



Tiina Koljonen, Maija Ruska, Martti Flyktman,
Juha Forström, Juha Kiviluoma, Johanna Kirkinen,
Antti Lehtilä & Katri Pahkala

Energiaresurssit ja -markkinat

Energiaresurssit ja -markkinat

Tiina Koljonen, Maija Ruska, Martti Flyktman, Juha Forsström,
Juha Kiviluoma, Johanna Kirkinen & Antti Lehtilä

VTT

Katri Pahkala

MTT



ISBN 978-951-38-7546-6 (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 3, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 3, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 3, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

Toimitus Mirjami Pullinen

Edita Prima Oy, Helsinki 2009

Tiina Koljonen, Maija Ruska, Martti Flyktman, Juha Forsström, Juha Kiviluoma, Johanna Kirkinen, Antti Lehtilä & Katri Pahkala. Energiaressurssit ja -markkinat [Energy resources and markets]. Espoo 2009. VTT Tiedotteita – Research Notes 2489. 110 s.

Avainsanat energy resources, fossil fuels, fuel markets, bioenergy potentials, wind power potentials, renewable resources, gas supply, Russian gas, field biomass, climate change impacts

Tiivistelmä

Energian kysynnän kasvaminen, fossiilisten energiavarojen ehtyminen sekä ilmastonmuutoksen hillitseminen tulevat ohjaamaan eri energiaressurssien kysyntää sekä energian hintaa. Tässä raportissa on esitetty arvioita polttoaineiden ja uusiutuvien energialähteiden teknisistä potentiaaleista sekä niihin liittyvistä epävarmuuksista. Työ toteutettiin Tekesin ClimBus -ohjelman hankkeessa ”Suomalaisen energiateollisuuden kilpailukyky ilmastopolitiikan muuttuessa – SEKKI” 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. Tarkastelun pääpaino 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.

Fossiilisten ja ydinpolttoaineiden osalta tarkasteltiin tunnettuja reserviarvioita, resursseja sekä epäkonventionaalisia resursseja. Lisäksi polttoainemarkkinoiden (öljy, kaasu, hiili, LNG) kehityksestä laadittiin lyhyt yhteenveto. Eri energialähteiden kysyntää tulevaisuudessa arvioitiin skenaariotarkasteluin globaalilla Global TIAM -energijärjestelmämallilla ja Euroopan kaasunhankintamallilla, joka kehitettiin osana SEKKI-hanketta.

Työn keskeisenä tuloksena ovat arviot energian saatavuuteen liittyvistä epävarmuuksista. Tehtyjen selvitysten perusteella myös tunnettuihin fossiilisten polttoaineiden reserviarvioihin sisältyy huomattavaa epävarmuutta. Samoin uusiutuvien energialähteiden tekniset potentiaaliarviot sisältävät huomattavia epävarmuuksia, ja kirjallisuudessa esitetyt arviot tulevaisuuden potentiaaleista poikkeavat huomattavasti toisistaan. Euroopan näkökulmasta katsottuna maakaasun saatavuus tulee olemaan kriittinen tekijä, mikäli investoinnit uuteen tuotantoon ja infrastruktuuriin eivät toteudu riittävän ajoissa Venäjällä, Afrikassa ja Lähi-idässä. Uusiutuvien energialähteiden osalta tarkastelu painottui bioenergian- sekä tuulivoimapotentiaaleihin. Muiden uusiutuvien energialähteiden alueellisista potentiaaleista sekä teknologisista haasteista esitetään raportissa yhteenveto. Raportissa esitetään lyhyt yhteenveto myös ilmastonmuutoksen mahdollisista vaikutuksista uusiutuviin energialähteisiin.

Tiina Koljonen, Maija Ruska, Martti Flyktman, Juha Forsström, Juha Kiviluoma, Johanna Kirkinen, Antti Lehtilä & Katri Pahkala. Energiaresurssit ja -markkinat [Energy resources and markets]. Espoo 2009. VTT Tiedotteita – Research Notes 2489. 110 p.

Keywords energy resources, fossil fuels, fuel markets, bioenergy potentials, wind power potentials, renewable resources, gas supply, Russian gas, field biomass, climate change impacts

Abstract

Growing energy demand, depleting fossil energy reserves, and tackling climate change will drive the demands and prices of fossil fuels and renewable energy. This report gives an overview of technical potentials of fossil and renewable energy resources and their uncertainties. The work was carried out within the research project “SEKKI – The Competitiveness of Finnish Energy Industry under Developing Climate Policy”, which was part of ClimBus-programme by Tekes, the Finnish Funding Agency for Technology. The SEKKI research was performed 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.

The report includes an overview of the reserves, resources, and non-conventional resources for fossil and nuclear fuels. Also, a short summary of the development of fossil fuel markets (oil, gas, coal, LNG) is given. Demands of different primary energy resources are evaluated with Global TIAM energy system model and with European gas procurement model, which was created as a part of SEKKI project.

An important outcome of the work was related to the uncertainty of the future energy supply. The survey of the fossil energy resources indicate that significant uncertainty is also related to the identified fossil energy reserves. The technical potential estimates of renewable energy resources also include remarkable uncertainties and future potential estimates vary greatly in the literature. Security of gas supply will be a challenge for Europe in the future without new investments in gas supply and infrastructure in Russia, Africa and Middle East. The main focus in renewable potentials was on biomass and wind assessment. The possible impacts of climate change on renewable potentials were also taken into account.

Alkusanat

Julkaisussa on esitetty hankkeen ”Suomalaisen energiateollisuuden kilpailukyky ilmastopolitiikan muuttuessa – SEKKI” tulokset liittyen energiareursseihin ja niiden kysyntään sekä katsaus fossiilisten polttoaineiden markkinoihin. Eri osatehtävien tuloksia on raportoitu tarkemmin erillisissä raporteissa sekä konferenssiartikkeleissa, ja koko hankkeen keskeisimmät tulokset on koottu yhteenvertaamoon.

Tutkimus tehtiin VTT:n (Valtion teknillinen tutkimuskeskus), MTT:n (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus) sekä Suomen Pankin siirtymätalouksien tutkimuslaitoksen (BOFIT) yhteishankkeena. 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:stä. MTT:n ja BOFITin osahankkeiden vastuullisina johtajina 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

Abstract	4
Alkusanat.....	5
Symboliluettelo	8
1. Johdanto	11
2. Fossiilisten polttoaineresurssien ja -reservien määritelmiä	13
2.1 Konventionaaliset ja epäkonventionaaliset varat	15
2.2 Tietolähteitä	16
3. Öljy.....	18
3.1 Öljyvarat	18
3.1.1 Paikannetut öljyreservit.....	19
3.1.2 Öljyresurssit	22
3.1.3 Epäkonventionaalinen öljy	23
3.1.3.1 Öljyliuske	24
3.1.3.2 Raskas raakaöljy ja luonnonbitumi.....	24
3.2 Öljyn tuotanto	25
3.3 Öljyn kysyntä	26
3.4 Öljymarkkinat.....	27
3.4.1 Öljyn hinnan historiallinen kehitys	28
3.4.2 Öljyn hinnan ennustaminen	30
4. Maakaasu	31
4.1 Maakaasuvarat	31
4.1.1 Paikannetut reservit	31
4.1.2 Muut konventionaaliset reservit ja resurssit	34
4.1.3 Epäkonventionaalinen kaasu	35
4.1.3.1 <i>Coal Bed Methane</i> , CBM	36
4.1.3.2 <i>Tight gas</i>	36
4.1.3.3 Akviferikaasu.....	37
4.1.3.4 Metaanihydraatit	37
4.2 Maakaasun kysyntä.....	37
4.3 Maakaasun tuotanto	38
4.4 Kaasumarkkinat.....	40
4.5 Nesteytetty maakaasu LNG.....	42
5. Hiili	43

5.1	Hiililajit ja näiden käyttötavat.....	43
5.2	Hiilivarat.....	45
5.3	Hiilen tuotanto.....	47
5.4	Hiilen kysyntä	49
5.5	Hiilimarkkinat	50
6.	Ydinpolttoaineresurssit	53
6.1	Konventionaaliset ja epäkonventionaaliset uraaniresurssit	53
6.2	Uraanin tuotanto ja kysyntä	54
6.3	Uraanimarkkinat	54
7.	Turve.....	56
7.1	Turveresurssit.....	56
7.2	Turpeen tuotanto	57
7.3	Turpeen käyttö.....	58
8.	Biopolttoaineet	60
8.1	Metsäbiomassa	60
8.1.1	Maailman metsäteollisuuden tuotanto.....	62
8.1.2	Polttopuun käyttö	65
8.1.3	Metsäenergia	65
8.1.3.1	Puuenergiapotentiaalin arviointi.....	65
8.1.3.2	Metsäteollisuuden sivutuotteet.....	66
8.1.3.3	Metsätähteet	67
8.1.4	Puupolttaineiden energiapotentiaali	67
8.1.5	Puuperäisten polttoaineiden saatavuus ja metsäpolttaineen hankinnan kustannukset ..	70
8.2	Peltobiomassat globaalina energianlähteenä	70
8.3	Levät energiantuotannossa	74
8.3.1	Tutkimus- ja kehitystyö	74
8.3.2	Levien tuotanto altaissa ja bioreaktoreissa	75
9.	Tuulivoimaresurssit ja tuulivoiman tuotantopotentiaali.....	77
10.	Muut uusiutuvat energialähteet.....	81
10.1	Aurinkoenergia	81
10.2	Vesivoima.....	83
10.3	Aalto- ja vuorovesivoima sekä muu merienergian hyödyntäminen	85
10.4	Geoterminen energia.....	86
11.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset energialähteisiin.....	88
12.	Globaalit ja alueelliset energiaskenaariot	90
12.1	Globaalit energia- ja päästöskenaariot	92
12.2	Energiavarmuus EU-30-alueella.....	93
12.2.1	Skenaariotarkastelut Global TIAM -mallilla	93
12.2.2	Euroopan maakaasun hankintaskenaariot VTT:n maakaasumallilla.....	95
12.3	Ilmastonmuutoksen hillintä ja energiavarmuus kehittyvässä Aasiassa.....	99
13.	Johtopäätökset	101
	Lähdeluettelo.....	106

Symboliluettelo

AAPG	American Association of Petroleum Geologists
API	American Petroleum Institute gravity. API-luku l. API-paino, jota käytetään esim. öljyn ja hiilen luokitteluun niiden ominaisuuksien mukaan
ARA	Määräsatama, joka voi olla Antwerpen, Rotterdam tai Amsterdam
bcm	billion cubic meters, miljardi kuutiometriä, 10^9 m^3
BGR	Federal Institute for Geosciences and Natural Resources
Bl	Barreli, $0,159 \text{ m}^3$
BP	British Petroleum
BRENT	Pohjanmeren öljyalaatu, jota käytetään Euroopan öljyn referenssilaatuna
CBM	Coal Bed Methane, kivihiilikerrostuman huokosiin adsorboitunut metaanikaasu
CEDIGAZ	The International Foundation for Natural Gas -järjestö
CIF	Cost, Insurance and Freight, myyjä vastaa tavaran tms. kuljetuksesta määränpäähen
CSP	Concentrated Solar Power, aurinkovoimala, jossa energia tuotetaan parabolisten aurinkoke- rääjien (peilien) avulla
CTL	Coal To Liquids, hiilen nesteytys
DC	Direct Current, tasavirta
EIA	Energy Information Administration
EUR	Estimated Ultimate Recovery, konventionaalisen polttoainereservin määrä
FNR	Fast-spectrum-reactor, ydinreaktorityyppi
FOB	Free On Board, myyjä vastaa lastauksesta laivaan ja ostaja maksaa tavaran tms. rahdin
GTL	Gas To Liquids, kaasun nesteytys
IAEA	International Atomic Energy Agency
IEA	International Energy Agency
IPE	International Petroleum Exchange, öljypörssi Lontoossa
LNG	Nesteytetty maakaasu
mtoe	miljoona öljykvivalenttitonnia
NEA	OECD Nuclear Energy Agency
NGL	Natural Gas Liquid, kaasukondensaatti
NYMEX	New York Mercantile Exchange, maailman suurin energiahyödykkeiden ja metallien pörssi
OPEC	Organization of the Petroleum Exporting Countries, öljyn tuottajamaiden kartelli
OTC	Over the Counter, markkina, jossa kaupankäynti tapahtuu pörssin ulkopuolella
PV	Photovoltage, aurinkosähköjärjestelmä

R/P	Reserves per Production, resevien määrä suhteessa toteutuneeseen tuotantoon tiettyinä vuonna
SEC	US Securities and Exchange Commission
SPE	Society of Petroleum Engineers
tcm	Trillion cubic meters, 1000 miljardia kuutiometriä, 10^{12} m ³
toe	Öljykvivalenttitonni
USGS	US Geological Survey
WEC	World Energy Council
WPC	World Petroleum Congress
WTI	West Texas Intermediate, Pohjois-Amerikan öljyn yleisin referenssilaatu
1P	Reserviluokka ”proved” (lähinnä öljylle), joka sisältää 90 % todennäköisyydellä hyödynnettävissä olevat reserviarviot
2P	Reserviluokka ”proved + propable” (lähinnä öljylle), joka sisältää 50 % todennäköisyydellä hyödynnettävissä olevat reserviarviot
3P	Reserviluokka ”proved + propable + possible” (lähinnä öljylle), joka sisältää 10 % todennäköisyydellä hyödynnettävissä olevat reserviarviot

1. Johdanto

Energian hinnalla ja sen vaihtelulla on vaikutus koko maailman talouden kehitykseen. Energian hintaa ohjaavat luonnollisesti kysyntä ja tarjonta, vaikka lukuisat muutkin tekijät vaikuttavat siihen. Energian saannin varmuus on keskeinen päätöksentekoa ohjaava tekijä sekä valtakunnallisella että yritystasolla. Tämän raportin tavoitteena on tarkastella globaaleja energiavaroja sekä niihin liittyviä epävarmuuksia. Raportissa esitetään fossiilisten polttoaineiden, ydinpolttoaineiden sekä uusiutuvien energiaressurssien määrät ja tekniset potentiaalit eri maantieteellisillä alueilla. Lisäksi raportissa arvioidaan polttoainemarkkinoiden kehitystä, polttoaineiden tuotannon ja kysynnän kehitystä sekä uusiutuvien energialähteiden käyttöönottoon liittyviä epävarmuuksia.

Globaaleissa ja alueellisissa energia- ja päästöskenaariotarkasteluissa tuloksiin vaikuttavat keskeisesti eri energiaressurssien alueelliset potentiaalit sekä globaali potentiaali, mikäli kyseistä polttoainetta on taloudellista kuljettaa pitkiä matkoja, kuten esimerkiksi öljyä. Fossiilisten polttoaineiden osalta laskennassa ovat mukana tunnetut reservit, arviot vielä paikantamattomista resurssista sekä arviot ns. epäkonventionaalisista reserveistä. Resurssit ovat taloudellisesti hyödynnettävissä lyhyellä aikavälillä, kun taas reservit antavat kuvan pitkän aikavälin öljyntuotantopotentiaalista. On selvää, että resurssiarviot sisältävät huomattavia epävarmuuksia. Yllättävää sen sijaan on, että myös tunnettuihin reservi- arviointeihin sisältyy huomattavaa epävarmuutta, mikä ilmenee vertailtaessa eri tilastoja keskenään sekä tarkasteltaessa reservi- arviointeihin tehtyjä suuria hyppäyksellisiä muutoksia tai muita epä johdonmukaisuuksia. Luvussa 2 on esitetty fossiilisten polttoaineresurssien ja -reservien määritelmiä, luvussa 3 öljyvaroja ja öljymarkkinoiden kehitystä, luvussa 4 kaasunvaroja ja kaasumarkkinoiden kehitystä sekä luvussa 5 hiilivarojen ja hiilimarkkinoiden kehitystä. Euroopan maakaasuhankintaa on käsitelty erillisessä raportissa (Forsström 2009), ja lisäksi BOFIT on tarkastellut Venäjän kaasukysymyksiä omassa raportissaan (Solanko & Ollus 2008).

Ydinpolttoaineresurssien on yleisesti arvioitu riittävän sadoiksi vuosiksi nykyisillä käyttömäärillä. Ilmastonmuutoksen hillintä, energian kysynnän voimakas kasvu sekä fossiilisten polttoaineiden korkeat hinnat johtanevat kuitenkin ydinvoimatuotannon kasvuun. Skenaariotarkasteluissa, joissa lähtökoh- tana on ilmaston lämpenemisen pysäyttäminen kahteen asteeseen, konventionaaliset ydinpoltto- aineresurssit alkaisivat ehtyä vuoden 2050 jälkeen. Toisaalta fuusio- ja hyötöreaktoriteknologioiden läpimurrot, käytetyn ydinpolttoaineen hyötykäyttö sekä epäkonventionaalisten ydinpolttoaineresurssi- en hyödyntäminen lisäävät resurssien riittävyyttä huomattavasti pidemmälle tulevaisuuteen. Luvussa 6 on esitetty arviot ydinpolttoaineresurssista.

Luvussa 7 tarkastellaan turvevaroja eri maantieteellisillä alueilla. Vaikka turvevarat ovat globaalisti melko pienet, paikallisesti turpeella voi olla hyvinkin merkittävä rooli energian tuotannossa. Esimer-

1. Johdanto

kiksi Suomi, Ruotsi ja Irlanti kuuluvat valtioihin, joissa turvetta hyödynnetään energiantuotannossa. Tämä tuo merkittävän lisän kotimaiseen polttoainevalikoimaan.

Uusiutuvien energialähteiden ja niiden käyttöön liittyvät potentiaaliarviot sisältävät suuria epävarmuuksia, ja kirjallisuudessa esitetyt arviot tulevaisuuden potentiaaleista poikkeavat huomattavasti toisistaan. Yleisesti puhutaan teoreettisesta, teknisestä sekä taloudellisesta potentiaalista. Viime aikoina erityisen huomion kohteena on ollut myös kestävän kehityksen mukainen potentiaali. Teoreettinen potentiaali sisältää kyseisen resurssin maksimi-arvion (esim. kaikki maailman bioenergiavarat). Tekninen potentiaali käsittää arvion kyseisen resurssin hyödynnettävyydestä nykyisten ja tulevaisuuden teknologioiden avulla (esim. bioenergian potentiaali eri korjuumenetelmin eri maantieteellisillä alueilla). Taloudellisessa potentiaaliarviossa huomioidaan paitsi kyseisen myös muiden kilpailevien teknologioiden kustannukset. Kestävän kehityksen mukaisessa potentiaaliarviossa lähtökohtana puolestaan on, että resurssin (t. teknologian) taloudellinen käyttöönotto ei aiheuta haittaa ekosysteemille tai ihmisille (vrt. esim. riittävä ruoan tuotanto, maaperän köyhtyminen). Kirjallisuudessa esitetyt potentiaaliarviot ovat yleisesti joko teoreettisia tai teknisiä potentiaaliarvioita. Taloudellinen arvio pohjautuu usein mallitarkasteluihin, joissa voidaan huomioida useiden kilpailevien teknologioiden, poliittisten toimenpiteiden, talouden, yms. muutostekijöiden vaikutuksia samanaikaisesti. Luvussa 8 esitetään teknisiä resurssi-arvioita biopolttoaineille, luvussa 9 arviot teknisistä tuulivoimaresursseista ja luvussa 10 yhteenveto muista uusiutuvista energiaresursseista. Peltobiomassoja on käsitelty tarkemmin MTT:n erillisessä raportissa (Pahkala et al. 2009).

Ilmastonmuutos vaikuttaa myös energiasektoriin usealla tavalla. Sääilmiöiden on jo nyt nähty vaikuttavan esimerkiksi öljyn tuotantoon, ja ilmaston lämmitessä voidaan olettaa ääri-ilmiöiden lisääntymän. Lämpötilan muutos vaikuttaa kuitenkin erityisesti uusiutuvien energialähteiden hyödyntämiseen. Nämä lähteet voivat toisilla alueilla lisääntyä ja toisilla pienentyä huomattavasti esimerkiksi sateisuuden tai tuulisuuden muutosten myötä. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia ei tunneta hyvin, minkä vuoksi esimerkiksi EU on esittänyt hillintätoimien tavoitteeksi ilmakehän maksimissaan kahden asteen lämpenemisen. Ilmastonmuutoksen mahdollisista vaikutuksista on kirjoitettu erillinen raportti (Kirkinen 2009), ja luvussa 11 esitetään yhteenveto ilmastonmuutoksen keskeisistä vaikutuksista.

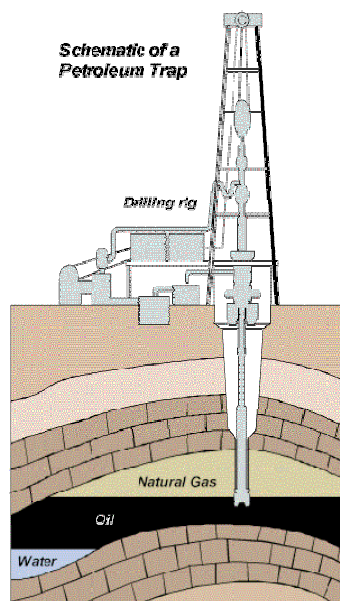
Globaaleja ja alueellisia energiaskenaarioita esitellään luvussa 12. Skenaariot on laskettu globaalilla Global TIAM -energiajärjestelmämallilla, jossa maapallo on jaettu viiteentoista maantieteelliseen alueeseen. Tässä raportissa esitetään skenaariotuloksia, jotka liittyvät primäärienergian kysynnän kehitykseen baseline- (l. *business as usual*) ja ilmastopolitiikkaskenaariossa, jossa lähtökohtana on EU:n esittämä kahden asteen rajoite ilmakehän lämpenemiselle. Skenaariotuloksia ja niiden lähtökohtia on esitetty tarkemmin kahdessa konferenssiartikkelissa (Koljonen et al. 2008a, Koljonen et al. 2008b). Luvussa 13 esitetään lopuksi johtopäätökset.

Raportin kirjoittamiseen ovat osallistuneet Tiina Koljonen (luvut 1, 3, 6, 7, 8.3, 10, 12, 13), Maija Ruska (luvut 2, 3, 4, 5), Martti Flyktman (luku 8.1), Katri Pahkala (luku 8.2), Juha Kiviluoma (luku 9), Johanna Kirkinen (luku 11) ja Juha Forsström (luku 12.2.2). Globaalit skenaariotarkastelut Global TIAM-mallilla on laskenut Antti Lehtilä (luku 12).

2. Fossiilisten polttoaineresurssien ja -reservien määritelmiä

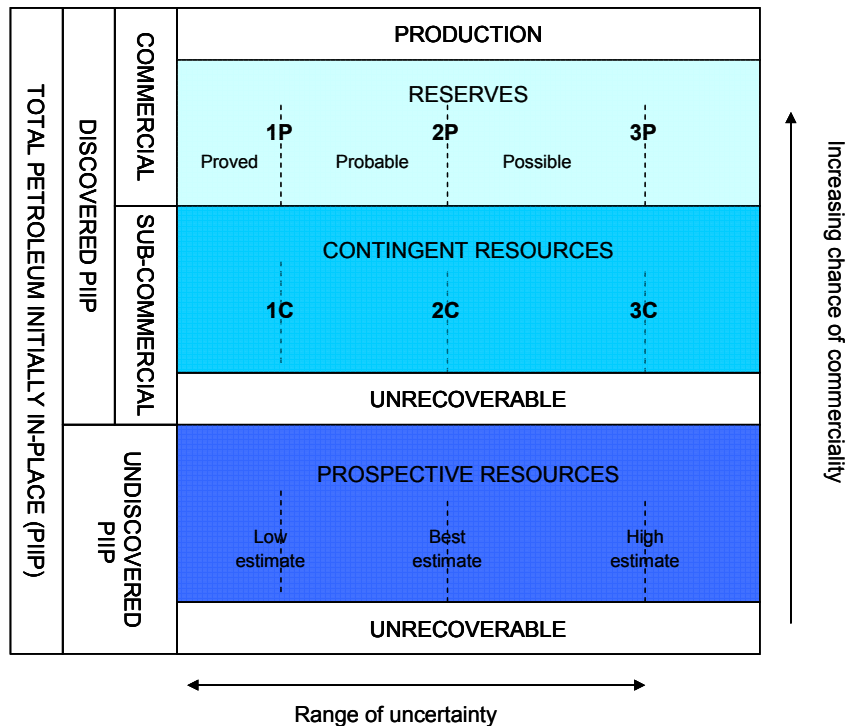
Öljyä ja maakaasua esiintyy maanpinnan alla olevissa esiintymissä (Kuva 1). Öljy ja kaasu ovat muodostuneet hautautuneesta biomassasta 200 miljoonan vuoden kuluessa. Usein samassa esiintymässä on sekä öljyä että maakaasua (*associated gas*), mutta molempia voi esiintyä myös yksinään. Viime aikoihin saakka öljyesiintymistä saatava maakaasu on useimmiten poltettu soihdussa paikan päällä. Kaasumarkkinoiden kehittyessä ja kaasun hinnan noustessa tätä kaasua on alettu hyödyntää yhä enemmän, jos sen kuljetus on pystytty järjestämään taloudellisesti.

Öljy- ja maakaasuresursseilla tarkoitetaan kaikkea maassa tai maankuoren sisällä olevaa öljyä tai maakaasua. Resurssit siis sisältävät jo paikannetut ja toistaiseksi paikantamattomat esiintymät sekä kumulatiivisen tuotannon. Resurssit voidaan jakaa edelleen useaan eri luokkaan. Näiden luokkien nimet ja määritelmät esitetään tässä vuonna 2007 julkaistun *Petroleum Resources Management System* -raportin mukaisesti (SPE/AAPG/WPC/SPEE 2007). Öljyteollisuus käyttää laajasti näitä määritelmiä. Kuvassa 2 on esitetty SPE/WPC/AAPG/SPEE -resurssien luokittelukaavio. Suuret, hyödynnettävissä olevat luokat ovat tuotanto, reservit, todennäköiset varat (*contingent resources*) sekä mahdolliset varat (*prospective resources*). Lisäksi osa varoista on luokiteltu ei-hyödynnettäviin (*unrecoverable*).



Kuva 1. Tyypillinen öljyesiintymä (EIA 2008a).

2. Fossiilisten polttoaineresurssien ja -reservien määritelmiä

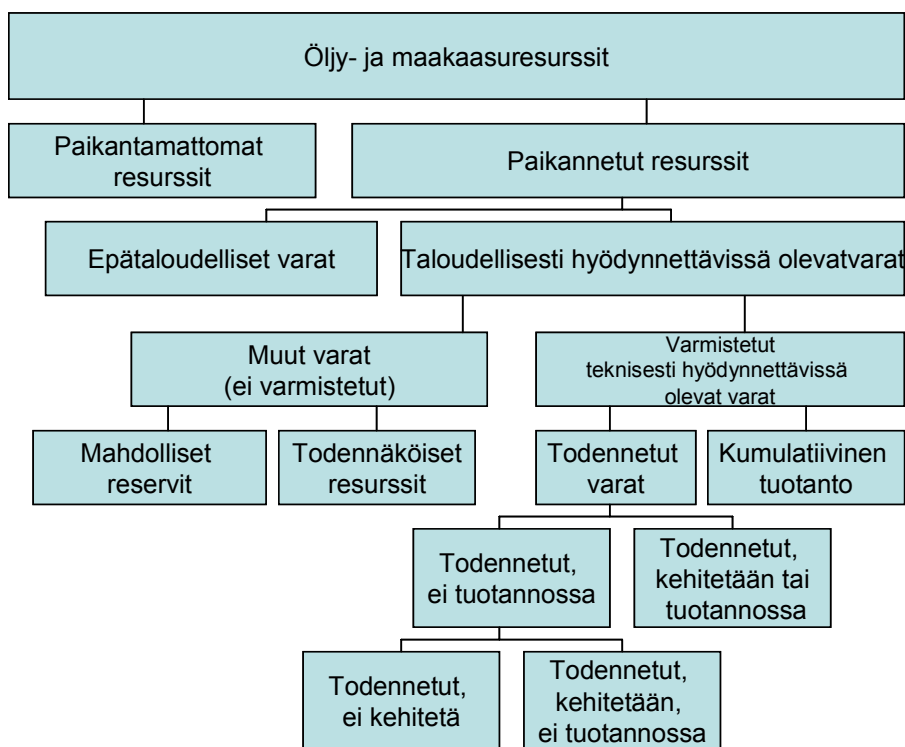


Kuva 2. Öljy- ja kaasuresurssien luokittelu (SPE/WPC/AAPG/SPEE 2007).

Alkuperäisvarat (*total petroleum initially in-place*) ovat öljyn ja maakaasun kokonaisvarat, jotka sisältävät toteutuneen tuotannon, arvioidut paikannetut varat sekä arvioidut paikantamattomat varat. **Paikannettu alkuperäisvara** (*discovered petroleum initially in-place*) tarkoittaa öljy- ja maakaasuvarojen arvioitua määrää ennen tuotantoa. **Tuotannolla** (*production*) tarkoitetaan tiettyyn päivämäärään mennessä tuotettua kumulatiivista määrää. **Reserveillä** (*reserves*) tarkoitetaan öljy- ja kaasuvaroja, joiden oletetaan olevan kaupallisesti hyödynnettävissä tuotantoon tunnetuissa esiintymissä. Reservien tulee täyttää neljä ehtoa: niiden tulee olla paikannettuja, hyödynnettävissä olevia, taloudellisesti kannattavia ja niissä tulee olla varoja jäljellä.

Todennäköisten varojen (*contingent resources*) arvioidaan olevan hyödynnettävissä tunnetuista esiintymistä, mutta niiden tuotanto ei vielä ole kaupallista. Todennäköiset varat sisältävät esimerkiksi esiintymiä, joiden tuottamiseen vaadittava tekniikka ei vielä ole kypsää tai joista tarvitaan lisää tietoa ennen tuotannon aloittamista. Todennäköiset varat jaotellaan edelleen todennäköisyyttä arvioimalla tai myös projektien kehitysvaiheen ja/tai kaupallisuuden mukaan. **Paikantamattomat alkuperäisvarat** (*undiscovered petroleum initially in-place*) tarkoittavat öljyä ja kaasua, joiden arvioidaan olevan olemassa mutta joita ei ole toistaiseksi paikannettu. **Mahdolliset varat** (*prospective resources*) ovat potentiaalisesti hyödynnettävissä olevia varoja paikantamattomista esiintymistä. Mahdollisiin varoihin liittyy sekä todennäköisyys tulla paikannetuksi että todennäköisyys tulla tuotantoon. **Ei-hyödynnettävä** (*unrecoverable*) öljy tai kaasu tarkoittaa paikannettua tai paikantamatonta esiintymää, jonka ei arvioida olevan hyödynnettävissä edes tulevaisuuden tuotantoprojekteissa. Osa näistäkin varoista saattaa kuitenkin tulla tuotantoon, kun taloudelliset reunaehdot muuttuvat ja teknologiat kehittyvät.

Kuvassa 3 esitetään kaavio resurssikomponenteista.



Kuva 3. Resurssikomponenttien määritelmät (EIA 2008a).

2.1 Konventionaaliset ja epäkonventionaaliset varat

Maakaasu- ja öljyvarat luokitellaan usein konventionaalisiin ja epäkonventionaalisiin. Luokittelun perustana ovat esiintymän geologiset olosuhteet ja esiintymän hyödyntämiseen käytetty tekniikka. Jako konventionaalisiin ja epäkonventionaalisiin varoihin ei kuitenkaan ole yksiselitteinen – osa nykyisin epäkonventionaaliseksi luokitelluista varoista tulee tuotantoon, kun konventionaaliset varat vähenevät, öljyn ja maakaasun hinnat nousevat ja tuotantotekniikat kehittyvät.

SPE/WPC/AAPG/SPEE 2007 -raportissa esitetään seuraava jaottelu: **Konventionaalisenä** pidetään diskreettiä, paikallista hiilivetyesiintymää, jonka tuotannossa käytetään vakiintuneita menetelmiä. Tyypillisesti konventionaalista esiintymästä porattu öljy tai maakaasu vaatii hyvin vähäistä prosessointia ennen myyntiä. **Epäkonventionaalinen** esiintymä on levinnyt laajalle alueelle. Esiintymän hyödyntämiseen tarvitaan erityisiä tekniikoita, jotka poikkeavat huomattavasti nykyisin yleisesti käytössä olevista tekniikoista.

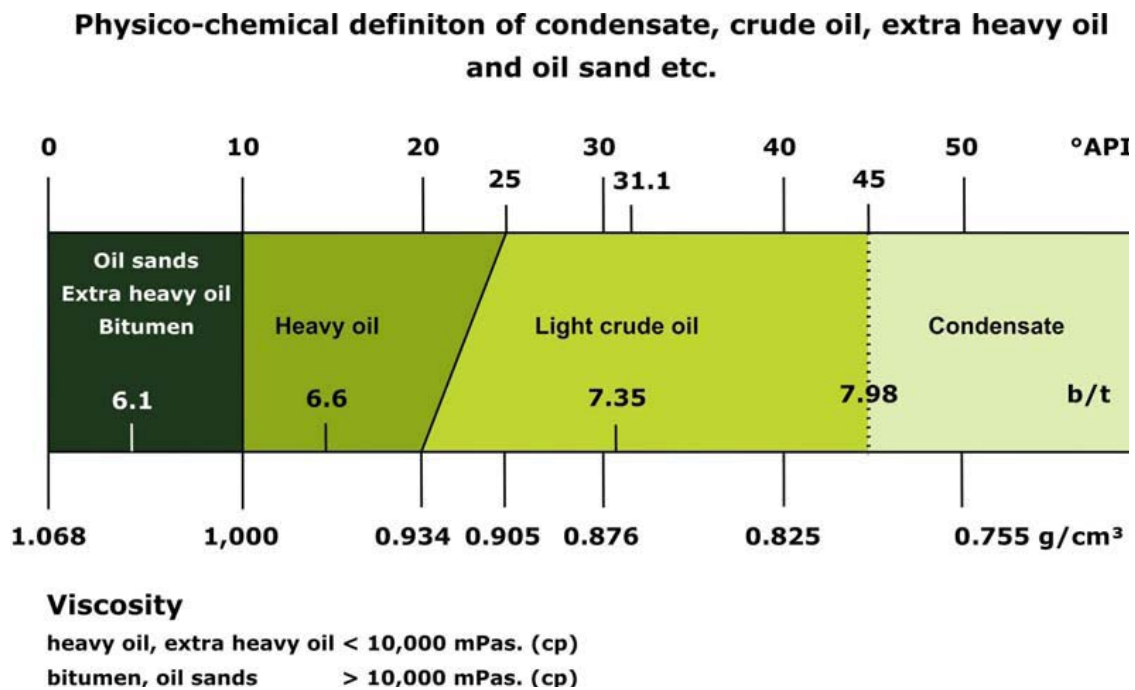
IEA:n *Resources to reserves* -julkaisussa (IEA 2005) esitetään seuraavat jaottelut konventionaalisille ja epäkonventionaalisille varoille. **Öljyvarat** voidaan määrittellä öljyn tiheyden eli API-painon mukaan (*American Petroleum Institute gravity*). Öljyä, jonka API-paino on pienempi kuin 20 (eli tiheys suurempi kuin $0,934 \text{ g/cm}^3$), pidetään epäkonventionaalisenä. Tämän määrittelyn mukaan epäkonventionaalista öljyä olisivat muun muassa raskaat öljyt, bitumi ja tervapikiesiintymät (*tar deposits*). Tosin osalla nykyisin tuotannossa olevista konventionaalista varoista on API-luku, joka on pienempi kuin 20. Toinen tapa luokitella öljy on käyttää öljyn viskositeettia. Viskositeetin ja API-luvun mukainen jaottelu esitetään kuvassa 4.

