tarkkaa tietoa siitä, mistä Eurooppa LNG:n ostaa, koska mallin kuvaamilla markkinoilla osto ja myynti ovat anonyymejä.

Venäjän osuus Euroopan tuontikaasusta ja Euroopan Venäjältä ostaman kaasun määrän kehitys esitetään kuvassa 11.

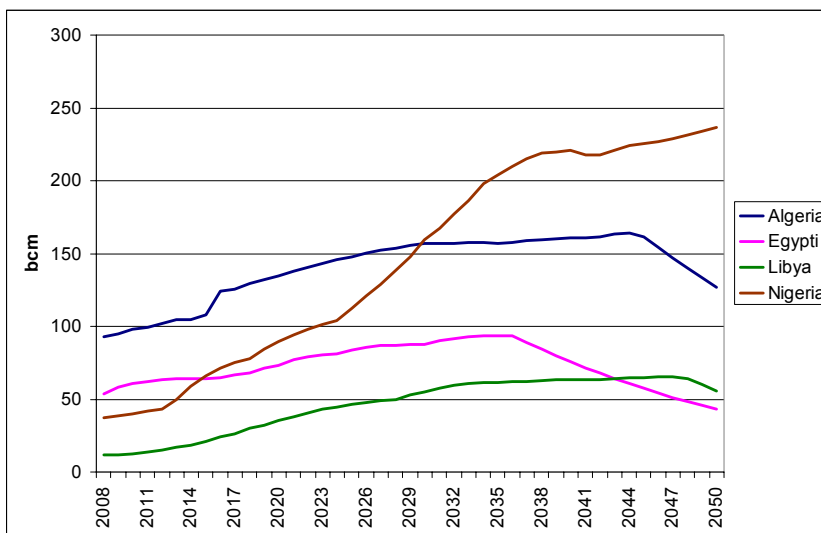


Kuva 11. Venäjä Euroopan kaasuntoimittajana.

2. Globaalit ja alueelliset skenaariotarkastelut

Koska putkikapasiteetti kasvaa vain hieman, on Venäjän osuus väistämättä voimakkaasti kasvavan tuonnin oloissa vähenevä. Pieni notkahdus tuontimäärässä vuoden 2015 paikkeilla johtuu siitä, että laajennusten tuotantokyky ei ole ehtinyt nousta riittävälle tasolle.

Euroopan strategisena tavoitteena on pidetty tuonnin hajauttamista, mikä tarkoittaa tuonnin kasvun kohdentamista Venäjän sijasta Afrikan ja Lähi-idän suuntiin. Erityisesti Afrikan tuonnin kasvu on huomattavaa useissa eurooppalaisissa skenaarioissa. Afrikka on Lähi-itää lähempänä, ja sieltä on jo vuosikymmeniä tuotu maa-kaasua sekä putkessa että nesteytettynä. Afrikan vientimahdollisuuksiin pitkällä aikavälillä vaikuttaa oleellisesti se, miten kaasun tuottajamaiden oma kulutus kehittyy. Esitetyissä skenaarioissa on käytetty WEO 2008:n mukaisia kasvulukuja, joissa Afrikan oman kulutuksen kasvu on keskimäärin 2,6 % vuodessa vuoteen 2030 saakka. Tämän jälkeen kulutuksen kasvun on oletettu putoavan kolmasosaan vuoteen 2050 ulottuvalla jaksolla. Afrikan tunnetut kaasuvarat ovat huomattavasti Lähi-idän varoja pienemmät, minkä johdosta pitkän aikavälin vientimahdollisuudet ovat väistämättä rajalliset. Tämä tulee selvästi näkyviin jo vuoteen 2050 ulottuvissa skenaarioissa. Afrikasta on WEO:n skenaarion mukaan muodostumassa todella tärkeä kaasun toimittaja Euroopalle. Kuvassa 12 esitetään Afrikan merkittävimpien tuottajien kaasun tuotanto perusuralla.



Kuva 12. Afrikan suurimpien tuottajamaiden kaasuntuotanto.

2. Globaalit ja alueelliset skenaariotarkastelut

Tarkastelujakson loppupuolella kaikkien muiden tuottajien kuin Nigerian tuotanto kääntyy laskuun. Jos Nigeriä ei yhdistetä Pohjois-Afrikan kaasuverkkoon Saharan yli kulkevalla putkella, niin Euroopan putkikaasun tuonti Afrikasta kääntyy laskuun tarkastelukauden loppupuolella.

3. Fossiiliset polttoaineresurssit ja -markkinat

Maija Ruska, Tiina Koljonen, VTT

Luvussa 2 esitettiin tulevaisuuden skenaarioita, joissa taustalla ovat oletukset fossiilisten polttoaineiden, ydinpolttoaineiden ja uusiutuvien energialähteiden resursseista. SEKKI-hankkeessa tehtiin eri polttoaine- ja energiaresurssien oletuksista suuruuksista kriittinen tarkastelu, joka perustui uusimpaan kirjallisuuteen ja tilastoihin. Tarkastelut painottuivat fossiilisiin polttoaineresursseihin ja biomassaan, erityisesti pelto- ja metsäbiomassaan. Tässä luvussa on yhteenveto öljy-, kaasu- ja hiiliresursseista sekä niiden markkinoiden kehityksestä ja luvussa 4 yhteenveto pelto- ja metsäbiomassa-arvioista. Energiaresursseja ja -markkinoita on esitetty laajemmin erillisessä raportissa (Koljonen et al. 2009b)

3.1 Fossiilisten polttoaineiden resurssit ja markkinat

Fossiilisten polttoaineiden, erityisesti öljyn, saatavuutta ja resurssien riittävyyttä on tarkasteltu pitkään. Fossiilisten polttoaineiden resurssien tarkkaa määrää ei voida tietää, sillä öljy, kivihiihi ja maakaasuesiintymät sijaitsevat maankuoren alla. Osa esiintymistä on syvällä meren pohjassa, osa arktisilla, vaikeasti tutkittavilla alueilla. Tosiasia kuitenkin on, että näiden polttoaineiden varat ovat rajalliset, ja etenkin öljyn taloudellisesti ja teknisesti hyödynnettävät varat hupenevat nopeasti.

Viime vuosina suurin huolenaihe kansainvälisessä keskustelussa on ollut öljyn tuotannon supistumisen alkamisen ajankohta eli ”peak oil”. Tuotannon on oletettu alkavan supistua jo useiden vuosien ajan, ja nykyisin merkittävimmät kansainväliset tahot ennustavat tuotannon kääntyvän laskuun noin 10–15 vuoden kuluessa. Merkittävämpää on kuitenkin se, että kaikkien fossiilisten polttoaineiden edulli-

3. Fossiiliset polttoaineresurssit ja -markkinat

set, helposti hyödynnettävät reservit hupenevat nopeasti. Viime vuosina fossiilisten polttoaineiden maailmanmarkkinahinnat ovat olleet erittäin korkeita ja volaatiileja, mikä on nähty yhtenä osoituksena reservien vähenemisestä. 2000-luvulla ennen maailmantalouden heikentymistä fossiilisten polttoaineiden kysyntä kasvoi myös voimakkaammin kuin tuotanto, jolloin pienetkin ongelmat tuotannossa tai kuljetuksessa aiheuttivat heilahteluja polttoainehintoihin.

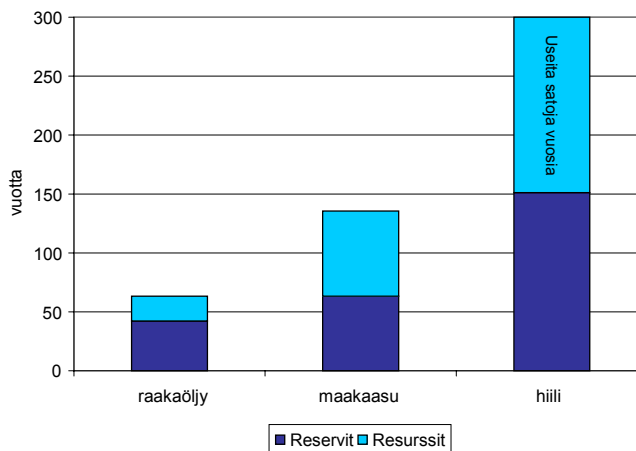
Tässä esityksessä käytetään seuraavia käsitteitä kuvaamaan reservejä ja resursseja:

- Reservit tarkoittavat arviota paikannetuista, nykyisin teknisin ja taloudellisin reunaehdoin hyödynnettävissä olevia varoista.
- Resurssit tarkoittavat arviota reservien lisäksi maankuoressa olevista varoista, jotka voidaan hyödyntää tulevaisuudessa.

Varsinkin öljyn kohdalla käytetään usein hyvin tarkkaa reservien ja resurssien osajaottelua, sillä maailman öljyvarat tunnetaan kohtuullisen hyvin. Sen sijaan hiili- ja maakaasuvarojen arviointi ei ole näin tarkkaa. Usein käytetään myös jakoa konventionaaliset ja epäkonventionaaliset varat. Tällainen jaottelu riippuu kuitenkin erittäin paljon kunkin ajan polttoaineiden hintatasosta ja käytettävissä olevien tekniikoiden kehittymisestä. Aiemmin meren pohjassa sijaitsevia öljyesiintymiä pidettiin epäkonventionaalisisina, nykyään näitä hyödynnetään laajasti. Tulevaisuudessa epäkonventionaalisia esiintymiä tullaan hyödyntämään entistä enemmän konventionaalisten varojen huetessa.

Kuvassa 13 esitetään saksalaisen BGR:n (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) arvio fossiilisten polttoaineiden reserveistä ja resursseista.

3. Fossiiliset polttoaineresurssit ja -markkinat



Kuva 13. Fossiilisten polttoaineiden reservien ja resurssien riittävyys vuoden 2006 tuotannolla (data BGR 2007).

3.1.1 Öljy

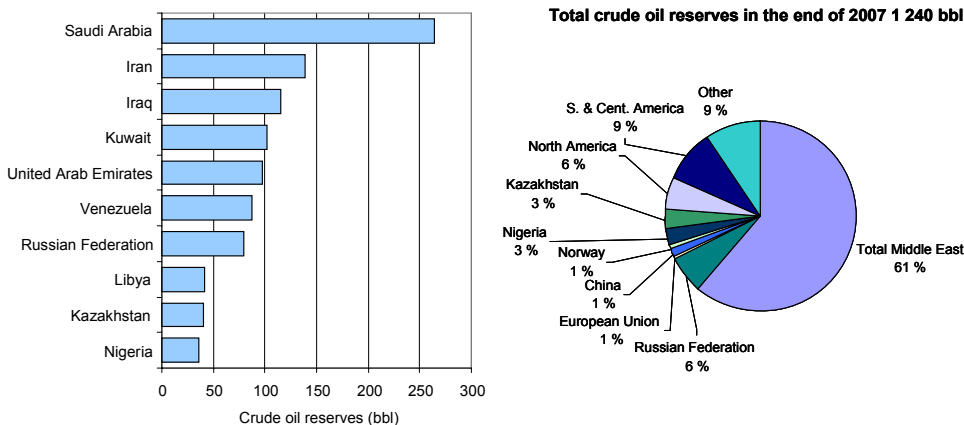
Raakaöljy on maailman tärkein energianlähde, ja se vastaa 36 %:sta maailman primäärienergian kysynnästä. Öljyn suhteellisen osuuden maailman energiankulutuksesta odotetaan vähenevän lähivuosikymmeninä. Öljyn kulutusta rajoittavat öljyvarojen hupeneminen, ilmastonmuutoksen hillintätoimet ja talouskasvun hidastuminen.

British Petroleum (BP) julkaisee vuosittain tilastokatsauksen maailman energiasta. Uusin katsaus on vuonna 2008 julkaistu British Petroleum Statistical Review (BP 2008). Tähän katsaukseen perustuen maailman paikannetut öljyreservit olivat vuoden 2007 lopussa 1 240 bbl (biljoonaa barrelia eli miljardia barrelia eli 10^9 barrelia). Öljyreservit ovat voimakkaasti keskittyneitä: noin 60 % reserveista on Lähi-idässä. Lisäksi merkittäviä öljyreservejä on myös Venezuelassa ja Venäjällä. Reservien jakautuminen eri alueille esitetään kuvassa 14.

Reservitiedot ovat joiltain osin ristiriitaisia. Suurin muutos reservitiedoissa tapahtui 1980-luvun lopussa, jolloin kuusi OPEC-maata yhdestätoista kasvatti reserviarvioitaan yhteensä 240 miljardilla barrelilla, mikä aiheutti globaalien öljyreservien 30 %:n kasvun. Saudi-Arabian ja Kuwaitin reserviarviot kasvoivat tällöin 50 %. Venezuela lisäsi arvioihinsa epäkonventionaaliset raskasöljyvarannot, jolloin sen reservit kasvoivat 57 %. Reservien lisäys ei selity uusilla esiintymillä, sillä öljynetsintäaktiiviteetit alueella ovat olleet vähäisiä. Todennäköinen

3. Fossiiliset polttoaineresurssit ja -markkinat

syy reservien äkilliseen lisäykseen lienee ollut poliittinen, sillä samaan aikaan käytiin OPECin sisäisiä neuvotteluja tuotantokiintiöistä.



Kuva 14. Paikannetut öljyreservit vuoden 2007 lopussa (data BP 2008).

Öljymarkkinat ovat maailman aktiivisimmat markkinat sekä volyymiltaan että arvoltaan. Öljyllä on globaali, yhtenäinen markkinahinta. Eri öljylaatujen hinnat toki eroavat hieman toisistaan. Suurimmat öljypörssit ovat New Yorkissa, Singaporessa ja Lontoossa. Euroopassa öljyn hintareferenssinä käytetään Pohjanmeren Brent-öljyn hintaa, joka noteerataan Lontoon International Petroleum Exchange -pörssissä (IPE). IPE:n mukaan kaksi kolmannesta maailman öljykaupasta hinnoitellaan suhteessa Brent-öljyyn. Pohjois-Amerikassa yleisin referenssilaatu on West Texas Intermediate (WTI) ja Persianlahdella Dubai Crude.

Öljyn hinta määräytyy maailmanmarkkinoilla kysynnän ja tarjonnan tasapainon mukaisesti. Suurin osa maailman öljyntuotannosta tulee OPEC-maista, jotka kartellina pitävät öljyn tuotannon niukkana, jotta hinta pysyisi vastaavasti korkeana. Hinta vaihtelee vuodenajan mukaan; loppuvuodesta öljyn hinta on usein korkea, kun kysyntä kasvaa kylmän sään takia ja varastoja kasvatetaan. Öljyn hintaan on viime vuosina vaikuttanut erityisesti puute sopivasta jalostamokapasiteetista.

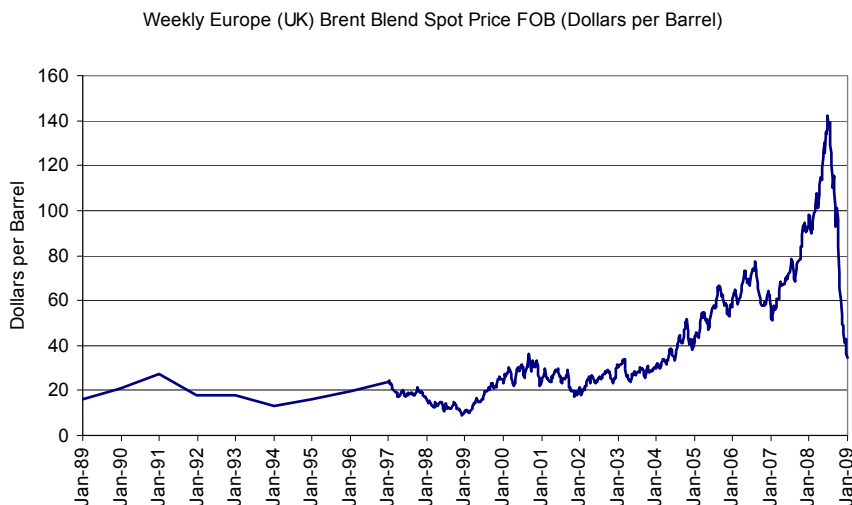
2000-luvulla öljyn hinta on ollut erittäin korkea ja volatiili (kuva 15). Useat tahot ovat esittäneet, että korkea hinta on johtunut siitä, että öljyn tuotannon huippu eli peak oil on saavutettu. Johtavat kansainväliset energiainstanssit kuten IEA ja BGR eivät kuitenkaan ennusta öljyn tuotannon kääntyvän reservien vä-

3. Fossiiliset polttoaineresurssit ja -markkinat

hyiden myötä laskuun lähivuosina vaan antavat seuraavia selityksiä korkeille öljyn hinnoille:

- erittäin nopeasti kasvanut öljyn kysyntä Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa, sekä erityisesti korkea kysyntä Kiinassa ja Intiassa
- OPECin aiheuttama keinotekoinen puute öljystä
- jalostamokapasiteetin puute
- tuotantohäiriöt (lakot Nigeriassa ja Venezuelassa, terroristi-iskut Irakissa, hurrikaanit Meksikonlahdella)
- Lähi-idän poliittinen tilanne
- Iranin ydinohjelma
- heikko USA:n dollari ja spekulointi öljymarkkinoilla.

Vuoden 2008 loppupuolella ja alkuvuonna 2009 öljyn hinta on laskenut erittäin alhaiseksi taluskriisin takia. Öljyn hinnan odotetaan kuitenkin palaavan suhteellisen korkealle tasolle maailman taloustilanteen parantuessa ja kysynnän kääntyessä nousuun.



Kuva 15. Pohjanmeren Brent-öljyn hinta (data EIA 2009).

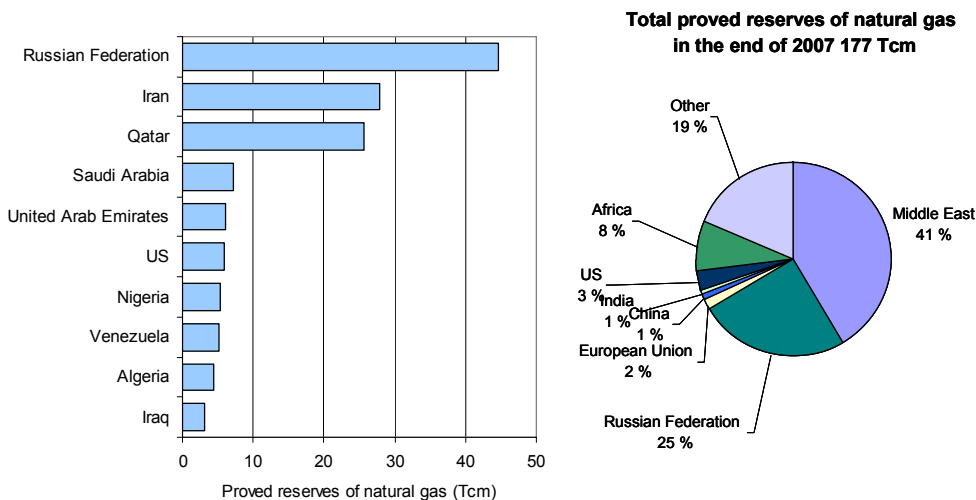
3. Fossiiliset polttoaineresurssit ja -markkinat

3.1.2 Maakaasu

Maakaasu kattaa noin neljänneksen maailman primäärienergian kysynnästä, käytetympiä polttoaineita ovat vain öljy ja hiili. Maailman maakaasuvarat ovat suuremmat kuin öljyvarat. Yhteensä maakaasureservejä oli vuoden 2007 lopulla noin 170 Tcm (10^{12} kuutiometriä). Maakaasuresurssit tunnetaan huonommin kuin öljyresurssit, mutta tunnettujen reservien lisäksi maankuoressa olevien resurssien määräksi arvioidaan noin 250 Tcm.

Maakaasuvarat ovat varsin homogeenisesti jakautuneet (kuva 16), ja varojen geopoliittinen jakauma on öljyvarojen jakauman kaltainen. Neljännes kaasureserveistä sijaitsee Venäjällä. Seuraavaksi suurimmat kaasureservit ovat Iranilla ja Qatarilla, yhteensä Lähi-idän mailla on noin 40 % maailman paikannetuista kaasureserveistä.

Kaasumarkkinat poikkeavat öljymarkkinoista, sillä kaasun kauppa on sidottu olemassa olevaan putki- tai nesteytetyn maakaasun LNG:n terminaaliverkostoon. Toistaiseksi valtaosa tuotetusta kaasusta siirretään putkiverkostoa pitkin, jolloin varsinaista maailmanmarkkinahintaa ei ole ollut. Yleensä kaasun hinta määritellään sidoksissa öljyn hintaan, jolloin eri markkina-alueiden hinnat korreloivat öljyn hintalinkin takia. Nesteytetyn maakaasun markkinoiden kehittymisen myötä eri markkina-alueiden hinnat tulevat lähentymään toisiaan ja maakaasun saa globaalin hintareferenssin.



Kuva 16. Kaasureservit vuoden 2007 lopussa (data BP 2008).

3.1.3 Hiili

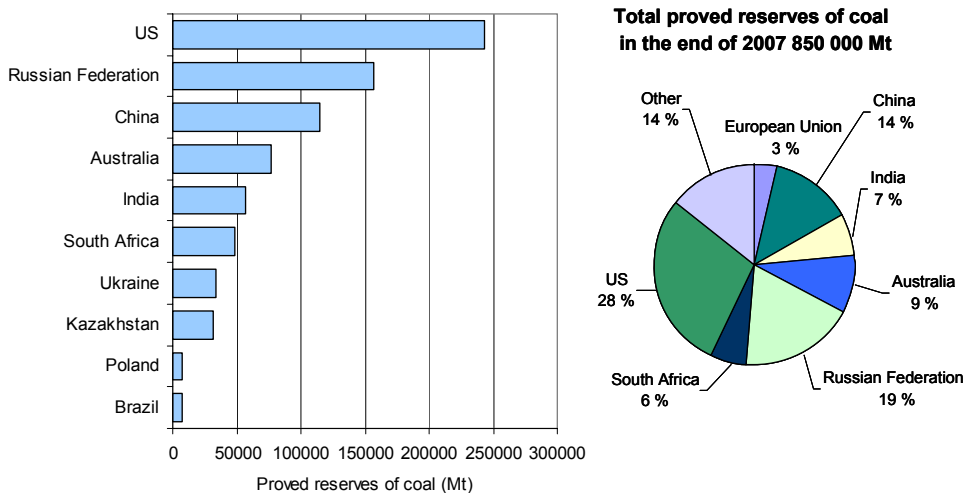
Hiili on fossiilisista polttoaineista laajimmalle levinnyt: taloudellisesti ja teknisesti hyödynnettäviä hiilivaroja on noin 70 maassa. Hiilireservit ovat suurimmat kaikista ei-uusiutuvista polttoaineista, ja reservien sijainti, suuruus ja hyödynnettävyys tunnetaan hyvin – onhan hiiltä hyödynnetty laajassa mittakaavassa jo 1800-luvulta lähtien. Maailman hiilivarat kattavat ennustetun kysynnän vielä moniksi kymmeniksi vuosiksi.

Kehittyvien talouksien, Kiinan ja Intian, hiilen kysyntä on viime vuosina kasvanut erittäin voimakkaasti, ja hiilen käyttö kasvaakin voimakkaammin kuin muiden fossiilisten polttoaineiden. Euroopassa hiilen käyttö on vähentynyt ilmastonmuutoksen hillintätoimien myötä.

Hiilen suurista reserveistä ja laajasta levinneisyydestä huolimatta hiilimarkkinat ovat alttiit tuotantohäiriöille. Hiiltä maailmanmarkkinoille tarjoavia maita on vain muutamia, ja viime vuosina useissa näistä on ollut vakavia tuotantohäiriöitä. Monilla alueilla hiilen tuotantoon tarvitaan uusia investointeja. Yksi näitä investointeja hidastava tekijä on epävarmuus tulevaisuuden ilmastonhillintätoimista. Erityisesti USA:ssa kotimainen hiilentuotanto on hiipumassa. Hiilen hinta on viime vuosina noussut voimakkaasti, mutta talouslaman myötä kääntynyt jälleen laskuun.

Vuoden 2007 lopussa paikannetut hiilireservit olivat yhteensä 850 miljoonaa tonnia. USA:lla on suurimmat tunnetut hiilivarat: USA:n osuus maailman hiilivaroista on noin 28 %. Hiilivarojen maantieteellinen levinneisyys esitetään kuvassa 17.

3. Fossiiliset polttoaineresurssit ja -markkinat

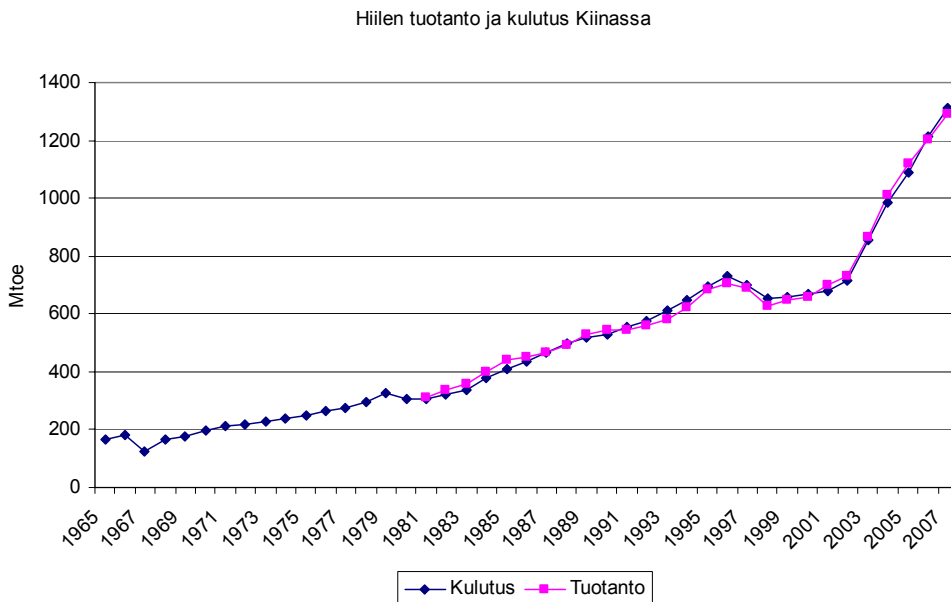


Kuva 17. Hiilireservit vuoden 2007 lopussa (data BP 2008).

Hiilen reservien suuruuteen ja reserviarvioiden luotettavuuteen liittyy merkittäviä epävarmuuksia. Arvio maailman hiilireserveistä on viime vuosina laskenut voimakkaasti. Vuonna 2000 hiilen R/P-suhde (reservien suhde tuotantoon) oli 227 vuotta, kun vuodelle 2007 vastaava arvio oli 133 vuotta. Samaan aikaan hiilen hinta on noussut merkittävästi, ja hinnan nousun myötä resurssien olisi pitänyt muuttua taloudellisesti hyödynnettäviksi reserveiksi ja hiilireserviarvioiden kasvaa. Viime vuosina maakaasun ja öljyn R/P-suhteet ovat pysyneet suunnilleen samalla tasolla. Reservien suhde tuotantoon on ollut maakaasulle noin 60 vuotta ja öljylle 40 vuotta.

Kiina on maailman merkittävin hiilen tuottaja ja käyttäjä. Kiinan osuus maailman hiilen tuotannosta oli vuonna 2007 40 % ja kulutuksesta 41 % (Kuva 18). Suurin hiilen käyttökohde Kiinassa on sähköntuotanto. Pienikin muutos Kiinan hiilentuotannossa tai -käytössä vaikuttaa koko maailman hiilimarkkinoihin ja hiilen hintaan. Kiinan hiilenvienti on viime vuosina vaihdellut voimakkaasti, ja näkemykset maan hiilentuotannon tulevaisuudesta vaihtelevat.

3. Fossiiliset polttoaineresurssit ja -markkinat

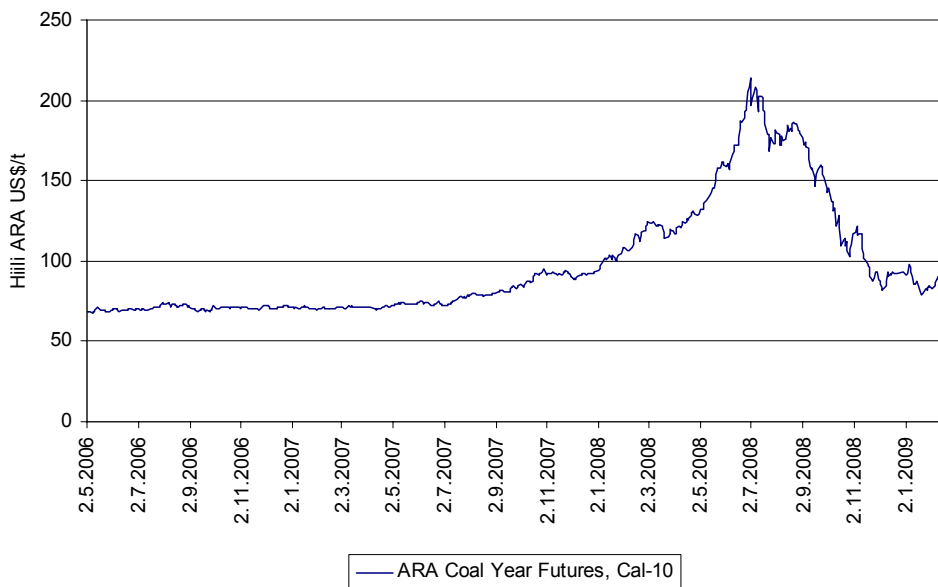


Kuva 18. Kiinan hiilen tuotanto ja kulutus vuosina 1965–2007 (data BP 2008).

Hiilellä ei ole yhtä maailmanmarkkinahintaa, sillä hiililaatuja on monia ja toisaalta kuljetuskustannukset muodostavat merkittävän osan hiilen hinnasta. Hinta ilmoitetaan yleensä FOB:nä (Free on Board), jolloin hiilen myyjä lastaa hiilen laivaan ja ostaja maksaa rahdin. Toinen tapa ilmoittaa hiilen hinta on CIF (Cost, Insurance and Freight), jolloin hiilen myyjä järjestää myös kuljetuksen määrän-päähän. Euroopassa määräsatama voi olla esimerkiksi Antwerpen, Rotterdam tai Amsterdam. Näihin satamiin tuotua CIF-hiiltä kutsutaan usein lyhenteellä ARA.

Viime vuosina useissa hiiltä maailmanmarkkinoille tuottavissa maissa on ollut merkittäviä tuotantohäiriötä. Nämä häiriöt ja toisaalta talouskasvun aiheuttama hiilen kysynnän kasvu nostivat hiilen hinnan erittäin korkeaksi vuonna 2008 (kuva 19). Maailmantalouden taantuma romahdutti kaikkien polttoaineiden kysynnän, jolloin myös hiilen hinnat alenivat.

3. Fossiiliset polttoaineresurssit ja -markkinat



Kuva 19. Hiilen hinta (ARA) toukokuusta 2006 helmikuuhun 2009. Noteeraukset vuoden 2010 vuosiforwardille (data EEX 2009).

4. Bioenergiaresurssit

Katri Pahkala, Kaija Hakala, Markku Kontturi, Oiva Niemeläinen, MTT, Martti Flyktman, Tiina Koljonen, VTT

4.1 Peltobioenergia

Maailman nykyinen energiankulutus on 442 EJ ja siitä noin 45 EJ:tä on peräisin biomassasta (IEA 2007a). On odotettavissa, että käytettävissä oleviin bioenergiaresursseihin tulee kohdistumaan voimakkaita hyödyntämispaineita. Peltoraaka-aineen soveltuvuus ja riittävyys bioenergiaksi joudutaan selvittämään alueittain ja käyttökohteittain. Tällöin on otettava huomioon myös kunkin maan mahdollisuudet tuottaa kansalaisilleen elintarvikkeita. Useissa maissa maatalouden tehossuudessa on jäänyt peltopinta-alaa myös muuhun käyttöön. Silloin bioenergian tuotanto (esim. öljykasvien ja viljan tuottaminen nestemäisiksi polttoaineiksi ja korsibiomassojen tuottaminen lämpö- ja sähkövoimalaitoksille) voi tulla kysymykseen. Lisäksi eri jättemateriaaleja sekä maatalouden ja elintarviketeollisuuden sivuvirtoja voi olla alueellisesti käytettävissä, mutta niiden todellinen käyttökelpoisuus energian raaka-aineena on selvitettävä tapauskohtaisesti.

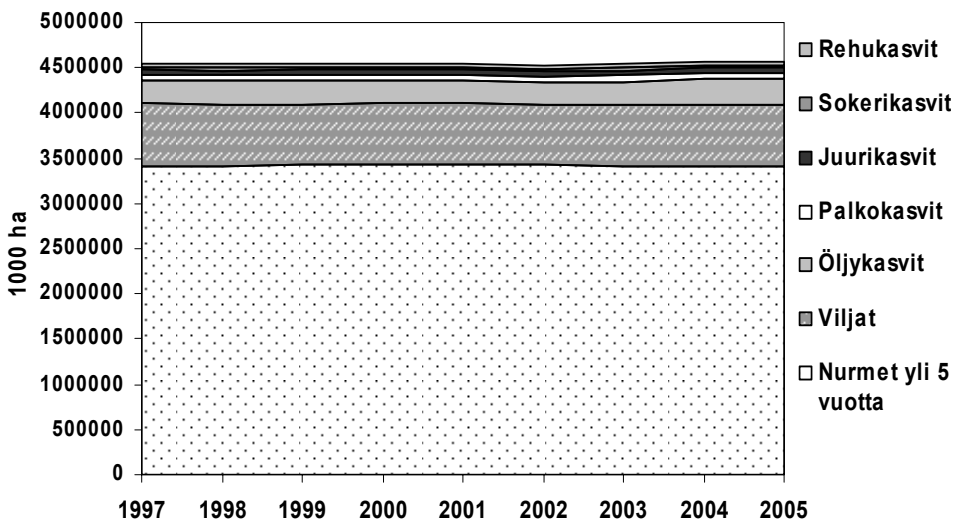
Tässä tutkimusosassa selvitettiin maapallon tärkeimpien peltokasvien tuotanto mukaan lukien nurmikasvit käyttäen FAO:n (Food and Agriculture organization) tilastoja vuodelta 2006 (FAOSTAT 2008). Lisäksi laskettiin teoreettiset ja tekniset sivuvirtavolyymit viljan, öljykasvien, palkokasvien, juurikasvien ja sokeri-kasvien tuotannolle kasvilajien satoindeksi- ja kuiva-ainetietojen avulla vuosille 2006 ja 2050. Tarkastelu tehtiin maailman 15 (vrt. taulukko 1) alueelle, EU 27 -maille ja vielä Suomelle erikseen. Myös bioenergiakasvien mahdollista pinta-alaa ja niistä saatavaa bioenergiaa vuonna 2006 ja 2050 selvitettiin ottaen huomioon IPCC:n päästöskenaario B1 (IPCC 2000) ja tulevaisuudessa maapallon

4. Bioenergiaressit

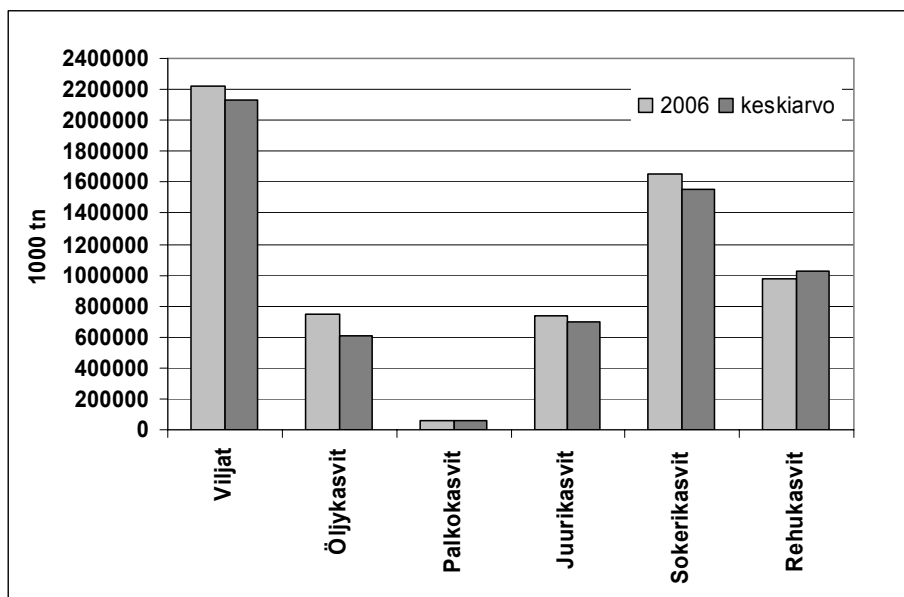
ruoan tuotanto noin yhdeksälle miljardille ihmiselle. Tutkimuksen menetelmäkuvaus ja taustat on esitetty tarkemmin MTT:n julkaisussa (Pahkala et al. 2009).

4.1.1 Datan validointi

Bioenergiapotentiaalien tarkasteluvuosi 2006 edusti tehdyn vertailun perusteella hyvin maailman eri viljelykasvien kokonaistuotannon tasoa pitkällä aikavälillä (Kuvat 20 ja 21). Maailman kokonaistuotanto on 2000-luvulla jonkin verran lisääntynyt, mikä saattaa kuitenkin johtua vaihtuvista tekijöistä, kuten säätilasta tai markkinoista. Kymmenen vuoden tarkasteluväliä pidettiin luotettavampana kuin vertaamista pelkästään 2000-luvun aineistoon (Kuva 21). Vaikka maailman eri alueet noudattelivat vuonna 2006 hyvin keskimääräisiä satotasoja, Australiassa (AUS, jossa mukana myös Uusi-Seelanti) satotasot olivat selvästi keskiarvoa pienemmät. Esim. vehnän tuotanto oli tällä alueella vuonna 2006 vain noin puolet kymmenen vuoden keskiarvosta. Tämän vuoksi alueelle laskettiin kymmenen vuoden keskiarvot kaikesta tuotannosta ja näitä arvoja käytettiin vuoden 2006 arvojen sijaan sekä sivutuotteiden että vapautuvan peltoalan arvioinneissa.



Kuva 20. Maailman tärkeimpien peltokasvien viljelyalat 1997–2005, kun myös pitkäikäiset nurmet on otettu mukaan (FAOSTAT 2008).



Kuva 21. Maailman tärkeimpien peltokasviryhmiä tuotannon keskiarvo vuonna 2006 ja vuosina 1997–2006 (1000 tn) (FAOSTAT 2008).

4.1.2 Peltokasvituotannon määrä

Vuoden 2006 suurimpien elintarvikekasviryhmiä tuotanto maaryhmittäin esitetään taulukossa 3. Suomi ja EU 27 -maat sisältyvät näihin lukuihin, mutta niiden kasvintuotannon määrät esitetään myös erikseen taulukoissa 5–8. Suurin satopotentiaali on viljakasveilla ja sokerikasveilla, mutta näitäkin suuremmaksi on arvioitu pestyvien laiturien (ikä yli viisi vuotta) tuotanto (Taulukko 4).

Viljavimmat alueet on pääsääntöisesti otettu peltoviljelykasvien (viljan, öljykasvien ym.) käyttöön. Nurmituotanto on sijoittunut tavallisesti hyvin vaihteleviin ja marginaalisiin tuotanto-olosuhteisiin, joissa markkinakelpoisten kasvien viljely ei ole kannattavaa. Tällaisia alueita hyödynnetään pääasiassa pestyvinä laiturina, ja niistä saatava tuotto korjataan lihakarjan avulla.

4. Bioenergiaressitit

Taulukko 3. Maailman suurimpien elintarvikekasviryhmiin ja kuitukasvien tuotanto (1 000 tn, FAOSTAT 2008) maaryhmittäin vuonna 2006. Sato varastointikosteudessa.

Kasvit	AFR	AUS	CAN	CHI	CSA	EEU	FSU	WEU
viljat	145464	33648	50895	445355	122717	81318	153680	200209
öljykasvit	45856	3214	13951	83328	124822	9368	25192	29447
kuitukasvit	1912	608		7553	1935	10	1876	604
viljapalkokasvit	11021	2135	4072	5557	5202	639	2930	3496
juurikasvit ja peruna	215671	1795	4995	176433	55570	17099	75044	41860
sokerikasvit	98012	36839	871	111220	613084	24805	60676	98149
vihannekset	56356	2849	2241	448446	27737	16191	40173	53866
mausteet	780	2	9	729	333	175	12	48
pähkinät	1676	41		1625	423	114	225	856
tupakka	342	7	43	2750	1223	148	65	322
hedelmät	63501	4335	550	90100	87707	10892	10740	55294
kaikki yht. 1000 tn	640590	85473	77626	1373097	1040753	160761	370613	484150
Kasvit	IND	JPN	MEA	MEX	ODA	SKO	USA	Maailma
viljat	239130	11741	68023	31959	287184	6653	346562	2224538
öljykasvit	53971	250	10535	1551	230639	203	110423	742750
kuitukasvit	5605	0	1385	165	3188	0	4498	29338
viljapalkokasvit	14264	84	3010	1663	5101	13	1953	61140
juurikasvit ja peruna	32485	4040	11898	1707	72484	917	20451	732450
sokerikasvit	281170	5173	26156	50597	185160		55715	1647627
vihannekset	81947	11624	51071	11486	44439	11138	37052	896616
mausteet	3334	41	209	119	1432	5	28	7256
pähkinät	1092	23	1747	176	1653	92	1305	11050
tupakka	550	47	222	19	563	35	338	6673
hedelmät	48045	3217	32955	14979	45521	2618	25445	495900
kaikki yht. 1000 tn	761594	36240	207210	114420	877364	21675	603771	6855337

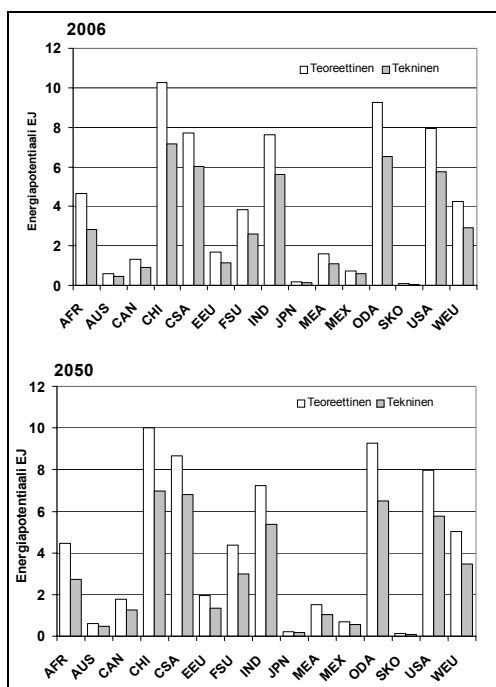
Taulukko 4. Nurmien pinta-ala (1 000 ha), vuosittainen kuiva-ainesato (milj. t) ja energiasisältö (EJ) arvioituna ohran biomassasadon mukaan. 1 EJ = 277,8 TWh.

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

Valtaosa maailman nurmituotannosta on ekstensiivistä tuotantoa, jossa kasvun lisääminen lannoituksella, kasvinsuojelulla tai uudella siemenmateriaalilla ei ole niin tavallista kuin peltoviljelykasveilla. Koska perusteellisia arvioita maailman nurmituotannon määrästä ei ole saatavilla, tämän tutkimuksen arvio maailman nurmialan biomassan tuotannosta saatiin epäsuorasti hyödyntämällä FAO:n tilastojen maakohtaisia ohran hehtaarisatoja ja nurmituotantoaloja. Tutkimuksesamme käytetyllä laskentatavalla maailman nurmituotannon määräksi saatiin vajaat 12 miljardia tonnia kuiva-ainetta (Taulukko 4). Potentiaali saattaisi olla eräiden kirjallisuuslähteiden mukaan (Riveros, päivämätön) jopa kolminkertainen.