2. Fossiilisten polttoaineresurssien ja -reservien määritelmiä

Öljyliusketta pidetään yleisesti epäkonventionaalisenä, vaikka sitä ei voikaan määritellä painon tai viskositeetin mukaan. Samoin CTL- (*coal to liquids*) ja GTL (*gas to liquids*) -tekniikoilla tuotettua öljyä pidetään epäkonventionaalisenä, vaikka raaka-aineena onkin konventionaalinen öljy tai kaasu.

US Geological Survey (USGS) luokittelee öljyn esiintymän sijainnin mukaan. Konventionaalinen öljy sijaitsee tämän luokittelun mukaan pohjaveden päällä (*"sits above water of water bearing sediment"*), ja sen esiintymä on suhteellisen paikallinen. Jos kumpikaan oletus ei pidä paikkaansa, on öljy-esiintymä epäkonventionaalinen.

Epäkonventionaaliseksi kaasuksi määritellään yleensä kaasu, joka sijaitsee epätyypillisessä esiintymässä. Keskeiset epäkonventionaaliset kaasuvarat ovat kivihiilikerrostumiin adsorboitunut metaani (*coal bed methane, CBM*) ja *"tight gas"* sekä erityisillä tuotantotekniikoilla kannattavasti tuotettava kaasu sellaisissa esiintymissä, joissa on hyvin alhainen permeabiliteetti (läpäisevyys).



Kuva 4. Öljyn luokittelu API-luvun ja viskositeetin mukaan (BGR 2007).

2.2 Tietolähteitä

Yleisimmin käytössä olevat arviot maailman öljy- ja kaasuvaroista julkaisee **US Geological Survey** (USGS). Uusin julkaisu on *World Petroleum Assessment 2000* (USGS 2000). Tässä julkaisussa arvioidaan niiden maailman konventionaalisten öljy-, maakaasu- ja kaasukondensaattivarojen (*Natural Gas Liquids, NGL*) suuruutta, jotka potentiaalisesti määritellään reserveiksi seuraavan 30 vuoden aikana (1995–2025).

USGS on jakanut maailman geologisiin alueisiin (*petroleum system*), joilla saattaa esiintyä öljyä ja maakaasua. Kunkin alueen varoja tarkastellaan kolmessa eri kategoriassa, jotka ovat paikannetut reservit, paikantamattomat reservit ja reservien kasvu (*reserves growth*). Reservien kasvu huomioidaan

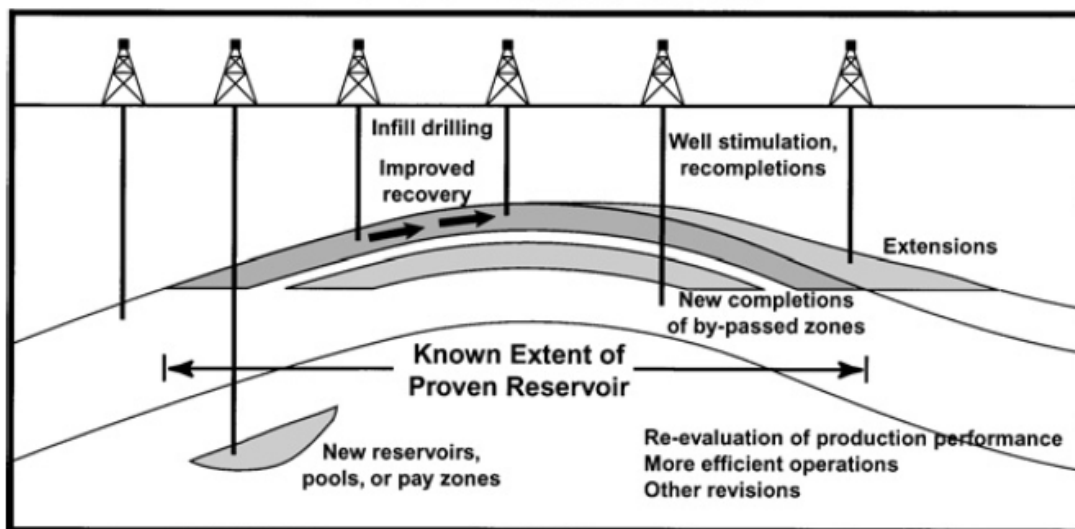
2. Fossiilisten polttoaineresurssien ja -reservien määritelmiä

kertoimella, joka riippuu esiintymän löytöajasta. Reservien kasvu pyrkii huomioimaan sen, että olemassa olevista esiintymistä saadaan uusilla tekniikoilla alkuperäistä arviota enemmän öljyä tai kaasua ja että esiintymät ovat usein alkuperäistä arviota suurempia (kuva 5). Tekniikoiden kehittymisen myötä osa alkujaan epäkonventionaaliksi katsotuista esiintymistä saattaa muuttua teknisesti ja kaupallisesti hyödynnettäviksi. Myös tämä pyritään huomioimaan reservien kasvussa.

World Oil ja **Oil & Gas Journal** julkaisevat vuosittain arvioita reservien suuruudesta. Nämä arviot perustuvat teollisuudelle ja hallituksille lähetettyihin kyselyihin. Kyseiset julkaisut eivät tarkista tietojen oikeellisuutta. Teollisuuden tietokantoja saadaan myös **IHS Energyltä** ja **Wood Mackenzieltä**. **British Petroleum** (myöhemmin BP) julkaisee vuosittain maailman fossiilisista energiavaroista tilastokatsauksen, jonka tiedot ovat peräisin pääosin muista lähteistä (BP 2008).

World Energy Council (WEC) kerää tietoja eri maiden hallituksilta, teollisuudelta ja paikallisilta jäsenkomiteoiltaan. WEC julkaisee energiavaroista muutaman välein *World Energy Survey*; uusin julkaisu on vuodelta 2007 (WEC 2007). Myös VTT tuottaa tietoja WEC:n käyttöön. Kaasua koskevia tietoja saadaan myös kaasun tuottajien **CEDIGAZ**-järjestöltä (*The International Foundation for Natural Gas*).

Tässä raportissa on käytetty lähteenä myös saksalaista **BGR:ää** (*Federal Institute for Geosciences and Natural Resources*). BGR julkaisee vuosittain raportin osana asiantuntijapalvelua saksalaiselle *German Federal Ministry of Economics and Technology*lle (BGR 2007). Energiajärjestöt **EIA** ja **IEA** käyttävät skenaariotöissään lähinnä edellä mainittuja lähteitä. Myös **OPEC** julkaisee tietoja öljyvaroista.



Kuva 5. USGS:n käyttämä malli reservien kasvusta (Klett et al. 2007).

3. Öljy

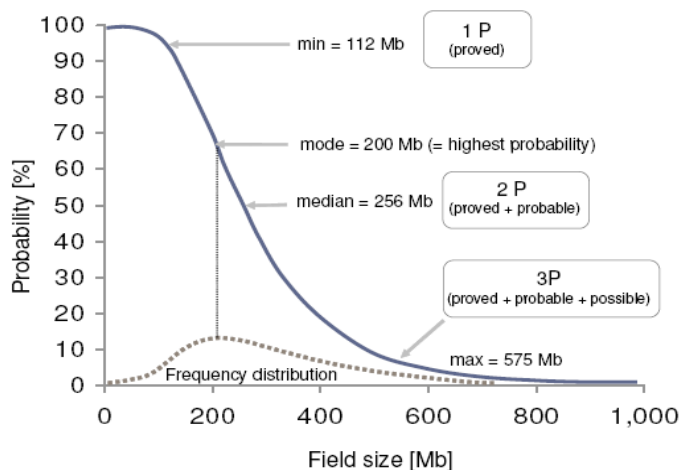
3.1 Öljyvarat

Öljyvarojen esiintymisestä ja öljyvarojen riittävydestä on esitetty ja esitetään jatkuvasti lukuisia analyysejä ja spekulatiota. Materiaalin huikeasta määrästä huolimatta arvioihin sisältyy huomattavia epävarmuuksia, mikä osaltaan perustuu tiedon puutteeseen, mutta toisaalta myös öljyntuottajayritysten, -organisaatioiden ja -valtioiden taloudelliset intressit ovat johtaneet mahdolliseen tiedon vääristelyyn. Geologisen tiedon epävarmuutta on pyritty kuvaamaan öljyvarojen jaottelun avulla, jossa huomioidaan myös esiintymän teknis-taloudellinen hyödynnettävyys. Resurssit ovat taloudellisesti hyödynnettävissä lyhyellä aikavälillä, kun taas reservit antavat kuvan pitkän aikavälin öljyntuotantopotentiaalista.

Yleisesti käytetty karkea jaottelu, ns. McKelvey Box (vrt. kuva 2), jakaa öljyvarat taloudellisesti hyödynnettäviin reserveihin, jotka voivat olla joko identifioituja tai tuntemattomia, sekä resursseihin, jotka voivat olla identifioituja mutta epätaloudellisesti hyödynnettävissä tai tuntemattomia.

Vuonna 1997 SPE (*Society of Petroleum Engineers*) ja WPC (*World Petroleum Congress*) omaksuivat yhteisesti määrittelyt varma (*proved*), todennäköinen (*probable*) ja mahdollinen (*possible*). Määrittelyn mukaan ensimmäinen luokka 1P sisältää reserviarviot, jotka ovat 90 %:n todennäköisyydellä taloudellisesti hyödynnettävissä (vrt. kuva 6). Vastaavat todennäköisyydet luokituksille 2P (*proved + probable*) ja 3P (*proved + probable + possible*) ovat 50 % ja 10 %. Vuonna 2000 SPE, WPC ja AAPG (*American Association of Petroleum Geologists*) hyväksyivät yhteisen luokitusjärjestelmän, jossa resurssit on lisäksi jaettu löydettyihin, mahdollisiin (*contingent*) ja tuntemattomiin, mahdollisiin (*prospective*) resursseihin. Tämä SPE/WPC/AAPG-luokitus on nykyisin laajalti hyväksytty öljyvarojen luokitusmenetelmä, mutta se ei täytä eri pörssien tiukkoja vaatimuksia öljy-yhtiöiden reserviarvioiden raportoinnille. Esimerkiksi SEC (*US Securities and Exchange Commission*) on määrittänyt omat raportointivaatimukset yhtiöille, jotka on noteerattu Yhdysvaltojen pörssissä. Vaikka SEC-standardeja voidaan pitää tiukimpina ja yksityiskohtaisimpina maailmassa, myös ne jättävät mahdollisuuden oman harkinnan käyttämiseen resurssiarvioiden laadinnassa (IEA 2004, Ross 2004).

Figure 11: Normal distribution for the assessment of the recoverable oil in a specific oilfield [Petroconsultants 1995]



Reserve assessment and reporting

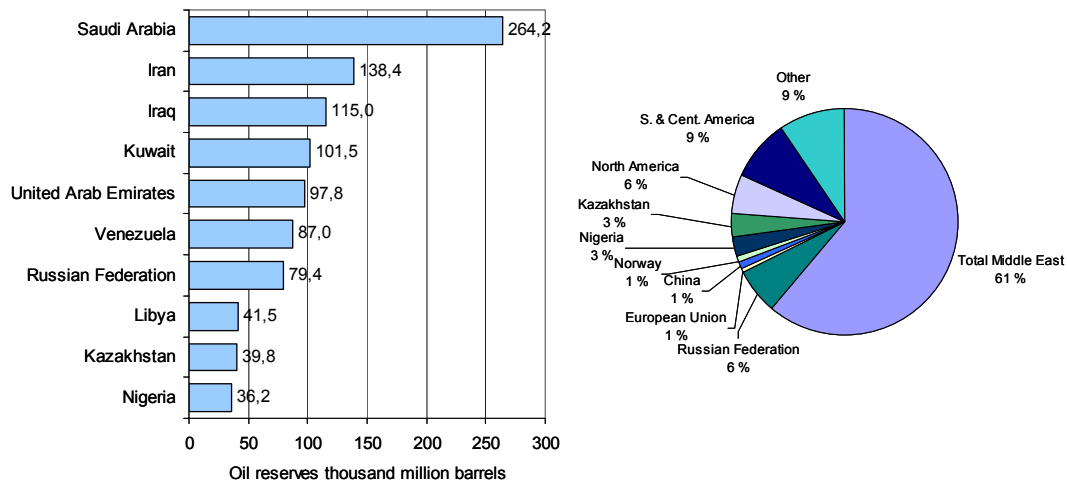
Kuva 6. Öljyreservien määrittely- ja raportointiperiaate (EWGa 2007).

3.1.1 Paikannetut öljyreservit

Muun muassa öljy-yhtiöt, öljyntuottajamaat, kansainväliset energiajärjestöt sekä öljy- ja kaasualan organisaatiot julkaisevat vuosittain tilastoja ja arvioita globaaleista öljyreserveistä. Tilastot sisältävät huomattavia epävarmuuksia. Myös tilastointiluokitukset poikkeavat toisistaan, koska ei ole olemassa harmonisoitua kansainvälistä standardia tai arviointimenetelmää, jonka mukaan öljyreservin todennäköinen suuruus tulisi määrittää. Myöskään taloudellisesti hyödynnettävän öljyn arviointimäärittelystä ei ole olemassa harmonisoitua menetelmää. Myös öljy-yhtiöiden 2000-luvulla ilmoittamat suuret leikkaukset aiemmin esitetyistä reserviarvioista ovat herättäneet epäilyksiä aiemmin julkaistujen tietojen luotettavuudesta. Ainoa luotettava tieto lienee öljyn kumulatiivinen tuotanto, joka perustuu todellisiin, mitattuihin arvoihin (Campbell & Laherrère, 1998; IEA 2004).

Öljyreservejä arvioidaan yhä enemmän seismisen tiedon perusteella, vaikka esimerkiksi SEC ei hyväksy kyseisiä arvioita ilman koeporauksia. Monet kansainväliset ja venäläiset (länsimaisten investoijien painostuksesta) yhtiöt käyttävät myös ulkopuolisia auditteja toisin kuin kansalliset öljy-yhtiöt. Reserviarvioita päivitetään jatkuvasti öljykenttätiedon lisääntyessä. Merkittävin reservien suuruuteen vaikuttava muuttuja on kuitenkin öljyn markkinahinta. Esimerkiksi öljyn hinnan noustessa marginaaliasemassa oleva 3P-luokan öljyreservi voi nousta kategoriassa ylöspäin 2P- tai jopa 1P-luokkaan. Hinnan noustessa öljyn etsintään ja öljyn tuotantoteknologioiden kehittämiseen käytetään myös suurempia pääomia.

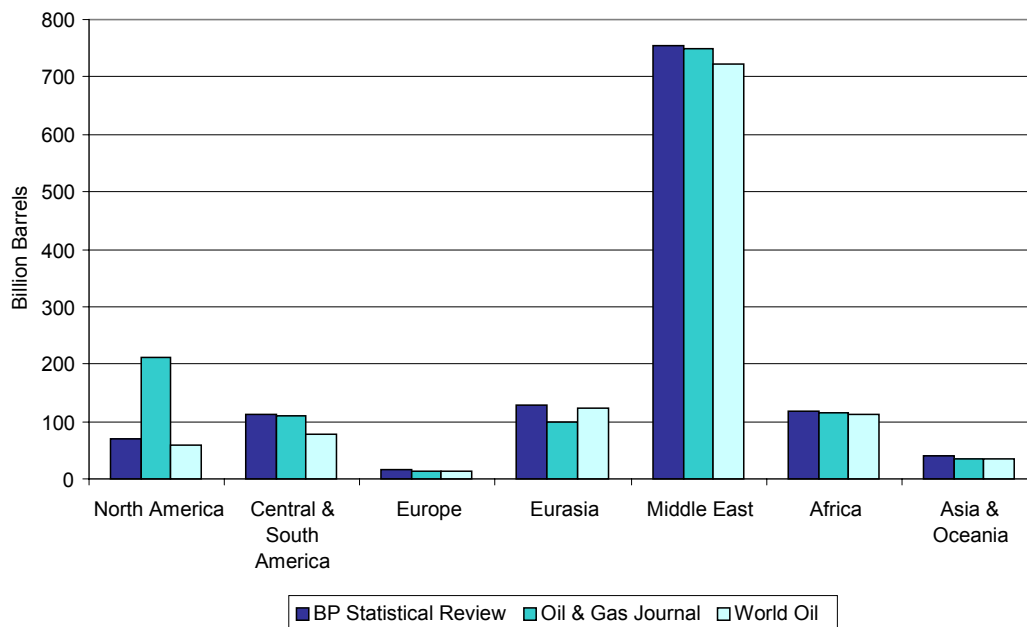
3. Öljy



Kuva 7. Paikannetut öljyreservit vuonna 2007 (data BP 2008).

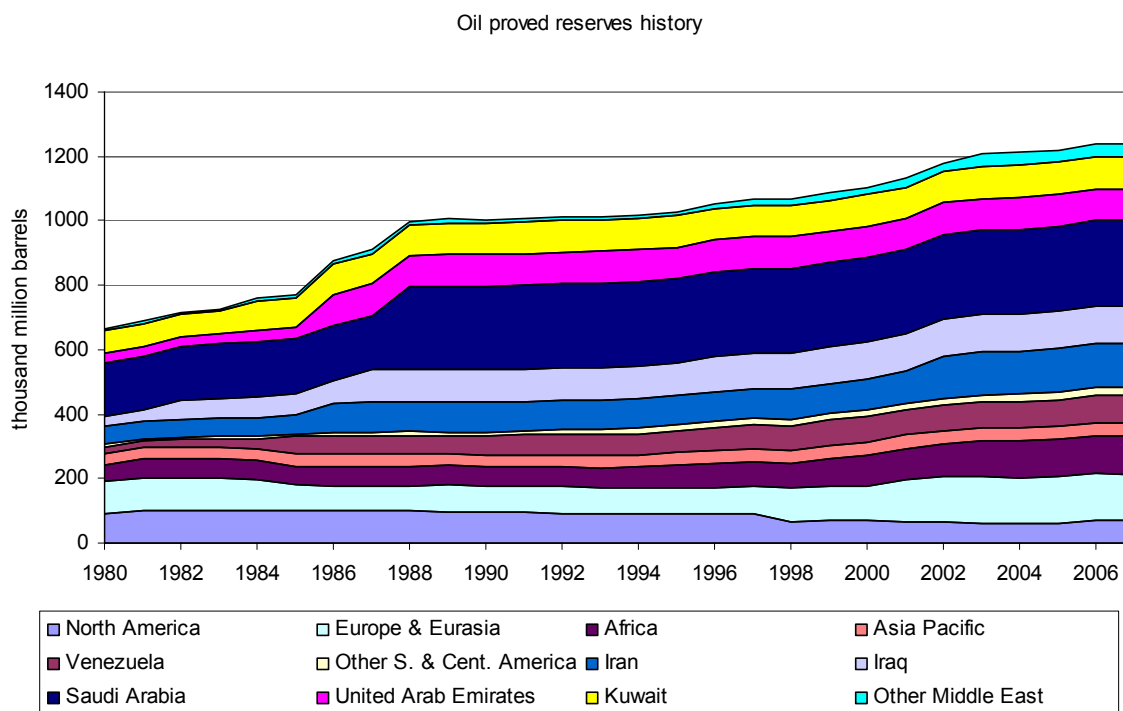
Maailman paikannetut öljyreservit olivat 1 240 miljardia barrelia vuoden 2007 lopussa (kuva 7). Reservien suhde tuotantoon (R/P-luku) kyseiselle vuodelle oli 41,6 vuotta. Öljyreservit ovat maantieteellisesti keskittyneitä: noin 60 % reserveistä on Lähi-idässä. Merkittäviä öljyreservejä on myös Venezuelassa ja Venäjällä.

Kuvassa 8 on esitetty eri lähteistä saatuja arvioita paikannetuista, hyödynnettävissä olevista öljyreserveistä. Suurimmat erot ovat Pohjois-Amerikan öljyvaroissa. Ero johtuu Kanadan öljyhiekkaesiintymistä, joista BP ja World Oil ovat hyväksyneet vain pienen osan paikannetuiksi reserveiksi.



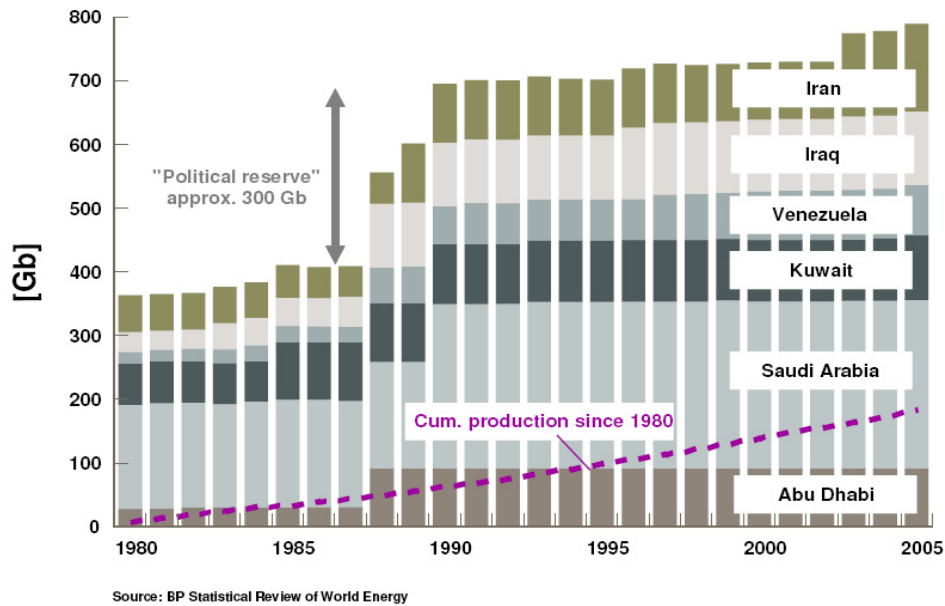
Kuva 8. Eri lähteiden ilmoittamat paikannetut öljyreservit. Kuva on piirretty EIA:n (2008a) julkaiseman datan mukaan. Alkuperäiset julkaisut: BP Statistical Review of World Energy, June 2008, Oil & Gas Journal, Vol. 105.48, World Oil, Vol. 228, No. 9, September 2007.

Tarkasteltaessa reservitietojen historiallisia muutoksia voidaan havaita useita epäjohdonmukaisuuksia. Suurin muutos reservitiedoissa tapahtui 1980-luvun lopussa, kun kuusi OPEC-maata yhdestätoista kasvatti reserviarvioitaan yhteensä 240 miljardilla barrelilla aikajaksolla 1985–1990, jolloin maailman öljyreservit kasvoivat yli 30 % (kuvat 9 ja 10). Saudi-Arabian ja Kuwaitin reserviarviot kasvoivat tällöin 50 %. Venezuela lisäsi arvioihinsa epäkonventionaaliset raskasöljyvarannot, jolloin sen reservit kasvoivat 57 %. Myös Yhdistyneet Arabiemiraatit, Irak ja Iran ilmoittivat merkittäviä lisäyksiä öljyreserviarvioihinsa. Reservien lisäys ei selity uusilla öljylöydöillä, koska kyseisillä alueilla öljynetsintäaktiviteetit ovat olleet hyvin vähäisiä 1980-luvulta lähtien. 1980-luvun lopussa sen sijaan käytiin neuvotteluja tuotantokiintiöistä OPEC-maiden välillä, mikä lienee vaikuttanut reservien uudelleen arviointiin. Tilastot osoittavat lisäksi, että useimpien öljyntuottajamaiden reserviarviot eivät ole muuttuneet 1990-luvun jälkeen huolimatta merkittävästä öljyntuotannosta ja/tai uusista öljylöydöistä esimerkiksi Kuwaitissa, Angolassa ja Algeriassa. Hubbertpeak-organisaatio (<http://www.hubbertpeak.com>) ilmoittaa, että epävarmojen reservien suuruus olisi jopa 317 miljardia barrelia eli noin 40 % OPEC-maiden ilmoittamista reserviarvioista (vrt. kuva 10).



Kuva 9. Todennetut öljyreservit alueittain 1980–2007 (data BP 2008).

3. Öljy



Kuva 10. Todennetut öljyreservit OPEC-maissa (lähde BP 2008).

Viime vuosina öljyreservit ovat kasvaneet hyvin vähän, ja kasvu on aiheutunut lähes pelkästään olemassa olevien kenttien sisältämän öljymäärän uudelleen arvioinnista. Uusia, suuria öljykenttiä ei enää oleteta löytyvän. Sen sijaan uusien, pienien öljykenttien löytyminen on hyvin todennäköistä.

3.1.2 Öljyresurssit

Öljyresurssiarviot sisältävät kaiken jo tuotetun öljyn sekä arvion jäljellä olevista tunnetuista ja paikantamattomista reserveista, tunnetuista ei-taloudellisista resursseista sekä muista paikantamattomista resursseista. Ymmärrettävää on, että kyseisten arvioiden epävarmuus on hyvin suuri. Usein resurssiarviolla käsitetäänkin nyky menetelmin hyödynnettävissä olevan öljyn maksimimäärää (*ultimately recoverable oil*). Resurssiarviot pitävät tällöin sisällään 1P-, 2P- ja 3P-reservit sekä löytymättömät konventionaaliset öljyresurssit. Resurssiarvioita on julkaissut ainoastaan muutama taho, joista ehkä arvostetuin on US Geological Survey. Tuoreimmassa julkaisussaan USGS (2000) arvioi konventionaalisten öljyresurssien määräksi vuonna 1996 3 345 miljardia barrelia mukaan lukien kaasukondensaatti (NGL) (vrt. taulukko 1). Reservien kasvu johtuu lisääntyneestä tuotantopotentiaaliin liittyvästä öljykenttätiedosta. Noin 33 % kyseistä reservistä sijoittuu Lähi-itään, 14 % OECD-valtioihin, 14 % siirtymätalouksiin ja 18 % muille alueille. Noin 21 % konventionaalista öljyreserveista oli kulutettu vuonna 1996 (IEA 2004, USGS 2000).

Taulukko 1. USGS:n arviot konventionaalisista öljy- ja kaasukondensaatti (NGL) reserveistä (miljardia barrelia). Tuotanto- ja reservitiedot perustuvat 1.1.1996 arvioihin (USGS 2000).

Todennäköisyys Reserviluokka	95 %		50 %		5 %		Keskiarvo yhteensä
	Öljy	NGL	Öljy	NGL	Öljy	NGL	
Löytymättömät res. ¹⁾	400	95	607	189	1211	378	939
Reservien kasvu	192	13	612	42	1031	71	730
Jäljellä olevat reservit							959
Kumulat. tuotanto							717
Yhteensä							3 345
Jäljellä olevat konventionaaliset resurssit							2 628

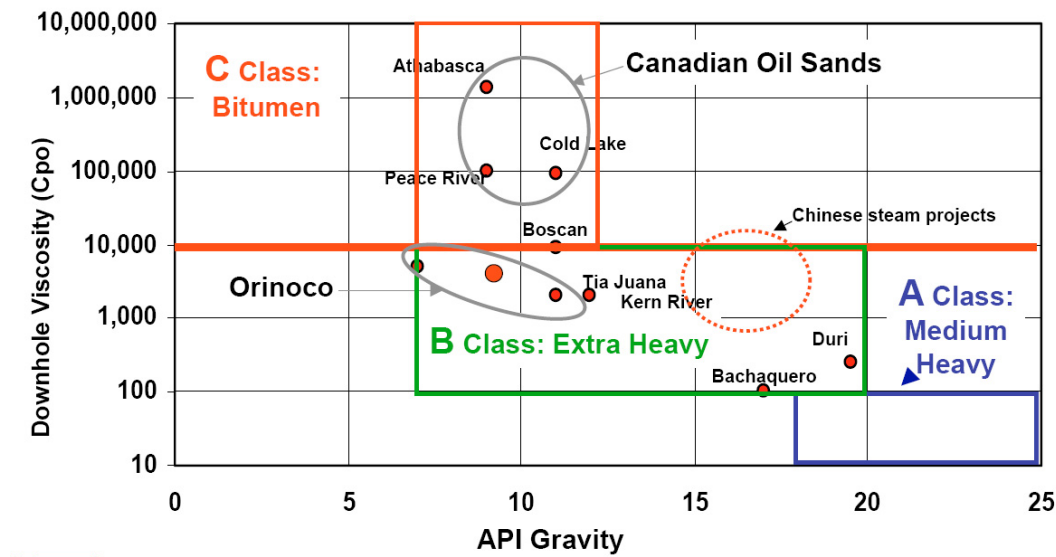
¹⁾ Yhdysvaltojen NGL-arviot on sisällytetty öljyreserviarvioihin.

3.1.3 Epäkonventionaalinen öljy

Valtaosa öljyn tuotannosta tulee konventionaalisista öljyesiintymistä, mutta jo nykyisin hyödynnetään epäkonventionaalisia esiintymiä. Epäkonventionaalisia öljyvaroja ovat raskas raakaöljy, öljyhiekat ja öljyliuske. Näiden öljylaatujen osuus tuotetusta öljystä tulee kasvamaan, kun konventionaaliset öljyvarat vähenevät. Kuvassa 11 esitetään raskaiden öljylaatujen luokittelu. Epäkonventionaalisten esiintymien hyödyntämisen ongelmana ovat suuret kasvihuonekaasupäästöt sekä muut ympäristöongelmat, koska epäkonventionaalisen öljyn erottaminen ja prosessointi vaativat energiaa huomattavasti enemmän kuin konventionaalisten varojen prosessointi. Esimerkiksi Kanadan öljyhiekkaesiintymien hyödyntäminen tulevaisuudessa tulleekin edellyttämään hiilidioksidin erotusta savukaasuista, jolloin myös öljyntuotantokustannukset kasvavat merkittävästi.

Saksalainen BGR arvioi, että epäkonventionaalisia öljyreservejä olisi tällä hetkellä noin 40 % konventionaalisen öljyn reserveistä. Resurssit arvioidaan huomattavasti suuremmiksi, noin kolminkertaisiksi, konventionaaliin öljyresursseihin nähden. BGR:n arvion mukaan maailman öljyn tuotannosta 5–10 % saadaan epäkonventionaalisista esiintymistä vuonna 2020 (BGR 2007).

3. Öljy



Kuva 11. Raskasöljyn luokittelu (OIES 2005).

3.1.3.1 Öljyliuske

Öljyliusketta (*shale oil*) esiintyy useissa paikoissa eri puolilla maapalloa. Esiintymien koko vaihtelee erittäin pienistä valtaviin, tuhansien neliökilometrien laajuisiin esiintymiin, joista voidaan saada useita miljardeja barreileita öljyä. *World Energy Council* (WEC 2007) arvioi öljyliuskeresurssit noin 2 800 miljardin barrelin suuruisiksi. IEA:n arvion mukaan noin 60 % öljyliuske-esiintymistä on Yhdysvalloissa (IEA 2005).

Öljyliuskeella tarkoitetaan kiviainesta, joka sisältää suuren määrän orgaanista ainetta (kerogeeni). Jos orgaaninen aines olisi ollut hautautuneena sopivassa lämpötilassa tarpeeksi syväälle, olisi se muuttunut öljyksi tai kaasuksi. Kerogeeni voidaan muuttaa nestemäiseksi öljyksi, jos se lämmitetään 500 °C:n lämpötilaan. Öljyliuskeesta on tuotettu öljyä jo 1800-luvulla.

Öljyliusketta hyödynnetään muutamissa valtioissa: Brasiliassa, Israelissa, Kiinassa, Saksassa ja Virossa. Virossa öljyliusketta käytetään sellaisenaan sähkön tuotannon polttoaineena ("palava kivi"), mutta osasta tuotetaan myös öljyä.

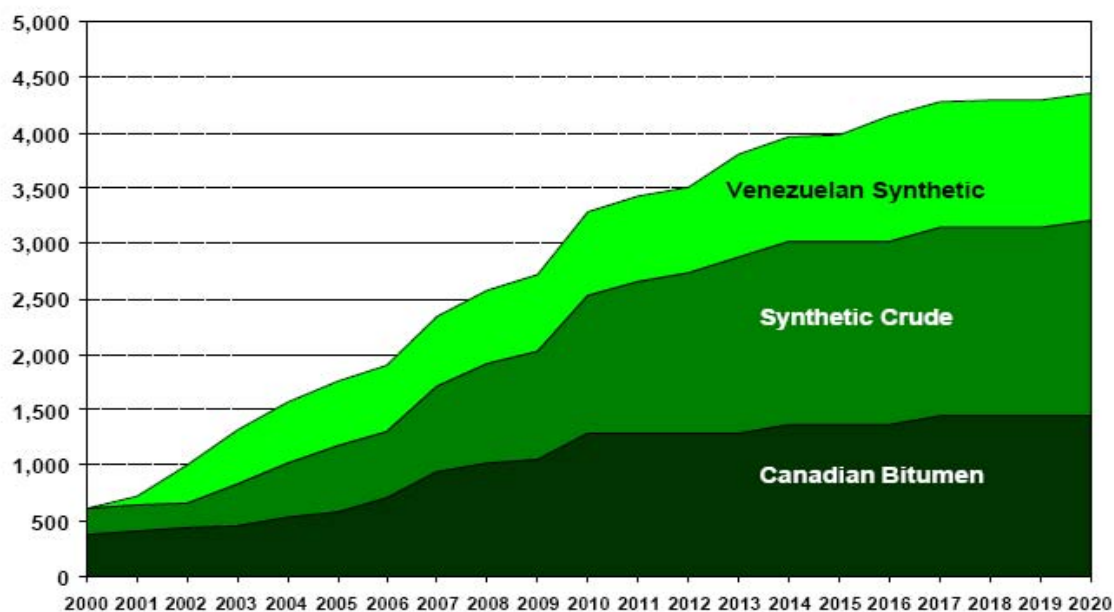
3.1.3.2 Raskas raakaöljy ja luonnonbitumi

Raskas raakaöljy (*extra-heavy oil*) ja luonnonbitumi (*natural bitumen*, sisältää pikiöljyä ja öljyhiekkaa) ovat jäänteitä erittäin suurista konventionaalisen öljyn esiintymistä, jotka ovat vähitellen hävinneet lähinnä bakteeritoiminnan seurauksena. Näiden öljylaatujen viskositeetti ja tiheys ovat suuria, ja ne sisältävät suuren määrän epäpuhtauksia, kuten typpeä, rikkiä ja raskasmetalleja.

WEC:n arvion mukaan luonnonbitumia on 586 esiintymässä 22 maassa. Suurimmat luonnonbitumi-esiintymät ovat Kanadassa (kuva 12), jonka öljyhiekkaesiintymät ovat erittäin suuret. Kanadan öljyntuotannosta jo noin kolmasosa saadaan epäkonventionaalisista öljyhiekkaesiintymistä. Kanadan öljyhiekkatuotanto on taloudellisesti kannattavaa, jos öljyn hinta ylittää noin 20 \$/bl (IEA 2005). Luon-

nonbitumiesiintymissä olevien öljyreservien suuruudeksi on arvioitu noin 250 miljardia barrelia, josta Kanadan osuus on 174 miljardia barrelia (WEC 2007).