4.1.3 Bioenergiaa kasvintuotannon sivuvirroista

Kasvintuotannon sivuvirtoihin katsotaan sisältyvän kaikki muu paitsi päätuotteeksi katsottava biomassa. Kuvassa 22 esitetään viiden kasviryhmän yhteenlaskettu teoreettinen ja tekninen sivuvirtapotentiaali (viljan oljet, öljy- ja palkokasvien varret, juurikasvien ja sokerijuurikkaan naatit ja sokeriruo'on puristusjäte eli bagasse) energiana (EJ) vuosina 2006 ja 2050.



Kuva 22. Kasvintuotannon sivuvirtojen teoreettinen ja tekninen energiapotentiaali (EJ) vuonna 2006 ja 2050. 1 EJ = 277,8 TWh.

4. Bioenergiaressit

Teoreettinen potentiaali tarkoittaa koko sivutuotteen biomassaa. Kun sivutuotteen teoreettisesta potentiaalista vähennetään peltoon jäävä osuus (esim. puidessa sänki tai muu korjuutappio), saadaan tekninen potentiaali. Tässä tapauksessa siitä on vähennetty maissilla 25 %, muilla viljoilla 30 %, öljykasveilla ja palkokasveilla 30 %, perunalla 50 % ja sokerijuurikkaalla 50 %.

Kasvinjätteillä voi olla monia edullisia vaikutuksia viljelymaahan (Andrews 2006, Blanco-Canqui & Lal 2008). Ne suojaavat maata vesi- ja tuulieroosiolta ja lisäävät maan kestävyyttä liettymistä vastaan. Tutkimusten mukaan kyntämättömässä viljelyssä noin 30 % kasvinjätteistä voidaan korjata pois ilman, että lisätään eroosiota (Lindstrom 1986, Andrews 2006). Alueet, joilta kasvijätteiden poiskorjaaminen saattaa aiheuttaa eroosiota ym. ongelmia, kärsivät jo nyt kuivuudesta. Näitä alueita ovat esim. Intia, Meksiko, USA, Afrikka, Lähi-itä, Kiina ja useat muut Aasian maat (Parry et al. 2004). Pohjoisella pallonpuoliskolla esim. Kanadassa ja Euroopassa, joissa kuivuusuhka on pienempi, sivuvirtojen suurimittainen hyödyntäminen on vielä mahdollista.

4.1.4 Euroopan bioenergian tuotanto

Taulukossa 5 esitetään EU 27:n ja Suomen peltoviljelytuotanto vuonna 2006 FAO:n tilastojen ja Suomen osalta Tike:n (Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskuksen) tietojen perusteella. Tiedot nurmista esitetään vuodelta 2005 (Taulukko 6), koska uudempia tietoja EU 27 -maista ei löydy FAO:n tilastoista. Tiedot kasvintuotannon sivutuotteiden määristä ja energiasisällöstä esitetään taulukossa 7. Korsiviljojen viljelyala oli vuonna 2006 noin 58 milj. ha ja vuonna 2005 noin 60 milj. ha eli 31 %. Öljykasveja viljeltiin vuonna 2006 noin 16 milj. ha ja vuonna 2005 noin 15 milj. ha (7,6 %). FAO:n tilastossa vuonna 2005 Euroopan Unioniin kuuluvien maiden maatalousmaan ala oli 192,2 miljoonaa hehtaaria (FAO 2008), josta peltoviljelyssä oli 111 milj. ha (57,6 %) ja nurmiviljelyssä 69,1 milj. ha (35,9 %). Euroopan kokonaisenergian kulutus vuonna 2005 oli 71,3 EJ. Biomassan osuus energian lähteistä oli 2,6 EJ (IEA 2007a).

Tällä hetkellä suurimman bioenergian lähteen EU:ssa muodostavat jätteet (pelto, metsä, kotitalous). Niiden määrä on noin 100 Mtoe (EEA 2006), eikä kokonaismäärän ennusteta muuttuvan oleellisesti vuoteen 2030 mennessä. Peltobiomassojen jätevirrasta merkittävin on viljan olki, josta noin kolmasosan tuottavat Saksa ja Ranska. Myös Englannilla, Italiassa ja Puolalla on paljon peltoa ja suuri oljen tuotantopotentiaali. Muita peltobiomassan lähteitä ovat öljykasvien, juurikasvien ja sokerijuurikkaan varret ja naatit (Taulukko 5).

4. Bioenergiaressit

Pitkällä aikavälillä suurimman potentiaalin muodostaa runsassatoisten bioenergiakasvien lisääntyvä peltoviljely. Maankäytön muutokset ja tuotannon rajoitusten poistaminen EU:ssa edesauttavat tätä kehitystä. Ympäristön kannalta kestävän bioenergian tuotannon maataloudesta ennustetaan kasvavan nykyisestä 47 Mtoe:sta 142 Mtoe:iin vuoteen 2030 mennessä (EEA 2006). Valtaosa tuotannon kasvusta tulee seitsemästä EU-valtiosta: Espanja, Ranska, Saksa, Italia, Englanti, Liettua, Puola (EEA 2006).

Taulukko 5. Tärkeimpien peltokasvien viljelyalat ja tuotantomäärät EU 27 maissa ja Suomessa vuonna 2006. (Lähteet EU27: FAOSTAT 2008 ja Suomi: Tike 2008)

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

Taulukossa 6 esitetään Euroopan ja Suomen nurmituotannon nykytilanne sekä kokonaistuotannon energiasisältö. Prochnowin et al. (2007) mukaan nurmien rehuotuotannosta vapautuisi alaa uusiutuvan energian tuotantoon. Heidän laskelmassaan vuonna 2020 olisi 9,2 milj. ha eli 13 % pysyvien laidunten alasta mahdollista käyttää muuhun kuin rehukäyttöön.

4. Bioenergiaressit

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

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

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

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

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

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

Kasvilaji	Tuotanto milj.t	Kuiva-aine milj t	Sivutuote milj t	EJ1	EJ2
Viljat	270	232	244	4,38	3,1
Öljykasvit	37	27	42	0,76	0,53
Palkokasvit	4	3	3	0,06	0,04
Juurikasvit	57	17	14	0,25	0,13
Sokerikasvit	111	23	12	0,22	0,11
	480	303	315	5,68	3,91

EU:n odotettavissa olevan maatalouspolitiikkareformin (CAP, Common Agricultural Policy) seurauksena sekä lisäksi nykyisin kesantona olevasta viljelymaasta tulee vapautumaan viljelymaata bioenergian tuotantoon. Myös osa pitkäikäisten nurmien pinta-aloista tulee bioenergiakäyttöön Euroopassa (Taulukko 6). EEA:n raportissa (2006) on arvioitu ympäristön kannalta kestävän peltoalan lisääntyvän EU:ssa noin 50 % vuoteen 2030 mennessä. Hyvät bioenergiakasvit ovat monivuotisia, ja joistakin kasveista voidaan saada useampi sato samana vuonna (Taulukko 7). Uudet tulevaisuuden bioenergiakasvit edellyttävät jalostus- ja kehitystyötä, ja jotkut niistä tulevat käytännön viljelyyn 2010-luvulla.

4.1.5 Suomi

Suomessa oli vuonna 2007 peltoa noin 2,3 milj. ha (Tike 2007). Yli miljoonalla hehtaarilla viljeltiin viljaa ja 0,65 milj. hehtaarilla rehunurmikasveja. Runsaan 0,1 milj. hehtaarin viljasato on viety jalostamattomana ulkomaille. Öljykasvien peltoala on ollut viime vuosina 68 000 – 107 000 hehtaaria. Kesantoa on EU-aikana ollut 10–11 % peltoalasta. Suomessa ravinnon ja rehujen tuotantoon tarvitaan noin 1,7–1,8 milj. hehtaaria peltoa. Energiatarkoituksiin voitaisiin käyttää silloin noin 0,5–0,7 milj. hehtaaria ilman, että elintarviketuotanto vaarantuisi Suomessa (PTT 2006). Peltoenergian tuotanto on sidottu vahvasti poliittisiin päätöksiin. Suomen energiankulutus oli 1,47 EJ vuonna 2007. Uusiutuvan energian osuus siitä oli 25 % ja yksistään puun osuus jo 20 % (Tilastokeskus 2008).

Taulukossa 5 kuvataan Suomen yleisimpien viljelykasvien alat ja tuotantomäärät vuonna 2006 ja taulukossa 6 Suomen nurmituotanto vuonna 2005. Tiken tilastoissa nurmet jaotellaan käyttötavan mukaan kuivaheinään (107 000 ha vuonna 2005), säilörehuun (398 000 ha), tuorerehuun (16 000 ha), laitumiin (92 000 ha) ja siemennurmiin (9 000 ha) sekä erillisenä yli viiden vuoden ikäisiin nurmiin (33 000 ha). Suomessa nurmet ovat valtaosaltaan (noin 95 % nurmista) kylvettyjä ja lyhytikäisiä (alle viisi vuotta).

Suomessa peltokasveista ainoastaan ruokohelpeä viljellään pelkästään energiataroituksiin. Vuonna 2007 ruokohelven korjatun sadon arvioitiin olevan 3–3,6 t_{ka}/ha riippuen alueesta (Taulukko 8). Ruokohelven ensimmäinen sato korjataan vasta kahden vuoden kuluttua kylvöstä, ja se on yleensä pienempi kuin seuraavat sadot. Tässä laskelmassa (Taulukko 8) otettiin huomioon vain vuonna 2005 tilastoidut ruokohelpialueet, sillä sitä myöhemmin kylvetyt olivat vuonna 2007 liian nuoria korjattavaksi. Ruokohelven sato käytetään suorassa poltossa CHP-laitoksissa. Suomessa on yli 100 päästökaupan alaista laitosta, joissa ruokohelven ja oljen poltto olisi mahdollista. Nykysuositusten mukainen käyttö, 10 % puun joukossa ja 20 % turpeen joukossa (Vapo 2008), vastaisi 10 TWh:n käyttöä. Viljelyala on aivan viime vuosina kasvanut nykyiseen noin 20 000 hehtaariin (Tike 2008).

Myös viljan olkea käytetään pieniä määriä suorassa poltossa, ja seospolttoa kivihiilen kanssa on suunniteltu. Rypsin ja rapsin varsisato voisi myös olla potentiaalinen energian lähde, sillä varsisato on noin kaksinkertainen siemensatoon verrattuna. Kauran jyviä ja öljykasvien siemeniä voidaan polttaa sellaisenaan. Näin on meneteltykin, kun esim. kaurasato ei ole kelvannut elintarviketyttöön. Taulukossa 8 esitetään yhteenveto vilja- ja öljykasvikasvilajien siemensadosta ja

4. Bioenergiaressit

korsibiomassasta vuonna 2007. Sivutuote on laskettu satoindeksin avulla. Satoindeksin avulla lasketusta kuiva-ainesadosta on vähennetty vielä puinnin yhteydessä maahan jäävän sängin (18–20 cm) osuus biomassasta.

Taulukossa 9 esitetään tulevaisuuden energiaviljelyssä käytettäviä hehtaari-määriä, joita Finbion peltoenergiastrategiassa (Suominen 2007) pidetään realistisena. Tässä laskelmassa on otettu huomioon myös mahdollinen satotason kehittyminen, satoindeksit sekä eri energiantuotantovaihtoehdot. Öljykasvien siemensadon (ka) on oletettu olevan 1,4 t/ha vuonna 2010, 1,5 t/ha vuonna 2015 ja 1,6 t/ha vuonna 2050. Siemenet sisältävät öljyä 44 % kuiva-aineesta. Oljen (viljan ja öljykasvien keskim.) sato-oletuksena on 2,4 tn_{ka}/ha. Ruokohelven ja oljen energiasisältö kuiva-aineessa on 18 MJ/kg. Ruokohelven kuiva-ainesadon odotetaan nousevan nykyisestä 3–4 tonnin keskisadosta korjuuteknologian tehostumisen ja lajikejalostuksen ansiosta siten, että se on 4 t vuonna 2010, 5 t vuonna 2015 ja 7 t vuonna 2020.

Taulukko 8. Viljan, öljykasvien ja ruokohelven viljelyala, sato ja korsibiomassan energiasisältö alueittain vuonna 2007. 1 EJ = 277,8 TWh. Energia-arvo korsibiomassojen kuiva-aineelle 18 MJ/kg. Lähde: Tike 2008 (alat ja jyvä- ja siemensato), MTT:n laskelmat (olki- ja varsisato, ruokohelven sato) .

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

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

Energian lähde	2010	2015	2020
Ruokoheppi			
Ala 1000 ha	50	100	150
Rh 1000 t kuiva-ainetta	200	500	1 050
Energia poltossa TWh	1	2,5	5,25
Olki (vilja, öljykasvi)			
¹ Korjattu ala 1000 ha	40	70	100
Olki 1000 t _{ka}	98	171,5	245
Energia poltossa TWh	0,49	0,86	1,22
Viljan jyvät			
Viljaa energiaksi 1000 ha	70	70	70
Jyviä 1000 t _{ka}	245	245	245
EtOH 1000 t	76,0	76,0	76,0
² EtOH milj litraa	96,3	96,3	96,3
Etanolia TWh	8,2	8,2	8,2
Rypsi ja rapsi (ÖK)			
Energiaksi 1000 ha	5	15	30
ÖK 1000 t _{ka} siementä	7	22,5	45
Kasviöljyä 1000 t	3,1	9,9	19,8
³ Biodieseliä 1000 t	3,0	9,5	19,1
Biodieseliä TWh	0,41	1,32	2,65
Yhteensä 1000 ha	125	185	250
Yhteensä energiaa TWh	10	13	17
¹ Olki on viljelyn sivutuote, joten sitä ei lasketa mukaan energiakasvien kokonaisalaan.			
² Etanolin tiheys 0,7894 kg/l ja energiasisältö 23,6 MJ/litra			
³ Biodiesel: rypsiöljy tiheys 0,918 kg/l, biodiesel tiheys 0,885 kg/l ja energia 38,5 MJ/kg.			
1 l rypsiöljyä=1 litra biodieseliä.			

4.1.6 Maailman peltobioenergian tuotanto vuonna 2050

Tulevaisuudessa bioenergiakasvien viljely riippuu suuresti ruoan tuotannon riittävydestä maapallon eri alueilla. Taulukossa 10 esitetään bioenergiakasvien potentiaalinen viljelyala maailmassa ja eri alueilla nyt (2006) ja taulukossa 11 vuonna 2050. Viljelyalan laajuus vaihtelee riippuen ihmisten ruokavaliosta. Mitä enemmän lihaa syödään, sitä enemmän tarvitaan peltoalaa ruoan tuotantoon ja

4. Bioenergiaressit

sitä vähemmän peltoalaa jää bioenergian tuotantoon. Mahdollisesti vapautuvalle peltoalalle soveltuvat bioenergiakasvit ja niiden arvioitu energiasaanto (GJ) hehtaaria kohti esitetään taulukossa 12. Tällä hetkellä bioenergiakasveja ei viljellä taulukossa 8 esitetyllä alalla. Myös vuoden 2050 lukemat ovat teoreettisia. Sekä nykyhetken että tulevaisuuden bioenergiapotentiaalin arvioissa oletetaan, että koko nykyinen peltoala on käytössä ja elintarvikkeita tuotetaan ja kulutetaan ilman hävikkiä. Tällä hetkellä esim. Kanadassa, USA:ssa ja entisen Neuvostoliiton (FSU:n) alueella vain n. 60 % peltoalasta on käytössä. Lisäksi raaka-aineen varastohävikit sekä valmiiden elintarvikkeiden hävikit kaupassa ja kulutuksessa ovat huomattavia. Tulevaisuuden tilannetta arvioitaessa oletetaan myös, ettei maatalousmaata menetetä vaan kaikki nykyisin olemassa oleva maatalousmaa on käytössä vuonna 2050.

Maailma pystyy teoriassa ruokkimaan itsensä ravitsevalla ruoalla niin nyt kuin tulevaisuudessakin. Taulukoissa 10 ja 11 oletetaan, että GE eli viljaekvivalentti per henkilö on sekä nyt että vuonna 2050 vähintään 800. Taulukkojen 10 ja 11 perusteella valittiin ne alueet, joissa peltoa mahdollisesti olisi käytettävissä bioenergiakasvien viljelyyn (AUS, CAN, CSA, MEX, WEU, EEU, FSU, USA) ja jaettiin vapaa peltoala potentiaalisille bioenergiakasveille, joiden hehtaarisato ja energiasisältö on laskettu vuosille 2006 ja 2050 taulukossa 12.

Bioenergiakasvit, joiden oletettiin olevan käytössä vuonna 2050, ovat todennäköisesti samoja kuin nykyäänkin tai kasveja, joiden pitkäaikaisissa tutkimuksissa on saatu lupaavia tuloksia. Taulukossa 12 esitetään näiden kasvien koko biomassasato käyttäen alueen nykyisiä hehtaarisatoja. Lisäksi on arvioitu energiakasvien osuutta kullakin alueella ja käytetty saatua arviota hehtaarin energiasaannon laskemisessa. Sadon energia-arvot on laskettu myös koko biomassalle olettaen, että koko sato käytetään energiaksi. Vuoden 2050 luvut energiapotentiaalille on laskettu käyttäen lähteen Pakkala et al. (2009) esittämiä kertoimia.

4. Bioenergiaressit

Taulukko 10. Potentiaalinen bioenergiakasvien tuotantoala ja tuotettava energiamäärä (EJ) vuonna 2006 nykyisin käytössä olevalla peltoalalla laskettuna väkiluvun ja tarvittavan viljaekvivalentin (GE*2) mukaan. 1 EJ = 277,8 TWh. GE = viljaekvivalentti, per capita = henkeä kohden, GE suhteutettuna lihapitoinen dieetti vastaa 1535, sekadieetti 860 ja kasvisdieetti 490 GE vuodessa (Penning de Vries et al. 1997).

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

Taulukko 11. Potentiaalinen bioenergiakasvien tuotantoala ja tuotettava energiamäärä vuonna 2050 nykyisellä peltoalalla laskettuna väkiluvun ja tarvittavan viljaekvivalentin (GE*2) mukaan. GE = grain equivalent, per capita = henkeä kohden, GE suhteutettuna lihapitoinen dieetti vastaa 1535, sekadieetti 860 ja kasvisdieetti 490 GE vuodessa (Penning de Vries et al. 1997). 1 EJ = 277,8 TWh.

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

4. Bioenergiaressit

Taulukko 12. Potentiaaliset energiakasvit, niiden osuus vapautuvalla peltoalalla ja energiasäältä (GJ/ha) vuonna 2006 ja 2050. AUS: tuotantoarvio perustuu vuosien 1997–2006 keskiarvoon, muilla alueilla vuoden 2006 tuotantoon.

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

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

4.1.7 Tulosten tarkastelu

Kasvintuotannon sivuvirrat bioenergian lähteenä

Kasvintuotannon sivuvirrat muodostavat erityisesti korkeilla leveysasteilla mahdollisen bioenergiapotentialin. Edullisilla alueilla viljan tai öljykasvien tuotannon lisääntyessä tulevaisuudessa myös sivutuotteeksi katsotun korsimateriaalin määrä lisääntyy. Sen saaminen hyötykäyttöön parantaa kasvintuotannon taloutta ja energiatasetta. Esimerkiksi suorassa poltossa korsimateriaalin koko energiasäältä saadaan hyödynnettyä. Toisen sukupolven polttoaineiden tuotannossa korsimateriaalin prosessointi on toistaiseksi hyvin energiantensiivistä vähentäen koko tuotantoketjun energiatehokkuutta.

Viljelyn kannalta kestävä kasvinjätteiden korjuumäärä bioenergiaksi riippuu viljelymenetelmästä, sadon määrästä, maalajista ja paikan maantieteellisestä sijainnista. Mallintamista voidaan käyttää apuna turvallisen korjuumäärän arvioinnissa. Monilla alueilla maan laadun ja viljavuuden säilyttäminen vaatii

kasvinjätteiden pellolle jättämistä enemmän kuin nykyisin tehdään (Andrews 2006). Näillä alueilla voidaan lisääntyneen eroosion ja maan orgaanisen aineksen kulumisen vähentämiseksi käyttää maan laatua suojelevia viljelymenetelmiä, kuten sänkimuokkausta (conservation tillage). Myös aluskasvien (cover crops) viljely on usein toimiva vaihtoehto. Riippumatta kasvinjätteiden käsittelytavasta peltojen tilaa eroosion ja kuorettumisen suhteen joudutaan tarkkailemaan säännöllisesti. Myös määräjoihin toistettavat maan hiilipitoisuuden määritykset auttavat pellon viljavuuden seurannassa. Kasvinjätteiden poistaminen suhteutetaan maassa tapahtuviin muutoksiin. Jos eroosio lisääntyy tai maan hiilipitoisuus pienenee, vähennetään sivuvirtojen hyödyntämistä maan laadun säilyttämiseksi.

Arvio energiakasvien tuotantoalasta vuonna 2050

IPCC:n päästöskenaarioreportin (IPCC 2000) ja viimeisimmän YK:n väestöraportin (United Nations 2007) mukaan maailman väkiluku nousee maltillisimmassakin B1-skenaarion ennusteessa yli yhdeksään miljardiin vuoteen 2050 mennessä. Tämä tarkoittaisi ruoantuotannon lisästarvetta 1,5-kertaiseksi, jos ihmisten ruokavalio säilyisi nykyisenä. Koko maailman ruoan tuotanto riittäisi-kin lisääntyneen väkimäärän tarpeisiin, jos tuotanto olisi jakautunut tasaisesti ja jos ihmiset käyttäisivät joko kasvisruokaa tai sekaruokaa, jossa lihan käyttö olisi kohtuullista (Taulukot 10 ja 11). Kiinan ja Intian kasvava elintaso kuitenkin näyttäisi johtavan lihan yhä suurempaan osuuteen dieetissä ja samalla yhä suurempaan viljelyalaan, sillä lihapitoisen ruokavalion tuotanto vaatii kasvispitoiseen verrattuna suuremman peltoalan. Lisäksi suuressa osassa maailmaa, mm. Afrikassa, tuotantoteknologian olisi nopeasti kehityttävä vastaamaan lisääntyvän väestön tarpeita, jotta alueen väkimäärä pystyttäisiin ruokkimaan edes kasvispitoisella ruoalla.

Investoinnit tuotannon tehostamiseen voisivat vähentää peltomaan tarvetta ruoan tuotannossa. Joidenkin skenaariolaskelmien mukaan nykyisestä peltoalasta tarvittaisiin vain 20 % ruoantuotantoon vuonna 2050, jos tuotantoa pystyttäisiin tehostamaan ja ruokavalio siirtyisi kasvisruoan suuntaan (Wolf et al. 2003). Vaikka liharuokaakin nautittaisiin kohtuullisesti, tuotannon tehostaminen vapauttaisi peltoalaa siten, että 64 % nykyisestä maatalousalasta (3,16 mrd. ha) voisi olla bioenergiakäytössä vuonna 2050 sillä oletuksella, että väestö kasvaa B1-skenaarion mukaisesti (9,2 mrd. vuonna 2050) (Wolf et al. 2003). Ongelmana on kuitenkin usein tuotannon tehostamisen resurssointi. Niissä maissa, joissa tuotanto on jo nykyään tehokasta ja resursseja riittävästi sen edelleen tehostami-

4. Bioenergiaressit

seen (esim. Pohjois-Euroopassa), peltomaata voitaisiin käyttää enemmän bioenergian tuotantoon. Korkeilla leveysasteilla ilmastonmuutos lisäksi tulee parantamaan kasvintuotannon potentiaalia lähitulevaisuudessa, jos päästöjen määrä pysyy suhteellisen pienenä ja maapallon keskilämpötilan nousu 1,2–1,3 °C:ssa skenaario B1:n mukaisesti. Täyden tuotantopotentiaalın saavuttaminen parhailla tuotantoalueilla edellyttää kuitenkin tuotannon mittavaa tehostamista alueilla, joilla satotasot ovat huomattavasti pienemmät kuin potentiaalinen sato (Olesen & Bindi 2002, Ewert et al. 2005).

Arviomme peltobioenergian tuotantopotentiaalista (140 EJ vuonna 2006, 181 EJ vuonna 2050) on pienempi kuin kirjallisuudessa esitettyjen arvojen (50–650 EJ) keskiarvo. Monissa arvioissa on laskettu tuotantopotentiaali luonnonolojen ja maaperätekkijöiden mukaisena biomassatuotannon potentiaalina. MTT:n arvio perustuu korjattujen satojen todellisiin määriin, ja tulevaisuudessa myös satopotentiaalın realistiseen täyttymiseen Euroopan suotuisilla alueilla. Tarkkaa arviota on vaikea antaa poliittisten, taloudellisten ja luonnontieteellisten olojen vaihteluiden takia. Jos esimerkiksi Afrikan parhailla alueilla panostettaisiin kastelujärjestelmien rakentamiseen nykyistä tehokkaammin, alueen tuotanto todennäköisesti riittäisi väestön ruokkimiseen ja vielä bioenergian tuotantoonkin (Hoogwijk et al. 2005). Peltobioenergian tuotantoarvioihin on yleensä otettu mukaan sekä peltomaata, joka tällä hetkellä ei ole tehokkaassa tuotannossa, että maa, joka vapautuu bioenergian tuotantoon, kun ruoan tuotannossa oleva maa-ala pienenee tehostumisen myötä (Berndes et al. 2003, Wolf et al. 2003, Hoogwijk et al. 2005). Kaiken peltomaan, etenkin jo nyt kuivuudesta kärsivän ja ravinnepöyhän laidun- tai joutomaan, tehokas käyttö vaatii kuitenkin kalliita tuotantopanoksia. Suuressa osassa maapalloa viljelyn onnistuminen nykyisillä laidunalueilla vaatisi keinokastelua. Jo nyt vettä säännöstellään suuressa osassa maapalloa, ja tulevaisuudessa kuivuusongelmat yhä kärjistyvät (IPCC 2007b). Niinpä kuivuudesta kärsivien alueiden ottaminen bioenergiakasvien tuotantoon ei näytä todennäköiseltä. Nurmien osalta arvioimme, että vuoteen 2050 mennessä ei kehity merkittävää potentiaalia hyödynnettäväksi bioenergian tuotantoon, sillä väestön kehityksen ja ruoan tuotannon tarpeet huomioon ottaen on todennäköistä, että nurmien sato käytetään kotieläinten ravinnoksi.

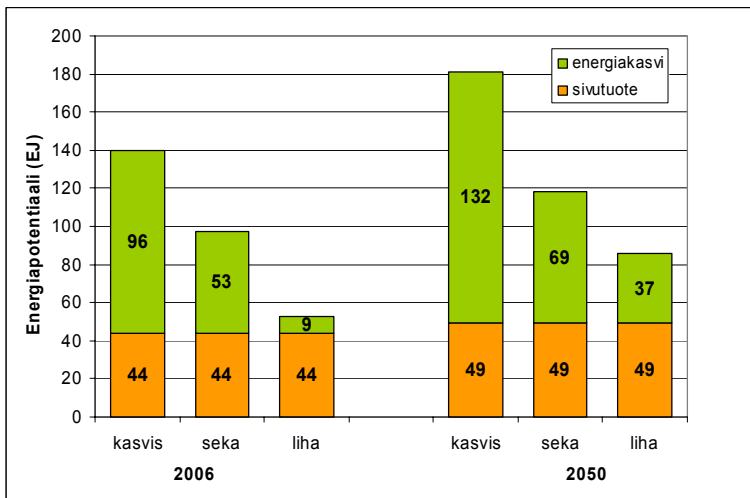
Johtopäätökset ja yhteenvedo

Maailman peltobioenergian tuotanto *tällä hetkellä* voisi olla yhteensä n. 53 (lihadieetti) – 140 (kasvisdieetti) EJ vuodessa (Kuva 23). Kun alueellinen ruokahuolto otetaan huomioon, varsinaisia bioenergiakasveja voitaisiin tuottaa tällä hetkellä Australiassa, Kanadassa, Keski- ja Etelä-Amerikassa, Meksikossa, USA:ssa ja Euroopassa (taulukon 1. FSU-, EEU- ja WEU-alueet), jos dieettinä olisi kasvisruoka; Australiassa, Kanadassa, Keski- ja Etelä-Amerikassa, Meksikossa ja USA:ssa, jos dieettinä olisi liha-kasvisruoka; ja ainoastaan Australiassa ja Kanadassa, jos dieetti olisi lihavaltainen. Sivutuotteita sen sijaan olisi saatavilla teoriassa kaikilla alueilla.

Tulevaisuudessa bioenergiakasvien potentiaalisia tuotantoalueita olisi Australiassa, Kanadassa, Keski- ja Etelä-Amerikassa, Meksikossa, USA:ssa ja Euroopassa (EEU, FSU, WEU), jos dieettinä olisi kasvisruoka; Australiassa, Kanadassa, Keski- ja Etelä-Amerikassa, USA:ssa, entisen Neuvostoliiton alueella (FSU) ja Itä-Euroopassa, jos dieettinä olisi liha-kasvisruoka; ja ainoastaan Australiassa ja entisen Neuvostoliiton alueella, jos dieetti olisi lihavaltainen (Kuva 24). Lisäksi joka alueella voidaan teoriassa korjata peltokasvituotannon sivuvirtoja teknisen potentiaalinn verran. Maailman bioenergian tuotanto vuonna 2050 voisi näillä edellytyksillä olla yhteensä n. 85 (lihadieetti) – 181 (kasvisdieetti) EJ vuodessa (Kuva 23).

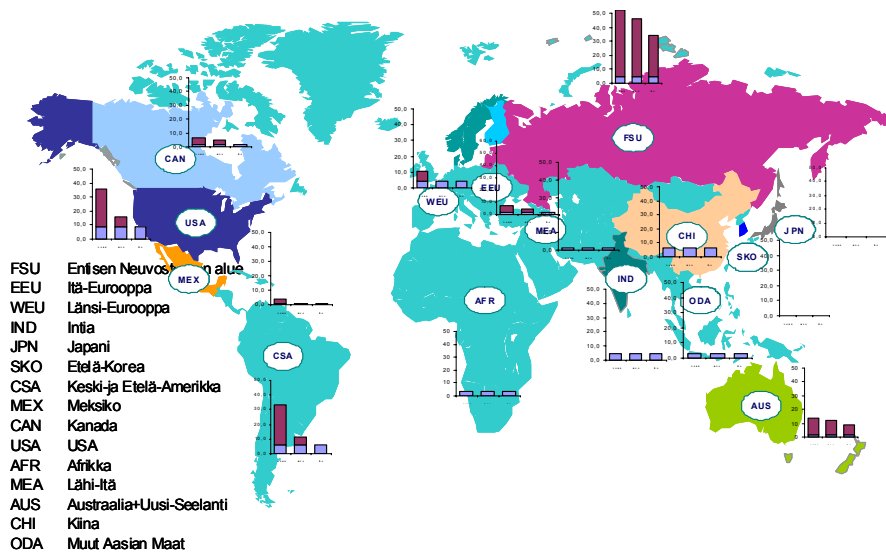
Tulevaisuuden tilanne näin arvioituna saattaa olla melko optimistinen bioenergian tuotannon kannalta. Kasvintuotannon sivutuotteita ei voida korjata joka vuosi tai kaikilta alueilta täysimääräisesti, kuten tässä olemme olettaneet. Tutkimustietoa on saatavissa hyvin rajallisesti siitä, kuinka paljon sivutuotteita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

4. Bioenergiaressurssit



Kuva 23. Maailman potentiaalinen peltobioenergiantuotanto vuonna 2006 ja 2050 eri ruokavalioidella.

Maapallon alueet Global times mallinnuksessa



Kuva 24. Bioenergian potentiaalinen tuotanto vuonna 2050 maapallon eri alueilla. Pylväät vasemmalta oikealle: kasvis-, seka-, liharuokadieetti. Pylvään alaosa (sin): sivutuotteet, yläosa (pun) energiakasvit.

4.1.8 Metsäbioenergia

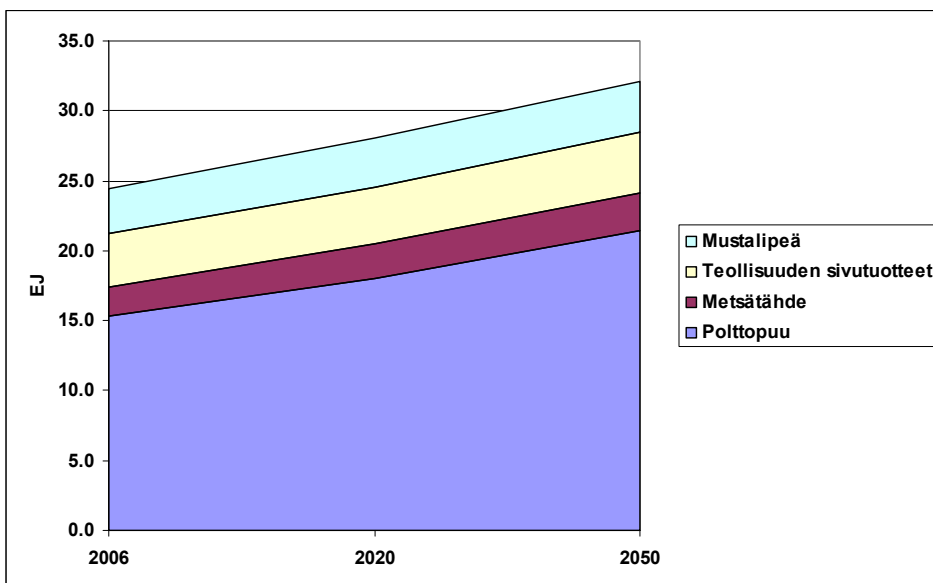
Metsiin liittyvää energiaa on hyödynnetty perinteisillä tavoilla hyvin pitkään ruuan valmistuksessa ja asuntojen lämmityksessä. Maailman laajuisesti katsoen polttopuun käyttö muodostaa valtaosan puun energiakäytöstä, polttopuun osuus maailman kaikesta puun käytöstä on runsaat puolet. Polttopuun käyttö on kasvanut merkittävästi viimeisten vuosikymmenten aikana. Toisaalta tilastojen mukaan esimerkiksi Kiinassa polttopuun käyttö on kääntynyt laskuun 2000-luvulla. Polttopuun käyttö sellaisilla alueilla, joissa väestöä on runsaasti, voi uhata luonnon tasapainoa.

Metsäteollisuuden prosesseista syntyy huomattavia määriä erilaisia sivutuotteita, joita voidaan hyödyntää energiantuotannossa. Tärkeimpänä on kuori ja sahatteollisuudessa sahanpuru. Lisäksi mekaanisessa metsäteollisuudessa syntyy erinäisiä määriä pinta-lautaa, purilaita jne., jotka tavallisesti haketetaan hakkeeksi.

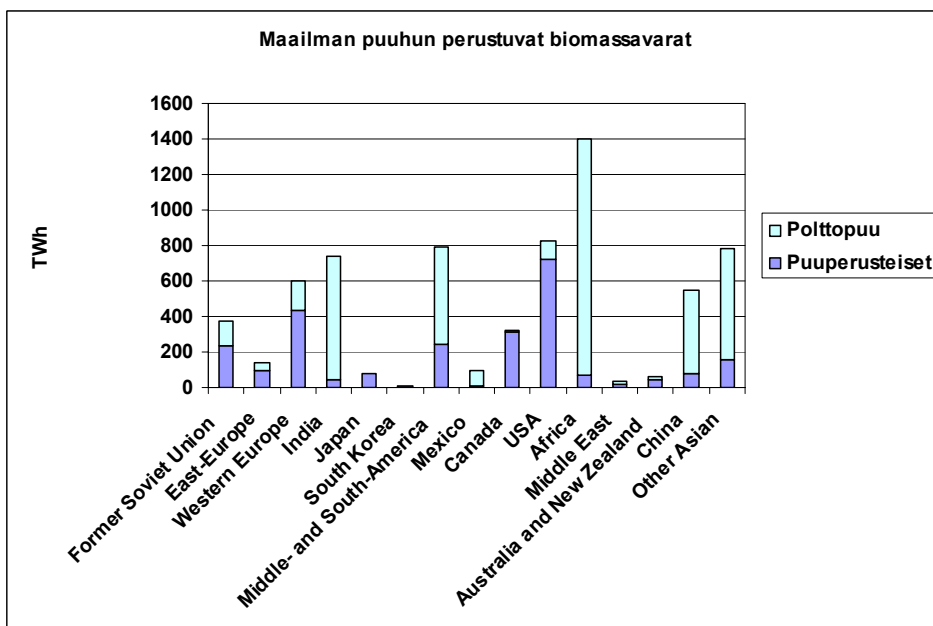
Metsän korjuun ja kunnostuksen yhteydessä syntyvät tähteet muodostavat huomattavan energiapotentiaalin. Metsätähteet koostuvat oksista, latvuksista, kannoista ja juurakoista. Metsätähteitä syntyy päätehakkuiden yhteydessä, kuten myös erilaisissa metsän kunnostus- ja harvennushakkuissa. Nykyinen metsäenergian hyödyntäminen verrattuna kokonaispotentiaaliin on vähäinen. Helpoimmin hyödynnettävä metsäenergia on päätehakkuiden yhteydessä syntyvä metsätähte. Metsäenergian tehokkaaseen hyödyntämiseen pyrittäessä metsänkorjuussa käytettävän korjuuteknologian merkitys on huomattava. Koneellisen korjuun yleistyminen tekee mahdolliseksi myös hakkuutähteiden hyödyntämisen. Tehokkaimmin metsätähteet voidaan hyödyntää kuusivaltaisten metsien päätehakkuiden yhteydessä.

Seuraavissa kuvissa esitetään SEKKI-hankkeessa tehty arvio maailman puuperäisten polttoaineresurssien kehityksestä. Polttopuun käyttö lisääntynee vielä merkittävästi, etenkin Afrikassa, mutta myös kehittyvissä Aasian talouksissa. Polttopuun käytön kasvu perustuu siihen, että maailmassa on alueita, jossa muita energialähteitä ei ole ja väestön kasvu jatkuu voimakkaana. Metsätähteiden potentiaali keskittyy niihin alueisiin, joissa metsäteollisuus on suurta. Tällaisia alueita ovat USA, Kanada, Länsi-Eurooppa, osa entisen Neuvostoliiton maista sekä Etelä-Amerikka. Kasvavina alueina ovat Kiina ja jotkut muut kehittyvän Aasian maat.

4. Bioenergiaressurssit



Kuva 25. Maailman puuperäiset polttoaineet.



Kuva 26. Maailman puuhun perustuvien biomassavarojen jakaantuminen alueittain.

5. Sähkömarkkinoiden tulevaisuus

Veikko Kekkonen, Göran Koreneff, Rinat Abdurafikov, Lassi Similä, VTT

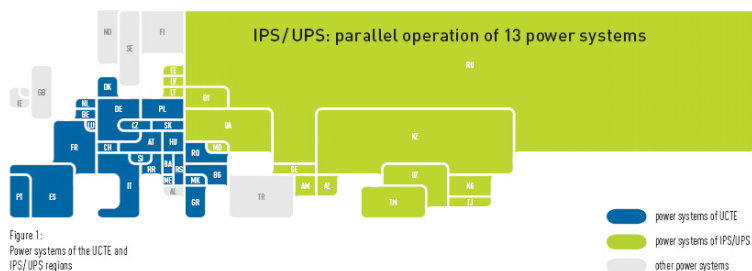
5.1 Taustaa

SEKKI-hankkeessa tarkasteltiin pohjoismaisten, Keski-Euroopan ja Venäjän sähkömarkkinoiden kehitystä. Euroopan yhdyntäviä sähkömarkkinoita ja markkinahinnan muodostumista Suomen näkökulmasta on käsitelty raportissa Kekkonen & Koreneff (2009). Venäjän sähkömarkkinoiden avautumista ja markkinoiden rakennetta on esitelty omassa raportissaan (Abdurafikov 2009).

Sähkön markkinahinta on riippuvainen maakaasun markkinahinnasta useissa eurooppalaisissa sähköpörsseissä. Maakaasun hinta vaikuttaa tulevaisuudessa yhä enemmän myös pohjoismaiseen sähkön hintaan. EU on voimakkaasti riippuvainen muutaman maan maakaasutoimituksista, ja riippuvuus tulee edelleen kasvamaan, kun eurooppalaiset kaasuvaramot pienenevät, mutta kaasun käyttö jatkaa kasvuaan (vrt. luku 2). Venäjällä on maailman suurimmat kaasuvaramot, ja EU:n käyttämästä maakaasusta noin 40 % tulee nykyään Venäjältä tai sen kautta. Maakaasun tuonnin ylläpitäminen ja lisääminen vaativat suuria investointeja kaasuinfrastruktuuriin, varsinkin, kun kaasuvaramot sijaitsevat haasteellisissa paikoissa. Aasian kaasun kysyntä kohdistuu jatkossa yhä enemmän Venäjälle. LNG-kaupan lisääntyminen avaa maailmanlaajuisia markkinoita, jolloin myös Venäjän rooli kaasun globaalina toimittajana vahvistuu.

EU:n tavoitteena ovat yhteiset sähkön sisämarkkinat, jotka voisivat laajeta myös Venäjän kattavaksi. Näin syntyisi maailman suurin integroitunut sähkömarkkina-alue (Kuva 27).

5. Sähkömarkkinoiden tulevaisuus



Kuva 27. Euroopan ja Venäjän sähkömarkkinat. Euroopan volyymi on n. kaksinkertainen verrattuna IPS/UPS volyymiin. Lähde: http://www.ucte.org/_library/annualreports/report_2007.pdf

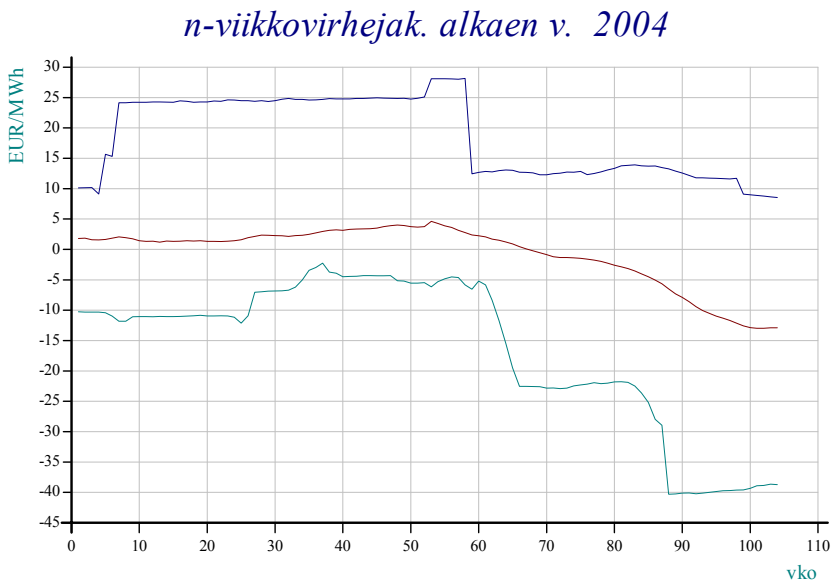
Markkina-alueiden yhdyntyessä sähkön hinta ja sähkömarkkinoiden dynamiikka tulevat muuttumaan Euroopassa. Pohjoismainen sähkön tukkuhinta on ollut alempi kuin esimerkiksi Saksan. Mitä enemmän siirtoyhteyksiä kalliimmille sähkömarkkina-alueille rakennetaan, sitä korkeammaksi sähkön hintataso nousee Suomessa ja muissa Pohjoismaissa. Yhteen kytketyt sähkömarkkinat vaikuttavat toistensa hinnanmuodostukseen. Esimerkiksi Saksan ydinvoiman suunniteltu alasajo sekä uusiutuvien osuuden kasvattaminen tulevat vaikuttamaan sähkön hintaan. Pohjoismaissa merkittävä osuus sähköstä tuotetaan vesivoimalla, jonka helpon säädettävyyden ansiosta sähkön hinnan lyhytaikaiset, vuorokauden sisäiset vaihtelut ovat olleet suhteellisen pieniä. Kun Pohjoismaista rakennetaan lisää siirtoyhteyksiä Keski-Euroopan sähkömarkkinoille, tulevat vuorokauden sisäiset hintaerot kasvamaan Pohjoismaissa.

Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa on paljon energiaintensiivistä teollisuutta, jonka kannattavuus on jo nykyisillä korkeahkoilla sähkön hinnoilla uhattuna. Esimerkiksi Norjan alumiiniteollisuuden poistuminen vähentäisi sähkön kysyntää ja alentaisi vastaavasti sähkön hintaa.

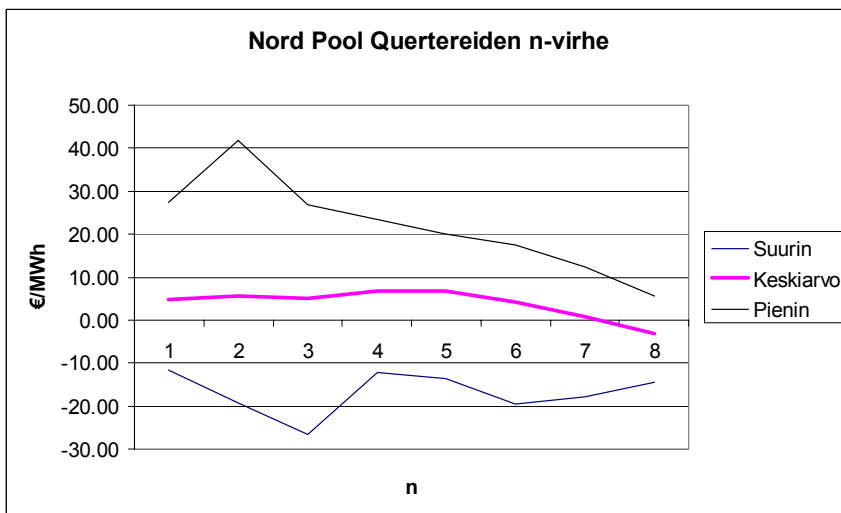
5.2 Sähkömarkkinoiden mallintaminen

SEKKI-hankkeessa mallinnettiin sähkömarkkinoita sähkön tuotannon ja kulutuksen fyysiseen tasapainoon perustuvalla VTT:n kehittämällä markkinahintamallilla (MH-markkinahintamalli). Mallin ennustevirhettä on verrattu sähkömarkkinoiden futuurituotteiden ”ennustevirheeseen”. Kumpikaan niistä ei pysty luotettavasti ennustamaan lähitulevaisuuden (noin kaksi vuotta) hintakehitystä, kuten kuvat 28 ja 29 osoittavat, koska vaikka keskimääräinen virhe ei olekaan suuri, niin maksimaalinen virhe on samaa suuruusluokkaa kuin sähkön hinta.

5. Sähkömarkkinoiden tulevaisuus



Kuva 28. Markkinahintamallin ennustevirhe ennustehorisontin (1–104 viikkoa aikavälillä 2004–2006) pituuden funktiona. Kuvassa on virheen keskiarvo ja sen suurin ja pienin arvo.



Kuva 29. Nord Pool vuosineljännes-forwardien poikkeama spothinnasta ennustehorisontin funktiona. Kuvassa on eron keskiarvo ja sen suurin ja pienin arvo. n: 1–8 vuosineljänneistä aikavälillä 2006–2008.

5. Sähkömarkkinoiden tulevaisuus

Pidemmällä aikavälillä (viisi vuotta) futuurit ja markkinahintamalli antavat yhteneviä tuloksia. Markkinahintamalli on osoittautunut erinomaiseksi työvälineeksi pitkän aikavälin skenaarioiden arvioinnissa.

Markkinahintamallilla on tutkittu pohjoismaisten sähkömarkkinoiden herkkyyttä merkittävimpien vaikuttavien tekijöiden suhteen (Taulukko 13).

Taulukko 13. Sähkön vuosikeskihinnan herkkyys eri tekijöille pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla.

	Vuosihinnan muutos %
Kysyntä + 10 %	15,5
Kapasiteetti +10 %	-7,4
Sadanta +10 %	-7,2
Hiilen hinta + 10 %	1,8
Kaasun hinta + 10 %	0,3
CO ₂ hinta + 10 %	1,2

5.3 Pohjoismaisten sähkömarkkinoiden toimivuus

Puolesta

- Energiantuotanto tapahtuu oikeassa järjestyksessä, muuttuvilta kustannuksiltaan edullisin ensin.
- Myös vesivoima ja vesialtaat toteuttavat oikeaa ajojärjestystä.
- Energy only -järjestelmä on yksinkertainen ja teoriassa toimiva.

Vastaan

- Sähköntuotantokapasiteetti kehittyi liian niukaksi.
- Tuotantosektori vuotaa ylijäämää ulos.
- Kysyntä ei osallistu aidosti markkinoiden hinnanmuodostusprosessiin. Kysyntä joustaa vuosikymmenien aikajänteellä, sähkön hinta määräytyy kuitenkin tunnin aikajänteellä.

5. Sähkömarkkinoiden tulevaisuus

Äärimmäisen yksinkertaisella mallilla voidaan havainnollistaa optimaalisen tuotantokapasiteetin olemusta, sähkön joustamattoman tasapainohinnan muodostumista ja kapasiteettimuutosten aiheuttamia rahavirtoja sähkömarkkinoilla.

Mallin lähtökohtana on optimaalisten tuotantoteknologioiden ja sähkön tarpeen määräämä kapasiteettijakauma (Kuva 30).

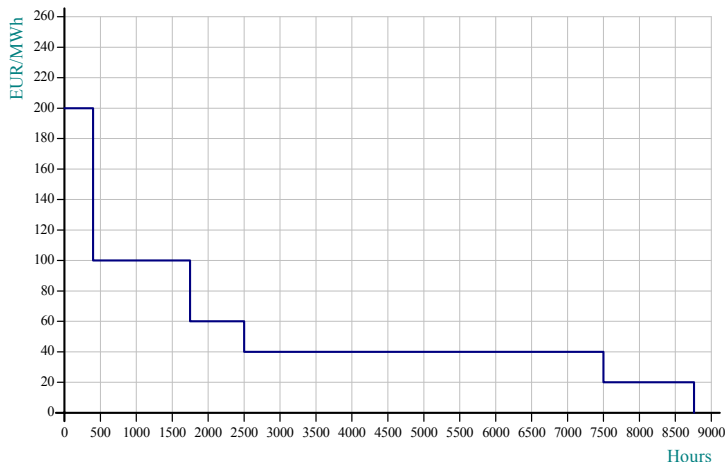


Kuva 30. Optimaalinen tuotantorakenne, jossa tuotantoteknologiat on sovitettu hankinnan pysyvyyteen.

Kapasiteettijakaumasta seuraa sähkön hinnan pysyvyys (Kuva 31), ja mallilla voidaan lisäksi laskea ylijäämien muodostuminen (Kuva 32).

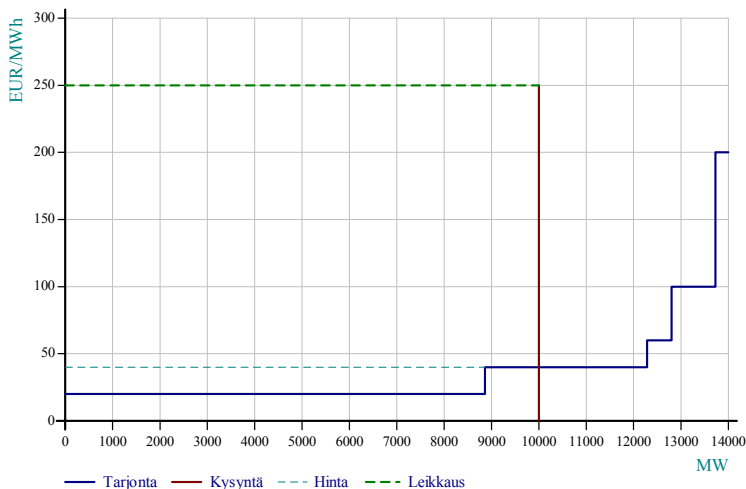
5. Sähköturkin tulevaisuus

Hinnan pysyvyys



Kuva 31. Sähkön hinnan pysyvyys optimaalisessa rakenteessa edellä kuvatussa hankinnan pysyvyydessä.

Markkinatasapaino



Kuva 32. Markkinatasapaino pisteessä, jossa joustamaton kysyntä on 10 000 MW.

Optimaalinen kapasiteettirakenne on vain teoreettinen käsite, se ei koskaan toteudu todellisuudessa. Mallilla voidaan todeta, että olemassa olevan kapasiteetin poistuminen voimalaitosten ikääntyessä nostaa sähkön hintaa ja parantaa kaikkien sähköntuottajien kannattavuutta. Uusien voimalaitosten rakentamisella on

täsmälleen päinvastainen vaikutus. Sähköntuotantotoimialalle on perinteisesti ollut hankala tulla uutena toimijana, joten seurauksena on ollut sähköntuotantokapasiteetin pitkän aikavälin kehittyminen kohti niukkuutta.

Mallilaskennan tuloksista havaitaan, että teoriassa pienkin tuotantokapasiteetin muutos aiheuttaa toimijoille suuret rahavirtamuutokset. Nykyisten suurten sähköntuottajien kannalta kaikki muiden toimijoiden uudet voimalaitokset ovat haitallisia ja sulkemiset kannattavia (huom. yksittäisen voimalaitosinvestoinnin kannattavuutta ei voi tutkia tällä mallilla, eikä tätä tulosta saa tulkita niin, ettei yksittäinen voimalaitosinvestointi saattaisi olla investoijan kannalta kannattava). Minkään seikan ei voi havaita kannustavan kehittämään kapasiteettia kokonaisuoptimaalisempaan suuntaan, mutta toisaalta kokonaiskustannuksetkaan eivät ole lainkaan herkkiä tuotantorakenteen muutokselle. Sähkön hinnan laskun tai nousun perusteella ei voida päätellä, muuttuuko sähkömarkkinarakenteen tasapaino optimaalisempaan vai epäoptimaalisempaan suuntaan.

Sähkömarkkinoiden vapaata hinnanmuodostusta sääntelevät toimenpiteet ovat haitaksi optimaaliselle markkinoiden toiminnalle ja siten epämieluisia myös sähkön tuottajille. Pienistä muutoksista ei kuitenkaan ole käytännössä merkittävää haittaa markkinoiden toimivuudelle. Suomessa oli vuonna 2008 käytössä polttoturpeella lauhdutusvoimalaitoksissa tuotetun sähkön syöttötariffi, joka antaa turpeella tuotetulle sähkölle etusijan voimalaitosten ajorjestyksessä. Lisäksi osa lauhdutusvoimalaitoksista saa tehoreservimaksua, jolla taataan näiden laitosten pysyminen käyttövalmiina.

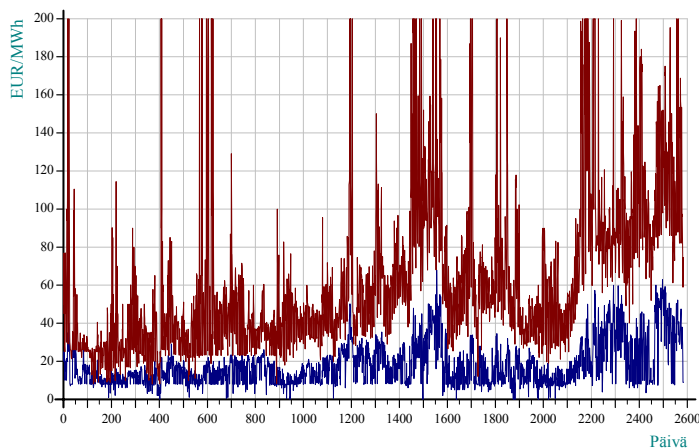
5.4 Pohjoismaisten sähkömarkkinoiden integroituminen Keski-Euroopan markkinoihin

Keski-Euroopan maat ovat vahvassa yhteisessä sähköverkossa, mutta markkinat ovat vasta aloittaneet matkansa kohti yhdentymistä. Markkinoiden välillä käytävä kauppa on paljolti bilateraalista ja perustuu yksittäisten toimijoiden eksplisiittisissä huutokaupoissa ostamiin rajasiirto-oikeuksiin. Pohjoismaiden markkina-alueella rajasiirrot ovat puolestaan implisiittisesti osana sähköpörssiä mahdollistaen yhteiset markkinat. Useimmat markkina-alueet voisivat periaatteessa olla ylijäämäisiä. Poikkeuksena ovat mm. Italia ja Alankomaat, jotka ovat alijäämä-alueita. Näissä maissa sähkön hinta on vastaavasti naapurimaita korkeampi.

Keski-Euroopan markkinoille on tyypillistä korkea hintataso ja suuri vuorokauden sisäinen hintavaihtelu, kuten Kuva 33 esittää.

5. Sähkömarkkinoiden tulevaisuus

Powernext hintoja



Kuva 33. Ranskan sähköpörssin (Powernext) spothintoja, päivän korkein ja matalin hinta aikaväliltä 27.11.2001–23.12.2008 (vuodessa on 365 päivälukemaa), kuvaan piirretty vain 200 €/MWh:a pienemmät arvot. Lähde: Powernext, <http://www.powernext.fr/index.php>

Markkinahintamallilla on tutkittu, miten Saksan lakisääteinen ydinvoiman alasajo vaikuttaa sähkön hintaan (Taulukko 14).

Taulukko 14. Oletetut kapasiteettimuutokset Saksassa aikavälillä 2010–2020, kun ydinvoimaa ajetaan lakisääteisesti alas. Tapauksessa 1 poistuvaa ydinkapasiteettia korvataan uudella hiilivoimalla ja uusiutuvilla sähköntuotantomuodoilla; tapauksessa 2 ainoastaan uusiutuvilla. Lisäksi poistuu kivihiiheen perustuvaa tuotantokapasiteettia.

	1) Hiili kasvaa, MW	2) Hiili vähenee, MW
Ydinvoima	-16000	-16000
Ruskohiili	0	-5000
Kivihiihi	9000	-3000
Maakaasu	0	3000
Tuuli 100 %	10000	20000
Tuuli 25 %	2500	5000
Uusiutuvat	4500	16000
Nettomuutos (tuuli 25 %)	0	0
Sähkön keskihinta v. 2008	71 €/MWh	71 €/MWh
Sähkön keskihinta v. 2020	99 €/MWh	127 €/MWh

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että mitä ilmeisimmin Saksan hintatason nousu ja Pohjoismaisen tasapainohinnan lasku (ks. kohta 5.5) johtaa siirtoyhteysklien lisäämiseen ja hintatason nousuun myös Pohjoismaissa.

5.5 Pohjoismaat

Sähkön hinta Suomessa (Nord Poolin Elspotin Suomen hinta-alue) seuraa kuukausijaksolla tarkasteltuna lähes täydellisesti pohjoismaista sähkön hintaa (systemihintaa). Lyhyemmällä aikavälillä Suomen aluehinta on joskus poikennut huomattavastikin systeemihinnasta.

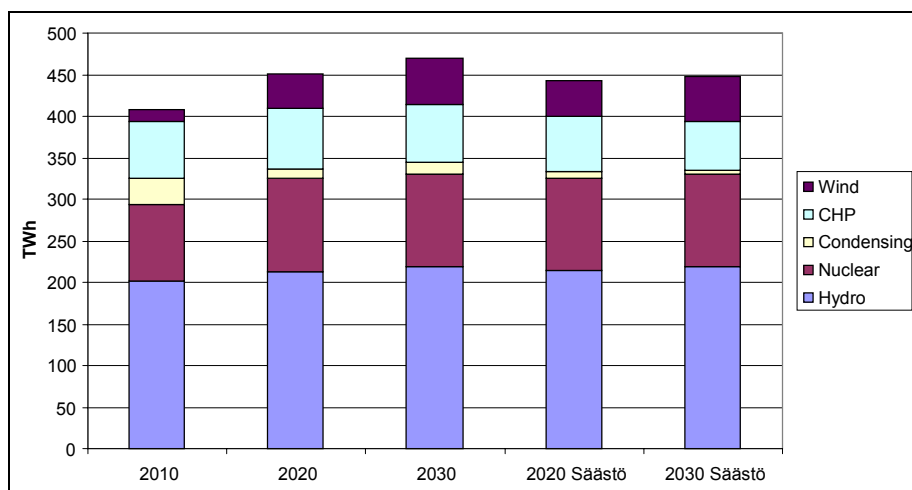
Tulevaisuudessa sähkön kysyntä jatkaa kasvuaan Pohjoismaissa nykyisestä noin 400 TWh:sta, mikäli ei tapahdu voimakasta yhteiskuntarakenteen muutosta erityisesti energiaintensiivisen teollisuuden aloilla. SEKKI-hankkeessa pohjoismaisen sähkömarkkina-alueen kysyntäarvioksi saadaan vuonna 2020 435 TWh ja vuonna 2030 453 TWh Business-as-usual-kehityspolussa (BAU). Kysyntäarvio perustuu eri Pohjoismaiden tekemiin arvioihin (vrt. kohta 6.2). EU:n 20 %:n energiatehokkuusparannustavoitteet vuodelle 2020 voivat johtaa sähkön kulutuksen kasvun taittumiseen aikavälillä 2020–2030 siten, että kulutus vuonna 2030 palaa 400 TWh:n tietämille. Tätä kysynnän taittumisen arviota on tehty hyödyntäen työ- ja elinkeinoministeriön Suomelle visioimaa kehitysmahdollisuutta. Samaa vähennystä käytetään tässä kaikille Pohjoismaille. Todellisuudessa energiatehokkuusparannukset ja siirtyminen pois fossiilisista polttoaineista voivat hyvin johtaa jopa sähkön kulutuksen BAU-arviota suurempaan kasvuun. Tällaisia kulutustapamuutoksia ovat mm. siirtyminen sähköautoihin sekä öljylämmityksestä lämpöpumppuihin.

Sähkömarkkinoilla tapahtuu toki muutoksia myös tarjontapuolella. EU:n 20-20-20-tavoitteista kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen 20 % vuoden 1990 tasosta, mutta ennen kaikkea uusiutuvan energian osuuden lisääminen 20 %:iin, aiheuttavat selviä muutoksia sähkön tuotannossa. Pohjoismaissa uusiutuvien lisäystarve on noin 10 % luokkaa. Voi hyvin olla, että sähköntuotanto joutuu kantamaan tätäkin suuremman osuuden. Uusiutuvien lisäystä eri Pohjoismaissa on mallinnettu pohjoismaisessa yhteisprojektissa Nordic Energy Perspectives (NEP, ks. www.nordicenergyperspectives.org). EU:n 20-20-20-10-tavoitteita toteuttava skenaario on otettu SEKKI-mallinnuksen pohjaksi (energiatehokkuus ei mukana mallinnuksessa). NEPin skenaariotarkasteluissa käytettyjä polttoaineiden hinta-arvioita on muutettu: esimerkiksi hiilen hintana pidetään SEKKI-hankkeen laskelmissa 10 €/MWh voimalaitoksella kaikille tarkasteluvuosille. NEP-hintaennusteet perustuvat IEA:n WEO-arvioihin vuodelta 2007 (IEA 2007b) ja ovat esim. hiilelle viimevuosien hintatasoon ja SEKKI-hankkeessa tehtyihin polttoaineselvityksiin nähden kovin alhaiset. Päästöoikeuden hintana on pidetty 25 €/a/t.

5. Sähkömarkkinoiden tulevaisuus

Venäjän markkinoiden avauduttua ja Venäjän oman sähkön kysynnän kasvun myötä sähkön tuonti Venäjältä Suomeen oletettavasti vähenee. TEMin skenaarioissa tavoitellaan omavaraisuutta. Sähköä tuotaneen edelleen Venäjältä, mutta kaventuvan hintaeron sekä Venäjän oman lähivuosisikymmenien kapasiteettiniukuuden takia entistä vähemmän. Laskelmissa Suomen ja Venäjän välisen siirtoyhteyden oletetaan muuttuvan kaksisuuntaiseksi, eli 300 MW heti ja vielä 750 MW lisää vientikapasiteettia ennen vuotta 2020. Mallissa kuitenkin Venäjän siirrot ovat käytännössä poistettuja hinnoittelun avulla. Nettovienti Pohjoismaista on 10 TWh vuonna 2010 ja 15 TWh sekä vuonna 2020 että 2030.

Laskelmissa päädyttiin kuvan kuvan 34 osoittamiin vuosituotantoihin.



Kuva 34. Sähkön tuotanto tuotantomuodoittain 2010, 2020 ja 2030 BAU-kysynnällä. Vertailuna matalan kysynnän skenaariot vuosille 2020 ja 2030, joissa lauhdetuotanto on entistä ahtaammalla. Tuotanto on kysyntää suurempaa, koska sähköä riittää vientiin, varsinkin kysynnän taittumisskenaariossa.

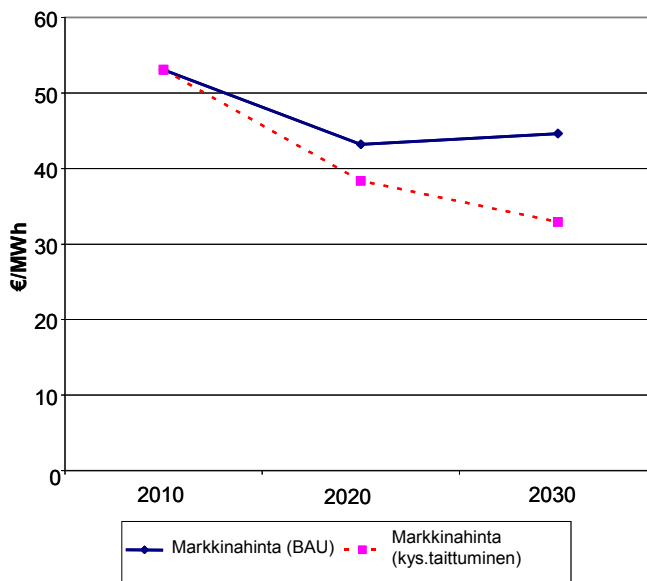
Taulukko 15 esittää uusiutuvien osuuden kehittymisarvioita.

Sähkön tasapainohinnan kehittyminen BAU-seknaariossa ja kysynnän kasvun taittuminen skenaarioissa esitetään kuvassa 35. Markkinahinta laskee vakiopolttoainehinnoilla. SEKKI-selvitysten mukaan polttoainehintojen vakiintuminen oletetulle tasolle pitkällä aikavälillä on tosin epätodennäköistä. Tasapainohinnassa ei ole huomioitu Keski-Euroopan sähkömarkkinoiden vaikutusta.