Raskasta raakaöljyä on WEC:n tietojen mukaan 166 esiintymässä 22 valtiossa. Vain yksi esiintymä on kyllin suuri kaupallista tuotantoa varten. Tämä esiintymä, *Orinoco Oil Belt*, sijaitsee Venezuelassa. Esiintymässä on noin 90 % maailman raskaan raakaöljyn varoista. Venezuelan öljyntuotannosta jo noin viidennes saadaan kyseisestä esiintymästä. Raskaan raakaöljyn reserveiksi on arvioitu 60 miljardia barrelia, josta Venezuelan osuus on 59 miljardia barrelia (WEC 2007).



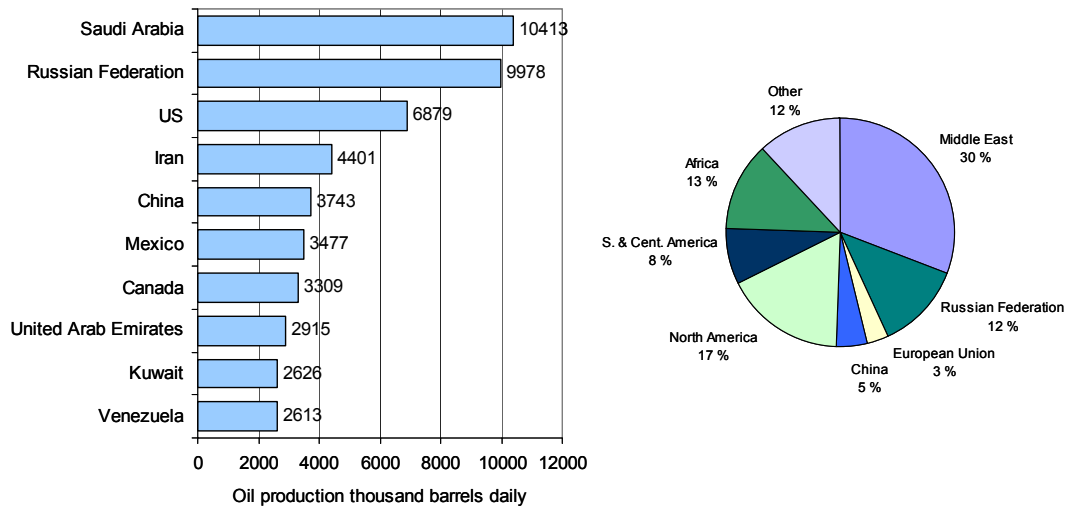
Source of data: Company data, OIES estimates.

Kuva 12. Arvio epäkonventionaalisen öljyn tuotantopotentialista vuoteen 2020 asti (1 000 barreliä/päivä) (OIES 2005).

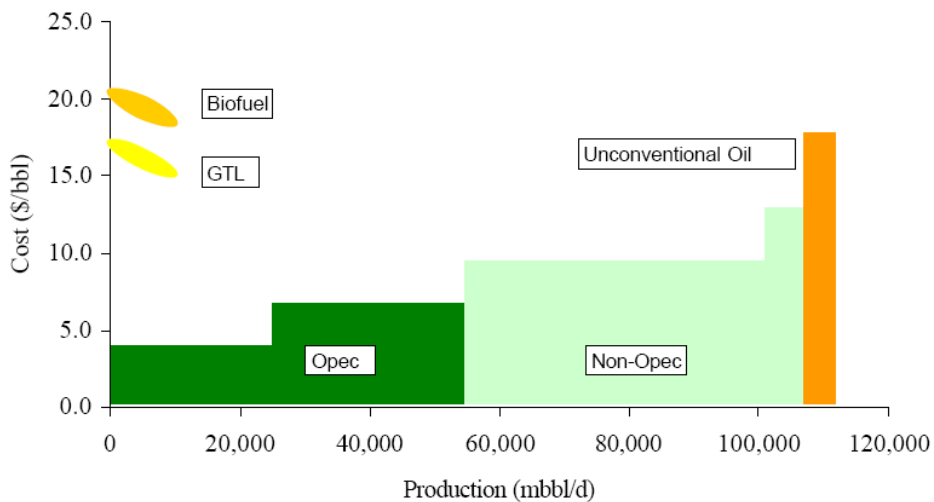
3.2 Öljyn tuotanto

Vuonna 2007 maailman öljyn tuotanto oli 81 500 barrelia päivässä, hieman vähemmän kuin edellisenä vuotena. Öljyn tuotantolukuja maittain ja alueittain esitetään kuvassa 13. Tuotantokustannukset ovat arvion mukaan selkeästi edullisimmat Lähi-idän suurilla, konventionaalisilla öljykentillä. Näillä alueilla kustannukset ovat keskimäärin 5 \$ (2005) / bl. Muun maailman keskimääräinen öljyn tuotantohinta on 10–15 \$ (2005) / bl (OIES 2005). Tuotantokustannuksia vertaillaan kuvassa 14.

3. Öljy



Kuva 13. Öljyn tuotanto vuonna 2007 (lähtötiedot BP 2008).

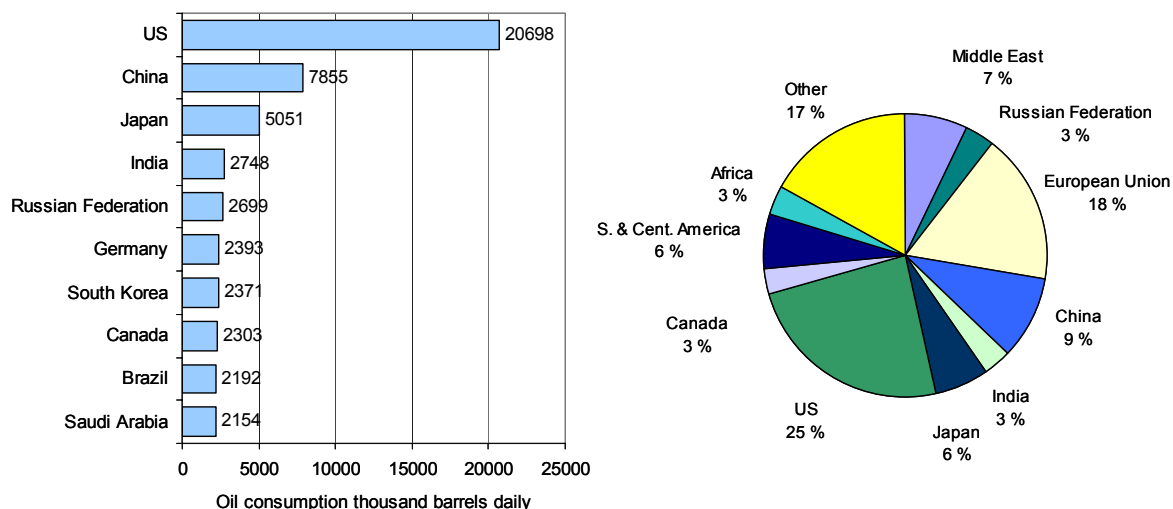


Kuva 14. Globaalien öljyresurssien tuotantokustannusvertailu (OIES 2005).

3.3 Öljyn kysyntä

Viime aikoina öljyn kysyntä on kasvanut voimakkaasti öljyn korkeasta hinnasta huolimatta. Vuonna 2007 öljyn kysyntä oli 85 200 barrelia päivässä, enemmän kuin koskaan ennen. Öljyn kysyntä kasvoi erityisesti kehittyvässä Aasiassa sekä Afrikassa. Myös Lähi-idässä öljyn kysyntä kasvoi selvästi vuodesta 2006. Määrällisesti kasvu oli suurinta Kiinassa. Sen sijaan OECD-maissa öljyn kysyntä kääntyi vuonna 2007 yleisesti laskuun.

Öljyn kysynnän alueellinen jakautuminen esitetään kuvassa 15.



Kuva 15. Öljyn kysyntä vuonna 2007 (lähtötiedot BP 2008).

3.4 Öljymarkkinat

Öljymarkkinat ovat maailman aktiivisimmat markkinat, ja markkina on sekä volyymiltaan että arvoltaan maailman suurin. Öljyllä on yhtenäinen markkinahinta eri puolilla maailmaa. Hinta riippuu kuitenkin öljyalaadusta. Euroopassa referenssilaatuna käytetään yleensä Pohjanmeren Brent-öljyä, jonka hinta 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*.

Öljyä myydään useilla eri sopimustyypeillä. Suurin osa öljykaupasta tehdään pörssin ulkopuolella OTC-markkinoilla, mutta hinnat määritetään pörssihintojen mukaisesti. Fyysisiä kauppia tehdään spot-markkinoilla, ja johdannaismarkkinoita käytetään hintariskeiltä suojautumiseen.

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 öljy on usein kallista, kun kysyntä kasvaa kylmän sään takia ja varastoja kasvatetaan. Öljyn hintaan on viime vuosina vaikuttanut erityisesti puute jalostamokapasiteetista.

2000-luvulla öljyn hinta on ollut erittäin korkea ja volatiili. Tämän on esitetty johtuneen siitä, että ”*peak oil*” on saavutettu. Peak oil -käsite viittaa aikaan, jolloin kumulatiivinen öljyn tuotanto ja kulutus ovat yhtä suuria ja öljyn tuotanto kääntyy laskuun. Johtavat kansainväliset energiainstanssit, kuten IEA ja saksalainen BGR, eivät ennusta öljyn tuotannon lähtevän laskuun vielä seuraavien 10–15 vuoden aikana vaan löytävät seuraavia syitä öljyn korkeille hinnoille:

- talouskasvun aikana 2000-luvun alussa erittäin nopeasti kasvanut öljyn kysyntä Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa sekä erityisesti kasvavissa talouksissa Kiinassa ja Intiassa
- OPEC:in aiheuttama keinotekoinen puute öljystä
- jalostamokapasiteetin puute

3. Öljy

- tuotantohäiriöt (lakot Nigeriassa ja Venezuelassa, terrori-iskut Irakissa, hurrikaanit Meksikonlahdella)
- Lähi-idän poliittinen tilanne
- Iranin ydinohjelma
- heikko Yhdysvaltain dollari ja spekulointi öljymarkkinoilla.

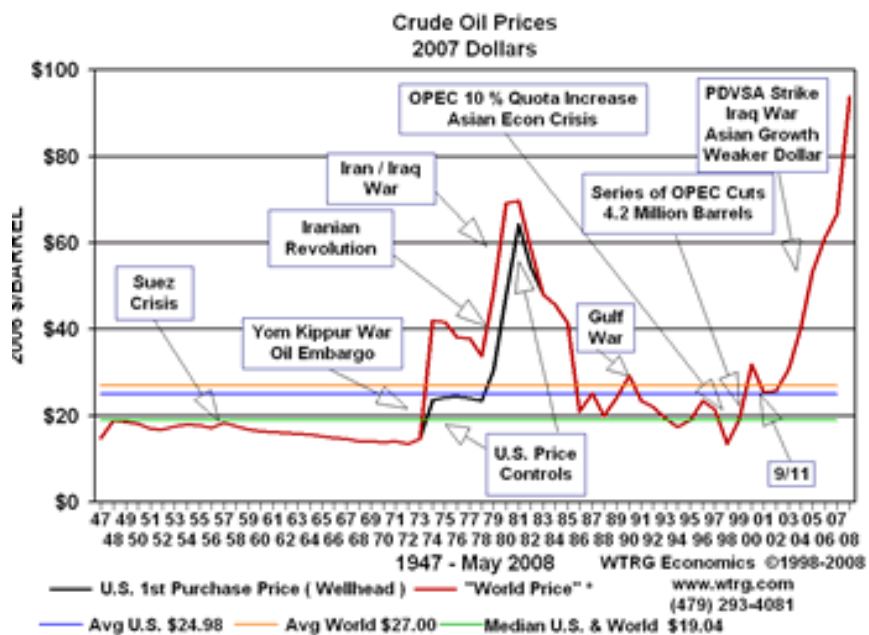
3.4.1 Öljyn hinnan historiallinen kehitys

Tarkasteltaessa öljyn hinnan kehitystä pitkällä aikavälillä voidaan käyttää ainoastaan Yhdysvaltain keskimääräistä raakaöljyn tuotanto- tai hankintahintaa. Tämä on ongelmallista, sillä Yhdysvallat kontrolloi öljyn hintaa ja tuotantoa aikajaksolla 1973–1981. Kuvassa 16 esitetään öljyn hinnan kehitys. Maailmanmarkkinahinnassa on huomioitu Yhdysvaltain hintaregulaatio kyseisenä ajanjaksona.

OPEC-järjestö (*Organization of Petroleum Exporting Countries*) perustettiin vuonna 1960 vastamaan Texas Railroad Commissionin hinta- ja tuotantoregulaatioihin. Vuonna 1972 OPECissa oli jäseniä yhteensä yksitoista, ja ote öljyn hinnan kontrolloinnista siirtyi Yhdysvalloista OPECin suuntaan. Kuvasta 16 nähdään, että öljyn hintaa heiluttavat merkittävästi poliittiset konfliktit ja epävarmuudet. Ensimmäisen öljykriisin stimulanttina oli Israelin hyökkäys Syyriaan ja Egyptiin 5.10.1973, minkä johdosta useat OPEC-maat lopettivat öljyn viennin Israelia tukeviin valtioihin ja öljyn hinta nousi 400 % kuudessa kuukaudessa. Toisen öljykriisin puolestaan aiheutti Iranin ja Irakin sota vuonna 1979–1980, jolloin öljyn tuotantomäärät putosivat 2–2,5 miljoonaa barreliä päivässä. Sekä Iranin että Irakin tuotantomäärät ovat edelleen huomattavasti alhaisemmat kuin ennen sotaa. Kohonneen öljyn hinnan vuoksi maailmalla investointiin energian säästöön sekä lisättiin öljyn tuotantoa OPECin ulkopuolisissa maissa. Vuosina 1982–1985 OPEC sopi useaan otteeseen tuotantokiintiöiden leikkauksesta, mutta useat OPECin jäsenet eivät noudattaneet sopimusta. Ainoastaan Saudi-Arabia noudatti sopimusta, ja lopulta vuonna 1986 se sitoi öljynsä hinnan spot-hintaan sekä lisäsi tuotantoaan. Tämän seurauksena öljyn hinta romahti kesällä 1986.

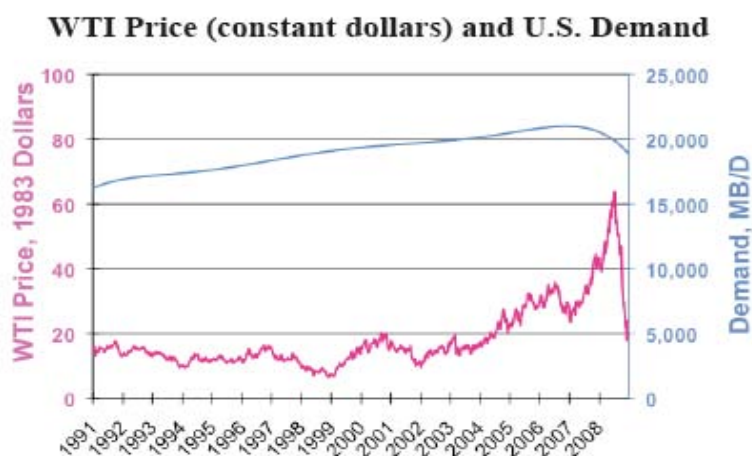
Persianlahden sota aiheutti öljyn hintapiikin vuonna 1990, mitä seurasi tasainen hinnan lasku Kuwaitin vapauttaessa öljyn hinnoittelun. Hinta kääntyi tämän jälkeen nousuun, kun Yhdysvaltain ja Aasian taloudet alkoivat kasvaa. Aikajaksolla 1990–1997 maailman öljynkulutus kasvoi 6,2 miljoonalla barrelilla, ja samaan aikaan Venäjän tuotanto supistui yli viidellä miljoonalla barrelilla. Vuonna 1997 Aasian talouskriisi johti kysynnän pienentymiseen. Samaan aikaan OPEC teki virhearvion ja kasvatti tuotantokiintiötään, jolloin öljyn hinta jälleen romahti. Öljyn hinta lähti kuitenkin nousuun, kun OPEC leikkasi tuotantoaan useaan otteeseen.

11.9.2001 tapahtuneen terroriuhkän seurauksena öljyn hinta romahti jälleen: WTI-hinta laski 35 % parissa kuukaudessa. Normaalioloissa OPEC olisi leikannut tuotantoaan, mutta poliittisen ilmiin vuoksi OPEC viivästytti tätä vuoden 2002 alkuun. Vuoden 2002 lopussa Venezuelan tuotanto romahti maan sisäisten ongelmien vuoksi, ja vuonna 2003 syttyi Irakin sota, jonka vuoksi tuotantomäärät putosivat. Samaan aikaan öljyn kysyntä kasvoi voimakkaasti talouskasvun vuoksi. OPEC ei pystynyt lisäämään tuotantoaan riittävästi hinnan nousun hillitsemiseksi, jolloin vapaa tuotantokapasiteetti pieneni minimiin ja loi epävarmuutta markkinoille. Hintapaineita aiheuttivat lisäksi dollarin arvon heikentyminen ja vuoden 2005 hurrikaanit Yhdysvalloissa.



Kuva 16. Öljyn hinnan kehitys ja siihen vaikuttaneet tekijät (WTRG Economics 2009).

Kuvassa 17 esitetään WTI-hinnan ja Yhdysvaltain öljyn kysynnän kehitykset. Vuoden 2007 alusta vuoden 2008 loppuun WTI-futuurihinnat nousivat tasolta 50 dollarista 150 dollariin ja putosivat jälleen 50 dollariin. On esitetty, että kyseessä oli hintapiikki toisin kuin vuonna 2000, jolloin puhuttiin hintakuplasta. Osa öljyanalyytikoista on vahvasti sitä mieltä (ks. esim. Edwards 2009), että OPEC-kiintiöt eivät enää korreloisi öljyn hinnan kanssa vaan että öljymarkkina olisi nykyään vahvasti spekulatiivinen markkina. Kun markkinatoimijoiden aktiivisuus ja korkeiden hintojen tuoma voittojen tavoittelu hiipuvat, putoavat myös öljyn hinnat. Tarkasteltaessa kuvassa 17 esitettyä öljyn kysyntää voidaan havaita, että se kääntyi laskuun jo vuonna 2007 eli 2–3 vuotta ennen kuin öljyn hinta saavutti huippunsa. Samaa logiikkaa käyttäen voidaan ennustaa, että öljyn kysyntä saattaa jatkaa laskuaan vielä joitain vuosia huolimatta öljyn alentuneesta hintatasosta. Öljyn hinnan historiakuvan perusteella jopa 25–50 \$:n hintataso (10–20 \$ vuoden 1990 dollareissa) saattaisi olla mahdollinen.



Kuva 17. Öljyn WTI-hinta (1983 \$US) ja kysyntä Yhdysvalloissa (Edwards 2009).

3. Öljy

3.4.2 Öljyn hinnan ennustaminen

Historiallisesti on nähty, että öljyn hinnan ennustaminen on erittäin haasteellista sekä pitkällä että lyhyellä aikavälillä. OPEC-tuotannon dynamiikkaa ja sen vaikutuksia maailman öljymarkkinoihin on tutkittu paljon. OPECin käyttäytymistä kuvaavia hypoteeseja ja malleja on julkaistu lukuisia, ja ne ovat usein keskenään hyvin ristiriitaisia. Selkeiden markkinalähtöisten tekijöiden (kysyntä, varastot, jne.) lisäksi öljyn hintaan vaikuttaa (ainakin ajoittain) määräävässä markkina-asemassa oleva tuottaja tai kartelli, jonka käyttäytymistä mallin tulisi myös kuvata. Markkinahintojen heilahtelu, öljyn tuotantokustannusten eroavaisuus eri alueiden välillä ja erityisesti Lähi-idän poliittinen epävarmuus ovat tekijöitä, jonka vuoksi mallit eivät anna kovinkaan hyviä ennusteita. Öljyn hinnan ollessa korkealla sen yleisimmin myös ennustetaan pysyvän korkealla tai jopa kallistuvan entisestään. Maailmantalouden ja öljyn hinnan romahdus vuoden 2008 lopulla toi jälleen alhaisten hintatasojen ennusteet hetkellisesti esille, kun öljyn kysyntä kääntyi laskuun (vrt. kuva 17) ja spekulatiivinen kaupankäynti viileni.

Tulevaisuudessa energia- ja ilmastopolitiikka tulee vaikuttamaan selkeästi myös öljyn loppukuluttajahintaan tekemällä korvaavista energiamuodoista, kuten uusiutuvasta energiasta, kilpailukykyisempiä öljytuotteisiin nähden. Toisaalta kehittyvien talouksien energian kysynnän kasvu erityisesti liikenteessä tulee pitämään öljyn kysynnän suurena myös tulevaisuudessa. IEA:n tuorein pitkän aikavälin ennuste öljyn hinnalle (IEA 2008a) perustuu aiempaa tarkempaan kartoitukseen maailman öljykenttien odotetusta tuotannosta sekä arvioon öljyn kysynnän kasvusta. Ennusteen mukaan raakaöljyn reaalihintana (vuoden 2007 US\$) olisi vuonna 2020 110 \$/bl ja vuonna 2030 122 \$/bl. Vuotta aiemmin IEA:n pitkän aikavälin hintaennuste (IEA 2007) vuodelle 2030 oli puolet alhaisempi, 62 US\$/bl (vuoden 2006 US\$).

4. Maakaasu

Maakaasu kattaa maailman primäärienergian kysynnästä noin neljänneksen; käytetympiä polttoaineita ovat vain öljy ja hiili. Maailman maakaasuvarat ovat suuret: todennetut reservit olivat vuonna 2007 noin 177 tcm (triljoona eli 10^{12} kuutiometriä). Nykyisellä tuotannolla ja kulutuksella nämä varat riittäisivät noin 60 vuodeksi. Kun samanaikaisesti konventionaaliset öljyvarat pienenevät nopeammin, kasvaa maakaasun kysyntä voimakkaasti. Kasvuun vaikuttaa osaltaan myös ilmastokysymys – maakaasu tuottaa fossiilisista polttoaineista vähiten hiilidioksidipäästöjä, ja se on ilmastonmuutoksen hiltinnässä taloudellisin fossiilinen polttoaine, mikäli päästöoikeuden markkinahinta on riittävän korkea. Maakaasureservit ovat keskittyneet voimakkaasti Lähi-itään ja Venäjälle. Suurimmat käyttäjät taas ovat Yhdysvallat ja Eurooppa. Kasvava maakaasun kysyntä ja reservien sijoittuminen erilleen kysynnästä edellyttävät huomattavia investointeja maakaasun tuotantoon ja kuljetukseen lähivuosina.

Kaasumarkkinat ovat murrosvaiheessa. Vuosikymmeniä maakaasua on Euroopassa kaupattu pääasiassa pitkällä, kahdenvälisillä sopimuksilla. Euroopan unioni ajaa voimakkaasti maakaasumarkkinoiden vapauttamista, Euroopan laajuista yhdentymistä ja markkinoiden läpinäkyvyyden lisäämistä. Nesteytetyn maakaasun eli LNG:n kauppa kehittyy voimakkaasti, ja LNG tulee yhdentämään Yhdysvaltojen, Euroopan ja Aasian erilliset maakaasumarkkinat.

4.1 Maakaasuvarat

IEA:n raportissa *Resources to Reserves* (IEA 2005) on esitetty arvioita sekä konventionaalisen että epäkonventionaalisen maakaasun reserveistä ja resursseista. Raportin mukaan maailmassa on noin 450 tuhatta miljardia kuutiometriä (tcm) teknisesti hyödynnettävissä olevaa (konventionaalista) kaasua, josta 80 tcm on jo tuotettu. Epäkonventionaalisten kaasuvarojen suuruuden on arvioitu olevan noin 250 tcm. Arvio sisältää kivihiihkerrostumametaanin, *tight gas* -kaasun ja kaasuliukseen. Arviota pidetään epävarmana, ja varat saattavatkin olla kaksi tai kolme kertaa suuremmat. Noin 0,01 tcm epäkonventionaalista kaasua on jo tuotettu. Lisäksi esitetään, että maapallolla on 1 000–1 000 000 tcm kaasua hydraattimuodossa (merenpohjassa tai ikiroudassa). Kaasuhydraattiestimaatit vaihtelevat, mutta ilmeisesti hydraattimuodossa olevaa kaasua on huomattavasti enemmän kuin konventionaalista kaasua. Hydraattien hyödynnettävyyttä ei vielä tunneta.

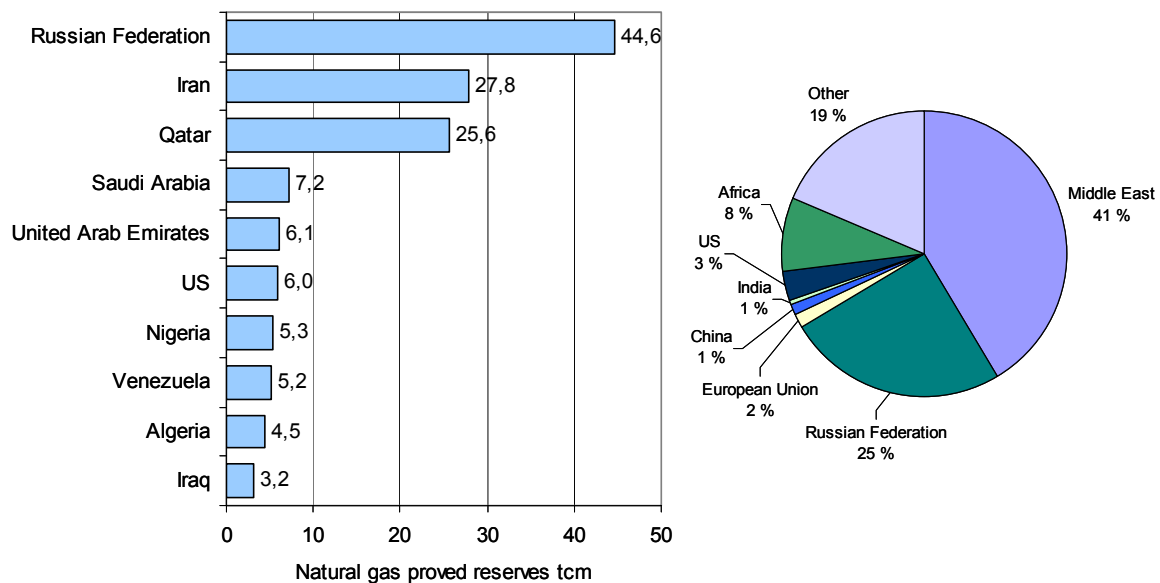
4.1.1 Paikannetut reservit

Koko maailman todennetut maakaasureservit olivat vuonna 2007 noin 177 tcm (kuva 18). Maakaasuvarat ovat jakautuneet epätasaisesti eri alueille. Neljännes paikannetuista reserveistä sijaitsee Venäjäl-

4. Maakaasu

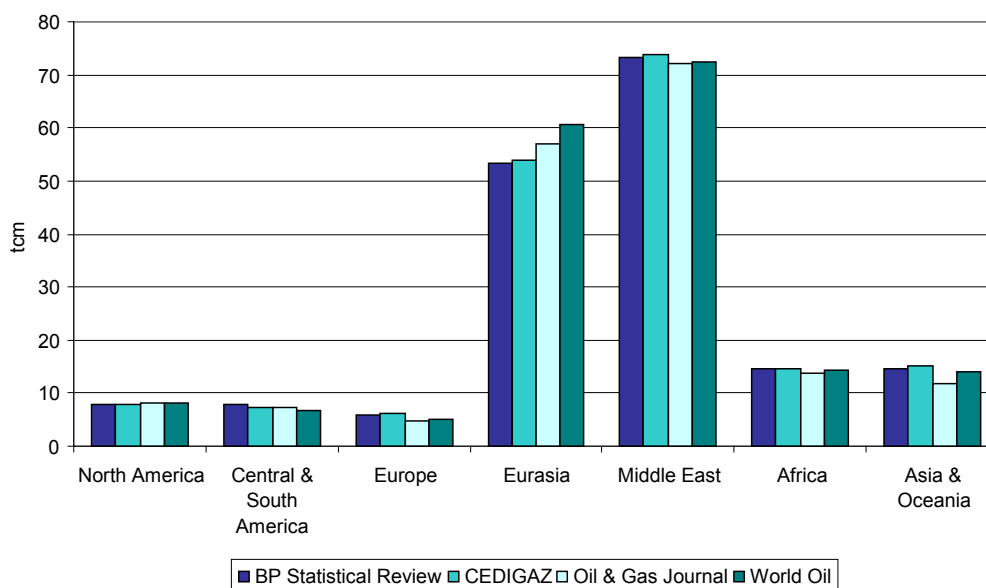
lä. Seuraavaksi suurimmat kaasureservit ovat Iranissa (16 %) ja Qatarissa (14 %). Reservit ovat keskittyneet erittäin voimakkaasti Lähi-itään ja entisen Neuvostoliiton alueelle: noin kolme neljännestä paikannetuista maakaasuvaroista sijaitsee näillä alueilla. Kaasuvarojen geopoliittinen jakautuma on siten öljyvarojen kaltainen.

Nykytuotannolla reservien R/P-suhde on noin 60 vuotta. IEA:n ennustaman maakaasun kysynnän 2 %:n kasvu huomioiden nykyiset paikannetut, teknisesti ja taloudellisesti hyödynnettävissä olevat reservit riittäisivät noin 40 vuodeksi.



Kuva 18. Maakaasun todennetut reservit vuonna 2007, kokonaisreservit olivat 177 tcm. Kuvat on piirretty BP:n datan mukaan.

Kuvassa 19 vertaillaan eri lähteistä saatuja arvioita paikannetuista, hyödynnettävissä olevista maakaasureserveistä. Suuria eroja eri julkaisujen välillä ei ole. Venäjän ja muiden entisen Neuvostoliiton alueiden varat ovat epävarmimmat – Venäjän kaasureserviarviot vaihtelevat välillä 44,6 (BP)–44,9 tcm (CEDIGAZ). Esimerkiksi *World Oil* on ilmoittanut kyseiseltä alueelta arvion vain Venäjän varoista ja muiden valtioiden arvioidut varat karkeasti yhdellä luvulla. *Oil & Gas Journal* sen sijaan on ilmoittanut arviot Venäjän lisäksi kymmenen muun valtion varoista.

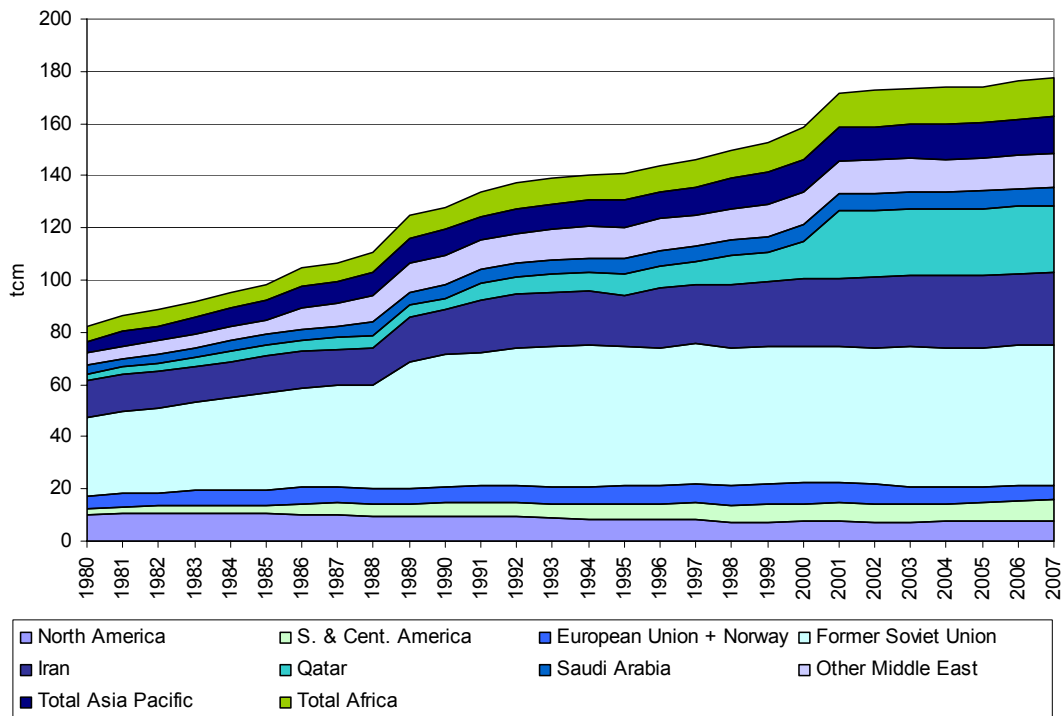


Kuva 19. Eri lähteiden ilmoittamat todennetut maakaasureservit. Kuva on piirretty EIA:n (2008b) julkaiseman datan mukaan. Alkuperäiset julkaisut: *BP Statistical Review of World Energy*, June 2008, *Oil & Gas Journal*, Vol. 105.48, *World Oil*, Vol. 228, No. 9 (September 2007), *Centre International d'Information sur le Gaz Naturel et tous Hydrocarbures Gazeux* (CEDIGAZ), *Natural Gas in the World*, End of July 2008.

Paikannetut maakaasureservit ovat kasvaneet vuoden 1980 noin 80 tcm:stä 177 tcm:ään vuonna 2007 (kuva 20). Uusia esiintymiä on löytynyt lähinnä öljynetsinnän yhteydessä. Viime vuosina löytyneet esiintymät ovat olleet pääosin pieniä kenttiä.

Noin 44 % paikannetuista reserveistä on keskittynyt kahteenkymmeneen mega- tai superjättiläisluokan kenttään. Näistä reserveistä 49 % on maailman suurimmassa kaasukentässä North Field / South Parsissa Qatarin ja Iranin rannikoilla.

4. Maakaasu



Kuva 20. Paikannettujen maakaasureservien kehittyminen 1980–2007 (data BP 2008).

4.1.2 Muut konventionaaliset reservit ja resurssit

Arviot maakaasun muista kuin paikannetuista, nykyisin taloudellisesti ja teknisesti hyödynnettävissä olevista reserveistä vaihtelevat eri lähteissä. USGS:n vuoden 2000 Survey esittää taulukon 2 mukaisia arvioita. USGS arvioi konventionaalisen maakaasun EUR:ksi (*Estimated Ultimate Recovery*) 436 tcm. Kumulatiivinen tuotanto on USGS:n mukaan vuoden 1995 lopussa 50 tcm. Vuosina 1996–2007 maakaasun tuotanto on BP:n mukaan ollut noin 30 tcm. Näin USGS:n arvio jäljellä olevista maakaasu reserveistä voidaan päivittää 356 tcm:ksi.

Hieman uudempi arvio maakaasuvaroista saadaan saksalaiselta BGR:ltä (2006). Vuonna 2006 julkaistu arvio paikannetuista reserveistä on 181 tcm, joka vastaa hyvin muita arvioita paikannetuista varoista. BGR arvioi muiksi konventionaaliseksi maakaasureserveiksi 207 tcm. Yhteensä BGR arvioi jäljellä oleviksi hyödynnettäviksi maakaasuvaroiksi 388 tcm, mikä on hieman enemmän kuin USGS:n tekemässä arviossa.

Taulukko 2. *US Geological Survey*n julkaisemat arviot Yhdysvaltain ja muun maailman konventionaalista kaasuvaroista. Kumulatiivinen tuotanto ja reservit on päivätty 1.1.1996 (USGS 2000).