5. Sähkömarkkinoiden tulevaisuus

Taulukko 15. Markkinahintamallin (MH) antamat tuotantoarviot vuosille 2010, 2020 ja 2030. Vasen tulossarake toteuttaa EU:n hiilidioksiditavoitetta sekä uusiutuvan energian tavoitetta vuodelle 2020. Oikealla arvioidaan sähkön kysynnän taittumisen vaikutusta edellisten lisäksi.

	Nordel		EU 20% CO ₂ , 20% RES			+ kysynnän taittuminen		
	2006	2007	MH			MH		
	2010	2020	2030	2010	2020	2030		
Yhteensä TWh	395	401	406	436	454	406	415	400
Uusiutuvia TWh	224	248	238	288	311	238	289	311
%	56,7 %	61,9 %	58,5 %	66,1 %	68,5 %	58,6 %	69,5 %	77,7 %
Ydinvoimaa TWh	87	87	93	112	112	93	112	112
%	22,0 %	21,7 %	22,8 %	25,8 %	24,7 %	22,8 %	27,1 %	28,0 %



Kuva 35. Sähkön markkinahinta Pohjoismaissa EU:n päästövähennys- ja laskelmissa oletetun uusiutuvan sähköntuotannon lisäämistavoitteiden toteutuessa. Mikäli energiatehokkuustavoite saa aikaan kysynnän kasvun taittumisen, alenee markkinahinta entisestään.

5.6 Venäjän sähkömarkkinoiden kehitys

Venäjän sähkömarkkinoilla on vuodesta 2001 asti ollut käynnissä uudistus, joka tähtää sähkömarkkinoiden vapauttamiseen ja kilpailun lisäämiseen sähkömark-

5. Sähkömarkkinoiden tulevaisuus

kinoilla. Pienempiä askeleita tähän suuntaan on otettu aina Neuvostoliiton hajoamisesta lähtien.

Sähkömarkkinat eri puolilla maailmaa ovat historiallisesti olleet suuressa määrin säänneltyjä. Tämä tarkoittaa, että sähkön tuotannosta, siirrosta, jakelusta ja myynnistä vastaavat suurelta osin tai kokonaan valtioiden tai paikallishallinnon omistuksessa olevat yhtiöt. Sähkömarkkinoiden hinnoittelu on usein viranomais-tahon määrittelemää tai valvonnassa.

Säännellyillä sähkömarkkinoilla julkisessa omistuksessa olevat yhtiöt toimivat usein monopoleina, jolloin niillä on yksinoikeus sähkön toimittamiseen tietyllä hallinnollisella alueella. Tällöin ne omistavat ja hallinnoivat niin sähkön tuotantoa, siirtoa, jakelua kuin myyntiäkin.

Sähkömarkkinoiden vapauttamisen voidaan nähdä koostuvan kahdesta osa-alueesta:

- 1) monopolirakenteiden purkaminen ja muuttaminen siten, että avautuville markkinoille saadaan kilpailevia toimijoita
- 2) kilpailuille avattavien toimintojen hinnoittelun vapauttaminen.

Sähkömarkkinoita on osittain vapautettu useissa maissa 1980–1990-luvuilla. Toteutetuissa sähkömarkkinoiden vapauttamisissa sähkön tuotanto ja myynti on yleensä vapautettu ainakin osin yksityiseen omistukseen siirtyville yrityksille, kun taas siirto ja jakelu on säilytetty viranomaisten sääntelemänä monopolitoimintoina.

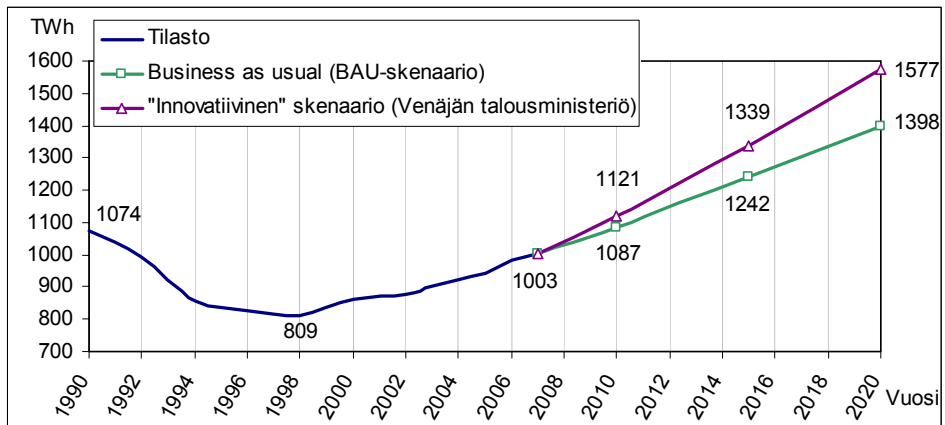
Venäjällä vuonna 2001 käynnistetty sähkömarkkinauudistus noudattelee edellä kuvattuja periaatteita. Aiemmin Venäjällä toimineiden alueellisten sähköyhtiöiden monopolirakenteet on purettu ja sähköalan toimijoita yksityistetty siten, että uudistuksen tämä osa voidaan katsoa päättyneeksi vuonna 2008.

Sähköntuotannon hinnoittelu on sen sijaan vapautettu vasta osittain. Vuonna 2007 Venäjällä myytiin vapaasti hinnoiteltuna 85 TWh sähköä. Tämä oli vain alle 10 % Venäjän sähkönkulutuksesta. Venäjän sähkömarkkinauudistuksen aikataulun mukaan kaiken muun paitsi kotitalouksille toimitettavan sähkön (joka on alle 10 % sähkönkulutuksesta) hinnoittelu on tarkoitus vapauttaa vuoteen 2011 mennessä. Kotitalouksille toimitettavan sähkön hinnoittelu on tarkoitus vapauttaa vuonna 2014.

Venäjän sähkömarkkinoiden kokoa ja arvioita tulevasta kehityksestä havainnollistaa kuva 36, jossa esitetään Venäjän sähkönkulutuksen historiallinen kehitys (sisältäen verkkohäviöt) ja kaksi vuoteen 2020 ulottuvaa skenaariota. ”Innovatiivisessa” skenaariossa oletetaan, että Venäjän taloudessa kotimainen tuotanto

5. Sähkömarkkinoiden tulevaisuus

kehittyy voimakkaammin. Tämä näkyy korkeampana sähkönkulutuksena kuin BAU-skenaariossa, jossa oletetaan kehityksen jatkuvan nykyisellä tavalla. Tälöin suuri osa Venäjän taloudesta perustuu energian myyntiin ulkomaille. Sähkön kysyntä kasvaa kymmeniä prosentteja molemmissa skenaarioissa.



Kuva 36. Venäjän sähkönkulutuksen historia ja skenaarioita tulevasta kehityksestä.

Vapailla sähkömarkkinoilla tarvitaan markkinapaikka, jossa sähkölle muodostuu tukkumarkkinahinta sähkön kysynnän ja tarjonnan perusteella. Venäjän sähkön tukkumarkkinoilla markkinaosapuolet (sähkön myyjät, ostajat ja välittäjät) toimittavat markkinapaikkaan jokaista seuraavan päivän tuntia koskevat osto- ja myyntitarjouksensa kerran päivässä. Tarjoukset yhdistetään markkinapaikalla ja syötetään yksityiskohtaiseen Venäjän sähköjärjestelmää kuvaavaan laskentamalliin.

Tukkumarkkinaosapuolten tarjousten tuloksena saadaan markkinatasapainoa vastaavat hinnat ja sähkömäärät, yli 7 700 eri fyysisen sähköjärjestelmän osaa vastaavalle pisteelle kunakin seuraavan päivän tuntina. Venäjällä käytettävä sähkön hinnan laskentamalli yhdistää osto- ja myyntitarjoukset optimaalisella tavalla huomioiden myös sähkönsiirron pullonkauloista ja häviöistä aiheutuvat kustannukset. Tämä tarkoittaa mm. sitä, että myyntitarjoukset hyväksytään edullisuusjärjestyksessä. Valittu tukkumarkkinamalli tähtää siihen, että sähkömarkkinat toimivat ja sähköjärjestelmäinvestoinnit toteutuvat Venäjällä tehokkaasti.

Vuoden 2008 ensimmäisten kymmenen kuukauden aikana kuukauden keskihinta oli ns. Euroopan ja Uralin hinta-alueella n. 21 €/MWh. Ns. Siperian hinta-alueella, jossa on runsaasti vesivoimakapasiteettia, hinta oli n. 15 €/MWh. Säh-

5. Sähkömarkkinoiden tulevaisuus

kön hinnat tullevat lähitulevaisuudessa seurailemaan maakaasun säännösteltyä hintaa: maakaasu on käytetyn polttoaine Venäjän sähkövoimalaitoksissa.

Venäjän sähkön tukkumarkkinoiden hinnoitteluperiaate huomioi fyysisen sähköjärjestelmän ominaisuudet yksityiskohtaisemmin kuin pohjoismaisten sähkömarkkinoiden hinnoittelutapa. Toinen suuri eroavaisuus pohjoismaisiin sähkömarkkinoihin verrattuna on, että sähkömarkkinoiden lisäksi Venäjällä on erilliset, pidemmällä aikavälillä toimivat *kapasiteettimarkkinat*. Kyseisillä markkinoilla kaupattava tuote on energia. Vapautettuihin sähkömarkkinoihin liittyen on usein keskusteltu, tuottavatko vapaat markkinat taloudellisesti optimaalisen määrän investointeja tuotantokapasiteettiin. Venäjän kapasiteettimarkkinoiden tarkoitus onkin vähentää sähköntuotantoinvestointien epävarmuuksia ja siten helpottaa investointipäätöksiä. Vastaavan kaltaisia järjestelyjä on ollut käytössä mm. eräiden Yhdysvaltojen osavaltioiden sähkömarkkinoilla.

Venäjän fyysinen sähköverkko toimii synkronisesti Baltian maiden sähköverkkojen kanssa, ja se on yhdistetty Suomeen tasavirtalinkillä. Lisäksi useat voimalaitokset Venäjän luoteisosissa toimivat synkronisessa yhteydessä Pohjoismaiden sähköjärjestelmän kanssa. Entisen Neuvostoliiton maiden sähköjärjestelmien (IPS/UPS) liittäminen Manner-Euroopan verkkoihin (UCTE) täytyy nähdä ainoastaan pitkän aikavälin mahdollisuutena, vaikka se olisikin teknisesti mahdollista paljon aikaisemmin.

6. Pohjoismaiden sähkön kysynnän kehitys tulevaisuudessa

Göran Koreneff, Maija Ruska, Juha Kiviluoma, Jari Shemeikka, Bettina Lemström, Raili Alanen, Tiina Koljonen, VTT

Sähkön kysyntä on viime vuosiin asti kasvanut tasaisella vauhdilla Pohjoismaissa ja muualla kehittyneissä valtioissa. Ilmastonmuutoksen hillintä edellyttää kuitenkin energiantuotannosta aiheutuvien kasvihuonekaasujen määrän merkittävää rajoittamista muun muassa energiatehokkuutta lisäämällä. Pohjoismaiden osalta tämä merkitsee sitä, että energiankäytön tulee kääntyä laskuun seuraavien vuosikymmenten aikana. Energian kokonaiskulutuksen väheneminen saattaa joissain tapauksissa myös kasvattaa sähkön kulutusta, kun siirrytään käyttämään entistä energiatehokkaampia teknologioita esimerkiksi liikenteessä ja lämmityksessä.

Tässä SEKKI-hankkeen osatehtävässä tarkasteltiin (ks. Koreneff et al. 2009).

- Pohjoismaiden sähkön kysyntäskenaarioita
- sektorikohtaisia trendejä sähkön kulutuksessa
- case-tarkasteluina lämpöpumppujen ja sähköautojen yleistymisen vaikutuksia sähkön kulutukseen ja erityisesti sähköjärjestelmän huipputehoon.

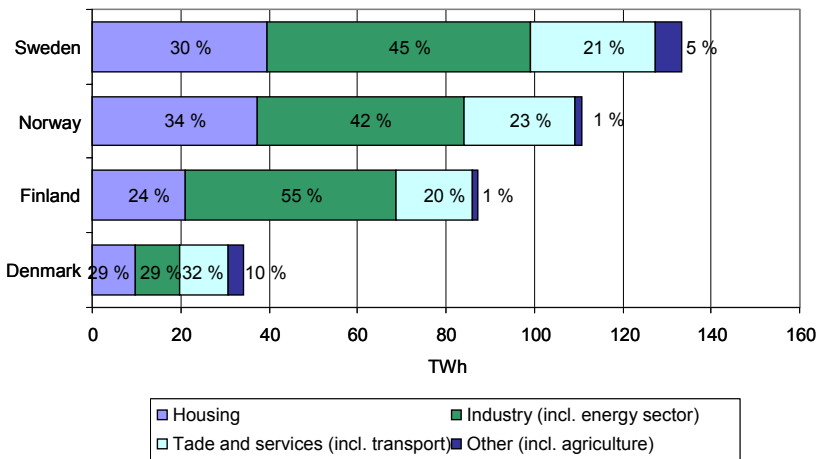
Osatehtävässä luotiin sähkön käytön kuormituskäyriin perustuva malli kunkin Pohjoismaan sähkönkulutukselle. Tämän mallin avulla voidaan arvioida eri sektoreiden sähkönkysynnän kehittymisen vaikutuksia tuntitasolla.

6. Pohjoismaiden sähkön kysynnän kehitys tulevaisuudessa

6.1 Sektorikohtaiset trendit

Sähköä käyttävien laitteiden teknologinen kehitys on yksi keskeisimmistä sähkön kokonaiskysyntään vaikuttavista tekijöistä. Laitteiden, esimerkiksi lampujen ja kodinkoneiden, kehityksessä kiinnitetään entistä enemmän huomiota energiatehokkuuteen. EU-direktiivit säätelevät uusien laitteiden energiatehokkuutta.

Kuvassa 37 on eri Pohjoismaiden sähkönkulutuksen sektoreittaiset jakaumat vuodelle 2007. Kunkin maan tilastokeskukset julkaisevat vuosittain toimialakohtaisia sähkön kulutustietoja. SEKKI-hankkeessa tehtiin kullekin Pohjoismaalle tunneittaiset kuormituskäyrät näihin tilastotietoihin perustuen.



Kuva 37. Sähkön kulutuksen jakauma eri sektoreille vuodelta 2007 (data Nordel 2008).

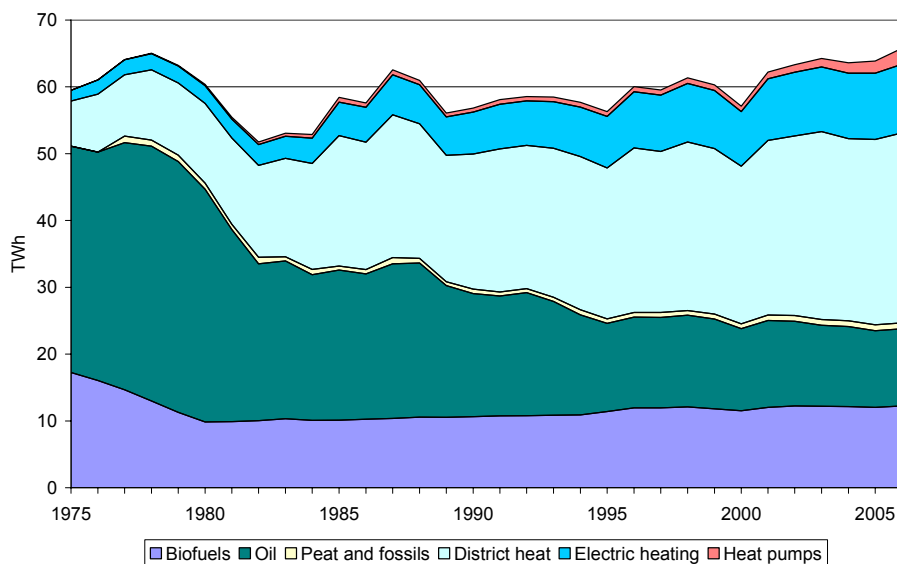
6.1.1 Lämmitys

Rakennusten lämmitystapavalinta vaikuttaa rakennuksen energiankäyttöön vuosikymmenien ajan. Lämmitystavan valintaan vaikuttaa eniten rakennuksen suunnitteluvaiheessa tehtävä eri tapojen kustannusten vertailu. Kuvassa 38 esitetään lämmitysten energiankäyttö Suomessa vuosina 1975–2006. Vielä 1970-luvun alkupuolella öljylämmitys oli suosittu valinta Suomessa ja Ruotsissa. Öljykriisit moninkertaistivat öljyn hinnan, ja öljylämmityksen suosio väheni huomattavasti. Öljylämmityksen jälkeen suosituimpia järjestelmiä ovat olleet kaukolämmitys ja sähkölämmitys. Viime vuosina lämpöpumppulämmitysten osuus on kasvanut erittäin voimakkaasti.

6. Pohjoismaiden sähkön kysynnän kehitys tulevaisuudessa

Korkeat sähkön ja polttoaineiden hinnat sekä kasvanut tietoisuus kestävän kehityksen mukaisista valinnoista ovat muuttaneet lämmitystapavalintoja. Uusien rakennusten lämmitystapavalinnat poikkeavat huomattavasti vanhoista järjestelmistä, ja erityisesti lämpöpumppujen suosio kasvaa erittäin nopeasti. Viime vuosina öljylämmityksen suosio on romahtanut erittäin korkean öljyn hinnan takia. Myös vanhojen rakennusten lämmitysjärjestelmiä nykyaikaistetaan ja muutetaan toimimaan uusilla lämmönlähteillä. Lisälämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiä rakennetaan entistä enemmän.

Uudet rakennukset käyttävät huomattavasti vähemmän energiaa kuin vanhat rakennukset, ja poistuva lämpö otetaan entistä paremmin talteen. Pohjoismaissa lämmitystarve tulee vähenemään, kun ilmastonmuutoksen lämmittävä vaikutus voimistuu (Kirkinen 2009). Jäähdytystarve kesäaikaan kasvaa samanaikaisesti.



Kuva 38. Rakennusten lämmitys Suomessa välillä 1975–2006 (data: Tilastokeskus 2008).

6.1.2 Kotitaloudet

Suomessa kotitalouksien sähkön kulutus on kasvanut 1970-luvulta lähtien voimakkaasti. Kasvun taustalla on ollut kotitalouksien vaurastuminen ja varustetason kasvu. Nykyisin kotitaloudet kuluttavat noin 10 TWh sähköä vuosittain.

6. Pohjoismaiden sähkön kysynnän kehitys tulevaisuudessa

Uusille laitteille asetetut energiatehokkuusvaatimukset ovat entistä tiukempia, ja laitekannan uudistuessa kotitalouksien sähkönkäytön kasvun oletetaan hidastuvan seuraavien kymmenen vuoden sisällä. Kotitalouksien käyttämän sähkön määrän kasvun taittumista hidastaa kuitenkin se, että asuinpinta-ala henkeä kohti on Suomessa edelleen kasvussa ja kotitalouksien määrä kasvaa yksinasuvien osuuden kasvaessa.

6.1.3 Teollisuus

Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa on paljon energiantensiivistä teollisuutta. Eri-tyisen sähköintensiivisiä teollisuudenaloja ovat massa- ja paperi- sekä metalliteollisuus. Yksi syy näiden teollisuudenalojen menestymiseen Pohjoismaissa on historiallisesti ollut edullinen sähkön hinta, joka on muodostanut merkittävän kilpailuedun. Pohjoismaiden sähkön hinta lähestyy kuitenkin Keski-Euroopan sähkön hintaa, kun siirtokapasiteetti markkina-alueiden välillä kasvaa (ks. luku 5). Toisaalta EU:n päästökauppa on heikentänyt energiantensiivisten teollisuusalojen kilpailutilannetta Unionin alueella verrattuna Unionin ulkopuolisiin alueisiin.

Suurten tehdasyksiköiden alasajo Pohjoismaissa voi muuttaa sähkön kysyntää nopeasti. Massa- ja paperiteollisuudessa on käynnissä rakennemuutos, ja osa tuotannosta on jo siirretty kasvavan kysynnän markkina-alueille. Toinen epävarmuus koskee Norjassa sijaitsevaa alumiiniteollisuutta. Norjan alumiiniteollisuus on perinteisesti saanut ostaa sähköä markkinahintaa alemmalla, säädellyllä hinnalla. Hintasääntely tulee loppumaan lähivuosina. Alumiinin tuotanto on erittäin sähköintensiivistä, eikä tuotanto ole kannattavaa korkeilla sähkön markkinahinnoilla.

6.2 Pohjoismaiset skenaariot sähkön kysynnälle

Pohjoismaiset sähkön kysyntäskenaariot yhdistettiin markkina-alueen skenaarioksi. Käytetyt lähtötiedot olivat:

- Suomi: Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia (2008)
- Ruotsi: Långsiktspngnos 2006 – enligt det nationella systemet för klimatrapportering (2007)
- Norja: Kraftbalansen i Norge mot 2020 (2005)
- Tanska: Elforbrugsfremskrivning 2008 (Energinet.dk 2008).

6. Pohjoismaiden sähkön kysynnän kehitys tulevaisuudessa

Yhteenveto skenaarioista on taulukossa 16. Eri lähteiden sähkön kysyntä –skenaarioiden lähtökohdat ovat erilaisia, joten yhdistettyä skenaariota ei tule pitää ennusteena pohjoismaisen sähkönkulutuksen kehittymisestä. Skenaarioissa etenkin EU-20-20-20-tavoitteet on huomioitu eri tavoilla.

Taulukko 16. Pohjoismaiset sähkön kysyntäskenaariot (BAU-skenaario).