Tcm	F95	F50	F5	Keskiarvo
Maailma, ei Yhdysvallat				
• Paikantamaton konventionaalinen	65,1	122,7	231,5	132,2
• Reservien kasvu	29,7	93,6	157,0	93,6
• Jäljellä olevat reservit				130,9
• Kumulatiivinen tuotanto				25,4
• Yhteensä				382,1
Yhdysvallat				
• Paikantamaton konventionaalinen	11,1		19,8	14,9
• Reservien kasvu				10,1
• Jäljellä olevat reservit				4,9
• Kumulatiivinen tuotanto				24,2
• Yhteensä				54,0
Yhteensä EUR				436,1

4.1.3 Epäkonventionaalinen kaasu

Epäkonventionaalista kaasua on hyödynnetty lähinnä Yhdysvalloissa, joka on suuri kaasunkäyttäjä ja jonka omat konventionaaliset kaasuvarat ovat loppumassa. Suurimmat epäkonventionaalisen kaasun lajit ovat kivihiihkerrostumametaani (*Coal Bed Methane*, CBM) ja *tight gas*. Jo noin neljännes Yhdysvalloissa tuotetusta kaasusta tulee epäkonventionaalista esiintymistä.

Lähteessä IEA 2005 arvioidaan teknisesti hyödynnettävissä olevan epäkonventionaalisen maakaasun määräksi ainakin 250 tcm. Lukuun sisältyvät CBM, *tight gas* ja kaasuluske. Lähteessä esitetään, ettei resursseista ole hyvää arviota ja että määrä saattaa hyvinkin olla kaksin- tai kolminkertainen. Saksalainen BGR (2006) arvioi kyseisten kaasujen määräksi noin 235 tcm (*tight gas + coal bed methane*, ei sisällä luokkaa *aquifer gas*).

Suurin epävarmuus koskee kaasuhydraattien määrää. IEA:n arvion mukaan hydraatteja voi olla 1 000–1 000 000 tcm. Yleisesti tunnustetaan, että hydraattien resurssit ovat huomattavasti suuremmat kuin konventionaalisen kaasun resurssit. Taulukossa 3 esitetään BGR:n (2006) arviot epäkonventionaalista maakaasuvaroista.

4. Maakaasu

Taulukko 3. BGR 2006 arviot epäkonventionaalisista maakaasuvaroista.

tcm	Reservit	Resurssit
Tight gas	1	90
Coal-bed methane	1	143
Aquifer gas		800
Gas hydrates		500
Non-conventional natural gas	2	1533

4.1.3.1 Coal Bed Methane, CBM

Koko maailman kaasun tuotannosta noin 2 % ja Yhdysvaltain kaasuntuotannosta noin 10 % saadaan jo nyt kivihiihkerrostumien yhteydessä olevasta metaanista (*The Economist*, 26.6.2008). Metaani on näissä kerrostumissa jäänyt maaperän hiileen hiililyntymisprosessin yhteydessä. Hiilellä on suuri ominaispinta-ala, joten hiileen voi adsorboitua suuria määriä metaanikaasuja, jopa 6–7-kertaisesti verrattuna tavalliseen kalliotesiintymään. Hiilisesiintymien sisältämä metaani on kaivosteollisuuden vaaratekijä – juuri näitä metaanipäästöjä pyrittiin havaitsemaan pitämällä kaivoksissa kanarialintuja häkeissä.

CBM-esiintymät ovat usein lähellä maanpintaa, joten ne on helppo paikantaa ja hyödyntää kustannustehokkaasti. Tuotantoon liittyy kuitenkin muutamia teknologisia ja ympäristö-ongelmia. Konventionaalisessa öljy- tai kaasuesiintymässä kaasu on öljyn päällä ja pohjavesi alimpana. Esiintymää hyödynnettäessä porataan vain öljy ja kaasu, eikä alimpana olevaa vettä nosteta maan pinnalle. Vesi kuitenkin läpäisee kivihiihkerrostuman, ja veden paine estää metaanin vapautumisen hiilestä. Niinpä metaanin poraus joudutaan aloittamaan poistamalla vesi, jotta paine saadaan alenemaan. Porattu vesi on yleensä suolapitoista mutta joskus myös juomakelpoista. Suurten vesimäärien päästäminen maan pinnalle ei aina onnistu, ja injektio takaisin maan sisään on kallista.

Kivihiihkerrostumametaania on todennäköisesti laajalti eri puolilla maapalloa. Suuria esiintymiä on ainakin Australiassa, Kanadassa, Kiinassa, Saksassa, Intiassa, Indonesiassa, Puolassa, Venäjällä ja Etelä-Afrikassa. Ilmastonmuutoksen hillintä on käynnistänyt CBM-projekteja, joissa hiilidioksidia pumpataan kivihiihkerrokseen. Tällöin hiilidioksidi korvaa metaanin kivihiihken huokosissa. Tavoitteena on varastoida hiilidioksidia kivihiihkerrostumaan ja hillitä näin ilmastonmuutosta. Menetelmää kutsutaan ECBM:ksi (*Enhanced Coal Bed Methane recovery*). Menetelmään liittyy kuitenkin vielä merkittäviä geologisia epävarmuustekijöitä, jotka vaikuttavat muun muassa hiilidioksidin varaston pysyvyyteen.

4.1.3.2 Tight gas

Normaaleissa kaasuesiintymissä kaasu pääsee liikkumaan vapaasti esiintymän sisällä, ja kun esiintymää porataan, ”valuu” kaasu esiintymästä pois verrattain helposti. *Tight gas* -tyyppisessä esiintymässä kaasua ympäröivän kallion permeabiliteetti eli läpäisevyys on erittäin pieni, alle 0,1 millidarcyä. Esiintymää ympäröivä maaperä voi olla konventionaalista (karbonaattia, hiekkaa) tai liusketta (jolloin esiintymän kaasua kutsutaan kaasuliuskeksi).

Tight gas -esiintymiä pidetään epäkonventionaalisina, sillä kaasua ei saada porattua niistä tavanomaisilla menetelmillä. Kaasua voidaan hyödyntää, jos kalliioon pystytään luomaan keinotekoinen halkeama,

jota pitkin kaasu voi virrata. Kallioon voidaan luoda pumppaamalla kova paine, joka aiheuttaa kallion halkeamisen, tai siihen voidaan porata horisontaalinen reikä, jota pitkin kaasu pääsee virtaamaan.

Tight gas -esiintymiä hyödynnetään jo nyt kaupallisesti Yhdysvalloissa, jossa noin 15 % kaasuntuotannosta saadaan näistä esiintymistä. Muualla maailmassa ei ole vielä tarvinnut hyödyntää epäkonventionaalisia esiintymiä yhtä laajasti, eikä epäkonventionaalisia kaasuvarojakaan tunneta kovin hyvin. (IEA 2005.)

4.1.3.3 Akviferikaasu

Akviferissä (pohjavettä sisältävä kerros) oleva kaasu on levinnyt pohjaveteen joko liuenneena tai dispergoituneena. Geologisten syiden ja veden sisältämän alhaisen kaasumäärän takia vain noin 10–25 % kaasusta voidaan hyödyntää. Kaasua sisältävä pohjavesi pumpataan maan pinnalle, minkä seurauksena maan pinta voi alentua. Tämän epäkonventionaalisen kaasuressurin määrää on arvioitu pohjavesiresurssiarvioiden perusteella (Remme et al. 2007).

4.1.3.4 Metaanihydraatit

Metaanihydraatti (metaaniklatraatti) on jäätä muistuttava yhdiste, jossa metaanimolekyylit on ”loukussa” vesimolekyylien muodostamassa hilassa. Kun metaanihydraattia lämmitetään tai paine pienenee, hilan sisällä oleva metaani vapautuu ja hydraatista vapautuu vettä ja metaania. Jos hydraatti tuodaan maan pinnalle, yhdestä kuutiometristä kaasuhydraattia vapautuu 164 m³ maakaasua.

Metaanihydraatteja on valtava määrä varastoituneena valtamerien pohjasedimentteihin ja ikiroutaan. Arviot hydraattien määrästä vaihtelevat suuresti, mutta näitä hydraatteja voi olla yhtä paljon kuin muita fossiilisia polttoainevaroja yhteensä. IEA esittää raportissaan *Resources to Reserves* (IEA 2005), että arviot hydraattivaroista vaihtelevat välillä 1 000–10 000 000 tcm.

Metaanihydraatit ovat syntyneet olosuhteissa, joissa paine on suuri ja lämpötila alhainen. Käytännössä hydraatteja voidaan löytää arktisten alueiden ikiroudasta tai merenpohjan alta alle 500 metrin syvyyksistä. Hydraatteja on löydetty koeporauksissa eri puolilta maapalloa. Merialueilla metaanihydraattia näyttää olevan useita kertoja ikiroudassa olevia metaanihydraattiresursseja enemmän, mutta arktisilta alueilta löydettyjen esiintymien konsentraatiot ovat puolestaan suuremmat.

Metaanihydraattien hyödyntämiseen liittyy vakavia ympäristöongelmia. Metaani on noin 20 kertaa hiilidioksidia voimakkaampi kasvihuonekaasu, joten hydraattien vapautuminen ilmakehään on estettävä hyödyntämisen yhteydessä. Hydraattiesiintymien käyttäytymistä ei tunneta vielä tarkkaan. Vähäisetkin muutokset ympäristössä saattavat johtaa siihen, että metaania vapautuu ilmakehään.

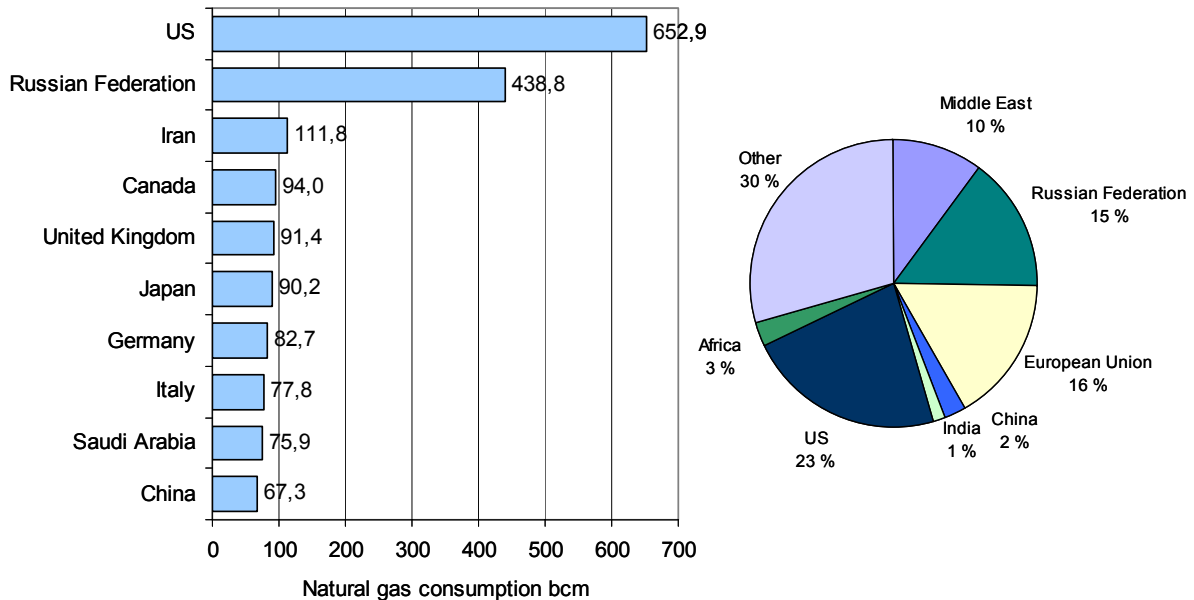
Metaanihydraattitutkimusta tehdään useissa kansainvälisissä projekteissa; edelläkävijöitä ovat Japani, Kanada ja Yhdysvallat. Toistaiseksi kaupallista läpimurtoa ei ole tehty, vaikka metaanihydraatteja onkin jo koeporattu. Optimistisimpien arvioiden mukaan kaasuhydraattien kaupallinen hyödyntäminen voisi alkaa jo vuonna 2020. Asiaan liittyy kuitenkin suuria epävarmuuksia.

4.2 Maakaasun kysyntä

Maakaasun globaali kysyntä vuonna 2007 oli 2 920 bcm (*billion cubic meters* eli miljardi kuutiometriä), joka vastaa 24 %:a maailman primaarienergian kulutuksesta. Maakaasua enemmän käytetään vain raakaöljyä ja kivihiihtä. Viime vuosina maakaasun kulutus on kasvanut muita fossiilisia polttoaineita nopeammin. Tämän trendin oletetaan jatkuvan. Suurimmat kaasun kuluttajat ja kulutuksen alueellinen

4. Maakaasu

jakauma esitetään kuvassa 21. Suurin yksittäinen maakaasun kuluttaja oli vuonna 2007 Yhdysvallat, jonka kaasun kulutus oli noin 650 bcm. Tämä vastaa 22 %:sta maakaasun globaalista kysynnästä. Toisen suuri maakaasun käyttäjä on Venäjä 440 bcm:n kulutuksellaan (15 % globaalista kysynnästä).

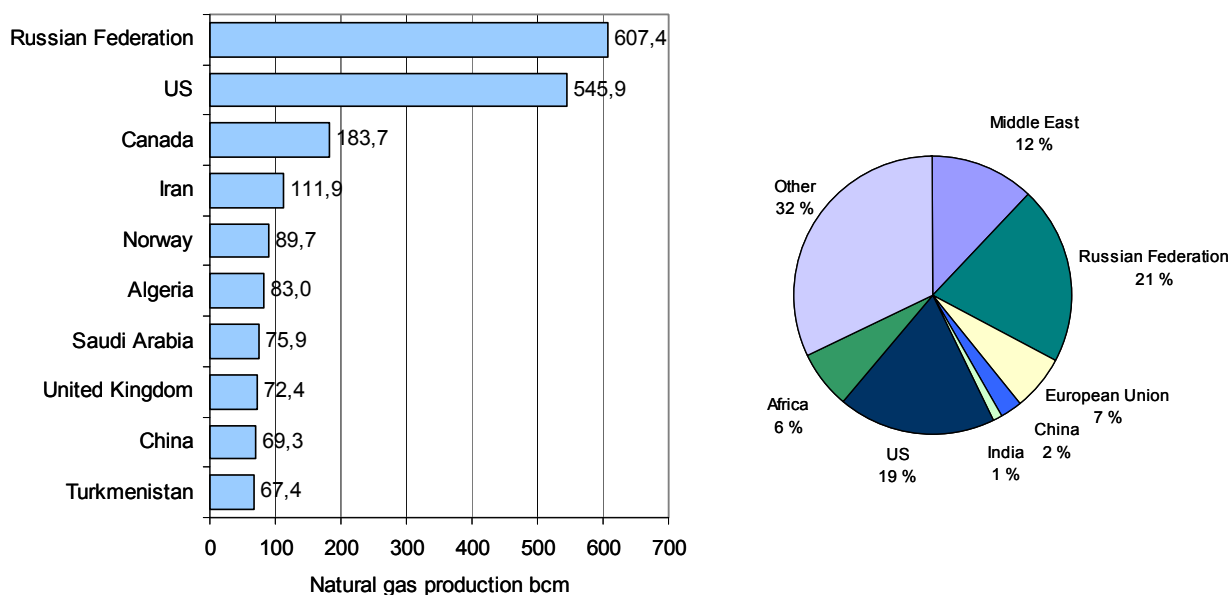


Kuva 21. Maakaasun kulutus vuonna 2007 (data BP 2008).

IEA ennustaa julkaisussaan *World Energy Outlook 2006* (IEA 2006), että maakaasun globaali kysyntä olisi vuonna 2030 noin 4 700 bcm. Kasvua olisi siis nykyisestä 2 900 bcm:stä noin kaksi kolmannesta eli 1800 bcm. Samassa julkaisussa ennustetaan, että maakaasun käyttö kasvaisi vuosittain noin 2 % ajalla 2004–2030. Noin puolet maakaasun käytön kasvusta johtuu kaasun kysynnän kasvusta sähkön-tuotannossa. Maakaasun käyttö kasvaa IEA:n ennusteiden mukaan kaikkialla, mutta suurinta kasvu tulee volyymiltaan olemaan Lähi-idässä. Myös Kiinan, Intian ja Afrikan kehittyvien talouksien maakaasun käyttö tulee lisääntymään muita alueita voimakkaammin.

4.3 Maakaasun tuotanto

Venäjä on maailman suurin kaasun tuottaja viidenneksen osuudella koko maailman maakaasun tuotannosta. Venäjällä on myös suurimmat kaasureservit. Venäjällä tuotetusta maakaasusta osa käytetään kotimaassa, mutta Venäjä on myös suurin maakaasun viejä. Maakaasun tuotannon alueellinen jakauma esitetään kuvassa 22.



Kuva 22. Maakaasun tuotanto vuonna 2007 (data BP 2008).

EIA:n (2008b) ennusteen mukaan 90 % maailman kaasun tuotannon kasvusta välillä 2005–2015 tulee OECD:n ulkopuolisista maista. Varsinkin Lähi-idässä ja Afrikassa merkittävä osa uudesta tuotannosta on tarkoitettu vientiin. On ennustettu, että esimerkiksi Qatarissa olisi 100 bcm:n vientikapasiteetti käytössä vuonna 2015.

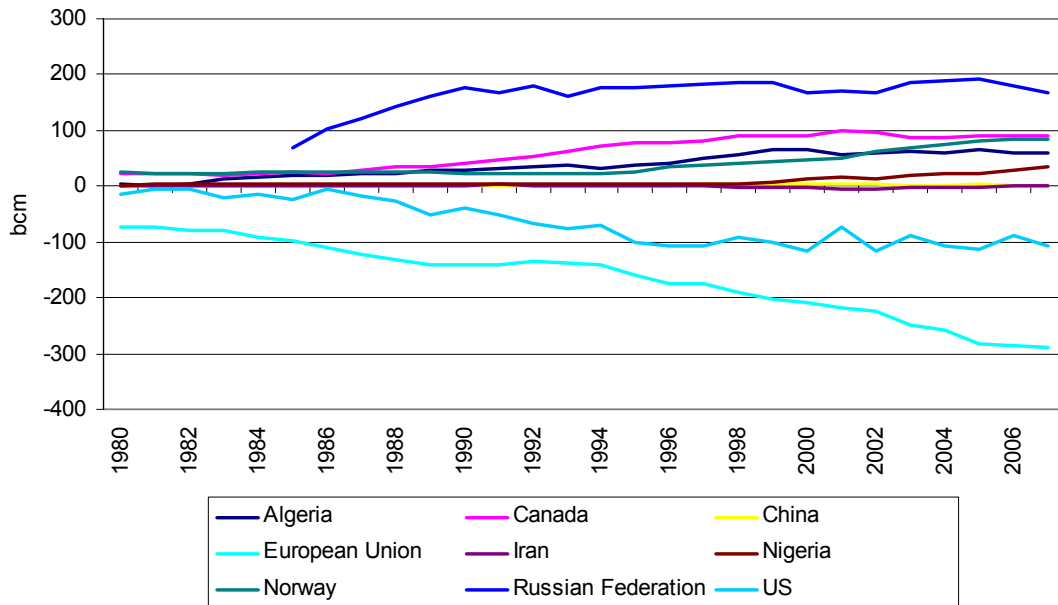
Kiinan ja Intian oletetaan kaksinkertaistavan tuotantokapasiteettinsa vuoteen 2015 mennessä, mutta suurin osa näiden maiden tuotannosta menee kotimaiseen käyttöön. Aasiassa on käynnissä useita vientimarkkinoille tähtääviä projekteja, mutta näiden tuotanto tullaan todennäköisesti myymään lähimarkkinoille. Euroopan maakaasun kysynnän ennakoidaan kasvavan. Maakaasua tuodaan Eurooppaan Venäjältä ja muista entisen Neuvostoliiton maista. Suurin eurooppalainen kaasuntuottaja on Norja.

Yhdysvallat on Pohjois-Amerikan suurin maakaasun tuottaja ja käyttäjä. Yhdysvaltojen maakaasun tuotanto ei tyydytä kotimaista kysyntää, joten maakaasua on tuotu lähinnä Kanadasta (vuonna 2007 Kanada vastasi 83 %:sta Yhdysvaltojen kaasun tuonnista). Kanadan suurimpien maakaasuesiintymien tuotanto on hiipumassa. Tuotantoa yritetään korvata epäkonventionaalisen kaasun tuotannolla, mutta tästä huolimatta Kanadan kaasun tuotannon odotetaan laskevan vakaasti. EIA ennustaa, että Kanadan vienti kattaa Yhdysvaltojen kaasun tuonnista 32 % vuonna 2030.

Yhdysvallat pyrkii kompensoimaan Kanadan kaasun tuonnin hiipumisen lisäämällä kotimaista kaasun tuotantoa Alaskassa. EIA odottaa Alaskan kaasuputken valmistuvan vuonna 2020. Yhdysvallat käyttää jo omien alueidensa epäkonventionaalisia kaasuvaroja. Vuonna 2005 Yhdysvaltojen epäkonventionaalisen kaasun tuotanto oli 225 bcm (44 % kotimaisesta tuotannosta), ja tuotannon odotetaan kasvavan 270 bcm:ään vuonna 2030. OECD-maista Australia ja Uusi-Seelanti ovat kasvattaneet maakaasun tuotantoaan nopeasti.

Eräiden alueiden ja maiden maakaasun nettoviennin kehitys vuosina 1980–2007 esitetään kuvassa 23.

4. Maakaasu



Kuva 23. Kaasun nettovienti vuosina 1980–2007 (data BP 2008).

4.4 Kaasumarkkinat

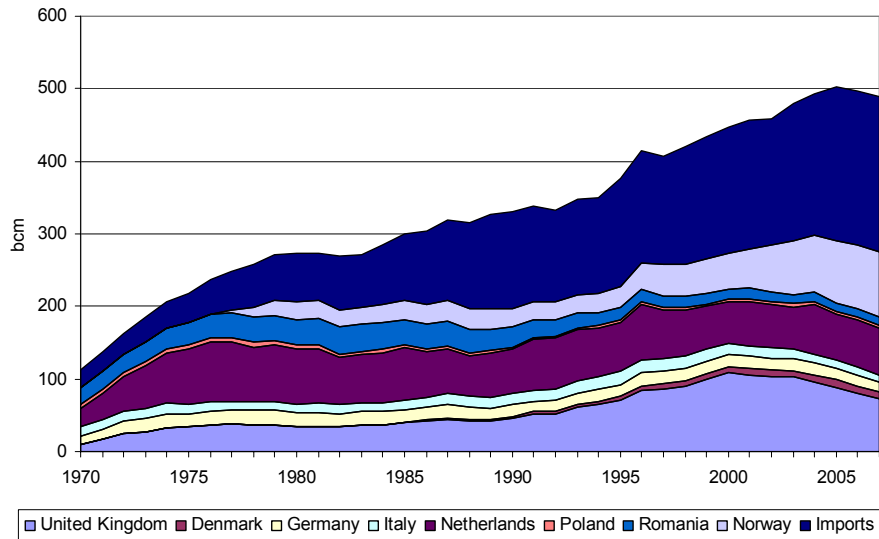
Kaasun osto ja myynti on sidottu kaasun siirtomahdollisuuksiin. Toistaiseksi suurin osa tuotetusta maakaasusta siirretään putkistoa pitkin, jolloin varsinaista maailmanmarkkinahintaa ei ole ollut. Yleensä kaasun hinta määritellään sidoksissa öljyn hintaan, jolloin eri markkina-alueiden hinnat korreloivat öljyn hintalinkin ansiosta. Nesteytetyn maakaasun LNG:n markkinaosuuden kasvaessa eri markkina-alueiden hinnat tulevat yhdentymään, ja kaasulle muodostuu spot-markkinat. Nesteytettyä maakaasua käsitellään erikseen seuraavassa luvussa.

Yhdysvalloissa on hyvin toimivat maakaasumarkkinat. Suurin markkinakeskus on Etelä-Louisianassa sijaitseva Henry Hub, kuudentoista osavaltion sisäisen ja välisen maakaasuputken yhteenliittymä. Henry Hubin sähkön hintaa käytetään NYMEX:ssä (*New York Mercantile Exchange*) muodostettavien futuurikauppojen referenssihintana. Yhdysvalloissa spot-kauppaa käydään päivittäin. Hinta kullekin päivälle määräytyy maakaasun kysynnän ja tarjonnan mukaan, ja se voi vaihdella hyvin nopeasti. Lisäksi maakaasua voi ostaa ja myydä pitkillä sopimuksilla. (API 2006.)

Maakaasujohdannaiskauppa aloitettiin New Yorkin pörssissä (NYMEX) vuonna 1990. Futuuri-kauppa on määritelty toimitukseksi tietyinä kuukautena Henry Hubissa. Johdannaiskaupoilla voi suojautua spot-hintojen volatiilisuukselta hintariskiltä. Maakaasun tuottajien ja käyttäjien lisäksi johdannaismarkkinoilla toimii erilaisia välittäjiä, jotka osaltaan parantavat pörssin likviditeettiä.

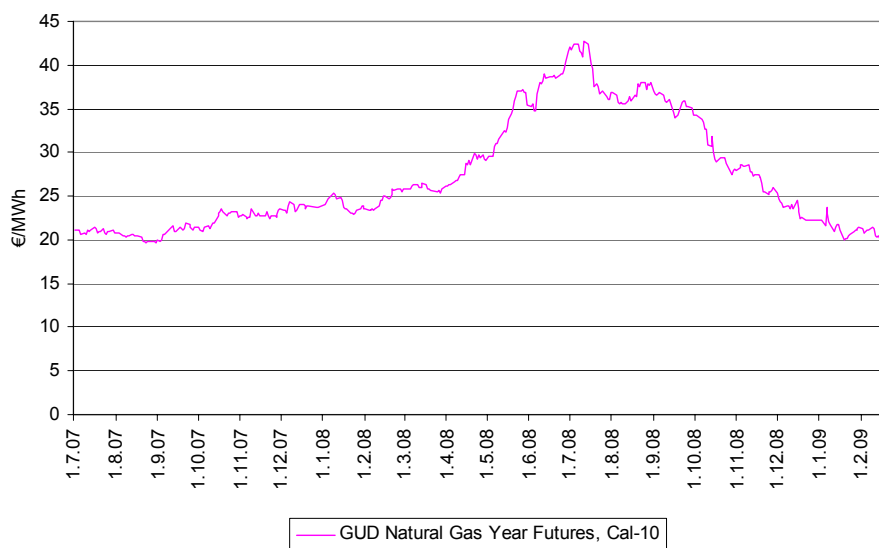
Euroopan unioni ajaa voimakkaasti kaasumarkkinoiden yhdentymistä. Maakaasulla tuotetaan noin neljännes EU:n primäärienergiasta, ja kaasun hinta vaikuttaa voimakkaasti sähkön hintaan useilla alueille. Suurin osa EU:n käyttämästä maakaasusta tuodaan unionin ulkopuolelta, pääasiassa Norjasta, Algeriasta ja Venäjältä. Kuvasta 24 nähdään, että eurooppalainen kaasun tuotanto on kääntynyt laskuun, ja EU-maat ovat yhä riippuvaisempia kaasun tuonnista unionin ja Euroopan ulkopuolisista mais-

ta. Kaasumarkkinoiden yhdentyminen on vielä kesken, mutta Euroopan komission kilpailupääosasto on selvittänyt kaasumarkkinoiden tilaa. Vuonna 2007 julkaistussa raportissa *EC DG COMP 2007* suurimmiksi ongelmiksi nähtiin markkinoiden keskittyneisyys, vertikaalinen integraatio (eli samat yhtiöt omistavat sekä tuotanto- että kuljetuskapasiteettia), markkinoiden integroitumisen vähäisyys, läpinäkyvyyden puute sekä ongelmat hinnanmuodostuksessa.



Kuva 24. Euroopan unionin kaasun käyttö vuosina 1970–2007. Kuvasta näkyy merkittävimpien eu-rooppalaisten tuottajien osuudet (data BP 2008).

Maakaasun viime vuosien hintakehitys esitetään kuvassa 25. Kaasun hinta kallistui samalla, kun öljyn hinta nousi voimakkaasti. Öljyn hinnan laskun myötä myös kaasun hinta on palannut vuoden 2008 hintapiikkiä edeltävälle tasolle.



Kuva 25. Kaasun hintakehitys heinäkuu 2007–helmikuu 2009 (vuosiforward 2010, data EEX 2009).

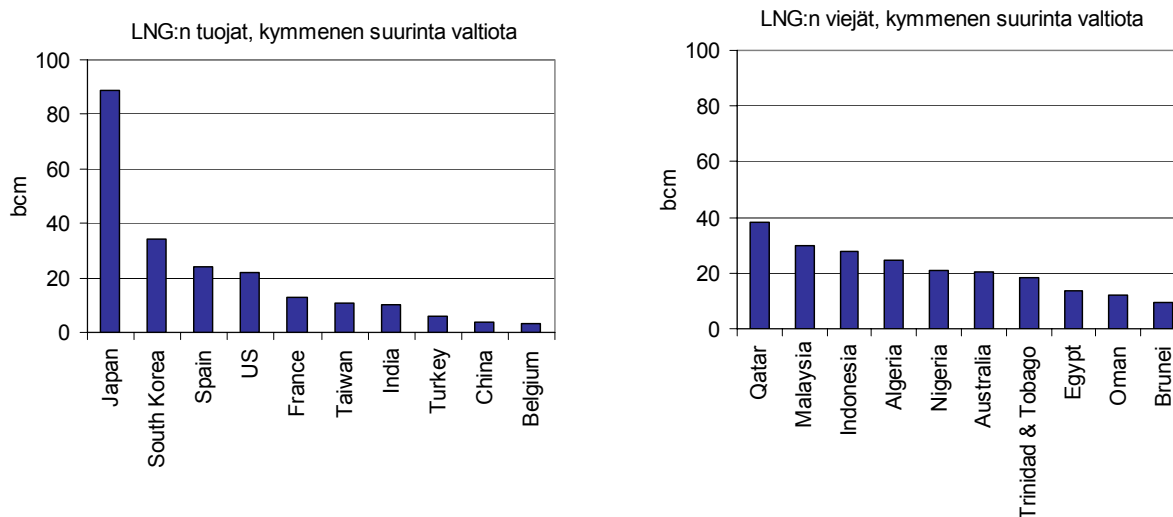
4. Maakaasu

4.5 Nesteytetty maakaasu LNG

LNG eli nestemäinen maakaasu on muutettu nestemäiseen muotoon kaasun säilytys- tai kuljetustarpeita varten. Nesteytyksessä kaasusta erotetaan ensin epäpuhtauksia, minkä jälkeen kaasu puristetaan nesteeksi jäädyttämällä se noin $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötilaan. Samalla maakaasun tilavuus pienenee noin 1:670. Kaasun nesteytys vaatii huomattavasti energiaa.

Maakaasun nesteytys on kallista eikä kannata, jos kuljetusetäisyys on pieni. Raportin (BGR 2007) mukaan kaasun siirtäminen nesteytettynä on edullisempaa kuin putkissa, jos kuljetusetäisyys on yli 3 000 km. LNG:n etuna voidaan pitää joustavuutta, sillä nesteytettynä kaasu voidaan kuljettaa mihin tahansa kaasun vastaanottoterminaaliiin. Putkiverkosto ei rajoita siirtomahdollisuuksia.

LNG-markkinat kehittyvät voimakkaasti. Vuonna 2007 maailman valtioiden ylittävän maakaasu-kaupan volyyymi oli hieman alle 800 bcm, josta noin 30 % kuljetettiin LNG -tankkereilla. LNG:n vientiin osallistui kyseisenä vuonna 13 valtiota. LNG-kauppa on keskittynyt Aasiaan: kahden suurimman LNG:n tuojan Japanin ja Etelä-Korean yhteenlaskettu osuus kaupasta vuonna 2007 oli 54 %. LNG:n tuonti- ja vientivolyymit vuodelta 2007 esitetään kuvassa 26.



Kuva 26. LNG:n tuojat ja viejät vuonna 2007. Kokonaiskaupan volyyymi 226 bcm (data BP 2008).

Uusia LNG:n vastaanottoterminaleja rakennetaan tai suunnitellaan Atlantin ja Välimeren rannikoille sekä Pohjanmeren ja Itämeren alueelle. Ensimmäinen eurooppalainen nesteytyslaitos ja vientitermiinaali käynnistivät toimintansa syyskuussa 2007 Hammerfestissa Norjassa. Laitos saa maakaasua Snøhvitin kaasukentältä Barentsinmereltä.

Toistaiseksi LNG-kauppaa käydään erittäin pitkillä sopimuksilla, joilla taataan kalliiden infrastruktuuri-investointien kannattavuus. Periaatteessa LNG-tankkerit voivat kulkea minne tahansa, eli LNG:lle voi kehittyä spot-markkina. BGR ennustaa, että vapaasti kaupattavan kaasun osuus voisi tulevina vuosina nousta 20 %, mikä edesauttaisi LNG:n spot-markkinan muodostumista.

5. Hiili

Hiili on fossiilisista polttoaineista laajimmalle levinnyt: taloudellisesti hyödynnettävissä olevia hiilivaroja on noin 70 maassa. Hiilen reservit ovat kaikista ei- uusiutuvista polttoaineista suurimmat, ja lisäksi reservien sijainti, suuruus ja hyödynnettävyys tunnetaan hyvin – onhan hiiltä hyödynnetty 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 muita fossiilisia polttoaineita voimakkaammin. Euroopassa hiilen käyttö on vähentynyt muun muassa 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 kivihiilen tuotantoon tarvitaan uusia investointeja. Yksi näitä investointeja hidastava tekijä on tulevaisuuden ilmastonhillintätoimia koskeva epävarmuus. Erityisesti Yhdysvalloissa kotimainen hiilentuotanto on hiipumassa. Hiilen hinta on viime vuosina noussut voimakkaasti.

Viime vuosina arvioita hiilireservien suuruudesta on useilla alueilla pienennetty voimakkaasti. Hiilen R/P-suhde on pienentynyt vuosituhanen alun yli 200 vuodesta 133 vuoteen vuonna 2007. Arviot nykyisillä teknisillä ja taloudellisilla reunaehdoilla hyödynnettävissä olevista reserveistä ovat pienentyneet siitä huolimatta, että 2000-luvulla hiili on kallistunut. Sen sijaan arviot öljyn ja maakaasun reserveistä ovat kasvaneet samalla, kun hinnat ovat nousseet.

5.1 Hiililajit ja näiden käyttötavat

Hiili on muodostunut satojen miljoonien vuosien kuluessa biomassasta, joka on jäänyt puristukseen maankuoren kerrosten väliin. Kivihiilen muodostuminen alkoi kivihiilikaudella 360–290 miljoonaa vuotta sitten, ja prosessi jatkuu edelleen. Hiilivarat voidaan jakaa useaan eri lajiin sen mukaan, miten täydellisesti alkuperäinen orgaaninen massa on muuttunut hiileksi. Muodostuminen alkaa biomassasta, joka muuttuu ajan kuluessa turpeeksi. Turve taas muuttuu edelleen ligniitiksi. Monien miljoonien vuosien kuluessa lämpötila ja paine vaikuttavat ligniittiin, joka muuttuu edelleen puolibitumiseksi hiileksi. Prosessin jatkuessa hiili muuttuu mustemmaksi ja kovemmaksi, ja siitä muodostuu bitumista tai kovaa hiiltä. Oikeissa olosuhteissa se voi muuttua edelleen antrasiitiksi.