TWh	2000	2005	2006	2007	2015	2020	2030
Denmark*	34,9	35,7	36,4	36,4	36,0	37,5	42,5
Finland	79,2	84,5	90,1	90,4	98,1	103,0	108,0
Norway*	123,8	125,9	122,6	127,4	135,5	139,6	143,8
Sweden	146,6	147,3	146,4	146,4	152,1	155,2	159,5
Total	384,5	393,4	395,4	400,6	421,7	435,3	453,8

* Tanskan ja Norjan skenaarioiden luvut vuodelle 2030 on ekstrapoloitu aiemman kehityksen perusteella.

6.3 Lämpöpumppulämmitysten yleistymisen nostaa huipputehoja

Lämpöpumppulämmitykset yleistyvät nopeasti. Eniten asennetaan ilma/ilma-lämpöpumppuja, joiden vaikutukset sähköjärjestelmään ovat suhteellisesti kaikkein ongelmallisimpia. Myös asennettujen maalämpöpumppujen määrä on nopeassa kasvussa. Sähkölämmityksen ja etenkin öljylämmityksen kustannukset ovat viime vuosina kasvaneet erittäin nopeasti. On odotettavissa, että ainakin öljylämmityksestä suurelta osin luovutaan seuraavina vuosikymmeninä. Hankkeessa selvitettiin nopeasti yleistyvien lämpöpumppulämmitysten vaikutuksia sähköenergian kysyntään ja huipputehoihin.

- Lämpöpumppuja on erilaisia. Osaa käytetään päälämmitysjärjestelmänä, osaa käytetään vain lisälämmityksenä.
- Maalämpöpumppu on yleensä päälämmitysjärjestelmä. Pumppu ottaa lämpöenergian maaperästä, porakaivosta tai vesistöistä. Maalämpöpumpun ohkeen asennetaan yleensä sähkölämmityselementti.
- Ilma/ilmalämpöpumppua käytetään lisälämmitysjärjestelmänä. Pumppu ottaa lämpöenergian ulkoilmasta ja siirtää sen sisäilmaan. Ilma/ilmalämpöpumppu

6. Pohjoismaiden sähkön kysynnän kehitys tulevaisuudessa

vähentää muun lämmitysenergian tarvetta talvella ja jäähdyttää huoneilmaa kesällä.

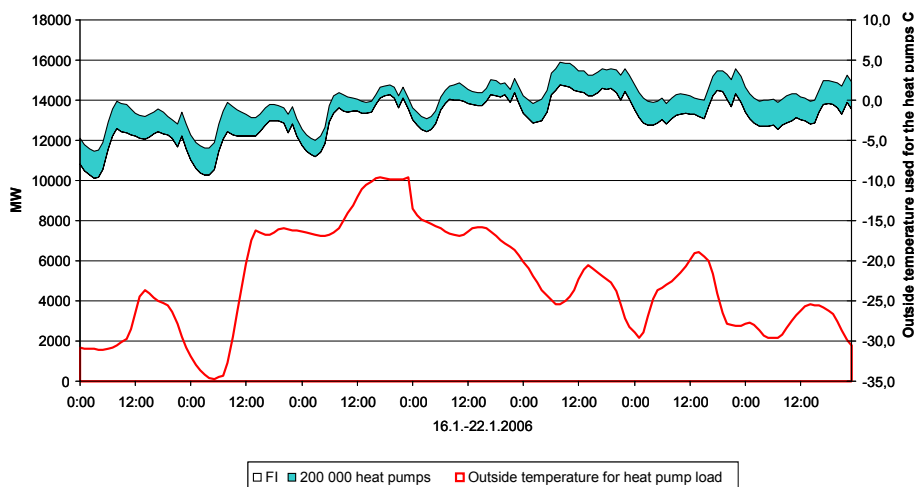
- Poistoilmalämpöpumppu asennetaan poistoilmaventtiilin yhteyteen. Pumpun tuottamaa lämpöenergiaa voidaan siirtää vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään tai kuumavesivaraajaan. Poistoilmalämpöpumppu toimii pää- tai lisälämmitysjärjestelmänä. Poistoilmalämpöpumppuun liitetään yleensä sähkölämmityselementti priimausta ja huipputehoa varten.
- Ilma/vesilämpöpumppu on uusi tulokas Suomen lämpöpumppumarkkinoilla, mutta Ruotsissa tällaisia lämpöpumppuja on paljon. Pumppu ottaa lämpöenergian ulkoilmasta ja siirtää sen vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Ulkoilma/vesilämpöpumppu vähentää muun lämmitysenergian tarvetta huomattavasti ja voi toimia päälämmitysjärjestelmänä yhdessä sähkölämmityselementin kanssa.

Maalämpöpumput mitoitetaan yleensä vastaamaan noin 60–80 %:a huipputehon tarpeesta, tosin erityisesti Ruotsissa 100 %:n mitoitus on ollut normaali tapa. Jo 60 %:n mitoitusteholla voidaan tuottaa 90 % lämmitysenergiasta, mutta kylmimpinä pakkaskausina pumpun mitoitusteho ei siis ole riittävä. Mitoitustehoa ylittävältä osaltaan maalämpöpumppulämmitys muuttuu sähköjärjestelmän kannalta suoraksi sähkölämmitykseksi sähkölämmityselementtien kautta.

Ilmalämpöpumppujen hyötysuhde (COP) heikkenee pakkasen kiristyessä, ja kovilla pakkasilla – tosin moderneissa pumpuissa vasta -20 °C – -25 °C lämpötiloissa – ilmalämpöpumppu muuttuu sähköjärjestelmän kannalta suoraksi sähkölämmitykseksi. Ilmalämpöpumppujen yleistyminen onkin juuri pakkaskausien suurten tehojen takia ongelmallista sähköjärjestelmän kannalta.

Erilaisille lämpöpumpuille mallinnettiin tunneittaiset kuormituskäyrät, joiden avulla simuloitiin pumppujen vaikutuksia Suomen kantaverkkotason kuormitukseen. Yhdessä case-tarkastelussa selvitettiin, millaisia vaikutuksia olisi sähköjärjestelmään, jos suuri osa Suomen noin 260 000 öljylämmitetystä talosta ottaisi lämpöpumpun käyttöön. Tarkastelussa oletettiin, että taloista 100 000 muutettaisiin maalämpöpumppulämmitykseksi, 50 000 ottaisi ilma/ilmalämpöpumpun lisälämmitysjärjestelmäksi ja 50 000 muutettaisiin ilma/vesilämpöpumppulämmitykseksi. Vaikutuksia pakkasviikon tehoon esitetään kuvassa 39. Kuvasta nähdään, että öljylämmityksiä korvaavat lämpöpumppulämmitykset nostavat Suomen huippuviikon tehoja tuntuvasti.

6. Pohjoismaiden sähkön kysynnän kehitys tulevaisuudessa



Kuva 39. Case-tarkastelu lämpöpumpuista. Suomen vuoden 2006 huippuviikkoon on lisätty kuormituskäyrillä 200 000 lämpöpumpunlämmitystä.

6.4 Sähköautot yleistyvät liikenteessä

Lähivuosikymmeninä sähköautot (verkosta ladattavat plug-in-hybridit ja täys-sähköautot) tullevat yleistymään korkean öljyn hinnan, vähentyvien öljyreservien ja liikenteen khk-päästövähennystavoitteiden takia. SEKKI-hankkeessa analysoitiin sähköautojen yleistymisen vaikutuksia sähköenergian kysyntään ja tuntitason tehoihin.

Sähköautojen sähkökäytölle mallinnettiin tuntitason kuormituskäyrä. Kuormituskäyriä tehtiin kahdelle erikokoiselle verkosta ladattavalle hybridille ja täys-sähköautolle eli yhteensä neljä kappaletta. Sähköautojen lataamisen verkkovaihtokutukset riippuvat hyvin paljon siitä, tapahtuuko lataaminen täysin ohjaamattomasti vai ohjataan lataaminen yöaikaiseksi hintasignaalin tms. avulla (älykäs lataaminen). Mikäli autojen lataamista ei ohjata, ladattaisiin autoja todennäköisesti paljolti illalla klo 17–20 verkon nykyisen huipputehon aikana. Jos taas lataaminen voidaan siirtää yöaikaiseksi, voitaisiin sähköautojen akkujen lataamisen avulla tasoittaa kantaverkkotason kuormituksia hyvinkin paljon.

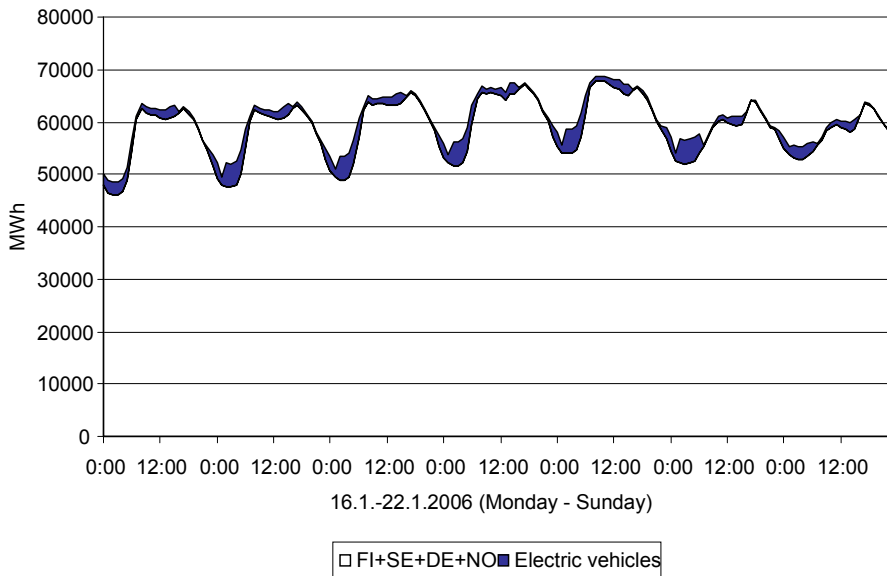
Hankkeessa tarkasteltiin sähköautojen laajamittaisen käyttöönoton vaikutuksia. Tarkastelluissa tapauksissa noin puolet Suomen ja Pohjoismaiden autokan-

6. Pohjoismaiden sähkön kysynnän kehitys tulevaisuudessa

nasta muutettiin sähköautoiksi. Seuraavassa on lyhyt yhteenveto tarkastelluista tapauksista:

- Case 1: miljoona sähköautoa Suomessa, ei älykästä lataamista. Sähkön kulutus 2,8 TWh/a, järjestelmän huipputeho nousee 700 MW ja siirtyy iltaan ajalle klo 17–18.
- Case 2: 5 miljoonaa sähköautoa Pohjoismaissa, ei älykästä lataamista. Sähkön kulutus 14 TWh/a, järjestelmän huipputeho nousee 3 800 MW ja siirtyy iltaan klo 17–18.
- Case 3: 5 miljoonaa sähköautoa Pohjoismaissa, älykäs lataaminen. Sähkön kulutus 14 TWh/a, järjestelmän huipputeho nousee 1 000 MW.

Huipputehovaikutuksia tutkittiin lisäämällä sähköautojen kuormituskäyrillä laskettu tuntitason kuorma vuoden 2006 toteutuneeseen kuormitukseen. Kuvassa 40 esitetään kantaverkkotason kuormitusten muutokset, kun pohjoismaisessa järjestelmässä on viisi miljoonaa sähköautoa. Autoja ladataan älykkäästi, eli lataaminen tapahtuu yöaikaan matalan tehon aikana.



Kuva 40. Viiden miljoonan sähköauton tehontarve Pohjoismaissa huippuviikolla.

Mikäli autojen lataamista voidaan ohjata, ovat sähköautojen laajamittaisen käytön vaikutukset sähköjärjestelmään kohtuullisen pieniä.

7. Johtopäätökset

Euroopan Unionin tavoitteena on ilmaston lämpenemisen pysäyttäminen pitkällä aikavälillä kahteen asteeseen. Tavoitteen saavuttaminen edellyttää globaalin energiajärjestelmän muuttumista liki 0-päästöiseksi. EU on asettanut jäsenvaltioilleen välitavoitteeksi vuodelle 2020 ns. 20-20-20-tavoitteet, joilla tarkoitetaan kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä 20–30 % vuoden 1990 tasosta, uusiutuvien energialähteiden osuuden lisäämistä 20 %:iin sekä energiatehokkuuden parantamista 20 %:lla vuoteen 2020 mennessä. Lisäksi liikennesektorille on asetettu 10 %:n tavoite uusiutuvien energialähteiden käytön osuudelle. Vuoden 2020 jälkeen näitä tavoitteita tultaneen vielä merkittävästi tiukentamaan: ilmaston lämpenemisen hillintä edellyttää jopa 80 %:n päästövähennyksiä vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 tasosta. Kyseisten tavoitteiden saavuttaminen merkitsee koko energiajärjestelmän uusimista ja vaikuttaa myös suomalaisen energiatehokkuuden toimintaympäristöön ja kilpailukykyyn. Keskeisiä tekijöitä ovat energian hinta ja saatavuus, joihin vaikuttavia tekijöitä on tarkasteltu ilmastopoliitiikan muuttuessa.

Vaikka fossiilisten polttoainevarojen, erityisesti öljyn, saatavuutta ja resurssien riittävyttä on tarkasteltu pitkään, niiden tarkkaa määrää ei voida tietää geologisten epävarmuuksien vuoksi. Lisäksi ehtyviä öljy- ja kaasukenttiä voidaan hyödyntää pidempään teknologian kehittymisen ja polttoaineiden hintojen nousun myötä sekä ottaa käyttöön huonompilaatuisia tai vaikeammin hyödynnettäviä polttoaineita. Kyseisten resurssien hyödyntämisen ongelmana ovat usein polttoaineen tuotannon lisääntyvät kasvihuonekaasupäästöt, mikä osaltaan lisää polttoaineiden hintapaineita pitkällä aikavälillä. Viime vuosina fossiilisten polttoaineiden hinnat ovat jo olleet erittäin korkeita ja volatiileja. Hinnat ovat talouskriisin takia laskeneet hyvinkin alhaisiksi, mutta talouden elpymässä hintojen odotetaan kohoavan jälleen. Hinnan kasvu hidastuu, mikäli uusiutuvien energialähteiden

7. Johtopäätökset

den käytön lisääntyminen toteutuu, ja lisäksi sekä energian kulutuksen kasvu saadaan pysäytettyä tai edes hidastettua.

EU-maille erityisen tärkeää on maakaasun saatavuus ja hinta. SEKKI-hankkeessa tarkasteltiin toisaalta maakaasun reservi- ja resurssitietoja sekä näiden luotettavuutta globaalisti ja toisaalta luotiin Euroopan maakaasun hankintamalli, jolla voidaan tarkastella Euroopan kaasunhankinnan kehitysnäkymiä ja kaasun toimitusvarmuutta pitkälle tulevaisuuteen. Globaaleissa skenaariotarkasteluissa tarkasteluiden kohteena oli myös kehittyvän Aasian energianhankinta. Selvää on, että talouden kasvun myötä Kiinan, Intian ja muun kehittyvän Aasian energiankulutus kasvaa nopeasti ja samalla kyseisten maiden omat energiareseptit ehtyvät. Aasian maat tulevatkin mitä ilmeisimmin kilpailemaan samoista energiavaroista kuin Eurooppa. Lisäksi Lähi-idän energiavarat ovat sopivan etäisyyden päässä Intiasta ja vastaavasti itäisen Venäjän energiavarat Kiinasta. Mallilaskelmissa sekä Afrikan että Lähi-idän roolit kasvoivat Euroopan kaasunhankinnassa vuoden 2020 jälkeen. Ilman Saharan kaasulinjaa Eurooppaan myös Afrikan kaasun tuonti alkaa pienentyä vuoden 2030 tienoilla kaasuvarojen ehtyessä Pohjois-Afrikassa. Ennustettavaa onkin, että energiavarmuuskysymykset tulevat yhä ajankohtaisemmiksi Euroopalle, etenkin jos investoinnit uuteen kaasun (ja öljyn) tuotantokapasiteettiin sekä infrastruktuurien kehitykseen viivästyvät.

Uusiutuvista energialähteistä erityisesti bioenergian voimakas lisääminen herättää toisaalta suuria toiveita mutta samalla myös epäilyksiä bioenergian käytön kestävyuden suhteen. Bioenergian käytön voimakas lisääminen edellyttäisi erityisesti peltoalan hyödyntämistä energiakasvien tuotannossa. Sama peltoala kilpailee ruoan tuotannon kanssa, vaikka useissa maissa maatalouden tehostuessa on jäänyt peltopinta-alaa myös muuhun käyttöön. Kyeisessä tapauksessa bioenergian tuotanto (esim. öljykasvien ja viljan tuottaminen nestemäisiksi polttoaineiksi ja korsibiomassojen tuottaminen lämpö- ja sähkövoimalaitoksille) voi tulla kysymykseen. Lisäksi eri jättemateriaaleja sekä maatalouden ja elintarviketeollisuuden sivuvirtoja voi olla alueellisesti käytettävissä, mutta niiden todellinen käyttökelpoisuus energian raaka-aineena on selvitettävä tapauskohtaisesti. SEKKI-hankkeessa tehtyjen arvioiden perusteella koko maapallon ruoantuotanto nykyisellä peltoalalla riittäisi tasan jaettuna vielä vuonna 2050 ravitsevaan ruokaan jokaiselle maapallon yli yhdeksälle miljardille asukkaalle, mutta bioenergian tuotannolle ei jäisi ollenkaan peltoalaa. Toisaalta optimistisemmissä skenaarioissa peltobioenergian tuotanto voisi kasvaa vuoteen 2050 mennessä tasolle 90–180 EJ riippuen siitä, onko ihmisten ruokavalio liha- vai kasvispainotteinen. Korkeampi arvio vastaisi skenaariolaskelmien mukaan noin 10 %:n osuutta maa-

ilman primäärienergiankulutuksesta vuonna 2050, jolloin primäärienergiankulutus olisi kasvanut kaksinkertaiseksi nykykulutukseen verrattuna.

Euroopan Unionin keskeisenä energiatarvotteena on paitsi energiahuollon kestävyuden lisääminen myös kilpailukyvyyn ja toimitusvarmuuden lisääminen. EU:n tavoitteena on yhteiset sähkön sisämarkkinat, jotka voisivat laajeta myös Venäjän kattavaksi. Näin syntyisi maailman suurin integroitunut sähkömarkkina-alue. SEKKI-hankkeessa tarkasteltiin Pohjoismaiden, Venäjän ja Keski-Euroopan sähkömarkkinoiden integroitumista sekä markkinoiden kehitystä. EU:n 20-20-20-politiikka edistää uusiutuvan energian käytön lisäämistä sekä sähkön kulutuksen kääntymistä laskuun, joilla molemmilla on toimivilla sähkömarkkinoilla sähkön tukkuhintaa laskeva vaikutus. Pohjoismaissa uusiutuvien energialähteiden lisäystarve on noin 10 %, josta suuri osa saattaa kohdistua sähkön tuotantoon. VTT:n markkinahintamallilla arvioituna sähkön markkinahinta laskisi noin 10 €/MWh uusiutuvien lisäyksen johdosta vuoteen 2020 mennessä, ja kysynnän kasvun taittumisen johdosta hintavaikutus vuonna 2030 olisi jo 20 €/MWh. Toisaalta Keski-Euroopan markkinoille on tyypillistä sähkön korkea hintataso ja suuri vuorokaudensisäinen vaihtelu, ja pohjoismaisten sähkömarkkinoiden voimakkaampi integroituminen Keski-Euroopan markkinoihin mitä todennäköisimmin nostaisi sähkön tukkuhintaa Pohjoismaissa ja vastaavasti alentaisi sitä Keski-Euroopassa. VTT:n markkinahintamallilla laskettujen ennusteiden mukaan Saksan ydinvoiman alasajo nostaisi sähkön keskihintaa Saksassa 40–80 % riippuen siitä, lisääntykö vai väheneekö hiilivoiman käyttö tulevaisuudessa.

Venäjän sähkömarkkinoilla on vuodesta 2001 asti ollut käynnissä uudistus, joka tähtää sähkömarkkinoiden vapauttamiseen ja kilpailun lisäämiseen sähkömarkkinoilla. Venäjän sähkön tukkumarkkinoiden hinnoitteluperiaate huomioi fyysisen sähköjärjestelmän ominaisuudet yksityiskohtaisemmin kuin pohjoismaisten sähkömarkkinoiden hinnoittelutapa. Toinen suuri eroavaisuus pohjoismaisiin sähkömarkkinoihin verrattuna on, että sähkömarkkinoiden lisäksi Venäjällä on erilliset, pidemmällä aikavälillä toimivat *kapasiteettimarkkinat*. Kyseisillä markkinoilla kaupattava tuote on energia. Venäläisen markkinarakenteen positiivisena puolena voidaan pitää sähköntuotantoinvestointien epävarmuuden minimointia kapasiteettimarkkinoiden avulla. Toisaalta uusi ”vapaa” järjestelmä on hyvin säännelty: tuottajan on pakko tarjota koko kapasiteetti myyntiin ja hinnalla on säädelty yläraja. Kapasiteettimarkkinoille on määritetty viisivuotisinvestointiohjelmat, joihin tuottajien on pakko sitoutua. Haasteita sekä venäläisille että

7. Johtopäätökset

kansainvälisille markkinapelureille asettaa myös markkinoiden monimutkainen rakenne.

EU:n tavoitteet energian käytön tehostamisesta sekä toisaalta khk-päästöjen vähentämisestä edellyttävät, että energiankäytön tulee kääntyä laskuun seuraavien vuosikymmenten aikana Suomessa sekä muualla EU:ssa. Energian kokonaiskulutuksen väheneminen saattaa joissain tapauksissa myös kasvattaa sähkön kulutusta, kun siirrytään käyttämään entistä energiatehokkaampia teknologioita esimerkiksi liikenteessä ja lämmityksessä. Viime vuosina lämpöpumppulämmitysten osuus on kasvanut voimakkaasti. SEKKI-hankkeessa selvitettiin nopeasti yleistyvien lämpöpumppulämmitysten vaikutuksia sähköenergian kysyntään ja huipputehoihin. Laskelmien mukaan öljylämmityksiä korvaavat lämpöpumppulämmitykset nostaisivat Suomen sähkönkulutuksen huippuviikon tehoja tuntuvasti. SEKKI-hankkeessa analysoitiin myös sähköautojen yleistymisen vaikutuksia sähköenergian kysyntään ja tuntitason tehoihin. Tarkasteluissa noin puolet Suomen ja Pohjoismaiden autokannasta muutettiin sähköautoiksi. Laskelmat osoittivat, että mikäli autojen lataamista voidaan ohjata (mikä on hyvin todennäköistä), ovat sähköautojen laajamittaisen käyttöönoton vaikutukset sähköjärjestelmään kohtuullisen pieniä.