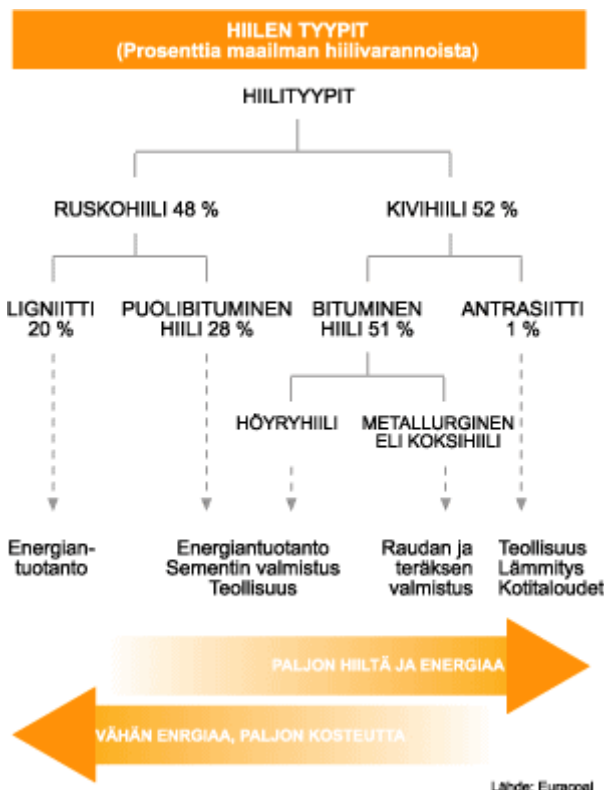
Hiilen tyypit ja näiden pääasialliset käyttötavat esitetään kuvassa 27. Yhdistyneiden kansakuntien luokituksen mukaisesti **kivihiilen** (*hard coal*) lämpöarvo on yli 23,865 kJ/kg. Kivihiili jaetaan edelleen kahteen lajiin, joista antrasiitti on geologiselta iältään vanhin ja lämpöarvoltaan suurin hiilen laji.

5. Hiili

Toinen kivihiilen tyyppi on **bituminen hiili**, joka jaetaan edelleen **metallurgiseen eli koksihileen ja höyryhiileen**. Koksihiili on laadultaan erinomaista suhteessa muihin hiililajeihin, ja tätä hiiltä käytetään raudan ja teräksen valmistuksessa. Jos koksihiiltä ei ole saatavissa, valmistetaan sitä höyryhiilestä. Koksihiili on paljon kalliimpaa kuin höyryhiili, eikä koksihiiltä siten ole taloudellisesti järkevää käyttää energiantuotannossa. Koksihiilen kysyntä on viime vuosikymmeninä pysynyt suunnilleen vakiona, vaikka raudan ja teräksen valmistaminen ovatkin lisääntyneet voimakkaasti. Tämä johtuu tehokkaammista tuotantoprosesseista. Toinen bitumisen hiilen alalaji on **höyryhiili**, jonka pääasiallinen käyttökohde on sähkön- ja lämmöntuotanto.

Ruskohiilen energiasisältö massaansa nähden on kivihiiltä pienempi, alle 23,865 kJ/kg. Ruskohiili jaetaan edelleen kahteen alalajiin, joista **ligniitin** lämpöarvo on alle 17,435 kJ/kg. Ligniittiä käytetään lähinnä energiantuotannossa. **Puolibitumisen hiilen** lämpöarvo on välillä 17,435–23,865 kJ/kg, ja sitä käytetään sekä energiantuotannossa että teollisuuden raaka-aineena.

Hiiltä voidaan myös nesteyttää, jolloin puhutaan *Coal-To-Liquids*-prosessista (CTL). Nesteytettyä hiiltä voidaan käyttää öljyn sijasta esimerkiksi liikenteen polttoaineena. Öljyn korkea hinta ja energiarvarmuusaspektit ovat kasvattaneet CTL-projektien määrää. Toisaalta CTL-prosessissa syntyy paljon CO₂-päästöjä, eikä niiden määrää pystytä syntyneestä prosessikaasusta merkittävästi vähentämään edes hiilidioksidin erotuksella.

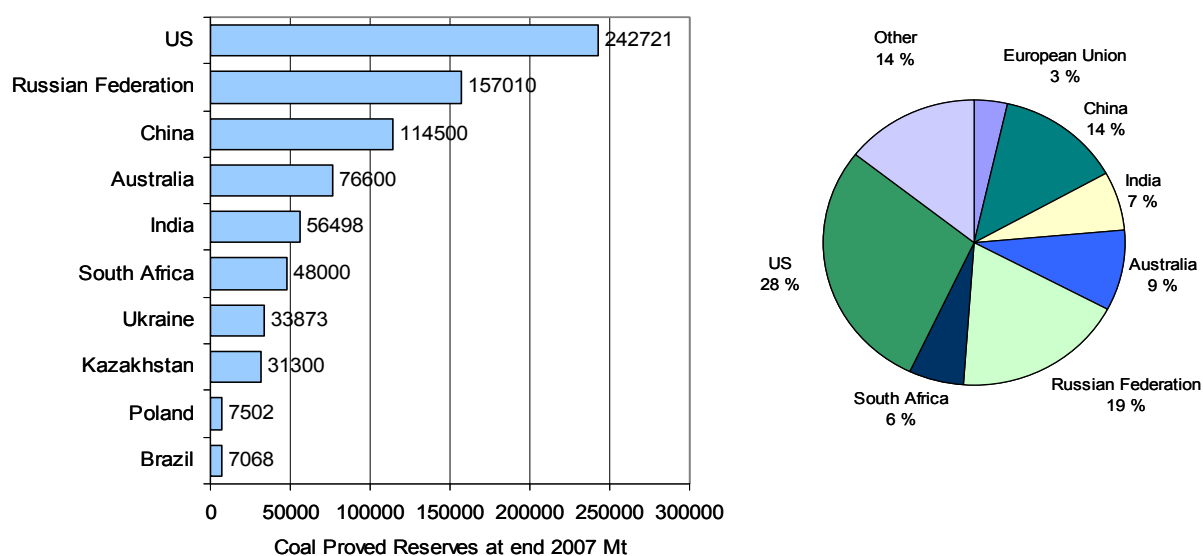


Kuva 27. Hiilen tyypit ja osuus maailman hiilivarannoista (<http://www.hiilitieto.fi>).

5.2 Hiilivarat

Hiili on fossiilisista polttoaineista laajimmalle levinnyt. Nykyisin tunnettujen hiilivarojen on laskettu riittävän huomattavasti maakaasua ja öljyä pidempään. Vuoden 2007 lopussa paikannetut, taloudellisesti ja teknisesti hyödynnettävissä olevat reservit olivat yhteensä 850 Gt, josta 430 Gt oli bitumista hiiltä (sisältäen antrasiitin), 270 Gt puolibitumista hiiltä sekä 150 Gt ligniittiä (WEC 2007). Varojen riittävyys nykyisellä tuotannolla oli vuoden 2007 tietojen mukaan 133 vuotta. Yhdysvalloilla on suurimmat tunnetut hiilivarat, 29 % kokonaisvaroista, Venäjällä 19 % ja Kiinalla 14 % (kuva 28).

Hiilivaratiedot on seuraavassa esitetty BP:n julkaisujen mukaisesti. BP ei itse arvioi hiilivaroja vaan käyttää *World Energy Councilin* julkaisuja, joista uusin on 2007 *Survey of Energy Resources* (WEC 2007). WEC:n arviot hiilivaroista saadaan WEC:n jäsenmaiden jäsenkomiteoilta. Näitä tietoja täydennetään muista, pääosin julkisista lähteistä saatavilla tiedoilla. WEC:n arviossa esitetään, että hiiliesiintymien sijainti, koko ja ominaisuudet tunnetaan melko hyvin. Eri maissa on sen sijaan noudatettu erilaisia periaatteita esiintymien taloudellisen ja teknisen hyödynnettävyyden arvioinnissa.



Kuva 28. Hiilireservit olivat vuoden 2007 lopussa 850 Gt ja R/P suhde 133 vuotta (data BP 2008).

Hiilireserviarvioiden luotettavuuteen ja reservien suuruuteen liittyy merkittäviä epävarmuuksia. Reserviarvioita on analysoitu helmikuussa 2007 julkaistussa Euroopan komission yhteisen tutkimuskeskuksen raportissa *The Future of Coal* (EC JRC 2007) ja maaliskuussa 2007 julkaistussa Energy Watch Groupin raportissa *Coal: Resources and Future Production* (EWGb 2007).

Arvio maailman hiilireserveistä on viime vuosina pienentynyt voimakkaasti. Vuonna 2000 hiilen reservien R/P-suhteeksi arvioitiin 227 vuotta, mutta vuonna 2007 arvio oli vain 133 vuotta. Samaan aikaan hiilen hinta on noussut voimakkaasti, minkä myötä resurssien olisi pitänyt muuttua taloudellisesti hyödynnettäviksi reserveiksi ja hiilivarojen kasvaa. Viime vuosina maakaasun ja öljyn R/P-suhteet ovat pysyneet suunnilleen samalla tasolla: reservien suhde tuotantoon oli 40 vuotta maakaasulle ja 60 vuotta öljylle.

5. Hiili

EWG:n raporteissa kiinnitetään huomiota joidenkin yksittäisten maiden reserviarvioihin (taulukko 4). Prosentuaalisesti suurin reserviarvion vähennys tapahtui Saksassa vuonna 2004, jolloin Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) on pienentänyt kivihiilen reserviarviota 99 %. BGR ei ilmoittanut raportissaan erityistä syytä reserviarvion muutokselle, mutta World Energy Councilin julkaisussa *2004 Survey of Energy Resources* kerrotaan Saksan reservimuutoksen johtuneen siitä, että edellinen reserviarvio oli sisältänyt spekulatiivisia varoja, joita ei enää lueta reserveiksi. Myös arviota Saksan ligniittireserveistä on pienennetty.

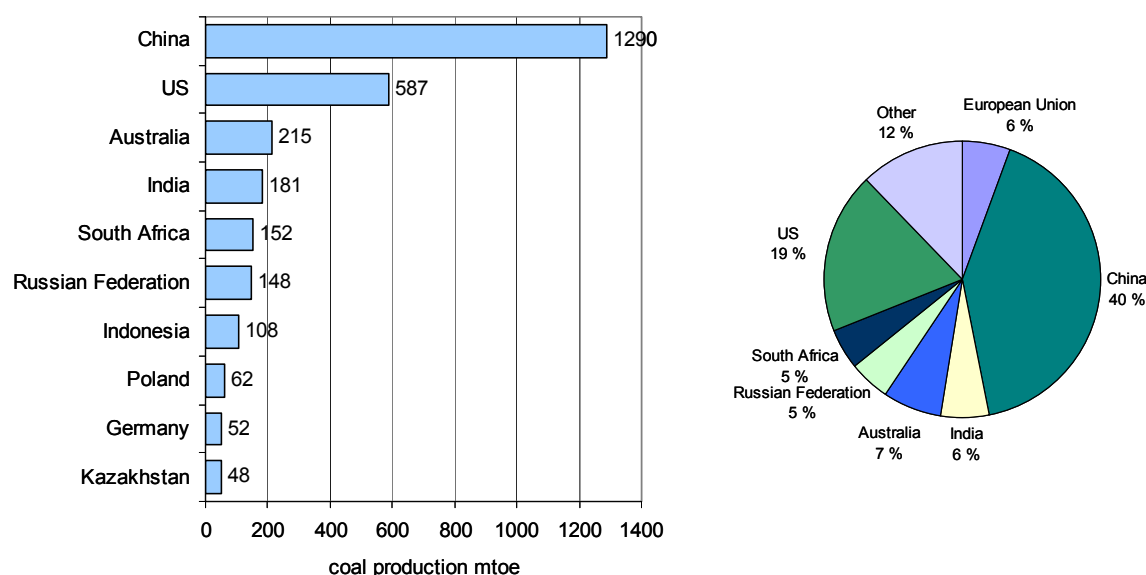
Myös Puola on alentanut kivihiilen reserviarviotaan useaan otteeseen viime vuosina. Sen arvio kivihiililajien reserveista on pienentynyt vuodesta 1997 viidennekseen, ja samanaikaisesti ligniitin ja puolibitumisen hiilen varat on arvioitu kokonaan käytetyiksi. Kiinan reserviarviot eivät ole muuttuneet vuoden 1992 jälkeen. Kyseisen vuoden jälkeen Kiina on kuitenkin tuottanut hiiltä noin 25 % vuoden 1992 reserviarviosta. EWG esittää, että kivihiilen reserviarvioita tulisi käyttää resurssien ylärajoina. Tällä oletuksella kivihiilen tuotanto olisi suurimmillaan noin vuonna 2025 ja alkaisi tämän jälkeen vähentyä.

Taulukko 4. Kivihiilen (*hard coal*) reserviarvioita maittain (raportista EWGb 2007, alkuperäinen lähde BP).

Mt	USA	China	India	FSU	Australia	S.Africa	Germany	Poland	UK
1987	131971	156400	12610	108800	29138	58404	23919	28300	9000
1988	131971	156400	12610	108800	29138	58404	23919	28300	9000
1989	131971	156400	12610	108800	29138	58404	23919	28300	9000
1990	129543	152831	60098	102496	44893	54811	23698	28182	8602
1991	129543	152831	60098	102496	44893	54811	23698	28182	8602
1992	112668	62200	60648	104000	45340	55333	23919	29600	3300
1993	112668	62200	60648	104000	45340	55333	23919	29600	3300
1994	106495	62200	68047	104000	45340	55333	23919	29100	2000
1995	106495	62200	68047	104000	45340	55333	24000	29100	2000
1996	106495	62200	68047	104000	45340	55333	24000	29100	2000
1997	106495	62200	68047	104000	45340	55333	24000	29100	2000
1998	111338	62200	72733	96476	47300	55333	24000	12113	1000
1999	111338	62200	72733	96476	47300	55333	24000	12113	1000
2000	111338	62200	72733	96476	47300	55333	24000	12113	1000
2001	115891	62200	82396	96362	42550	49520	23000	20300	1000
2002	115891	62200	82396	96362	42550	49520	23000	20300	1000
2003	115891	62200	82396	96362	42550	49520	23000	20300	1000
2004	111338	62200	90085	93513	38600	48750	183	14000	220
2005	111338	62200	90085	93513	38600	48750	183	14000	220
2006	112261	62200	52240	92609	37100	48000	152	6012	155

5.3 Hiilen tuotanto

Hiilen kokonaistuotanto oli vuonna 2007 3 135 mtoe (miljoonaa öljykvivalenttitonnia). Kiina oli suurin hiilen tuottaja 41 %:n osuudellaan; seuraavaksi suurimmat tuottajat olivat Yhdysvallat (19 %) ja Australia (7 %) (kuva 29).



Kuva 29. Kivihiilen tuotanto vuonna 2007 (data BP).

Seuraavassa esitetään joidenkin tuottaja-alueiden ja -maiden hiilentuotannon näkymiä. Tiedot hiilivaroista perustuvat BP:n julkaisuihin, ja myös kuva 30 on piirretty BP:n datan perusteella. Muuten lähteenä on käytetty raporttia *The Future of Coal* (EC JRC 2007).

Euroopan oma kivihiilen tuotanto tulee lähivuosina edelleen pienentymään. Euroopan kivihiilivaroja on hyödynnetty jo toistasataa vuotta, ja taloudellisesti hyödynnettävät varat on jo suurelta osin käytetty (EU:n bitumisen hiilen varat vuonna 2007 olivat 8 400 Mt). Jäljellä olevien eurooppalaisten varojen käyttö on kalliimpaa kuin hiilen tuonti ulkomailta. Esimerkiksi Saksassa kotimaista kivihiiliteollisuutta on tuettu raskaasti, mutta hiilivarojen ehtyessä tuet lopetetaan. Ligniitin tilanne on erilainen: useissa Euroopan maissa on suuria ligniittiesiintymiä (yhteensä 21 100 Mt vuoden 2007 lopussa). Eurooppalainen ligniitin tuotanto onkin viime vuosina kasvanut.

Australia on suurin hiilen viejämaa. Sen osuus höyryhiilen maailmankaupasta on noin 20 %, ja osuus maailman koksishiilikaupasta on vielä suurempi, noin 51 % (WCI 2005). Australian hiilivarat vuoden 2007 lopussa olivat 37 100 Mt kivihiiltä ja 39 500 Mt ruskohiiltä. Hiiltä voidaan Australiassa kaivaa avoimilla kaivoksilla, ja tuotantokustannukset ovat edulliset. Vuoden 2007 tuotannolla hiilivarojen R/P-suhde on 194 vuotta. Suurin osa Australian hiilentuotannosta menee vientiin.

Indonesia alkoi viedä hiiltä 1990-luvun alkupuolella. Sen hiilen tuotanto on tämän jälkeen kasvanut eksponentiaalisesti, sillä Indonesian hiilivaroja voidaan hyödyntää avoimilla kaivauksilla, jolloin pääomakustannukset ovat kohtuullisen pienet. Helposti hyödynnettävät varat ovat vähentyneet voimakkaasti: R/P-suhde on pienentynyt vuoden 2000 68 vuodesta 25 vuoteen vuonna 2007. Indonesian hii-

5. Hiili

lentuotantoon tarvitaan suuria investointeja, jotta vientiä voitaisiin ylläpitää helposti hyödynnettävien varojen ehtyessä.

Etelä-Afrikan paikannetut hiilireservit olivat 48 000 Mt vuoden 2007 lopussa ja R/P suhde 178 vuotta. Hiilivaroja on hyödynnetty jo pitkään, ja Etelä-Afrikka on yksi suurimmista hiilen viejistä. Useiden nykyisten hiilikaivosten varat ovat ehtymässä, ja uusien kaivosten kehittäminen tulee olemaan nykyistä kalliimpaa.

Indonesian tavoin Etelä-Amerikan maat ovat melko uusia toimijoita höyryhiilimarkkinoilla. Suurin tuottaja on Kolumbia (reservit vuoden 2007 lopussa 7 000 Mt, tuotanto 72 Mt, R/P-suhde 97 vuotta), seuraavaksi suurin on Venezuela (reservit vuoden 2007 lopussa 500 Mt, tuotanto 8 Mt, R/P-suhde 60 vuotta). Näiden kahden maan hiilen laatu on hyvää, ja maat ovat lähellä suuria Yhdysvaltain ja Euroopan markkinoita. Hiilen tuotanto Venezuelassa on kustannuksiltaan maailman edullisinta.

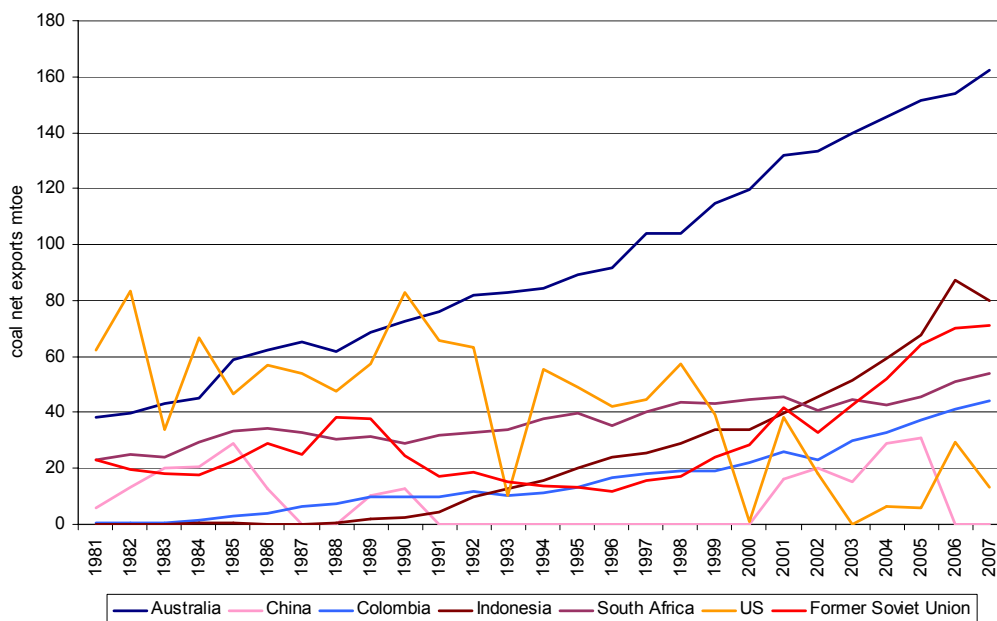
Kiinan kivi- ja ruskohiilen reservit ovat maailman suurimmat, ja se on ehdottomasti suurin hiilen tuottaja 40 % osuudella koko maailman tuotannosta. Suurin hiilen käyttökohde Kiinassa on sähkön-tuotanto. Pienikin muutos Kiinan hiilen tuotannossa tai käytössä vaikuttaa hiilen maailmanmarkkinoihin. Kiinan hiilen vienti on vaihdellut viime vuosina voimakkaasti, ja näkemykset siitä tulevaisuudessa vaihtelevat. *EC JRC 2007* -raportissa katsotaan, että Kiina muuttuu lähivuosina höyryhiilen netto-tuojaksi; metallurgisen hiilen osalta Kiina on ollut tuonnista riippuvainen jo vuodesta 2004. Kiinan hiilivarojen kehittäminen on hidasta, sillä valtaosa hiilestä on syvällä (keskimäärin 330 metriä maan pinnan alla). Tällaisten varojen kehittäminen kestää keskimäärin 4–5 vuotta. Toisekseen Kiina on suosinut kotimaisia laitevalmistajia, eivätkä nämä edes yhdessä ulkomaisten laitevalmistajien kanssa pysty vastaamaan kaivosteollisuuden kasvun luomiin tarpeisiin.

Kiinalaiset hiilivarat ovat heikkolaatuisia, eikä niiden hyödynnettävyyssaste ole kovin suuri. Lisäksi suurimmat esiintyvät sijaitsevat maan pohjoisosissa kaukana etelän kulutuksesta. Etelä-Kiinan rannikkoalueille onkin taloudellisempaa tuoda hiiltä Australiasta, Etelä-Afrikasta tai Indonesiasta kuin omilta tuotantoalueilta pohjoisesta.

Entisen Neuvostoliiton alueella on suuret hiilivarat. Venäjän, Kazakstanin ja Ukrainan kivihiilivarat ovat 20 % ja ruskohiilivarat 30 % maailman kokonaisreserveistä. Venäjän hiilen vienti on viime vuosina kasvanut, mutta Kazakstanin pysynyt suurin piirtein samalla tasolla. Ukraina on hiilen nettotuojaa. Venäjän hiilivarojen vientiä hidastaa esiintymien sijainti maan keskiosissa. Hiili pitäisi kuljettaa vientiin rautateitse, mutta Venäjän rautatieverkosto on huonossa kunnossa. Venäjän hiilivarojen odotetaan menevän kotimaiseen käyttöön, ja näin ollen Venäjä tulee vapauttamaan maakaasua ja öljyä vientiin.

Yhdysvaltojen hiilireservit ovat maailman suurimmat (reservit vuoden 2007 lopussa 242 800 Mt, R/P-suhde 234 vuotta, tuotanto 1 040 Mt), ja se on maailman toiseksi suurin hiilen käyttäjä. 90 % kotimaisesta hiilen tuotannosta menee sähköntuotantoon. Yhdysvaltojen tähän mennessä käytetyt hiilivarat ovat olleet esiintymissä helposti hyödynnettävissä. Tulevaisuudessa hiilen tuotantoa joudutaan laajentamaan teknisesti hankalampiin ja kalliimpiin kohteisiin.

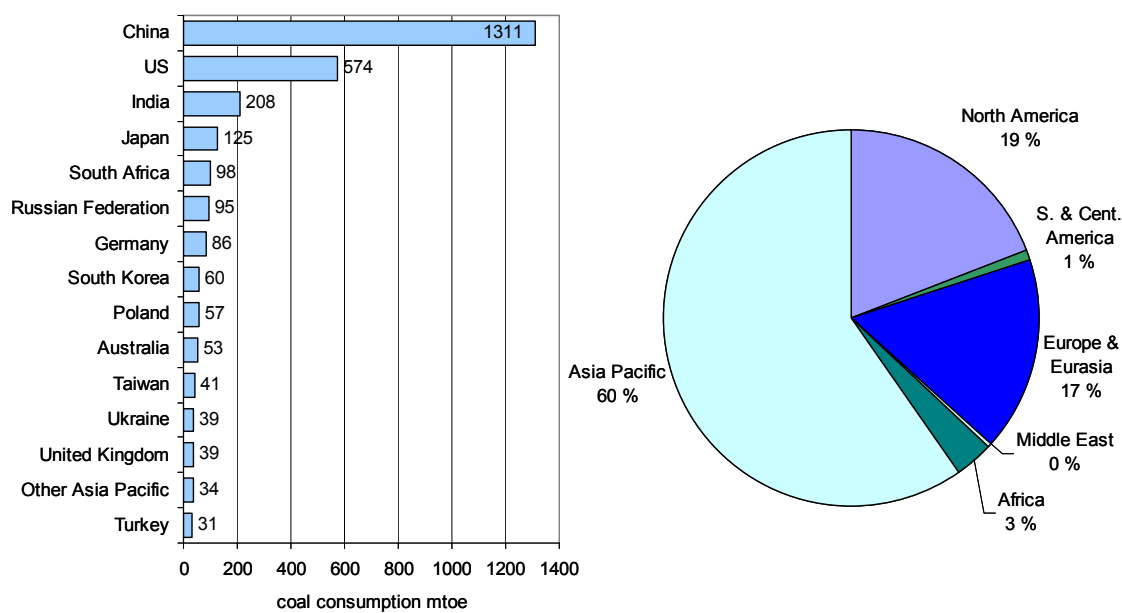
Intialla on maailman neljänneksi suurimmat hiilireservit (reservit vuoden 2007 lopussa 56 500 Mt, R/P-suhde 118 vuotta, tuotanto 450 Mt). Intian kivihiilireserviarviota pienennettiin voimakkaasti vuonna 2006. Intian hiili on heikkolaatuista, sillä hiilen lämpöarvo on pieni korkean tuhka- ja kosteuspitoisuuden takia. Intialaista hiiltä ei kannata viedä suurina määriä ulkomaille sen huonon lämpöarvon takia.



Kuva 30. Eräiden maiden hiilen nettovienti vuosina 1981–2007.

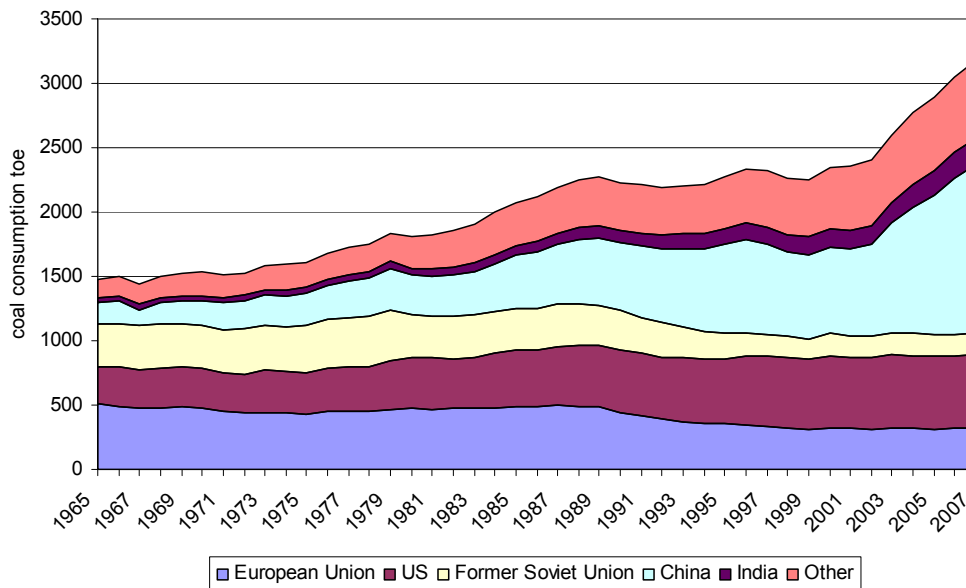
5.4 Hiilen kysyntä

Kivihiiltä käytettiin vuonna 2007 maailmanlaajuisesti 3200 mtoe. Suurimmat kivihiilen käyttäjät olivat Kiina (41 %), USA (18 %), Intia (7 %), Japani (4 %) ja Etelä-Afrikka (3 %) (kuva 31).



Kuva 31. Hiilen käyttö vuonna 2007 (data BP 2008).

5. Hiili



Kuva 32. Hiilen kulutus vuosina 1965–2007 (data BP).

Kivihiilen kysyntä on kasvanut viime vuosina erittäin voimakkaasti (kuva 32) – erityisen voimakasta on ollut Kiinan kivihiilen käytön kasvu. Sekä EIA että IEA ennakoivat kivihiilen käytön kasvavan edelleen. EIA:n *International Energy Outlook 2008* -julkaisun mukaan kivihiilen kulutus kasvaa 65 % vuosina 2005–2030 (EIA 2008b). Hiilen osuus maailman energiankysynnästä kasvaa EIA:n mukaan 27 %:sta (2005) 29 %:iin (2030). Kivihiilen käyttö kasvaa ennusteen mukaan 2,6 % vuodessa välillä 2005–2015, minkä jälkeen kasvu hidastuu 1,7 %:iin vuodessa ajalla 2015–2030.

IEA ennakoii hiilen käytön kasvavan 1,8 %:n vuosivauhdilla välillä 2004–2030. Hiilen käyttö lisääntyy 32 % vuoteen 2015 mennessä ja 59 % vuoteen 2030 mennessä. Hiilen käytön kasvu on siis hieman pienempää kuin EIA:n ennusteissa. Suurin osa hiilen käytön kasvusta tulee Kiinasta ja Intiasta, jotka yhdessä vastaavat kahdesta kolmasosasta hiilen käytön kasvusta välillä 2004–2030. Sähköntuotannon osuus hiilen käytöstä kasvaa 68 %:sta (v. 2004) 73 %:iin vuonna 2030.

Hiilen käytön kasvuun vaikuttavat muun muassa oletukset talouden kehityksistä sekä energia- ja ilmastopolitiikasta. Hiilen käytön kasvu kehittyneissä valtioissa riippuu hyvin voimakkaasti ilmastohilintätoimista ja puhtaaseen hiilen käyttöön liittyvien tekniikoiden kehittymisestä. Hiilen kysyntä energiantuotannossa riippuu pitkälti siitä, miten hiilidioksidin erotuksen ja varastoinnin (CCS) suuren mitakaavan demonstraatioprojektit onnistuvat ja millä lailla varastointiin liittyvät lainsäädännölliset esteet saadaan kumottua. EU on hyväksynyt direktiivin, joka velvoittaa, että kaikki uudet suuren kokoluokan fossiilista polttoainetta käyttävät energialaitokset ovat ns. *capture ready* -laitoksia, jotta hiilidioksidin erotuslaitos voidaan jälkiasentaa, mikäli siitä tulee kaupallista teknologiaa.

5.5 Hiilimarkkinat

Hiilen kuljetuskustannukset ovat melko suuret verrattuna energiasisältöön, joten kuljetukset pyritään minimoimaan. Noin 85 % hiilen kokonaistuotannosta käytetään tuotantomaassa ja noin 15 % viedään. Silti hiili on maailman eniten kuivarahdattu hyödyke. Globaalit hiilimarkkinat ovat käytännössä jakau-

tuneet kahteen alueeseen, Atlantin ja Tyynenmeren markkinoihin. Atlantin markkinoilla suurimmat hiilen ostajat ovat Iso-Britannia, Saksa ja Espanja. Tyynenmeren markkinoilla toimivat suuret kehittyvät taloudet, suurimpina ostajina Japani, Korea ja Kiinan Taipei. Markkinoiden välilläkin käydään kauppaa – eniten silloin, kun hiilen hinta on korkea. Suurin kivihiilen viejä on Australia, jonka nettovienti oli vuonna 2007 noin 160 mtoe. Australian hiili menee lähinnä Tyynenmeren markkina-alueelle, mutta jos hiilen hinta Atlantin markkinoilla on korkea, tuodaan hiiltä Australiasta Eurooppaan. Näin Australian hiilen hinta tasapainottaa markkinoiden hintojen eroja.

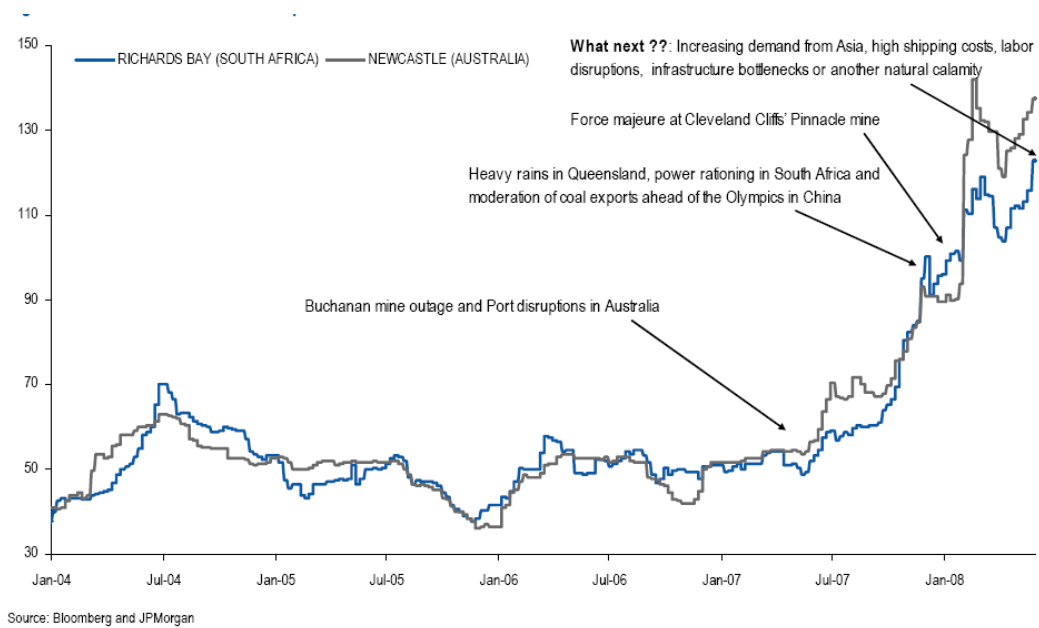
Hiilellä ei ole yhtä maailmanmarkkinahintaa, sillä kuten yllä esitettiin, markkinat ovat jakautuneet kahdelle alueelle. Lisäksi eri hiililaaduilla on erilliset markkinat, suurimpina näistä höyryhiilen ja koksahiilen markkinat. Hiilen hinta ilmoitetaan yleensä FOB-lukuna. FOB on lyhenne sanoista *Free On Board*: 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 määränpäähän. Euroopassa määräsatama voi olla esimerkiksi ARA (Antwerp/Rotterdam/Amsterdam), jolloin hiilen hintaan sisältyy toimitus johonkin näistä Euroopan suurista satamista.

Vaikka kivihiilivarat ovat suhteessa maakaasuun ja öljyyn laajimmalle levinneet, ovat markkinat alttiit tuotantohäiriöille. Hiilen maailmankauppa on vain muutaman suuren tuottajan hallussa (ks. kuva 30 hiilen nettoviennistä). Vuosina 2007 ja 2008 koettiin useita tuotantohäiriöitä, joita olivat muun muassa

- Etelä-Afrikka 2007: sähkökatkokset hiilikaivoksilla
- Venäjä 2007: puute hiilikuljetusvaunuista
- Australia 2008: tulvat hiilikaivoksilla, liian pieni satamapasiteetti
- Kiina 2008: lumitilanne, ongelmat junakuljetuksissa (hiilen vienti keskeytettiin tilapäisesti).

JP Morgan (2008) on analysoinut hiilen hintakehitystä ja hintaan vaikuttaneita tuotantohäiriöitä (kuva 33). Kehittyvien talouksien Kiinan ja Intian hiilen kysyntä on kasvanut erittäin voimakkaasti, mutta hiilen tuotantokapasiteetti ei ole kasvanut vastaavasti. JP Morgan ennustaa, että hiilen kysyntä- ja tarjontatilanne jatkuu tiukkana ainakin kaudelle 2010/2011, jolloin Australiaan saadaan lisää satamapasiteettia. Taulukossa 5 esitetään JP Morganin seuraaville vuosille laatima hiilen hintaennuste.

5. Hiili



Kuva 33. Hiilen hintakehitys vuosina 2004–2008 (JP Morgan 2008).

Taulukko 5. JP Morganin hiilen hintaennuste (JP Morgan 2008).

\$/t	2007	2008E	2009E	2010E	2011E	Long term
Hard Coking	98,4	300	300	250	175	100
Semi-soft Coking	62,0	250	200	150	120	80
Thermal	55,7	125	150	125	100	70

* Pitkän aikavälin hintaennuste vuoden 2008 taaloissa. Hintaennuste on hiilelle FOB Australiassa.

6. Ydinpolttoaineresurssit

6.1 Konventionaaliset ja epäkonventionaaliset uraaniresurssit

OECD Nuclear Energy Agency (NEA) ja International Atomic Energy Agency (IAEA) julkaisevat säännöllisesti ydinpolttoaineresursseja käsittelevän kirjan, joka tunnetaan nimellä *Red Book*. Vuonna 2008 julkaistussa *Red Bookissa* (OECD 2008) arvioidaan, että konventionaaliset uraaniresurssit riittäisivät vuoden 2006 kulutuksella vähintään sadaksi vuodeksi. Lisääntyneen uraanipolttoaineen kysynnän ja uraanin korkeamman markkinahintatason ansiosta 2000-luvulla on investoitu aktiivisesti uraanin etsintään, jolloin identifioidut uraaniresurssit ovat kasvaneet. Toisaalta reservien riittävyysarviot riippuvat merkittävästi uraanin käyttöteknologiasta. Sadan vuoden arviossa oletetaan, että uraani käytetään tyypillisissä kevytvesireaktoreissa (LWR, *once through*) ja että tunnetun uraaniresurssin suuruus on 5,5 Mt (2 700 EJ) hintatasolla 130 US\$/kg. Konventionaalisia uraaniresursseja on arvioitu olevan yhteensä 16 MtU (8 000 EJ), mikä riittäisi noin 300 vuodeksi nykykulutuksella kevytvesireaktorilaitoksissa. Toisaalta ainoastaan pieni osuus isotoopin U-235 energiasisällöstä (0,7 % luonnonuraanista) hyödynnetään. Suljetun polttoainekierron ydinteknologioissa käyttämätön uraani ja plutonium hyödynnetään, jolloin uraanivarat riittäisivät nykykulutuksella jopa tuhansiksi vuosiksi. FNR-reaktorit (*Fast-spectrum Reactors*) käyttävät myös köyhdytettyä uraania. Ainoastaan plutoniumia täytyy kierrättää, jolloin uraanin hyötykäyttö kasvaa kolmekymmentäkertaiseksi (OECD 2001) ja konventionaalisen uraaniresurssin primäärienergiasisältö arvoon 240 000 EJ. Mikäli oletetaan, että tulevaisuudessa käytettäisiin hyötöreaktoreita, uraaniresurssin käyttötehokkuus lisääntyisi vielä lisäkerroimella kahdeksan, koska hyötöreaktorit voivat käyttää paitsi köyhdytettyä uraania myös kaikkia muita aktinideja (OECD 2006, VTT 2009).

Epäkonventionaalisia uraaniresursseja ovat fosfaattimineraalit (22 MtU) sekä meriveden sisältämä uraani (4 200 MtU). Fosfaattimineraalien uraanin tuotantokustannukset ovat luokkaa 60–100 US\$/kg (OECD 2004). Meriveden uraanipitoisuus on hyvin alhainen, joten myös kyseisen uraanin tuotantokustannukset nousevat hyvin suuriksi.

Ydinvoimalat voisivat käyttää polttoaineena myös toriumia, jonka resurssit (*proven and probable*) on arvioitu 4,5 Mt:n suuruisiksi (OECD 2004). Toriumia hyödyntäviä reaktoreita ei ole kehitetty, joten toriumin hyödynnettävyys on epävarmaa. Mikäli torium lasketaan mukaan ydinpolttoaineresursseihin, niiden määrä kaksinkertaistuisi. Toriumia löytyy runsaasti Intiasta ja myös esimerkiksi Norjasta, jossa tutkittiin 2000-luvun alussa mahdollisuuksia hyödyntää toriumia energianlähteenä. Valtionhallinnon asettaman komitean johtopäätös oli, että tietämys toriumia hyödyntävän ydinvoimateknologian tule-

6. Ydinpolttoaineresurssit

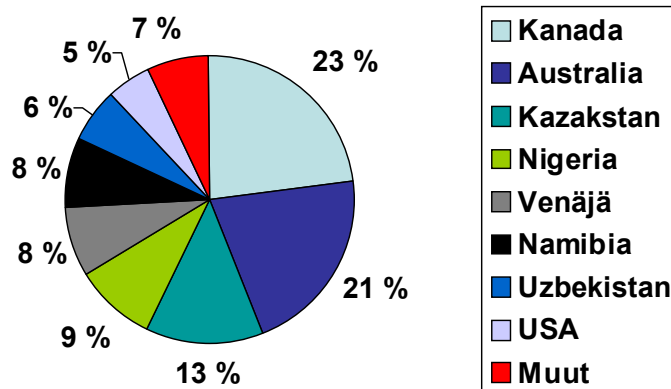
vaisuudesta on vielä liian heikkoa sekä geologinen epävarmuus vielä liian suurta potentiaalın arviointiin. Komitea suositteli kuitenkin, että toriumoptio pidettäisiin edelleen avoimena (VTT 2009).

6.2 Uraanin tuotanto ja kysyntä

Uraanireservit ovat melko laajalle levinneet, kuten hiilireservitkin. Uraania louhitaan nykyään kahdeskymmenessä maassa; uusin uraanintuottajamaa on Iran. Kanada ja Australia tuottavat yhteensä 44 % maailman uraanista. Muita suuria uraanintuottajia ovat muun muassa Kazakstan, Nigeria ja Venäjä. Kuvassa 34 näkyvät uraanin suurimmat tuottajamaat (OECD 2008).

Uraanin etsinnän investoinnit kasvoivat yli 250 % vuosien 2004–2006 aikana, ja etsintään käytettiin yli 770 miljoonaa US\$ vuonna 2006. Vaikka uraanin tuotanto väheni 6 % vuodesta 2005 vuoteen 2006, tuotanto lisääntyi merkittävästi Kazakstanissa ja Yhdysvalloissa (OECD 2008).

Kiina, Intia, Korea, Japani ja Venäjä rakentavat uutta ydinvoimaa, kun taas monessa Euroopan maassa, kuten Ruotsissa ja Saksassa, ydinvoimaa saatetaan ajaa alas voimaloiden ikääntyessä. Toisaalta kyseissä maissa ydinvoimamyönteisyys on lisääntynyt. *Red Book* (OECD 2008) ennustaa, että ydinvoimakapasiteetti kasvaa lähivuosikymmeninä voimalaitosten uusimisten sekä uusien voimaloiden rakentamisen myötä. Vuoden 2030 kulutus kasvaisi siten varovaisenkin arvion mukaan 38 % ja rohkemmin arvioiden noin 80 %.



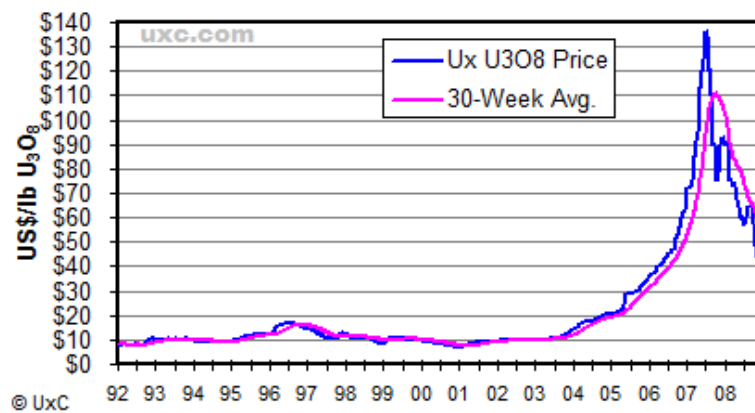
Kuva 34. Suurimmat uraanintuottajamaat (OECD 2008).

6.3 Uraanimarkkinat

Uraanille ei ole omaa markkinaa tai markkinapaikkaa kuten fossiilisille polttoaineille. Uraanin hintaindikaattorit muodostavat pienet, yksityiset yritykset, jotka seuraavat uraanin markkina-aktiiviteetteja kuten osto- ja myyntitarjouksia sekä transaktioita. Pisimpään käytössä ollut hintaindikaattori on UxU_3O_8 Price[®], jota on käytetty parin vuosikymmenen ajan. UxU_3O_8 Price[®] -indikaattoria käyttää paitsi teollisuus myyntisopimuksissaan myös Yhdysvaltojen hallitus määrittäessään hintasidonnaisia kiintiöitä sekä arvioidessaan uraanin hintaa Yhdysvaltojen ja Venäjän välisissä korkea-aktiivisen uraanin kaupoissa.

Kuvasta 35 nähdään, että uraanin hinta oli hyvin vakaa vuoteen 2005 asti, jonka jälkeen se lähti rajuun nousuun saavuttaen huippunsa vuoden 2007 puolivälissä. Vuoden 2008 ja 2009 vaihteessa uraanin hinta (UxU_3O_8) oli noin 50 US\$/lb (naula), joka vastaa pitkän ajan hintatasoa ilmaistuna vuoden 2007 dollareissa. Uraanin primäärilähteiden ja yritysten varastojen lisäksi on ollut tarjolla myös muita uraanilähteitä, kuten kierrätetty uraani ja plutoniumi, rikastettu uraani sekä purettujen ydinaseiden plutoniumi. Vuoteen 2005 asti kyseisten sekundäärilähteiden hinnat pysyivät alhaisina, mutta vuoden 2005 jälkeen uraanin kysyntä kasvoi voimakkaasti, jolloin myös sen hinta lähti rajuun nousuun. Vuoden 2008 hintalasku selittyy ainakin osaksi talouslamalla: toisaalta energian kysyntä pieneni ja toisaalta yritykset ilmoittivat ydinvoimalaprojektien viivästyemisestä.

Ux U_3O_8 vs. 30-Week Moving Average Prices



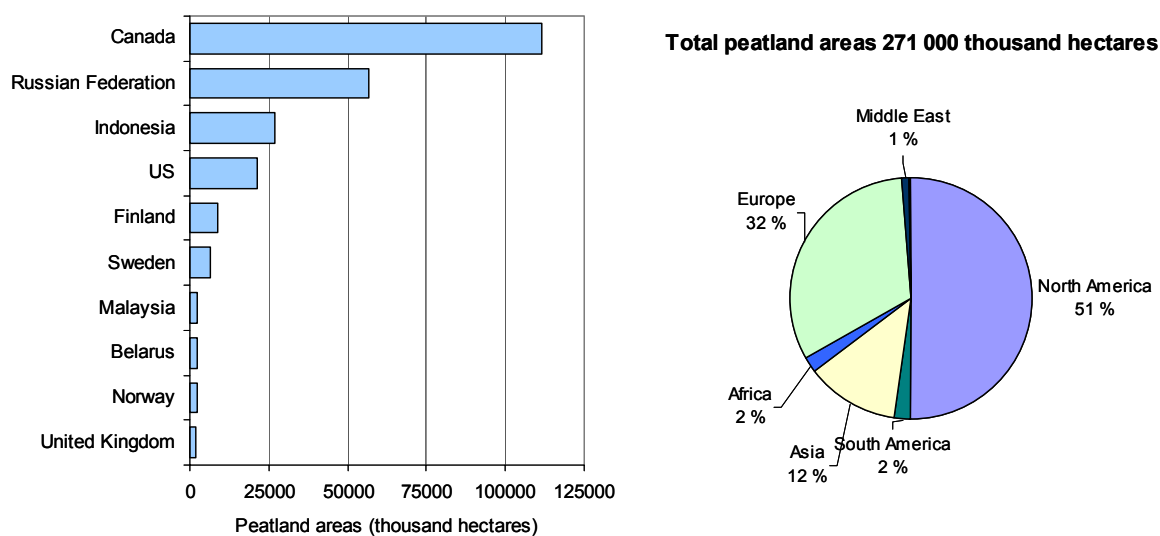
Kuva 35. Uraanin hintakehitys (The Ux Consulting Company, LLC http://www.uxc.com/review/uxc_g_30wk-price.html).

7. Turve

Turve on muodostunut fossiilisten polttoaineiden tavoin orgaanisesta materiaalista mutta huomattavasti lyhyemmässä ajassa, minkä vuoksi turve sisältää vain osittain hajonnutta biomateriaalia. Esimerkiksi Suomen turvesuot ovat muodostuneet jääkauden jälkeisen 10 000 vuoden aikana. Jotta maa-ala luokiteltaisiin turvemaaksi, turvekerroksen paksuus tulee olla vähintään 20 cm ojitetulla maa-alalla ja vähintään 30 cm ojittamattomalla maa-alalla, pois lukien elävä kasvusto. Turvereservien suuruus arvioidaan yleisesti pinta-alana, koska arviot perustuvat lähtökohtaisesti soiden yleiseen kartoittamiseen sekä kaukokartoitukseen. Toisaalta turve-esiintymien energiasisältöjen määrittäminen on mahdotonta, sillä vaikka turve-esiintymän paksuus ja pinta-ala olisivatkin tiedossa, riippuu energiasisältö myös turpeen kosteudesta ja tuhkapitoisuudesta. Turpeen kuiva-aineella on kuitenkin suhteellisen vakio lämpöarvo (20–22 MJ/kg), joten jos turpeen tilavuus, kosteus ja tuhkapitoisuus tunnetaan, voidaan turveresurssin energiasisältö laskea (WEC 2007, Turveteollisuusliitto 2009). Tässä raportissa on kuitenkin esitetty ainoastaan turveresurssien jakaantuminen pinta-aloina.

7.1 Turveresurssit

Maailman turvesuopinta-alaksi on arvioitu yli 2,7 miljoonaa km² eli noin 2 % maapallon maapinta-alasta (Lappalainen 2006). Kuvasta 36 näkyy turvesoiden alueellinen jakautuminen. Kuvasta nähdään, että suurimmat turvereservit sijaitsevat Kanadassa, Venäjällä sekä Indonesiassa. Euroopan turvesoiden yhteenlaskettu pinta-ala pois lukien Venäjä on noin 31 miljoonaa hehtaaria. Suomessa turvesoita on noin 8,9 miljoonaa hehtaaria eli noin 29 % Suomen maa-alasta. Euroopassa turvekerroksen paksuuden on arvioitu olevan keskimäärin 1,57 m ja muilla mantereilla keskimäärin 1,3–1,4 m. Sen kokonaistilavuudeksi on laskettu suuntaa-antavasti noin 3 500–4 000 miljardia m³ (Lappalainen 1996, WEC 2007).



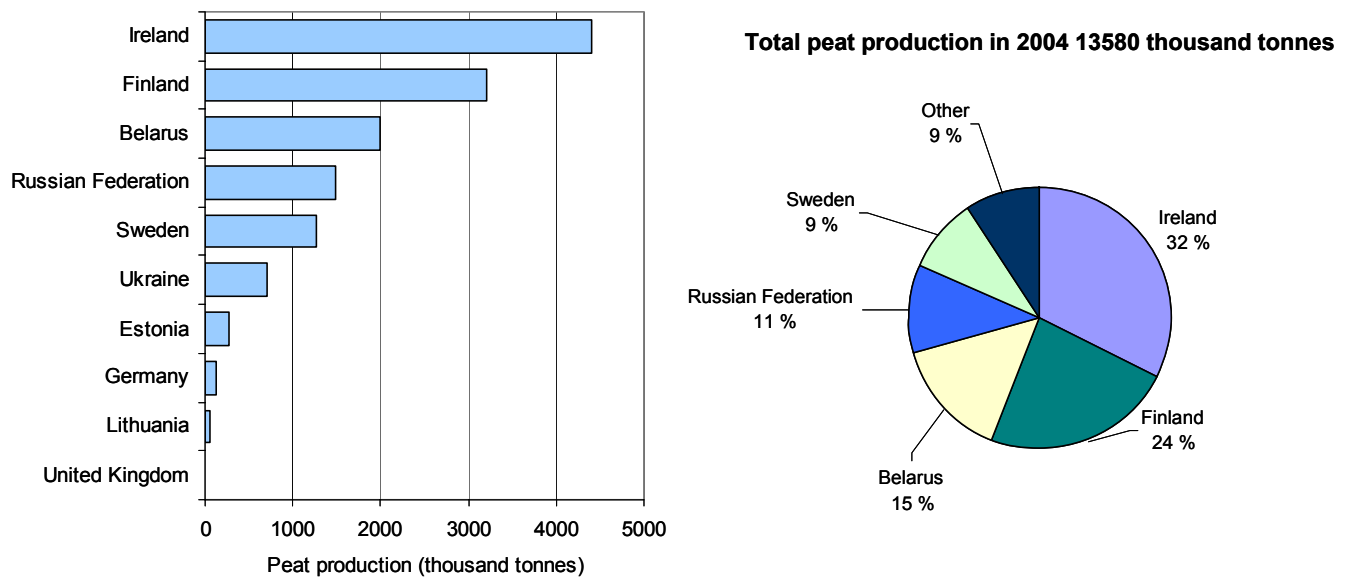
Kuva 36. Maailman arvioidut turvereservit turvesuopinta-alana ilmaistuna. Turvesoiden kokonaispinta-ala on noin 271 miljoonaa hehtaaria (data WEC 2007).

7.2 Turpeen tuotanto

Suot ovat perinteisesti olleet ”joutomaata”, jonka hyödyntäminen polttoaineena tai maa- ja metsätaloudessa on edellyttänyt ojitusta ja usein muitakin maanparannustoimia. Kiinnostus paksuturpeisten soiden hyödyntämiseen turvetuotannossa ja ravinnerikkaiden soiden ojitukseen maa- ja metsätalouden käyttöön on kuitenkin lisääntymässä. Kuvassa 37 esitetään kymmenen suurinta turpeen tuottajamaata perustuen vuoden 2004 tilastoihin (WEC 2007). Tuotantoluvuissa tulee huomioida, että turpeen tuotanto vaihtelee vuosittain suuresti sääolojen mukaan, sillä turpeen kuivaus vaatii kuivaa ja lämmintä säätä. Kuvasta nähdään, että turpeen tuotanto keskittyy Eurooppaan. Kanada, jolla on suurimmat turvevarannot, ei hyödynnä reservejään lainkaan. Melko suuria, yhtenäisiä suoalueita on otettu siellä suojelun piiriin.

Suomessa energiaturvetta tuotettiin hyvin sateisena kesänä 2008 13,5 TWh (terawattituntia) normaalituotannon ollessa 22–24 TWh (yksi TWh on noin miljoona kuutiometriä turvetta). Kesä 2007 oli ollut yhtä märkä kuin kesä 2008, ja tämä johti turvevarastojen ehtymiseen. Laki turpeen turvevarastoista otettiin Suomessa käyttöön vuonna 2006, jolloin turvetta varastoitettiin lain sallima maksimimäärä 10 miljoonaa kuutiometriä. Se ei kuitenkaan riittänyt kattamaan kahta sadekesää, minkä vuoksi turvetta käytettäviä energialaitoksia jouduttiin ajamaan alas.

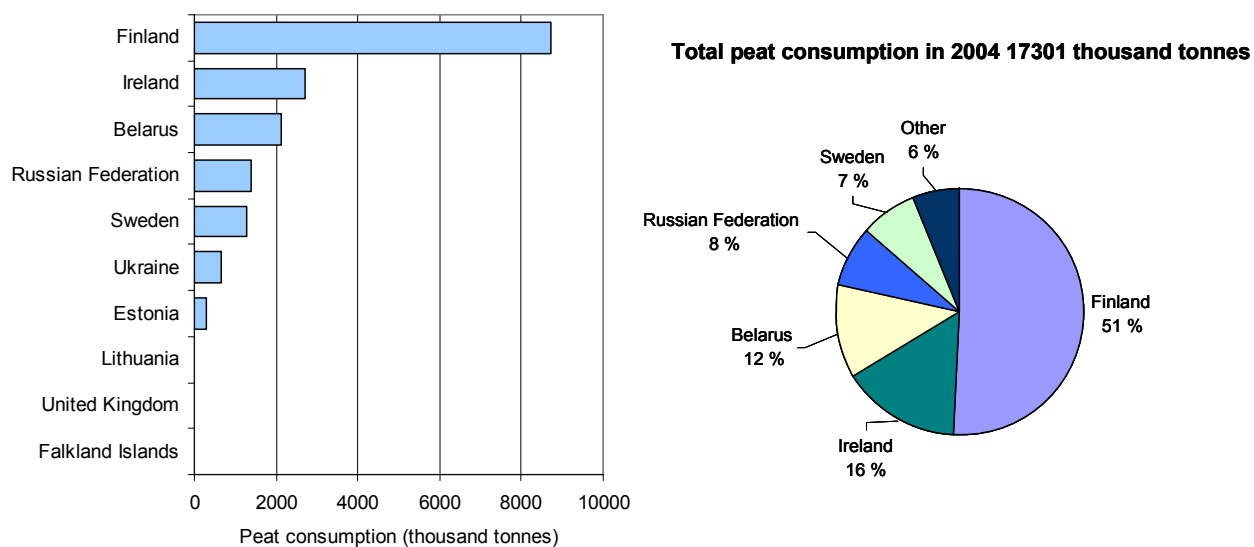
7. Turve



Kuva 37. Turpeen tuotanto vuonna 2004 (ei huomioitu muuta kuin energiantuotantokäyttö) (data WEC 2007).

7.3 Turpeen käyttö

Kuvassa 38 on esitetty suurimmat turpeenkäyttäjävaltiot. Ylivoimaisesti suurin turpeen käyttäjä on Suomi, mutta myös muissa Euroopan valtioissa turvetta käytetään. Lukuun ottamatta Suomea ja Irlantia vuosituotanto vastasi vuosikulutusta vuonna 2004 Euroopassa. Turpeen kulutus onkin yleisesti ottaen huomattavasti vakaampaa kuin tuotanto turpeen varastoinnin ansiosta, koska huonoina turpeen tuotantovuosina tuotantovajetta voidaan korvata varastoilla. Erityisesti Suomessa ja Ruotsissa turpeen käyttö riippuu tosin myös päästöoikeuden hintatasosta, mikä näkyi esimerkiksi vuoden 2005 energiatalastoista. Tuolloin päästöoikeuden hinta oli keskimäärin yli 20 €/t/CO₂, minkä vuoksi turvetta korvattiin energian tuotannossa biomassalla. Nykyään turvelauhdesähkön tuotantoa tuetaan Suomessa syöttötariffilla.



Kuva 38. Turpeen käyttö polttoaineena vuonna 2004 (data WEC 2007).

Turvetta käytetään myös muuhun kuin energiantuotantoon, esimerkiksi maataloudessa ja puutarhoissa (kasvualusta, maanparannusaine, kompostin lisäaine) sekä kemianteollisuudessa (aktiivihiilen sekä hartsin ja vahojen tuotanto, kylpyläkäyttö). Tämä on kuitenkin vähäistä verrattuna energiakäyttöön. Vuonna 2004 CHP- ja lauhdelaitokset käyttivät turvetta 69 % ja yhdyskuntien lämpökattilat 8 %. 15 % turpeesta meni brikettien tuotantoon, 6 % teollisuuteen ja 2 % muuhun käyttöön.

8. Biopolttoaineet

Bioenergian käyttöön energianlähteenä on viimeisen vuosikymmenen aikana kiinnitetty erityistä huomiota. Bioenergian käyttö ei kiihdytä kasvihuoneilmiötä niin kauan kuin sen käyttö on hallittua. Viime vuosina on tosin kiinnitetty huomiota kasvihuonekaasupäästöihin, jotka voivat aiheutua esimerkiksi maankäytön muutosten seurauksena.

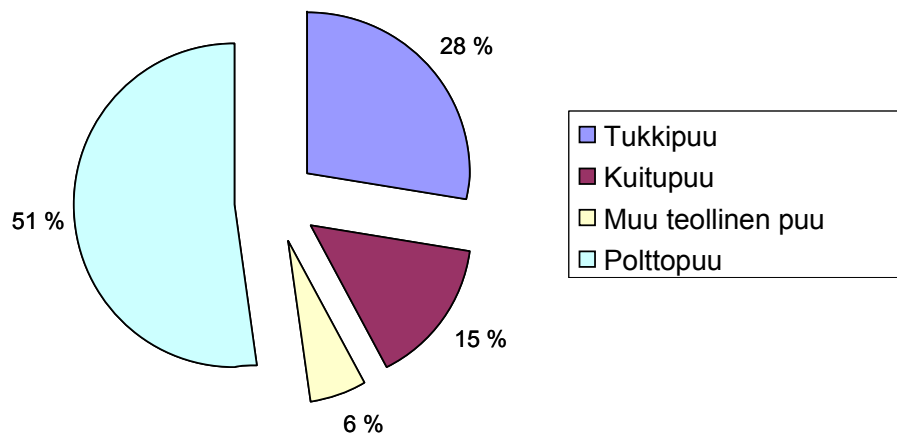
8.1 Metsäbiomassa

Metsiin liittyvää energiaa on hyödynnetty perinteisillä tavoilla hyvin pitkään ruuan valmistuksessa ja asuntojen lämmityksessä. Maailmanlaajuisesti katsoen polttopuun käyttö muodostaa valtaosan puun energiakäytöstä. FAO:n tilastojen mukaan vuonna 2006 maailmassa käytettiin puuta (kuoretonta) runsaat 3,5 miljardia m³ (taulukko 6). Teollisen puun käytöstä yli 60 % oli havupuuta. Polttopuun käytössä lehtipuulla on lähes 90 %:n osuus. Kuvassa 39 esitetään vuoden 2006 puun käytön jakauma.

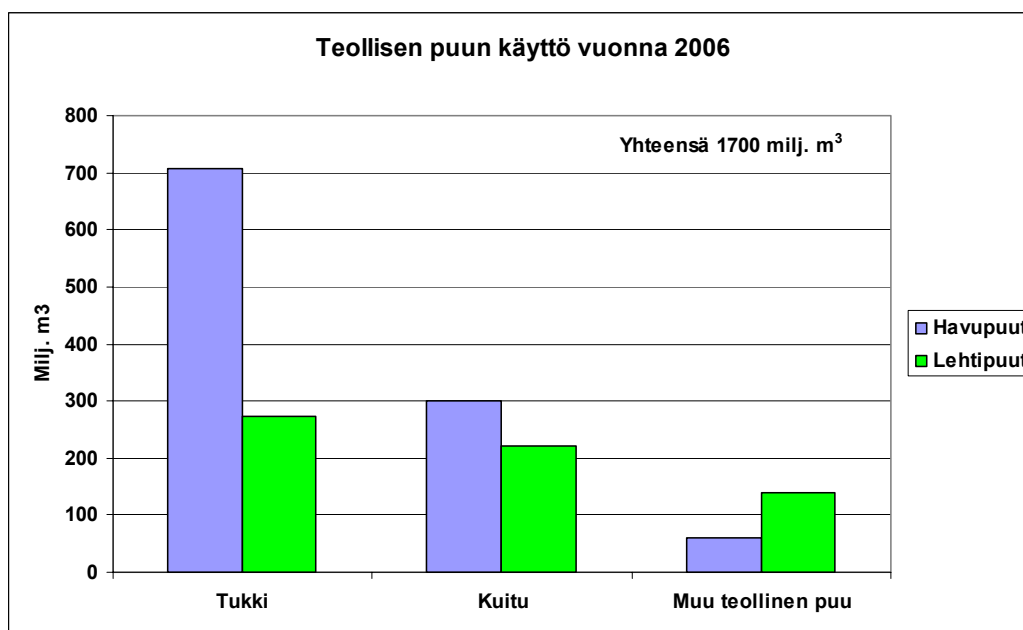
Taulukko 6. Maailman puun käytön jakautuminen teolliseen ja polttopuuhun sekä havu- ja lehtipuuhun, yksikkönä miljoonaa m³ (data FAO 2006).

	Havupuut	Lehtipuut	Yhteensä	Havupuu %	Lehtipuu %
Teollinen puu	1070	630	1700	63 %	37 %
Polttopuu	212	1650	1861	11 %	89 %
Yhteensä	1282	2280	3562	36 %	64 %

Kuoren osuus puussa vaihtelee huomattavasti puulajeittain ja puun koon mukaan. Tässä tarkastelussa kuoren osuudeksi on oletettu 12 %. Kuvan 39 mukaan yli puolet puun käytöstä on polttopuun käyttöä. Tukkipuun osuus on lähes 30 % ja kuitupuun noin 15 %. Muu teollinen puu vastaa noin 6 %:sta. Kuvassa 40 esitetään teollisen puunkäytön jakauma.

Puun käytön jakaantuminen vuonna 2006

Kuva 39. Maailman puun käytön jakaantuminen vuonna 2006 (data FAO 2006).



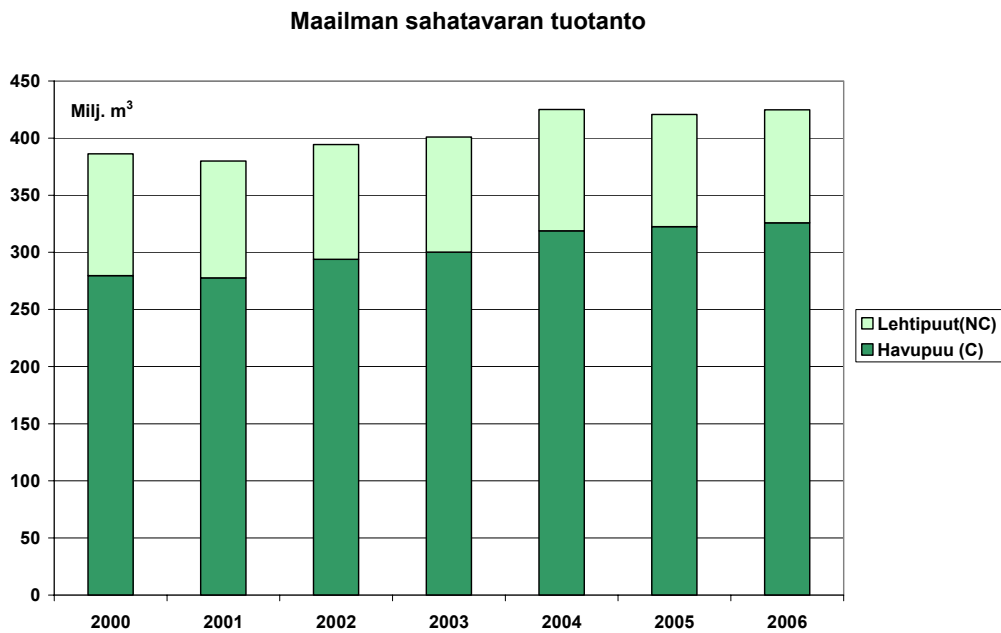
Kuva 40. Teollisen puun käytön jakaantuminen vuonna 2006 (data FAO 2006).

Tukkipuun osuus teollisesta puun käytöstä vuonna 2006 oli noin 58 %, kuitupuun 31 % ja loput (n. 10 %) kokoluokaltaan luokittelematonta teollisuuspuuta. Taulukon ja kuvan mukaan teollisen puun käyttö on pääsääntöisesti ollut havupuun käyttöä (63 %). Yli 60 % havupuun tukki- ja -kuitupuun teollisesta käytöstä keskittyy Pohjois-Amerikkaan (Kanada ja Yhdysvallat) ja Länsi-Eurooppaan. Muita suuria havupuun käyttäjiä ovat Venäjä ja Kiina.

8.1.1 Maailman metsäteollisuuden tuotanto

Metsäteollisuuteen kuuluvat sellun, paperin ja pakkausmateriaalien sekä jatkojalosteiden valmistus. Samoin metsäteollisuuden tuotteita ovat sahatavarat, rakennuslevyt, puurakennusten ja monien muiden rakentamiseen ja sisustamiseen käytettävät tuotteet.

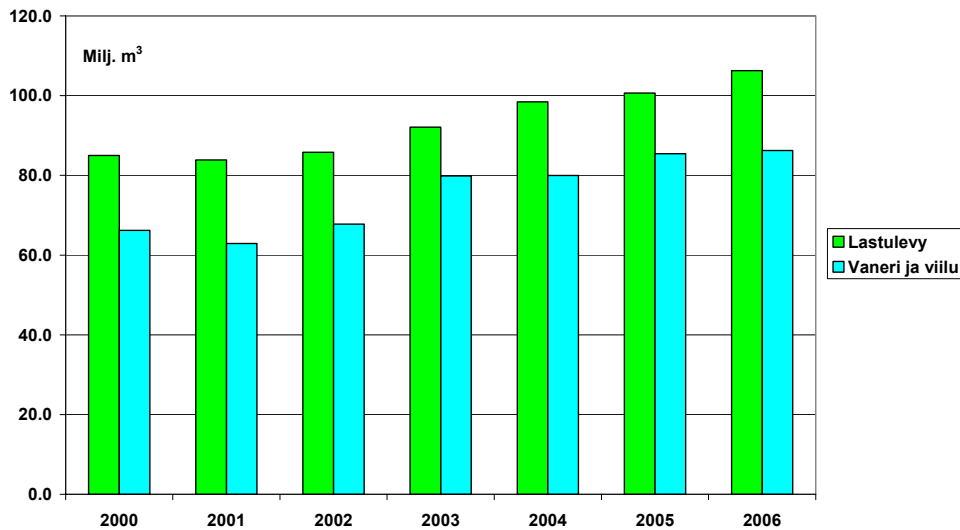
Puutuoteteollisuus valmistaa tukkipuusta sahatavaraa ja vaneria, puulastuista ja sahanpurusta lastulevyjä sekä hakkeen ja sahanpurun selluloosakuiduista kuitulevyjä. Massa- ja paperiteollisuus tuottavat kuitupuusta ja tukin pintaosista sellua ja mekaanista massaa sekä näistä edelleen paperia, kartonkia ja jalosteita. Kuvassa 41 esitetään maailman sahatavaran tuotannon kehitys 2000-luvulla.



Kuva 41. Sahatavaran tuotanto maailmassa 2000-luvulla (data FAO 2006).