Tarkkasilmäinen lukija on varmasti huomannut, että raportissa ei suoranaisesti ole käsitelty suomalaisen energiateollisuuden kilpailukykyä ilmastopolitiikan muuttuessa. Raportissa on sen sijaan keskitytty ilmastopolitiikan sekä energiamarkkinoiden integroitumisen vaikutusten arviointiin sekä pohdittu Euroopan energiavarmuutta tulevaisuudessa. Molemmat tekijät, energian hinta ja sen saatavuus, ovat niin suomalaiselle kuin eurooppalaiselle energiateollisuudelle avainkysymyksiä. Toisaalta skenaariolaskelmat osoittavat, että puhtaalle energiateknologialle tulee muodostumaan valtaiset markkinat tulevaisuudessa. Suomalainen osaaminen liittyen uusiutuvien energialähteiden käyttöön sekä energiatehokkaisuun ratkaisuihin on kilpailuetu, joka tulisi hyödyntää energiateknologian kehityksessä ja viennissä. Myös tehokkaat energiamarkkinat luovat toimintaympäristön, jossa energian hinta pystytään minimoimaan ja energian saanti turvaamaan loppukuluttajille.

8. Yhteenveto

Julkaisu on yhteenveto Tekesin ClimBus-ohjelman hankkeen ”Suomalaisen energiateollisuuden kilpailukyky ilmastopolitiikan muuttuessa – SEKKI” tulok-
sista. Hanke on toteutettu VTT:n, MTT:n ja BOFITin yhteishankkeena ja koor-
dinaattorina toimi VTT. SEKKI-hankkeen keskeinen sisältö oli arvioida tulevai-
suuden energijärjestelmien, energiamarkkinoiden, energian saatavuuden ja
energian kysynnän kehitystä globaalisti, Euroopassa sekä Suomessa, kun tavoit-
teena on ilmastonmuutoksen hillintä. Toisaalta energian kysynnän voimakas
kehitys kehittyvissä talouksissa ja rajalliset polttoaineresurssit herättävät kysy-
myksiä energian saatavuuden suhteen tulevaisuudessa.

EU-maille erityisen tärkeää on maakaasun saatavuus ja hinta. Aasian maat tu-
levat mitä ilmeisimmin kilpailemaan samoista energiavaroista kuin Eurooppa.
SEKKI-hankkeen mallilaskelmissa sekä Afrikan että Lähi-idän roolit kasvoivat
Euroopan kaasunhankinnassa vuoden 2020 jälkeen ja vuoden 2050 tienoilla
erityisesti Lähi-idän. Energiavarmuuskysymykset tulevat yhä ajankohtaisem-
miksi Euroopalle, etenkin jos investoinnit uuteen kaasun (ja öljyn) tuotantokapa-
siteettiin sekä infrastruktuurien kehitykseen viivästyvät.

Ilmastonmuutoksen hillintätavoitteet asettavat suuria odotuksia uusiutuvien
energialähteiden lisäämiselle energian tuotannossa. Bioenergian käytön voima-
kas lisääminen edellyttäisi erityisesti peltoalan hyödyntämistä energiakasvien
tuotannossa, ja sama peltoala kilpailee ruoan tuotannon kanssa. SEKKI-
hankkeessa tehtyjen arvioiden perusteella koko maapallon ruoantuotanto nykyi-
sellä peltoalalla riittäisi tasan jaettuna vielä vuonna 2050 ravitsevaan ruokaan
jokaiselle maapallon yli yhdeksälle miljardille asukkaalle, mutta bioenergian
tuotannolle ei jäisi lainkaan peltoalaa. Toisaalta optimistisemmissä skenaarioissa
peltobioenergian tuotanto voisi kasvaa vuoteen 2050 mennessä tasolle 90–180 EJ
riippuen siitä, onko ihmisten ruokavalio liha- vai kasvispainotteinen. Korkeampi
arvio vastaisi skenaariolaskelmien mukaan noin 10 %:n osuutta maailman pri-
määrienergiankulutuksesta.

8. Yhteenveto

Euroopan Unionin keskeisenä tavoitteena on energiamarkkinoiden integrointi. Myös Venäjän sähkömarkkinoilla on käynnissä uudistus, joka tähtää sähkömarkkinoiden vapauttamiseen. SEKKI-hankkeessa tarkasteltiin Pohjoismaiden, Venäjän sekä Keski-Euroopan sähkömarkkinoiden integroitumista sekä markkinoiden kehitystä. Uusiutuvan energian käytön lisäämisellä sekä sähkön kulutuksen pienenemisellä on sähkön tukkuhintaa laskeva vaikutus. Mallilaskelmien mukaan sähkön markkinahinta laskisi Pohjoismaissa noin 10 €/MWh uusiutuvien energialähteiden lisäyksen johdosta vuoteen 2020 mennessä ja kysynnän pienenemisen hintavaikutus vuonna 2030 olisi jo 20 €/MWh. Toisaalta EU-alueen sähkömarkkinoiden integroituminen mitä todennäköisimmin nostaisi sähkön tukkuhintaa Pohjoismaissa ja vastaavasti alentaisi sitä Keski-Euroopassa. Laskettujen ennusteiden mukaan Saksan ydinvoiman alasajo nostaisi sähkön keskihintaa Saksassa 40–80 % riippuen siitä, lisääntykö vai väheneekö hiilivoiman käyttö tulevaisuudessa.

EU:n tavoitteet energian käytön tehostamisesta saattavat joissain tapauksissa myös kasvattaa sähkön kulutusta, kun siirrytään käyttämään entistä energiatehokkaampia teknologioita esimerkiksi liikenteessä ja lämmityksessä. SEKKI-hankkeessa selvitettiin lämpöpumppulämmitysten ja sähköautojen yleistymisen vaikutuksia sähköenergian kysyntään ja huipputehoihin. Laskelmien mukaan öljylämmityksiä korvaavat lämpöpumppulämmitykset nostaisivat Suomen sähkönkulutuksen huippuviikon tehoja tuntuvasti. Toisaalta sähköautojen laajamittaisen käyttöönoton vaikutukset sähköjärjestelmään olivat kohtuullisen pieniä, mikäli autojen lataamista voidaan ohjata.

SEKKI-hankkeessa lasketut energiaskenaariot osoittavat, että puhtaalle energiateknologialle tulee muodostumaan valtaiset markkinat tulevaisuudessa. Suomalainen osaaminen liittyen uusiutuvien energialähteiden käyttöön sekä energiatehokkaisuun ratkaisuihin on kilpailuetu, joka tulisi hyödyntää energiateknologian viennissä. Myös tehokkaat energiamarkkinat luovat toimintaympäristön, jossa energian hinta pystytään minimoimaan ja energian saanti turvaamaan loppukulluttajille.

Lähdeluettelo

- Abdurafikov, R. 2009. Russian electricity market. Current state and perspectives. Espoo: VTT. VTT Working Papers 121. 77 s. + liitt. 10 s. http://www.vtt.fi/inf/pdf/working_papers/2009/W121.pdf.
- Andrews, S.S. 2006. Crop residue removal for biomass energy production: Effects on soils and recommendations (White Paper, 15 p., Updated February 22, 2006). http://soils.usda.gov/sqi/management/files/AgFo-rum_Residue_White_Paper.pdf.
- Berndes, G., Hoogwijk, M. & van den Broek, R. 2003. The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy* 25, s. 1–28.
- Blanco-Canqui, H. & Lal, R. 2008. Corn stover removal impacts on micro-scale soil physical properties. *Geoderma* 145 (3–4), s. 335–346.
- BGR 2007. Reserves, resources and availability of energy resources 2006. Status 31.12.2006. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- BP 2008. Statistical Review of World Energy 2008. British Petroleum.
- EEA 2006. European Environment Agency. Saatavilla <http://www.eea.europa.eu/>
- EEX 2009. European Energy Exchange. Saatavilla <http://www.eex.com/>
- EIA 2009. Energy Information Administration. Weekly Europe (UK) Brent Blend Spot Price FOB (Dollars per Barrel). Saatavilla: <http://tonto.eia.doe.gov/dnav/pet/hist/wepcbrentw.htm>
- 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.
- FAO, FAOSTAT <http://faostat.fao.org/> (20.10.2008).
- Forsström, J. 2009. Euroopan kaasunhankinnan malli. VTT Working Papers (tulossa).
- Hoogwijk, M., Faaij, A., Eickhout, B., de Vries, B. & Turkenburg, W. 2005. Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios. *Biomass and Bioenergy* 29, s. 225–257.
- IEA 2007a. IEA World Energy Statistics and Balances. Database Edition. Paris: OECD, International Energy Agency.
- IEA 2007b. World Energy Outlook 2007. Paris: OECD, International Energy Agency.

- IEA 2008a. Energy Technology Perspectives 2008. Paris: OECD, International Energy Agency.
- IEA 2008b. World Energy Outlook 2008. Paris: OECD, International Energy Agency.
- IPCC 2000. Emissions scenarios. In: Nakicenovic, N. & Swart, R. (eds.) Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, England. 570 s.
- IPCC 2007a. Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., 807 s.
- IPCC 2007b. Summary for policymakers. In: Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden & C.E. Hanson (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK. S. 7–22.
- Kekkonen, V. & Koreneff, G. 2009. Euroopan yhdentyvät sähkömarkkinat ja markkinahinnan muodostuminen Suomen näkökulmasta. Espoo: VTT. VTT Working Papers 120. 80 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2009/W120.pdf>.
- Kirkinen J. 2009. Impacts of Climate Change on the Availability of the Renewable Energy Resources. VTT Research Reports (tulossa)
- Koljonen, T., Pohjola, J., Lehtilä, A., Savolainen, I., Flyktman, M., Peltola, E., Haavio, M., Liski, M., Haaparanta, P., Ahonen, H.-M., Laine, A. & Estlander, A. 2008a. Suomalaisen energiateknologian globaali kysyntä ilmastopoliittikan muuttuessa. Espoo: VTT. VTT Tiedotteita – Research Notes 2448. 63 s. + liitt. 8 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2008/T2448.pdf>.
- Koljonen, T., Ronde, H., Lehtilä, A., Ekholm, T., Savolainen, I. & Syri, S. 2008b. Greenhouse gas emission mitigation and energy security – Scenario results and practical programmes in some Asian countries. Proceedings of the 2nd IAEE Asian Conference, 5–7 November, Perth, Australia.
- Koljonen, T., Flyktman, M., Lehtilä, A., Pahkala, K., Peltola, E. & Savolainen, I. 2009a. The role of CCS and renewables in tackling climate change. Energy Procedia Vol. 1 (2009), No: 1, s. 4323–4330.
- Koljonen, T., Ruska, M., Pahkala, K., Flyktman, M., Forsström, J., Kiviluoma, J., Kirkinen, J. & Lehtilä, A. 2009b. Energiaresurssit ja -markkinat. VTT Tiedotteita – Research Notes 2489. Espoo: VTT. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2489.pdf>

- Koreneff, G., Ruska, M., Kiviluoma, J., Shemeikka, J., Lemström, B., Alanen, R. & Koljonen, T. 2009. Future development trends in electricity demand. VTT Tiedotteita – Research Notes 2470. Espoo: VTT. 79 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2470.pdf>.
- Lindstrom, M.J. 1986. Effects of residue harvesting on water runoff, soil erosion and nutrient loss. *Agriculture Ecosystems & Environment* 16, s. 103–112.
- Nordel 2008. Annual Statistics 2007. Organisation for the Nordic Transmission System Operators. Saatavilla <http://www.nordel.org/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>.
- Pahkala, K., Hakala, K., Kontturi, M. & Niemeläinen, O. 2009. Peltobiomassat globaalina energianlähteenä. *Maa- ja elintarviketalous* 137. 53 s. <http://www.mtt.fi/met/pdf/met137.pdf>.
- 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.
- Prochnow, A., Plöchl, M., Jacobs, H., Heiermann, 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=1342>.
- PTT 2006. Pellervon taloudellinen tutkimuskeskus. Viitattu: Energiaa Suomessa. Ruokohelpi kasvaa energiantuotantoa varten. <http://www.energiaasuomessa.net/>.
- Riveros, F. (päiväämätön). FAO Grassland and Fodder Crops Programme. Summary. <http://www.fao.org/ag/AGP/agpc/doc/Publicat/GRASSLAN/3.pdf>.
- Solanko, L. & Ollus, S.-E. 2008. Paljonko kaasua Venäjä pystyy viemään? BOFIT Online 3/2008. Helsinki: BOFIT. 19 s. <http://www.bof.fi/bofit>.
- Suominen, M. 2007. Finbion peltoenergiavisio 2020. Bioenergiapäivät 2007. (21.–22.11.2007). *Finbion julkaisu* 38, s. 39–41.
- Tike 2007. Käytössä oleva maatalousmaa vuonna 2007. MMM:n tietopalvelukeskus. <http://www.matilda.fi>.

- Tike 2008. Käytössä oleva maatalousmaa vuonna 2008 MMM:n tietopalvelukeskus. 11.12.2008. <http://www.matilda.fi>.
- Tilastokeskus 2008. Energian kokonaiskulutus. http://www.stat.fi/til/ekul/2007/ekul_2007_2008-12-12_tie_001.html. Julkaistu 12.12.2008. Luettu 28.12.2008.
- United Nations 2007. World Population Prospects: The 2006 Revision.
- Vapo 2008. Ruokohelpi polttoaineena. Paikalliset polttoaineet. <http://www.vapo.fi/filebank/3260-polttoesite.pdf>. Luettu 29.12.2008.
- Wolf, J., Bindraban, P.S., Luijten, J.C. & Vleeshouwers, L.M. 2003. Exploratory study on the land area required for global food supply and the potential global production of bioenergy. *Agricultural Systems* 76. s. 841–861.



Tekijä(t) Tiina Koljonen, Juha Forsström, Veikko Kekkonen, Göran Koreneff, Maija Ruska, Lassi Similä, Katri Pahkala, Laura Solanko & Iikka Korhonen		
Nimeke Suomalaisen energiateollisuuden kilpailukyky ilmastopolitiikan muuttuessa		
Tiivistelmä Julkaisussa esitetään yhteenveto Tekesin ClimBus-ohjelman hankkeen ”Suomalaisen energiateollisuuden kilpailukyky ilmastopolitiikan muuttuessa – SEKKI” tuloksista. Hanke toteutettiin VTT:n, MTT:n ja BOFITin yhteishankkeena, ja sen koordinaattorina toimi VTT. SEKKI-hankkeen tavoitteena oli arvioida suomalaisen energiateollisuuden kilpailukykyyn vaikuttavia tekijöitä ja toimintaympäristön muutoksia, kun tavoitteena on ilmastonmuutoksen hillintä. Hankkeessa keskityttiin tulevaisuuden energijärjestelmien, energiamarkkinoiden, energian saatavuuden ja energian kysynnän kehityksen arviointiin vuoteen 2050 asti. VTT:n työn keskeinen sisältö oli arvioida kriittisesti fossiilisten polttoaineiden riittävyttä ja uusiutuvien energialähteiden teknistä potentiaalia tulevaisuudessa. Pääpaino tarkasteluissa oli maakaasun saatavuuden arvioinnissa Euroopan näkökulmasta. Maakaasutarkastelut tehtiin yhteistyössä BOFITin kanssa, joka arvioi Venäjän kaasun riittävyttä ja vientiä Venäjältä Eurooppaan tulevaisuudessa. Bioenergian käytön voimakas lisääminen edellyttäisi erityisesti peltoalan hyödyntämistä energiakasvien tuotannossa. MTT:n työ painottui peltobioenergiapotentiaalien arviointiin alueellisesti ja globaalisti. Arvioissa huomioitiin riittävä ruoan tuotanto maailman kasvavalle väestölle. VTT:n hankkeessa arvioitiin myös sähkömarkkinoiden ja sähkön hinnan kehitystä Pohjoismaissa, Keski-Euroopassa ja Venäjällä. Lisäksi tehtiin arviot sähkön kysynnän kehityksestä Pohjoismaissa sekä arvioitiin lisääntyvien lämpöpumppujen ja sähköautojen vaikutuksia sähköjärjestelmään ja -kysyntään. Eri osatehtävien tuloksia käytettiin lähtötietoina skenaariotarkasteluissa, joissa tarkasteltiin tulevaisuuden ilmastopolitiikan vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin sekä energijärjestelmien kehitykseen ja investointeihin. Tarkastelun painopisteet olivat Euroopan ja Aasian kehittyvien talouksien skenaariot sekä globaali energia- ja ilmastotulevaisuus.		
ISBN 978-951-38-7300-4 (nid.) 978-951-38-7301-1 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Projektinnumero 17968
Julkaisu-aika Kesäkuu 2009	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 90 s.
Projektin nimi SEKKI		Toimeksiantaja(t) Tekes
Avainsanat energy markets, climate policy, electricity markets, fuel markets, bioenergy potentials, filed biomass, energy crops, climate change, resources, reserves, Russian gas, Russian electricity, future energy, greenhouse gas emissions		Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374

<p>Author(s) Tiina Koljonen, Juha Forsström, Veikko Kekkonen, Göran Koreneff, Maija Ruska, Lassi Similä, Katri Pahkala, Laura Solanko & Iikka Korhonen</p>		
<p>Title The competitiveness of Finnish energy industry under developing climate policy</p>		
<p>Abstract This report gives a summary of the results of the research project “SEKKI – The Competitiveness of Finnish Energy Industry under Developing Climate Policy”. The research was part of ClimBus-programme by Tekes, the Finnish Funding Agency for Technology. The SEKKI research was carried out as a joint research project of VTT, MTT Agrifood Research Finland (MTT) and the Bank of Finland Institute for Economics in Transition (BOFIT). The coordinating partner was VTT. The objective of the project was to assess factors contributing to the competitiveness of the Finnish energy industry as well as the changes in the operational environment due to mitigation of climate change. The project focused on the assessment of the future development of energy systems, energy markets, energy availability and energy demand up to year 2050. The central research question for VTT was to critically evaluate the sufficiency of fossil fuels resources and the technical potential of renewable energy sources in the future. Emphasis was put on the appraising the availability of natural gas from the European perspective. The natural gas evaluations were done in collaboration with BOFIT, who estimated the sufficiency of Russian gas and the export possibilities of Russian gas to the EU area in the future. High increase in the bio-energy consumption would require the utilization of arable land areas for energy crop cultivation. MTT’s work focused on evaluating field biomass potentials for different regions and globally. The estimates were calculated taking into account food production for the growing world population. VTT research focused also on electricity market and electricity price developments in the Nordic countries, Central Europe and Russia. In addition, electricity demand in the Nordic countries was appraised, and the effects of a high number of new heat pumps and electric cars on the electricity system and load demand were assessed. The results of the different subtasks were used as inputs in scenario calculations, where the impacts of climate policies on future greenhouse gas emissions and energy investments were assessed. The analysis focused on scenarios for Europe and developing Asian countries as well as on the global energy and climate futures.</p>		
<p>ISBN 978-951-38-7300-4 (nid.) 978-951-38-7301-1 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)</p>		
<p>Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)</p>		<p>Project number 17968</p>
<p>Date June 2009</p>	<p>Language Finnish, English abst.</p>	<p>Pages 90 p.</p>
<p>Name of project SEKKI</p>		<p>Commissioned by Tekes – Finnish Funding Agency for Technology and Innovation</p>
<p>Keywords energy markets, climate policy, electricity markets, fuel markets, bioenergy potentials, field biomass, energy crops, climate change, resources, reserves, Russian gas, Russian electricity, future energy, greenhouse gas emissions</p>		<p>Publisher VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374</p>

SEKKI-hankkeessa (Suomalaisen energiateollisuuden kilpailukyky ilmastopolitiikan muuttuessa) tutkittiin suomalaisen energiateollisuuden kilpailukykyyn vaikuttavia tekijöitä, kun taustalla ovat ilmastonmuutoksen hillintä, niukkenevat energioresurssit sekä energiateknologioiden kehitys. Hanke toteutettiin Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT), Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) ja Suomen Pankin Siirtymätalouksien tutkimuslaitoksen (BOFIT) yhteishankkeena osana Tekesin ClimBus-ohjelmaa. Tässä julkaisussa esitetään yhteenveto koko hankkeen sisällöstä ja tuloksista. Eri osatehtävien tuloksia on esitetty tarkemmin osaraporteissa.

SEKKI-hankkeen julkaisuja VTT Tiedotteita – Research Notes -sarjassa:

- 2487 Koljonen, Tiina, Ruska, Maija, Koreneff, Göran, Pahkala, Katri, Solanko, Laura, Forsström, Juha, Kekkonen, Veikko, Kirkinen, Johanna, Korhonen, Iikka & Lehtilä, Antti. Suomalaisen energiateollisuuden kilpailukyky ilmastopolitiikan muuttuessa. SEKKI-hankkeen yhteenvetoraportti. 2009. 90 s.
- 2489 Koljonen, Tiina, Ruska, Maija, Pahkala, Katri, Flyktman, Martti, Forsström, Juha, Kiviluoma, Juha, Kirkinen, Johanna & Lehtilä, Antti. Energiaressurssit ja -markkinat. 2009.
- 2470 Koreneff, Göran, Ruska, Maija, Kiviluoma, Juha, Shemeikka, Jari, Lemström, Bettina, Alanen, Raili & Koljonen, Tiina. Future development trends in electricity demand. 2009. 79 s.

SEKKI-hankkeen julkaisuja VTT Working Paper -sarjassa:

- 120 Kekkonen, Veikko & Koreneff, Göran: Euroopan yhdentyvät sähkömarkkinat ja markkinahinnan muodostuminen Suomen näkökulmasta. 2009. 80 s.
- 121 Abdurafikov, Rinat. Russian electricity market. Current state and perspectives. 2009. 77 s. + liitt. 10 s.
- 123 Forsström, Juha. Euroopan kaasunhankinnan malli. 2009.