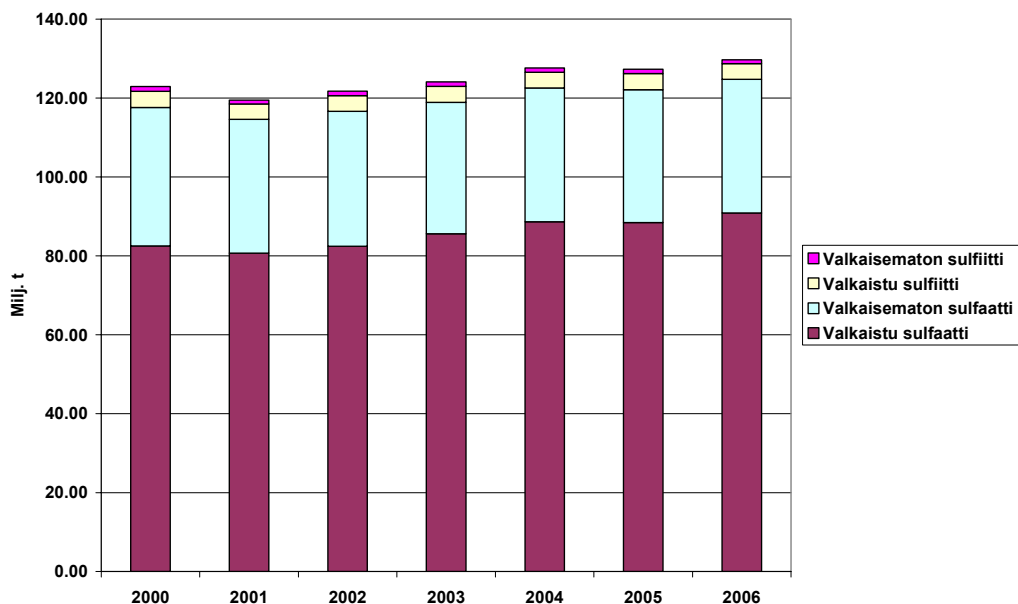
Lyhyellä aikavälillä sahatavaran tuotanto on kasvanut melko vakaasti. Valtaosa eli noin kolme neljäsosaa sahatavarasta tuotetaan havupuista. Kuvan 41 mukaan kasvu on keskittynyt ennen kaikkea havusahatavaran tuotannon kasvuun. Toinen merkittävä puutuoteteollisuuden ala sahauksen ohella on erilaisten vanereiden ja lastulevyn tuotanto. Kuvassa 42 esitetään vanerin ja viilun sekä lastulevyn tuotannon kasvu 2000-luvulla.

Vanerin ja viilun sekä lastulevyn tuotanto



Kuva 42. Vanerin ja viilun tuotanto 2000-luvulla (data FAO 2006).

Metsäteollisuuden eri tuotantosektoreista vanerin, viilun ja lastulevyn tuotanto on ollut 2000-luvulla ehkä kaikkein nopeimmassa kasvussa. Kuvassa 43 esitetään maailman sellun tuotannon kehitys 2000-luvulla.

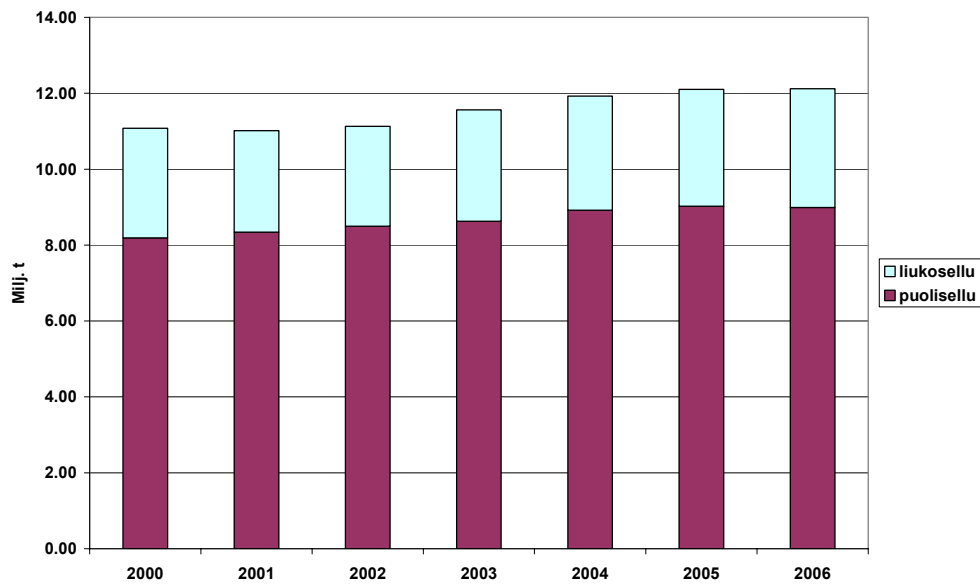


Kuva 43. Maailman sulfaatti- ja sulfiittisellun tuotanto 2000-luvulla (data FAO 2006).

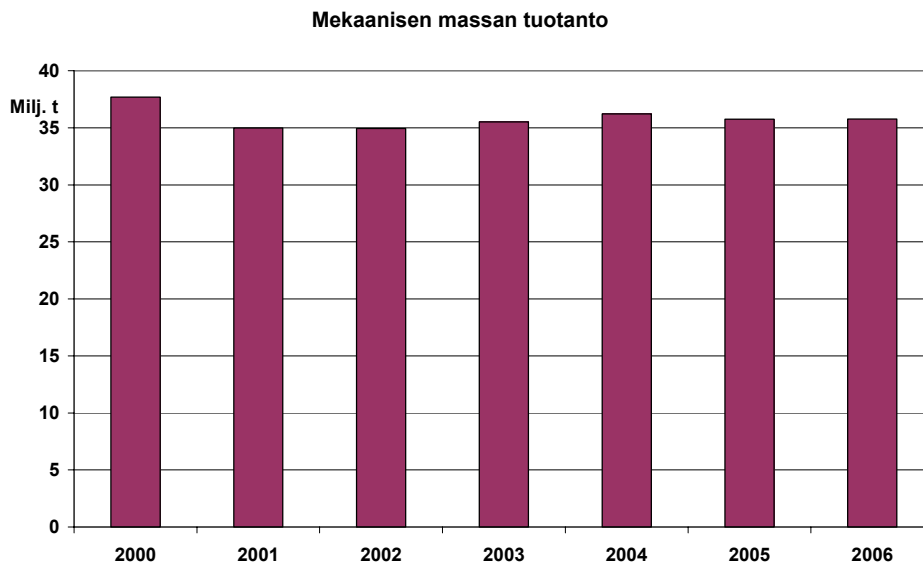
Sulfaatti- ja sulfiittisellun valmistus on lisääntynyt jonkin verran 2000-luvulla. Tämä johtuu pääosin valkaistun sulfaattisellun tuotannon kasvusta. Muiden kuvassa esitettyjen sellulajien tuotanto on jopa

8. Biopolttoaineet

jonkin verran vähentynyt. Valtaosa maailman sellusta tuotetaan Länsi-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Sellun tuotannon kasvu suuntautuu Etelä-Amerikkaan ja Kaukoitään, ja myös Venäjällä kasvupotentiaali on suuri. Näillä alueilla puu kasvaa huomattavasti nopeammin kuin pohjoisella havumetsävyöhykkeellä. Kuvassa 44 esitetään liuko- ja puoliselun ja kuvassa 45 mekaanisen massan valmistuksen muutokset 2000-luvulla.



Kuva 44. Liuko- ja puoliselun valmistus 2000-luvulla (data FAO 2006).



Kuva 45. Mekaanisen massan valmistus 2000-luvulla (data FAO 2006).

Mekaanisen massan tuotanto on hieman vähentynyt 2000-luvulla. Mekaanisen massan valmistuksessa sivutuotteita syntyy muihin verrattuna hyvin vähän, mutta toisaalta menetelmä vaatii erittäin runsaasti sähköenergiaa. Mekaanisen massan valmistus keskittyy niihin maihin, joissa on muutakin metsäteollisuutta.

8.1.2 Polttopuun käyttö

Puuta on hyödynnetty ennen kaikkea polttopuuna: yli puolet kaikesta maailmassa käytetystä puusta käytetään polttopuuna. Polttopuun käyttö on kasvanut merkittävästi viimeisten vuosikymmenten aikana.

Polttopuun käyttö tiheästi asutuilla alueilla voi uhata luonnon tasapainoa. Tällaisiksi alueiksi on usein esitetty Afrikassa Saharan eteläpuolisia maita, joissa väestöä on paljon. Myös Aasian väkirikkaissa kehitysmaissa polttopuun käyttö voi muodostua uhaksi puun kestäväälle käytölle. Toisaalta tilastojen mukaan esimerkiksi Kiinassa polttopuun käyttö on kääntynyt laskuun 2000-luvulla.

8.1.3 Metsäenergia

8.1.3.1 Puuenergiapotentiaalin arviointi

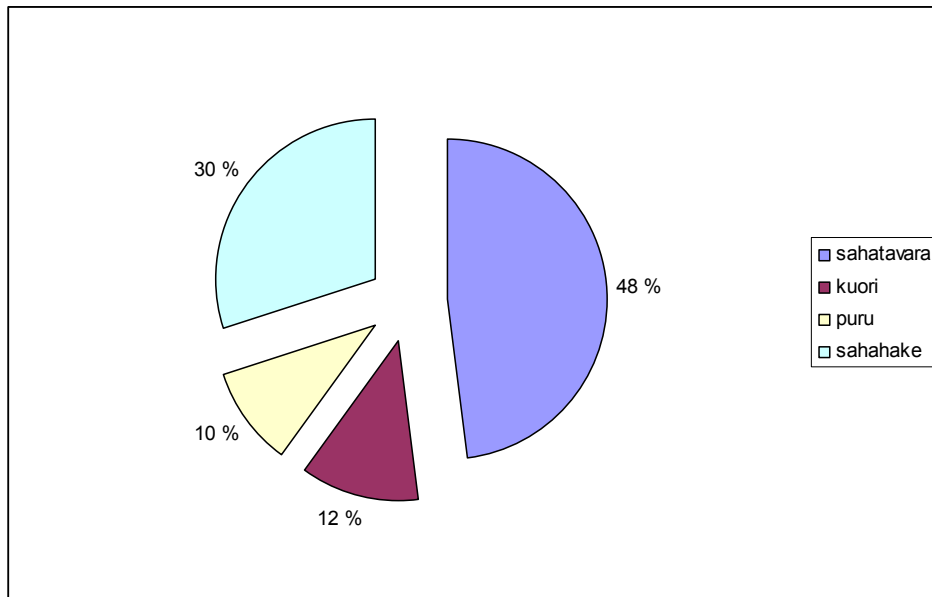
Arvioinnin tärkeimpänä lähteenä on käytetty vuoden 2006 FAO:n tilastoa, jossa puun käyttö jaotellaan polttopuuksi, tukki- ja kuitupuuksi sekä muuksi teollisuuden käyttämäksi puuksi. Lisäksi puu on jaoteltu havu- ja lehtipuihin. Tilastosta on kerätty tiedot eri maiden puun käytöstä ja metsäteollisuuden tuotannosta (ks. kuvat 39–45).

Metsäteollisuuden sivutuotteita arvioitaessa lähtöarvoina on käytetty tyypillisiä suomalaisia arvoja, jotka kuvaavat hyvän teknologian käyttöä. Useimpien muun muassa vähemmän teollistuneiden maiden kohdalla on käytetty lähtötilastosta johdettuja kertoimia, jotka antavat tyypillisesti suuremman bioenergiaosuuden. Samoin sellaisten maiden kohdalla, joissa metsäteollisuus on monipuolisesti integroitu, on otettu mahdollisuuksien mukaan huomioon metsäteollisuuden sivutuotteiden hyödyntäminen muun metsäteollisuuden raaka-aineena. Edellä mainituista syistä useimmille maille on laadittu karkea runkopuun käytöstä ja sivuvirroista kertovat tase ottaen huomioon, millaista teollisuutta kussakin maassa on.

Kuva 46 esittää periaatteen siitä, miten Suomessa sahatukista syntyy erilaisia tuotteita. Läntisissä teollisuusmaissa, joissa on sellutehtaita, valtaosa ns. sahakkeesta hyödynnetään sellun raaka-aineena. Useissa maissa näin ei kuitenkaan ole, vaan sahakke hyödynnetään joko energialähteenä tai raaka-aineena lastulevyteollisuudessa.

Vaneri- ja viiluteollisuudessa lopputuotteen osuus on merkittävästi vähäisempi kuin sahateteollisuudessa: parhaimmillaankin vain noin kolmasosa on lopputuotetta. Prosessissa syntyy purua, kuorta ja erilaisia jäännöspaloja. Viilu- ja vaneritehtaiden sivutuotteita hyödynnetään raaka-aineena muussa teollisuudessa.

8. Biopolttoaineet



Kuva 46. Sahatukin jakautuminen.

Metsätähteiden osalta lähteenä on käytetty Euroopassa osalta Metlan tekemää selvitystä *Forest Energy Potential in Europe (EU27)* (Asikainen et al. 2008). Yhdysvaltain ja Kanadan metsätähteiden hyödyntämispotentiaalin arvioinnissa on käytetty VTT:n raporttia *Harvesting technology of forest residues for fuel in the USA and Finland* (Leinonen 2004). Muille havupuuta teollisuudessa hyödyntäville maille on käytetty vastaavia arvoja. Lehtipuumetsien metsätähteiden hyödyntämiselle on käytetty hyvin varovaista arviota. Lehtimetsien teollinen käyttö keskittyy pääasiassa kehitysmaihin, vaikka toki eukalyptuspuuta käytetään jo nyt merkittäviä määriä selluteollisuudessa. Suuntauksena on ollut, että suuria sellutehtaita on rakennettu maihin, joissa puu kasvaa nopeammin kuin perinteisissä pohjoisissa teollisuusmaissa.

8.1.3.2 Metsäteollisuuden sivutuotteet

Kuori, puru ja sahakkeet

Metsäteollisuuden prosesseista syntyy huomattavia määriä erilaisia sivutuotteita, tärkeimpänä kuori ja sahatteollisuudessa sahanpuru. Lisäksi mekaanisessa metsäteollisuudessa syntyy erinäisiä määriä pintalautaa, purilaita jne., jotka tavallisesti haketetaan hakkeeksi.

Huomattava osa maailman sahatavarasta tuotetaan vanhanaikaisin menetelmin: puuta ei esimerkiksi kuorita ennen sahausta. Tästä johtuen sahauksen sivutuotteet eivät synny erillisinä jakeina vaan kuoresta ja hakkeesta muodostuu ns. pintalautaa. Menetelmä hankaloittaa syntyvän tähteen hyödyntämistä esimerkiksi raaka-aineena. Kuori voidaan hyödyntää joko energian tuotannossa tai muuna raaka-aineena. Joissakin maissa huomattava osa kuorinnasta tapahtuu metsässä, jolloin kuoren hyödyntäminen energiantuotannossa vaikeutuu.

Sahanpurua on perinteisesti hyödynnetty energiantuotannossa. Nykyisin teollisuusmaissa sahanpurun rooli korostuu myös raaka-aineena: siitä voidaan keittää sellua tai sitä voidaan käyttää levyteollisuudessa, puupellettien raaka-aineena tai tulevaisuuden liikennepolttoaineiden raaka-aineena. Teolli-

suuden sivutuotteita, kuten kuorta ja purua, hyödynnetään muun muassa katteena ja kuivikkeena. Nykyisin myös pellettien valmistus perustuu hyvin pitkälti sahanpurun ja kutterin hyödyntämiseen. Ongelmana sivutuotteiden hyödyntämisessä on usein tuotantoyksiköiden pienuus ja toisaalta myös pitkät etäisyydet. Tämä tarkoittaa sitä, että erilaiset sivutuotteiden syntypisteet voivat olla jakaantuneena hyvin pieniin yksiköihin, vaikka yhteensä ne muodostaisivatkin merkittävän potentiaalin.

Mustalipeä

Selluteollisuuden sivutuotteena syntyy ns. mustalipeää, jota hyödynnetään energiana yhdistettynä kemikaalien talteenottoon soodakattilassa. Mustalipeän hyödyntämisellä on merkittävä osa sellutehtaan energiajärjestelmässä.

8.1.3.3 Metsätähteet

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 vähäistä. Helpoimmin hyödynnettävää metsäenergiaa on päätehakkuiden yhteydessä syntyvä metsätähde. Pyrittäessä metsäenergian tehokkaaseen hyödyntämiseen metsänkorjuussa käytettävällä teknologialla on huomattava merkitys. Koneellisen korjuun yleistyminen tekee mahdolliseksi myös hakkuutähteiden hyödyntämisen. Tehokkaimmin metsätähteet voidaan hyödyntää kuusivaltaisten metsien päätehakkuiden yhteydessä.

Lehtimetsien metsätähteiden hyödyntämisen esteenä on useimmiten sopivan kaluston puuttuminen. Toisaalta lehtimetsät keskittyvät vähemmän teollistuneisiin maihin, joissa puun kaatoa ei ole koneellistettu niin pitkälle kuin teollistuneemmissa maissa.

8.1.4 Puupolttoaineiden energiapotentiaali

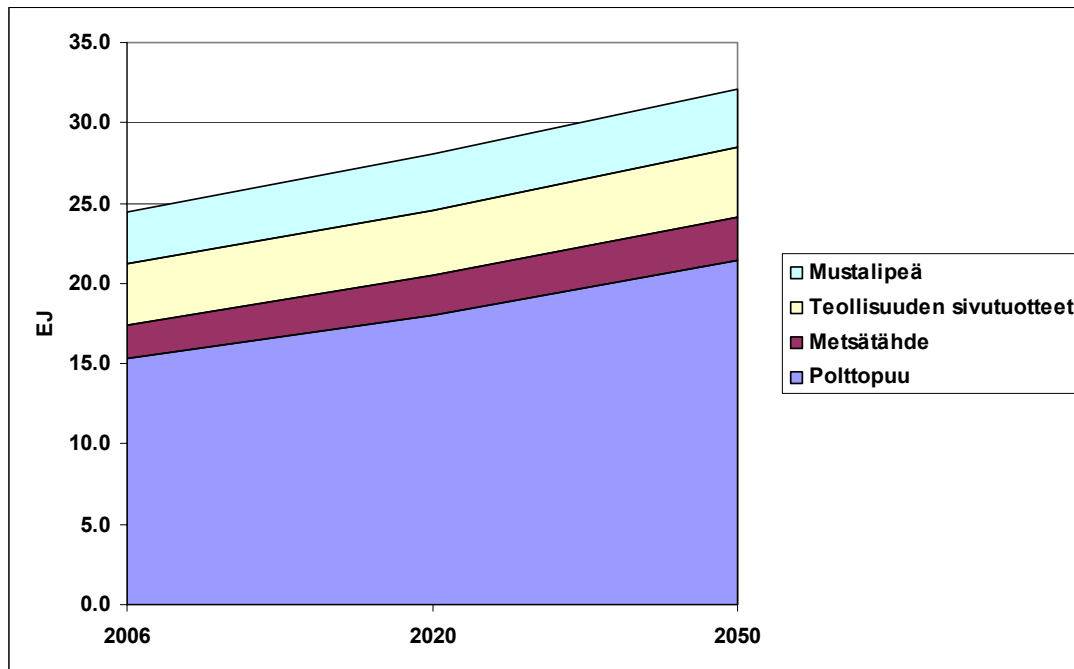
Taulukossa 7 esitetään puupolttoaineiden energiapotentiaaliarvio vuosille 2006, 2020 ja 2050.

Taulukko 7. Puupolttoaineiden energiapotentiaaliarvio (EJ).

EJ	2006	2020	2050
Polttopuu	15.3	18.1	21.5
Metsätähde	2.1	2.2	2.3
Teollisuuden sivutuotteet	3.8	4.1	4.4
Mustalipeä	3.2	3.5	3.6
Yhteensä	24.4	27.9	31.8

Taulukon 7 potentiaali kuvaa teknistä potentiaalia, jossa hyödynnetään kaikki metsäteollisuuden sivutuotteet, havupuiden metsätähteistä maittain 10–35 % sekä lehtipuiden tähteistä varovaisesti arvioiden maittain 2–5 %.

8. Biopolttoaineet

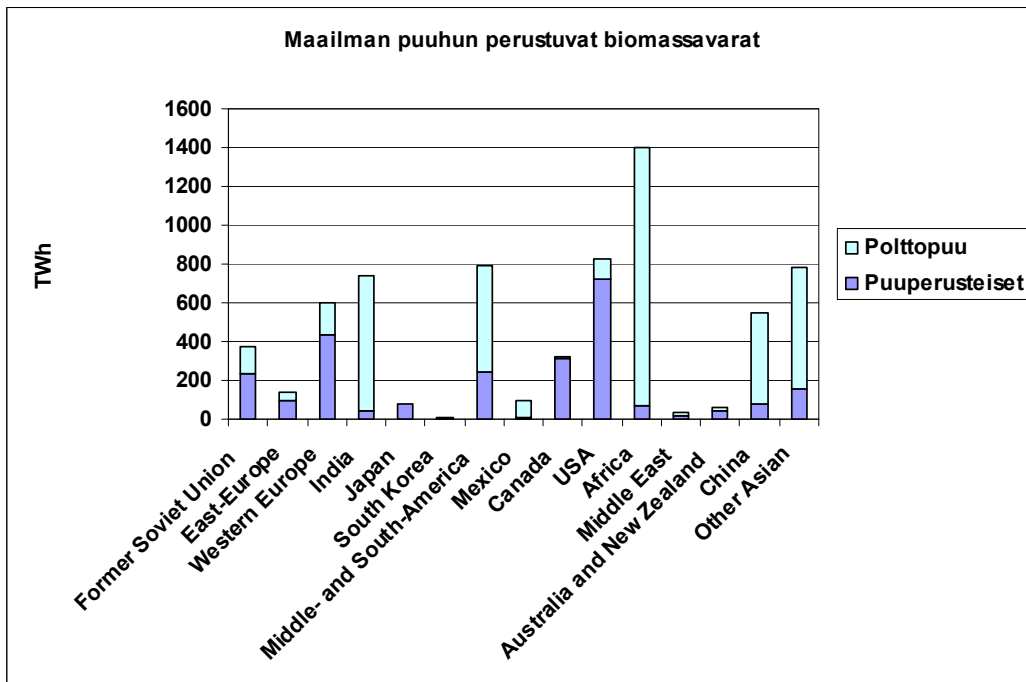


Kuva 47. Arvio maailman puuperäisten polttoaineiden teknisestä potentiaalista vuoteen 2050.

Polttopuun käyttö lisääntynee vielä merkittävästi. Tämä perustuu siihen, että maailmassa on alueita, joilla muita energialähteitä ei ole helposti saatavilla ja joilla väestön kasvu jatkuu voimakkaana. Tällainen alue on ensisijaisesti Afrikka, mutta vastaavia alueita on myös Aasiassa. Vuodelle 2050 laadittu väestön kasvuennusteen mukaan Afrikan väestö kaksinkertaistuisi vuoteen 2006 verrattuna (United Nations 2007). Taulukon 7 ja kuvan 47 mukaan polttopuun käyttö säilyy hallitsevana puun hyödyntämismuotona (osuus 62–67 %). Metsätähteet edustavat loppuosuutta (vajaa 40 %), josta suurin potentiaali on metsäteollisuuden sivutuotteilla.

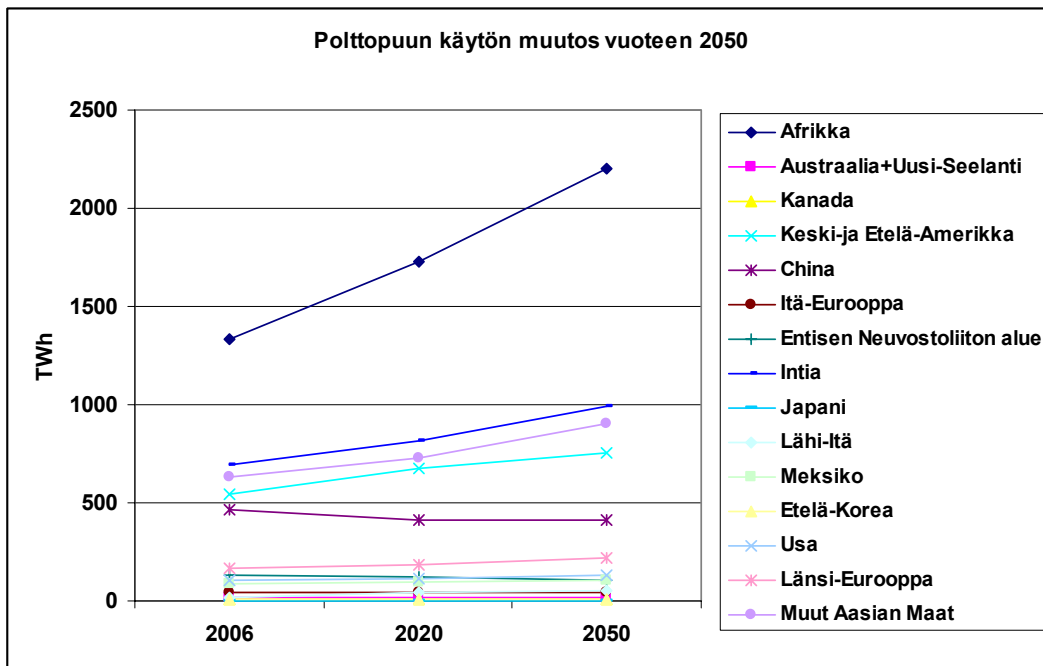
On arveltu, että metsäteollisuuden sivutuotteiden potentiaali voitaisiin hyödyntää täysin. Mahdollisia rajoituksia asettavat pienet yksikkökoot, sillä sivutuotteita voidaan joutua kokoamaan laajalta alueelta. Toinen vaikuttava tekijä on uuden teknologian käyttöönotto, jonka myötä sivutuotteiden määrä pienenee suhteessa lopputuotteeseen.

Kuvassa 48 esitetään puuhun perustuvan biomassan käyttöpotentiaali alueittain. Kuvan 48 mukaan eniten puuta käytetään energiaksi Afrikassa, jossa polttopuun osuus on täysin hallitseva. Lähes vastaava tilanne on Intiassa, Kiinassa ja yleensä muissakin Aasian maissa. Kuvassa 49 esitetään arvio puupolttoaineen käytön kehityksestä vuoteen 2050 mennessä. Metsätähteiden potentiaali keskittyy niihin alueisiin, joissa metsäteollisuus on suurta. Tällaisia alueita ovat Yhdysvallat, Kanada, Länsi-Eurooppa, osa entisen Neuvostoliiton maista sekä Etelä-Amerikka. Kasvavia alueita ovat Kiina ja jotkut muut kehittyvän Aasian maat. EU-27:ssa puuhun perustuvan energiapotentiaalın suuruudeksi vuodelle 2006 arvioitiin noin 740 TWh (n. 2,7 EJ). Liitteessä A esitetään puupolttoaine-potentiaalit alueittain täydennettynä EU-27-alueella.



Kuva 48. Maailman puuhun perustuvien biomassavarojen jakaantuminen.

Kuvassa 49 arvioidaan, että polttopuun käyttö lisääntyy vuoteen 2050 mennessä. Polttopuun käytön kasvun arvioidaan jatkuvan voimakkaana muun muassa seuraavilla alueilla: Afrikassa, Intiassa, muissa kehittyvän Aasian maissa sekä Keski- ja Etelä-Amerikassa.

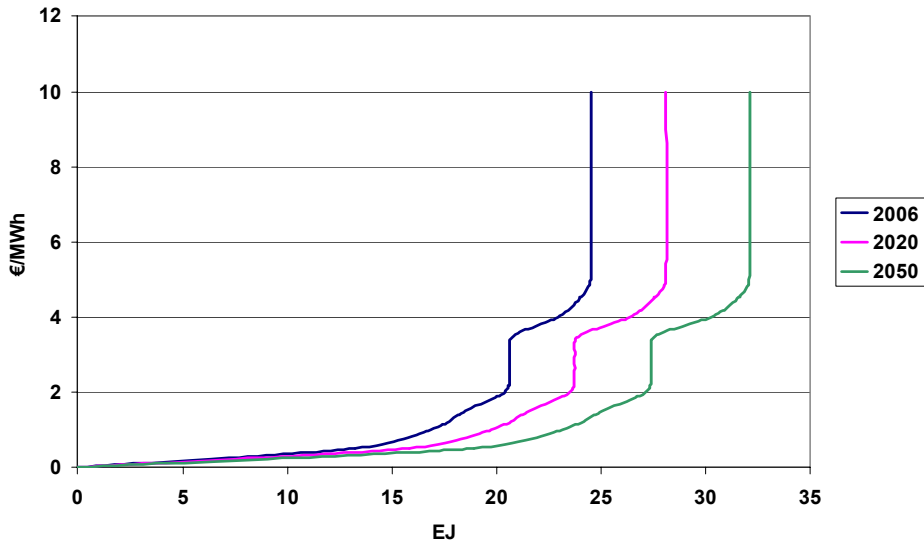


Kuva 49. Polttopuun käytön muuttuminen vuoteen 2050 saakka.

8. Biopolttoaineet

8.1.5 Puuperäisten polttoaineiden saatavuus ja metsäpolttoaineen hankinnan kustannukset

Kuvassa 50 esitetään arvio puuperäisten polttoaineiden saatavuudesta ja energian hankintakustannuksista vuosille 2006, 2020 ja 2050.



Kuva 50. Puuperäisten polttoaineiden saatavuus ja kustannukset.

Kuvassa esiintyvän portaan synty perustuu siihen, että metsätähteiden hankinta sekä osa polttopuusta ovat huomattavasti kalliimpia kuin muut metsäpohjaiset polttoaineet. Kuvassa ei ole otettu huomioon mahdollisia puusta jalostettuja polttoaineita kuten pellettiä.

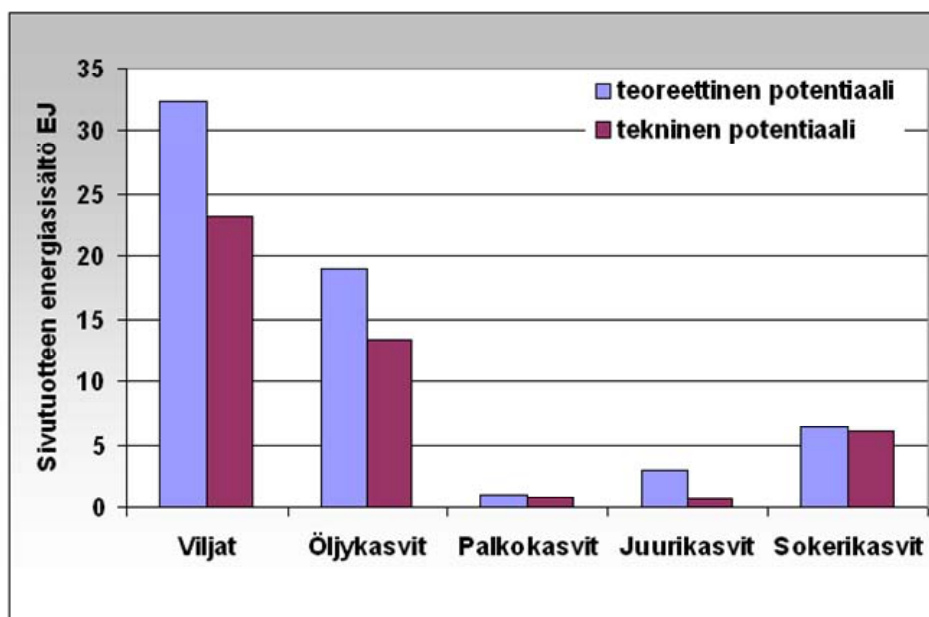
8.2 Peltobiomassat globaalina energianlähteenä

Tulevaisuudessa kaikkiin bioenergiaresursseihin tullaan kohdistamaan voimakkaita hyödyntämispaineita jo kansainvälisten sitoumusten takia. Maatalouden sivuvirtojen ja bioenergiakasvien nykyisiä ja tulevia energiapotentiaaleja tarkasteltiin MTT:n osahankkeessa. Projektissa selvitettiin ensin maapallon tärkeimpien peltokasvien tuotanto vuonna 2006 mukaan lukien nurmikasvit. Lähteenä käytettiin FAO:n tilastoja (FAO 2006). Sen jälkeen laskettiin kasvilajien satoindeksi- ja kuiva-ainetietojen avulla teoreettiset ja tekniset sivuvirtavolyymit viljan, öljykasvien, palkokasvien, juurikasvien ja sokerikasvien tuotannolle vuosille 2006 ja 2050. Lisäksi selvitettiin bioenergiakasvien mahdollista pinta-alaa ja niistä saatavaa bioenergiaa vuonna 2006 ja 2050 IPCC:n päästöskenaario B1 huomioiden (IPCC 2000). Peltobiomassojen energiapotentiaaliarvioissa oletuksena oli, että maapallon ruoan tuotanto noin yhdeksälle miljardille ihmiselle ei ole uhattuna..

Maailman viljelykasveista merkittävimmät sadontuottajat olivat viljat (2,21 mrd t), sokerikasvit (1,65 mrd t), öljykasvit (0,74 mrd t), juurikasvit (0,73 mrd t) ja palkokasvit (0,06 mrd t) (FAO 2006). Lisäksi arvioitiin pysyvien laitumien (osuus 69 % kaikesta peltomaasta) sato (10,36 mrd t) käyttäen apuna eri maiden viljasatoja. Luvut ovat FAO:n vuoden 2006 tilastoista (pysyvät laitumet vuoden 2005 lukuja), joissa ne on annettu vastaanottokosteudessa.

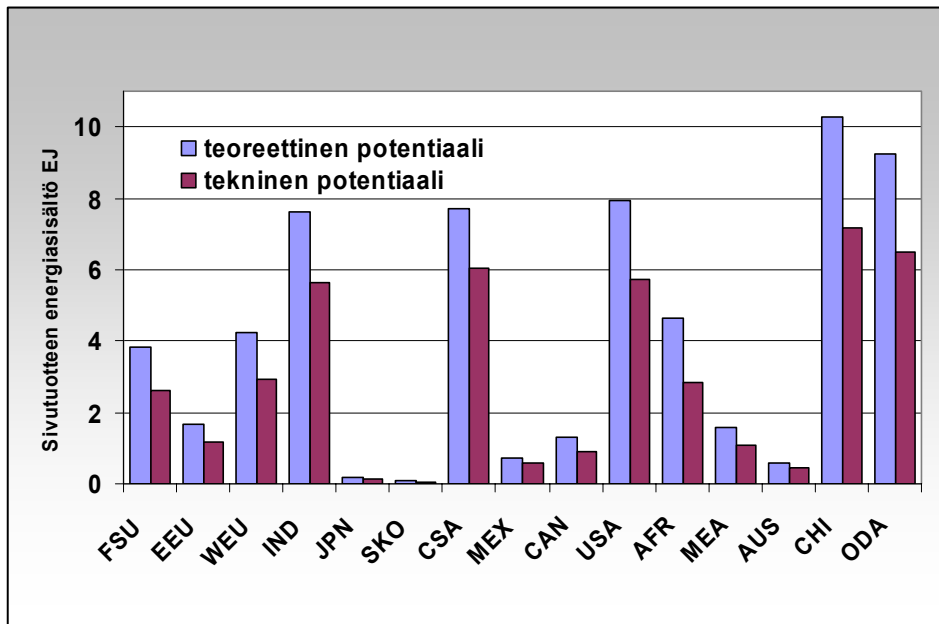
Kasvinviljelyn sivutuotteet (esim. viljan oljet, öljy-, palko- ja juurikasvien varret), jotka on yleensä muokattu maahan, ovat potentiaalisia bioenergian raaka-aineita. Öljykasveista öljypalmun tyhjät hedelmystöt ja sekä sokeriruo'on puristusjäte bagasse ovat jo nyt energiakäytössä paikallisissa puristamoissa. Koska bioenergian tuotannon tarve on lisääntynyt, näiden sivuvirtojen hyödyntämistä energian tuotannossa on kannustettu monissa maissa. Viljakasvien olkimateriaali muodostaa kasvintuotannon sivutuotteista suurimman energiareservin (kuva 51).

Kuvassa 52 esitetään kasvintuotannon sivuvirtojen energiapotentiaali eri alueilla. Eniten potentiaalia olisi Aasian alueella Kiinassa (CHI), Kaakkois-Aasiassa (ODA) ja Intiassa (IND). Yhdysvalloissa (USA) ja Keski- ja Etelä Amerikassa (CSA) olisi runsaasti mahdollisia hyödynnettäviä sivutuotteita. Maatalouden sivuvirtojen (mukaan lukien edellä mainitut peltokasvit ja pois lukien nurmikasvit) teoreettiseksi maksimipotentiaaliksi saatiin 61,62 EJ ja tekniseksi potentiaaliksi 43,83 EJ (peltoon jäävä osuus vähennetty). Potentiaaliarvot laskettiin vuoden 2006 kuiva-ainesatojen avulla. Vastaavat luvut arvioituna vuoden 2050 tasolle olivat 63,84 EJ ja 45,44 EJ. Kuitenkin vain osa teknisestä potentiaalista olisi hyödynnettävissä, sillä useilla jo nyt kuivuudesta kärsivillä alueilla, kuten Yhdysvalloissa, Meksikossa (MEX), Intiassa (IND), Afrikassa (AFR), Lähi-idässä (MEA), Kiinassa (CHI), Kaakkois-Aasiassa (ODA), kasvinjätteen poisvienti pelloilta aiheuttaisi maaperän köyhtymistä ja eroosion lisääntymistä. Samojen kasviryhmien sivuvirtojen energiasisältö EU 27 -maissa oli yhteensä 5,68 EJ ja tekninen potentiaali 3,91 EJ. EU:n alueella kuivuus vaivaa eteläosia, mutta muilla alueilla sivutuotteiden hyödyntämistä olisi mahdollista lisätä.



Kuva 51. Tärkeimpien peltokasvien sivutuotteen kuiva-ainesadon energiapotentiaali (EJ) vuonna 2006. Teoreettinen potentiaali = koko sivutuotteen biomassa. Tekninen potentiaali = teoreettisesta potentiaalista on vähennetty kasveista peltoon jäävä osa.

8. Biopolttoaineet



Kuva 52. Eri alueiden peltokasvien sivutuotteen kuiva-ainesadon energiapotentiaali (EJ) vuonna 2006 eri alueilla.

Kasveja voidaan myös viljellä bioenergian raaka-aineeksi. Bioenergiakasvit ovat joko tunnettuja, elintarvikekäyttöön viljeltyjä kasveja (esim. rapsi, viljat, sokeriruoko, soija) tai sellaisia, joita käytetään pelkästään energiataroituksiin (esim. ruokohelpi). Bioenergian tuotantoon varattu maa-ala riippuu ensisijaisesti siitä, kuinka paljon kunkin maan ruoan tuotantoon tarvittavasta maa-alasta jää käytettäväksi *non-food*-tuotantoon. Viljelyalan laajuuteen vaikuttaa myös ihmisten ruokavalio. Mitä enemmän syödään lihaa, sitä enemmän tarvitaan peltoalaa ruoan tuotantoon ja sitä vähemmän peltoalaa jää bioenergian tuotantoon. Mahdollisesti vapautuvalle peltoalalle soveltuvat bioenergiakasvit ja niiden arvioitu energiasaanto (GJ) hehtaaria kohti esitetään taulukossa 8.

Kun alueellinen ruokahuolto otetaan huomioon, varsinaisia bioenergiakasveja voitaisiin tuottaa tällä hetkellä Australiassa, Kanadassa, Keski- ja Etelä-Amerikassa, Meksikossa ja Yhdysvalloissa, jos ihmisten ruokavalio koostuisi kasvisruoasta; Australiassa, Kanadassa ja Keski- ja Etelä-Amerikassa, jos ruokavalio koostuisi liha-kasvisruoasta; ja ainoastaan Australiassa, jos ruokavalio olisi lihavaltainen. Sivutuotteita sen sijaan olisi saatavilla teoriassa kaikilla alueilla. Tulevaisuudessa bioenergiakasvien potentiaalisia tuotantoalueita olisi Australiassa, Kanadassa, Keski- ja Etelä-Amerikassa (CSA), Itä-Euroopassa (EEU), entisen Neuvostoliiton alueella (FSU) ja Yhdysvalloissa, jos ihmisten ruokavalio koostuisi kasvisruoasta; Australiassa, Kanadassa ja Keski- ja Etelä-Amerikassa, jos ruokavalio koostuisi liha-kasvisruoasta; ja ainoastaan Keski- ja Etelä-Amerikassa, jos ruokavalio olisi lihavaltainen. Lisäksi kaikilla alueilla voidaan teoriassa korjata peltokasvituotannon sivuvirtoja teknisen potentiaalinnan verran. Maailman bioenergian tuotanto voisi näillä edellytyksillä olla nykyään 50 (liharuokavalio)–280 (kasvisruokavalio) EJ ja vuonna 2050 yhteensä noin 58 (liharuokavalio)–386 (kasvisruokavalio) EJ vuodessa (taulukko 9).

Taulukko 8. Potentiaaliset bioenergiakasvit, niiden osuus vapautuvasta peltoalasta ja niiden energiasisältö (GJ/ha) vuonna 2006 ja vuonna 2050.

Alue	Kasvi	Biomassa	Biomassa	Kasvin	Kasvi	Energiakasvit GJ/ha	
		t_{ka}/ha	GJ/ha	osuus/alue	GJ/ha	2006	2050
AUS	vehnä	2222	40	0,70	28	271	285
	sokeriruoko	45067	811	0,30	243		
CAN	rapsi	4448	93	0,30	28	135	148
	maissi	13259	239	0,30	72		
CSA	vehnä	4948	89	0,40	36	475	475
	sokeriruoko	35445	638	0,70	447		
EEU	soija	4405	94	0,30	28	116	127
	ruokohelpi	7000	126	0,20	25		
	miscanthus	8000	144	0,20	29		
	rapsi	5403	113	0,40	45		
FSU	aurionkukka	3840	82	0,20	16	70	76
	ruokohelpi	7000	126	0,10	13		
	rapsi	2647	57	0,20	11		
	aurionkukka	3206	68	0,40	27		
USA	ohra	3385	61	0,30	18	308	292
	maissi	14635	263	0,50	132		
	sokeriruoko	36178	651	0,20	130		
	luutahirssi	8500	153	0,30	46		

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

Tulevaisuuden tilanne näin arvioituna näyttää melko optimistiselta bioenergian tuotannon kannalta. Arviossa oletetaan, että kaikki viljelykelpoinen maatalousmaa on käytössä, mutta sen sijaan sitä ei ole otettu huomioon, että peltoala voi myös pienentyä kuten tapahtuu esimerkiksi Australiassa peltojen suolapitoisuuden kasvaessa. Kasvintuotannon sivutuotteita ei myöskään voida korjata joka vuosi tai kaikilta alueilta täysimääräisesti, kuten tässä on oletettu. Tutkimustietoa siitä, kuinka paljon sivutuotteita voidaan korjata ja kuinka usein, on saatavissa hyvin rajallisesti. Lisäksi hävikit elintarvikeketjun eri vaiheissa lisäävät kehittyneissä maissa ruoan tuotantoon tarvittavaa maa-alaa ja siten vähentävät bioenergian potentiaalista tuotantoalaa. Vaikka B1-skenaariota mukaan maailmasta tulisi tulevaisuudessa yhtenäisempi, tässä tutkimuksessa on pidetty todennäköisempänä, että ruokahuolto hoidetaan alueellisesti ja yli jäävä tuotanto myydään maailmanmarkkinahintaan.

8. Biopolttoaineet

Taulukko 9. Pellolla tuotettavan biomassan potentiaaliset energiamäärät nyt ja tulevaisuudessa eri ruokavalioidella.

2006	Sivutuote EJ	Bioenergiakasvit EJ			Yhteensä 2006 EJ		
	tekeminen potentiaali	kasvis	seka	liha	kasvis	seka	liha
AFR	2,83	0,0	0,0	0,0	2,83	2,83	2,83
AUS	0,45	81,4	54,5	5,5	81,87	54,99	5,96
CAN	0,92	3,0	1,0	0,0	3,96	1,94	0,92
CHI	7,17	0,0	0,0	0,0	7,17	7,17	7,17
CSA	6,04	104,4	55,4	0,0	110,40	61,39	6,04
EEU	1,16	0,0	0,0	0,0	1,16	1,16	1,16
FSU	2,60	0,0	0,0	0,0	2,60	2,60	2,60
IND	5,63	0,0	0,0	0,0	5,63	5,63	5,63
JPN	0,13	0,0	0,0	0,0	0,13	0,13	0,13
MEA	1,10	0,0	0,0	0,0	1,10	1,10	1,10
MEX	0,58	3,5	0,0	0,0	4,09	0,58	0,58
ODA	6,51	0,0	0,0	0,0	6,51	6,51	6,51
SKO	0,06	0,0	0,0	0,0	0,06	0,06	0,06
USA	5,74	43,8	0,0	0,0	49,51	5,74	5,74
WEU	2,92	0,0	0,0	0,0	2,92	2,92	2,92
Maailma	43,83	236,11	110,93	5,51	279,94	154,76	49,34
2050	Sivutuote EJ	Bioenergiakasvit EJ			Yhteensä 2006 EJ		
	tekeminen potentiaali	kasvis	seka	liha	kasvis	seka	liha
AFR	2,71	0,00	0,00	0,00	2,71	2,71	2,71
AUS	0,47	81,49	44,76	0,00	81,96	45,23	0,47
CAN	1,25	6,56	3,93	0,00	7,81	5,18	1,25
CHI	6,99	0,00	0,00	0,00	6,99	6,99	6,99
CSA	6,80	202,10	134,95	12,46	208,90	141,76	19,26
EEU	1,35	2,00	0,00	0,00	3,35	1,35	1,35
FSU	2,97	8,05	0,00	0,00	11,02	2,97	2,97
IND	5,35	0,00	0,00	0,00	5,35	5,35	5,35
JPN	0,16	0,00	0,00	0,00	0,16	0,16	0,16
MEA	1,04	0,00	0,00	0,00	1,04	1,04	1,04
MEX	0,56	0,00	0,00	0,00	0,56	0,56	0,56
ODA	6,51	0,00	0,00	0,00	6,51	6,51	6,51
SKO	0,08	0,00	0,00	0,00	0,08	0,08	0,08
USA	5,74	40,43	0,00	0,00	46,17	5,74	5,74
WEU	3,47	0,00	0,00	0,00	3,47	3,47	3,47
Maailma	45,44	340,62	183,65	12,46	386,07	229,09	57,90

8.3 Levät energiantuotannossa

8.3.1 Tutkimus- ja kehitystyö

Kiinnostus ja tutkimustyö merilevien kasvattamiseksi biopolttoaineiden raaka-aineeksi ovat lisääntyneet viime vuosina voimakkaasti, sillä levien tuotanto ei kilpaile samalla tavoin peltoalasta ruoan tuotannon kanssa kuin energiakasvien viljely. Tavoitteena on valmistaa levän kasvisöljystä biopolttoainetta. Leväfarmeja on Japanissa, Yhdysvalloissa ja Hollannissa, mutta kokeiluja on myös muualla,

kuten Argentiinassa, Brasiliassa ja Uudessa-Seelannissa. Japanissa on vuosikymmenten kokemus levän kasvattamisesta, koska levää käytetään ruoanvalmistuksessa sekä lisäravinteena.

On arvioitu, että levien teolliseen tuotantoon päästäisiin 5–10 vuoden kuluttua ja että levistä valmistettua biopolttoainetta olisi kaupallisessa tuotannossa vuonna 2020. Ongelmana ovat olleet levätuotannon ympäristövaikutukset, kasvihuonekaasupäästötase ja tuotannon kalleus. Levien kasvatusta vaatii valtavia määriä vettä, eikä teknologiaa levien laajamittaiseen keräämiseen ole vielä olemassa. Levien kasvatusta on pystytty nopeuttamaan bioreaktoreissa, mutta teollisuuden mittakaavassa sitä vasta kehitetään. Shell on muodostanut Cellana HR -nimisen yhteisyrityksen Biopetroleum-yrityksen kanssa. Cellana avasi levien tuotannon pilot-laitoksen vuonna 2007 Havaijilla, Konan saarella, jossa tuotetaan myös pieniä määriä biopolttoainetta. Chevron on aloittanut kehitysyhteistyön Solazy-yrityksen kanssa leväpohjaisen dieselpolttoaineen valmistamiseksi. Chevron on myös allekirjoittanut yhteistyösopimuksen US DOE:n kanssa (*US Department of Energy*) levien kehittämiseksi ja identifioimiseksi liikenteen biopolttoaineiden tuotantoa varten (HS 2008, Shell 2008).

Mikrolevälajeja on yli satatuhatta. Niistä kolmesataa on osoittautunut sellaisiksi, että niistä voitaisiin saada riittävästi kasviöljyä. Levälajikkeiden lukumäärä, jota on onnistuttu kasvattamaan biopolttoaineen tuotantoa varten, on kuitenkin hyvin pieni. Levät tarvitsevat yhteyttämiseen (l. fotosynteesiin) ja kasvuun auringonvaloa, vettä, hiilidioksidia ja ravinteita. Ne voivat kasvaa makeassa vedessä, suolavedessä, likaisissa vesissä ja kaatopaikkojen jätevesissä. Ravinteeksi leville kelpaa miltei mikä tahansa, ja monet levälajit pystyvät kaksinkertaistamaan massansa suotuisissa olosuhteissa reilussa parissa tunnissa eli ne voivat kaksinkertaistaa massansa 3–4 kertaa vuorokaudessa. Tämä tarkoittaa, että levätuotanto on jatkuvaa toisin kuin öljykasvien tuotanto, jossa satoa voidaan korjata vain joitain kertoja vuodessa. Lisäksi leviä voidaan kasvattaa paikoissa, jotka eivät sovellu peltoalaksi, kuten aavikoilla.

Valitettavasti nopeimmin kasvavat levät näyttäisivät kuitenkin tuottavan vähemmän kasviöljyä kuin hitaammin kasvavat levät. Levissä on jopa 30 % kasviöljyä, ja tutkijat uskovat, että öljypitoisuus voitaisiin nostaa jopa 70 %:iin. On arvioitu, että levät voisivat tuottaa vähintään viisitoista kertaa enemmän öljyä hehtaaria kohden kuin esimerkiksi rypsi-, palmu- tai soijakasvit. Joissain lähteissä arvioidaan, että levät voisivat tuottaa jopa sata kertaa enemmän bioöljyä kuin energiakasvit samansuuruisella maa-alueella (HS 2008, IEA 2008, Shell 2008).

8.3.2 Levien tuotanto altaissa ja bioreaktoreissa

Leviä kasvatetaan tyypillisesti avoimissa altaissa tai tankeissa. Olemassa olevat leväaltaat koostuvat ränneistä, jotka muodostavat altaassa silmukoita (kuva 53). Nykyisten leväaltaiden vesimäärät ovat tyypillisesti samaa suuruusluokkaa kuin tavallisissa uima-altaissa. Ongelmana on veden haihtuminen, lämpötilan säätö ja auringonvalon määrä (ainoastaan pintakerrokset saavat riittävästi säteilyä). Avoimissa altaissa levät ovat myös alttiita muiden levien tai bakteerien aiheuttamalle kontaminoitumiselle. Koska öljyä tuottavat levät kasvavat hitaammin kuin monet muut levälajit, voi olla vaikeaa estää nopeakasvuisia lajikkeita tunkeutumasta leväaltaisiin, jolloin toivotun levälajin kasvu häiriintyy. Lisäksi pienet simpukan tapaiset organismit, jotka syövät levää, voivat lentää tuulen tai sateen mukana altaaseen, ja ne ottavat altaassa nopeasti vallan. Altaan kattaminen kasvihuoneella voi ratkaista em. ongelmat.

Toinen vaihtoehto on kasvattaa leviä suljetussa tilassa eli tankeissa. Ns. fotobioreaktorissa tankkien välillä käytetään putkia, jotka toisaalta mahdollistavat auringonvalon pääsyn tankeihin ja toisaalta kierrättävät hiilidioksidia ja ravinteita reaktorissa. Levien kasvatusta fotobioreaktorissa on tyypillisesti

8. Biopolttoaineet

pienen mittakaavan laitos, mutta se mahdollistaa kasvatusolosuhteiden tarkemman kontrollin ja siten myös suuremman öljysaannon. Suljetut prosessit ovat kalliimpia rakentaa ja käyttää, sillä kaupallisen mittakaavan laitos tarvitsee putkia useita kilometrejä ja putkien puhdistus lisää käyttökustannuksia. Levätuotannon kustannuksia voidaan kuitenkin alentaa sijoittamalla levätuotanto lähelle laitoksia, jotka tuottavat suuria määriä hiilidioksidia. Myös sivutuotteiden kuten lannoitteiden tuotanto voisi pienentää kustannuksia. Joidenkin arvioiden mukaan biodieselin tuotanto suljetuilla prosesseilla olisi kuitenkin kannattavaa vasta, mikäli raakaöljyn hinta nousisi yli 800 US\$/bl (IEA 2008, Shell 2008).



Kuva 53. Levien kasvatus altaissa (Shell 2008).

9. Tuulivoimaresurssit ja tuulivoiman tuotantopotentiaali

Maapalloon osuvasta auringonsäteilystä noin kolme viidesosaa muuntuu toiseksi energiamuodoksi ennen maapallolta poistumistaan. Muuntuvasta energiasta 1–2 % konvertoituu tuuliksi, jotka tasaavat ilmakehään muodostuvia paine-eroja. Tämä resurssi on arviolta 100–200 kertaa suurempi kuin ihmiskunnan nykyinen primäärienergiankulutus. Se ei kuitenkaan ole kokonaan hyödynnettävissä, koska merkittävä osa tuulista on liian korkealla nykyisille voimalaitoksille. Resurssiarviot, jotka ottavat tekniset rajoitukset huomioon, osoittavat kuitenkin tuulivoimaresurssin olevan moninkertainen primäärienergian kulutukseen verrattuna. Resurssin suuruus vaihtelee voimakkaasti eri alueiden välillä.

Toistaiseksi luotettavimmat arviot tuulivoimaresurssista saadaan paikallisista tuuliatlaksista. Näitä tehtäessä mallinnetaan ilmakehän käyttäytymistä rajatulla alueella maanpinnan muodot ja kasvillisuus huomioon ottaen ja ohjataan mallien tuloksia kohti todellisia mittaustuloksia, joita alueelta on saatavilla. Näitä resurssiarvioita ei kuitenkaan ole saatavilla kuin joiltain alueilta, ja arvioiden lähtökohdat ovat keskenään erilaisia. Paikallisten arvioiden lisäksi on tehty muutama globaaliarvio (vrt taulukko 10), joista viimeisimmän tuloksia esitetään tässä (Lu et al. 2009).

Globaali arvio perustuu koko ilmakehän mallintamiseen. Tällä tarkkuustasolla paikalliset sääilmiöt sekä paikalliset pinnanmuoto- ja kasvillisuuserot tulevat huonosti huomioiduksi. Merkittävin osa tuulista on kuitenkin peräisin laajoista sääilmiöistä, jotka ovat malleissa hyvin edustettuina. Paikalliset pintatekijät vaikuttavat lähinnä siihen, miten hyvin tuulet pääsevät laskeutumaan lähelle maanpintaa. Globaalissa mallissa yhden hilaruudun sisältämistä maanpinnan tiedoista on laskettu keskiarvot. Tämän seurauksena yksinkertaiset alueet, kuten preeriat, on arvioitu kohtuullisen hyvin. Toisaalta vuoristoiset alueet näyttävät keskimäärin huonohkoa resurssia, vaikka todellisuudessa korkeilla paikoilla olisi erinomainen ja laaksoissa huono resurssi.

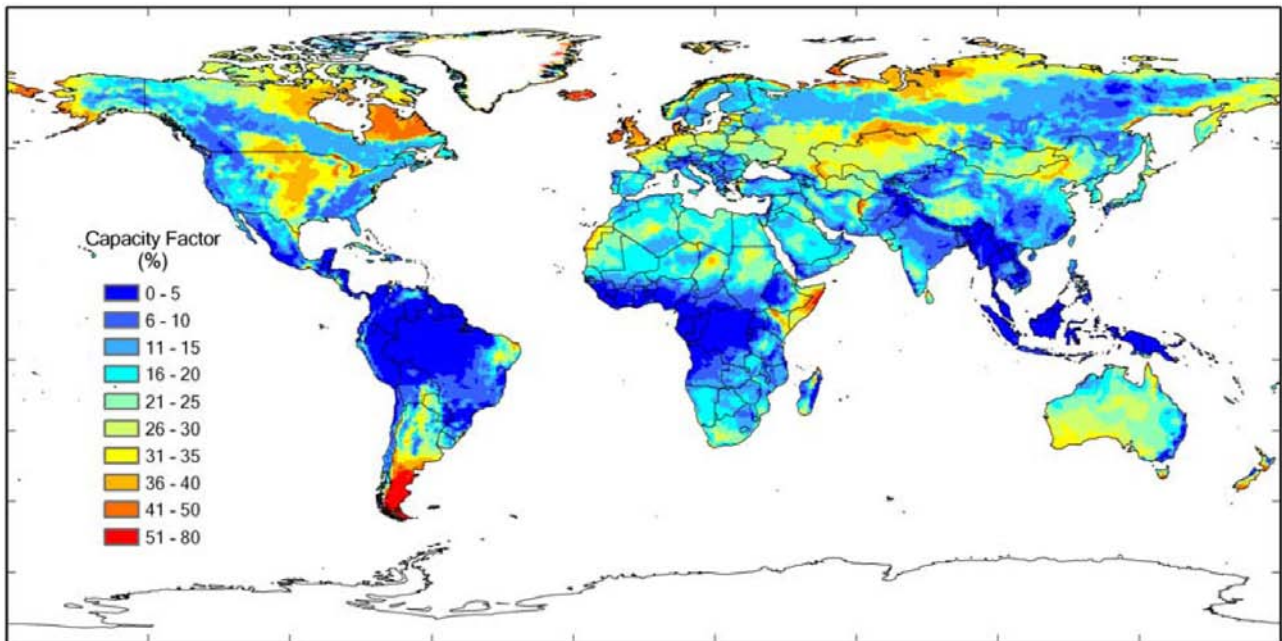
Resurssiarvio on riippuvainen siitä tuulivoimateknologiasta, jolla se on tehty. Suuret voimalat saavuttavat suuren osuuden paikallisesta tuuliresurssista ja yltävät paremmille keskituulennopeuksille. Nykyisellä teknologialla ja sadan metrin voimakorkeudessa globaali tuuliresurssi on noin 1 000 PWh/a (3 600 EJ/a). Tämä sisältää merialueita, jotka ovat riittävän lähellä mannerta ja joilla vesi ei ole erityisen syvää. Pääosa resurssista on kuitenkin maalla.

Maalle rakennettavan tuulivoiman globaali potentiaalijakauma näkyy kuvasta 54. Nykyiset globaalit resurssikartat ovat vain suuntaa-antavia, koska resoluutio ja lähtötietojen laatu eivät ole riittävän hyviä. Alhaisen resoluution vuoksi arviot alueille, joilla maasto on monimuotoista, ovat erityisen huono-

9. Tuulivoimaresurssit ja tuulivoiman tuotantopotentiali

ja. Tästä huolimatta alla olevan kartan vertailu korkean resoluution tuuliatlaksiin osoittaa kohtuullista samankaltaisuutta.

Kaikista maanosista löytyy alueita, joilla on hyvä tuulivoimaresurssi. Joillain alueilla, kuten Saharan eteläpuolisessa Afrikassa, etäisyys hyvien resurssialueiden ja kulutusalueiden välillä voi olla pitkä. On hyvä huomata, että globaalilla kartalla pienikin hyvätuulinen alue voi tuottaa suuren määrän sähköä. Kaikkien yhdeksän suurimman hiilidioksidipäästöjen tuottajamaan tuulivoimaresurssi on huomattavasti niiden sähkönkulutusta suurempi.



Kuva 54. Kapasiteettikertoimet GE 2.5xl -tuuliturbiinille arvioituna 100 m:n korkeudelle (Lu et al. 2009).

Koska melkein kaikkialla tuulivoiman potentiaali on primäärienergian kulutusta merkittävästi suurempi, on tärkeää vertailla resurssin laatua ja hyödynnettävyyttä. Pohjois-Amerikka on erinomaisessa asemassa: vaikka parhaat resurssit ovat kaukana kulutuksesta, myös kulutusalueiden lähellä on riittävästi hyviä resursseja. Rakennusalueita valittaessa tulee optimoida eri kustannustekijöiden välillä: siirtoyhteyden kustannukset, tuulen nopeus, tuulivoimalatekniikka ja sosiaaliset tekijät. Pyyhkäisy-pinta-alan suurentaminen suhteessa generaattorin kokoon auttaa voimaloita tuottamaan paremmin huonommissa tuuliolosuhteissa, vaikka kustannukset tuotettua energiaa kohtaan hieman nousevatkin.

Venäjän tuulivoimaresurssi on erittäin suuri, erityisesti puuttomilla alueilla pohjoisessa ja etelässä. Kiinan resurssi on suurimmillaan Sisä-Mongolian aroilla, mutta muitakin hyviä alueita löytyy. Intiassa resurssi keskittyy etelä- ja länsiosiin, mutta resurssi ihmistä kohden on pienempi kuin muilla maapallon suuralueilla. Australiasta ja Uudesta-Seelannista löytyy runsaasti erinomaisia tuulisuusalueita. Indonesian, Afrikan ja Etelä-Amerikan trooppisilla alueilla tuuliresurssi on huono osittain metsäpeitteestä ja osittain päiväntasaajan meteorologiasta johtuen. Afrikassa erinomaiset resurssit löytyvät Saharasta, Afrikan sarvesta, Keniasta, Madagaskarilta ja Etelä-Afrikasta. Todennäköisesti suurin erinomaisen tuulivoimaresurssin alue on Etelä-Argentiinassa. Muita hyviä alueita Etelä-Amerikassa on länsi-, pohjois- ja itärannikoilla. Myös Lähi-idässä on hyvät tuulivoimaresurssit.

9. Tuulivoimaresurssit ja tuulivoiman tuotantopotentiaali

Euroopan parhaat resurssit ovat lähellä Atlanttia. Norjasta, Tanskasta, Brittein saarilta, Portugalista ja osasta Espanjaa, Ranskaa ja Saksaa löytyy alavia alueita, joiden ansiosta tuulet pysyvät lähellä maanpintaa. Metsäisillä alueilla tarvitaan korkeampia voimaloita, jotta päästään kohtuullisille keski-tuulennopeuksille. Näitä resursseja saadaan käyttöön sitä mukaa kuin voimaloiden pyyhkäisy-pinta-ala ja napakorkeus kasvavat. Kuten muillakin alueilla, tuulivoiman tekninen potentiaali Euroopan unionis-sa on riittävän suuri kattamaan primäärienergiatuotannon muutamaaan kertaan. Eurooppa on kuitenkin varsin tiheästi asuttu maanosa, minkä seurauksena maankäytön rajoitteet ovat joillakin alueilla merkit-täviä. Silti tärkein kysymys ei ole resurssin koko: hyödynnettävissä olevaa löytyy kyllä tarpeeksi. Keskeistä on se, miten vaihteleva tuotanto voidaan parhaiten hyödyntää ja millä kustannuksilla. Sen vuoksi tuulivoiman taloudellinen potentiaali määräytyy suhteessa energijärjestelmän joustavuuteen ottaa vastaan vaihtelevaa tuotantoa. Tätä voidaan parantaa lisäämällä sähköverkkojen välisiä yhteyk-siä, sähkön lämmityskäyttöä (erityisesti jos sähkölämmitys yhdistetään lämpövarastoihin), sähköauto-ja, vesivoiman joustavaa käyttöä ja perinteisten voimalaitosten joustavuutta. On mahdollista rakentaa energijärjestelmä, joka pitkälti nojaa vaihtuviin tuotantomuotoihin, mutta se jää nähtäväksi, miten kilpailukykyinen tällainen ratkaisu tulee olemaan muihin vaihtoehtoihin verrattuna.

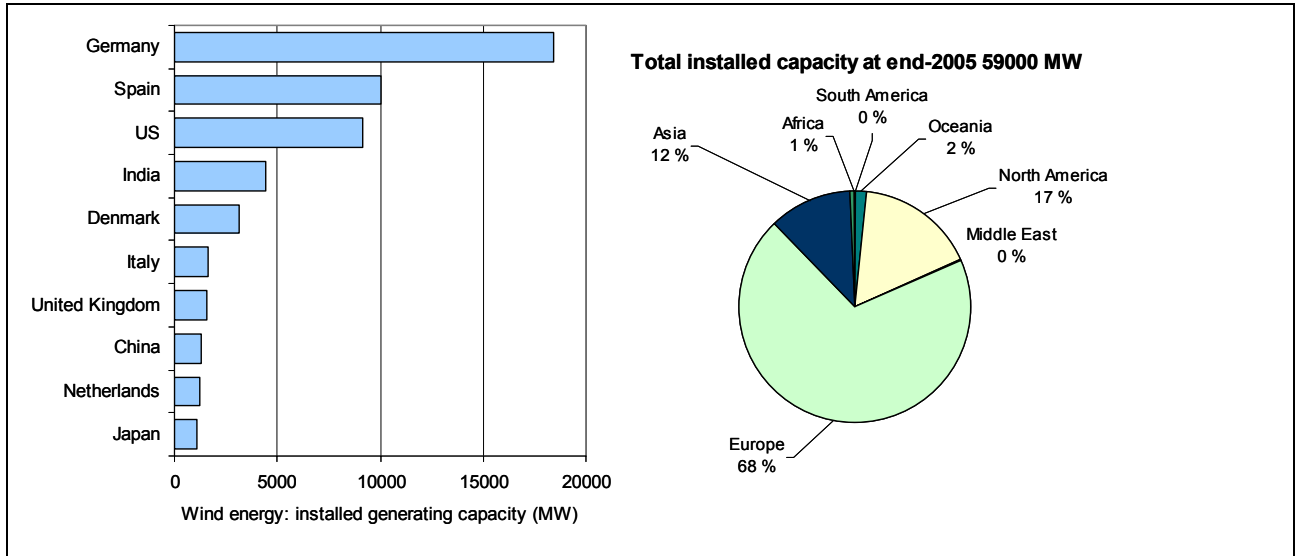
Suomi on suuri maa suhteessa sen energian kulutukseen. Suomen leveyspiireillä polaaririntamat kulkevat säännöllisen epäsäännöllisesti maan yli ja tuovat mukanaan melko hyviä tuuliresursseja. Maan metsäisyydestä johtuen sisämaan tuulivoimaresurssi on rajoittunut tyypillisen tuulivoimalan korkeudella. Mereltä löytyy kuitenkin hyvä resurssi kuten myös Etelä-Suomen metsättömiltä alueilta. Pohjois-Suomesta löytyy laajoja matalan kasvillisuuden alueita, mutta kulutus on pääosin etelässä. Meren ja maan tekninen potentiaali on useita kertoja suurempi kuin primäärienergiankulutus. Pääosa maalta löytyvästä resurssista vaatii kuitenkin korkeampia voimaloita, jotka on optimoitu pienemmälle keskimääräiselle tuulennopeudelle. Tämän resurssin taloudellisuus on toistaiseksi epävarmaa.

Taulukko 10. Tuulivoimapotentiaalit.

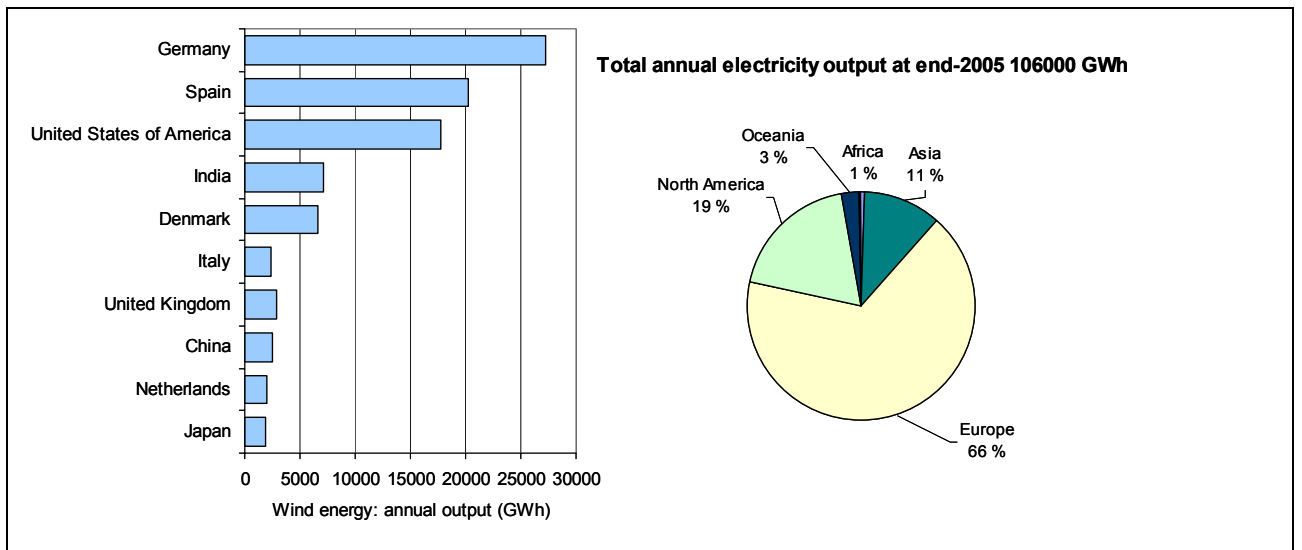
	Vuosipotentiaali	Rajoitteet	Tietolähde
Hoogwijk, Vries & Turkenburg 2004	96 PWh 21 PWh (70 \$/MWh)	Puistohyötysuhde 90 %, 4 MW/km ² , vain maalle, joitain aluerajoituksia	Meteorologiset ase-mat, mittausdata pää-osin 10 m:stä; napa-korkeus 69 m
Archer & Jacobson 2004	627 PWh (tuulisuusluokka ≥3)	Puistohyötysuhde 100 %, 9 MW/km ² , offshore near to continents	7753 sääasemaa ja 446 luotausasemaa; napakorkeus 80 m
Lu, McElroy & Kiviluoma 2008	1330 PWh 880 PWh (≥ 20 % cf) 130 PWh (≥ 36 % cf, vain maalle)	Puistohyötysuhde 80 %, 8,9 MW/km ² , joitain aluerajoi-tuksia, merialueet lähellä mantereita	Yksi vuosi GEOS 5 mallidataa, joka perus-tuu mittautietokantoi-hin; napakorkeus 100 m

Kuvissa 55 ja 56 esitetään installoitu tuulivoimakapasiteetti vuoden 2005 lopussa ja tuulivoimatuotan-to vuonna 2005. Kuvista nähdään, että eniten tuulivoimaa tuotetaan Euroopassa, etenkin Saksassa ja Espanjassa. Myös Yhdysvalloissa tuulivoimatuotanto on merkittävää. Suurin tuulivoimatuotannon osuus sähkön kokonaistuotannosta on kuitenkin Tanskassa, jossa tuulivoimalla tuotetaan yli 20 % maan sähkön kulutuksesta.

9. Tuulivoimaresurssit ja tuulivoiman tuotantopotentiaali



Kuva 55. Tuulivoiman installoitu kapasiteetti vuoden 2005 lopussa (data WEC 2007).

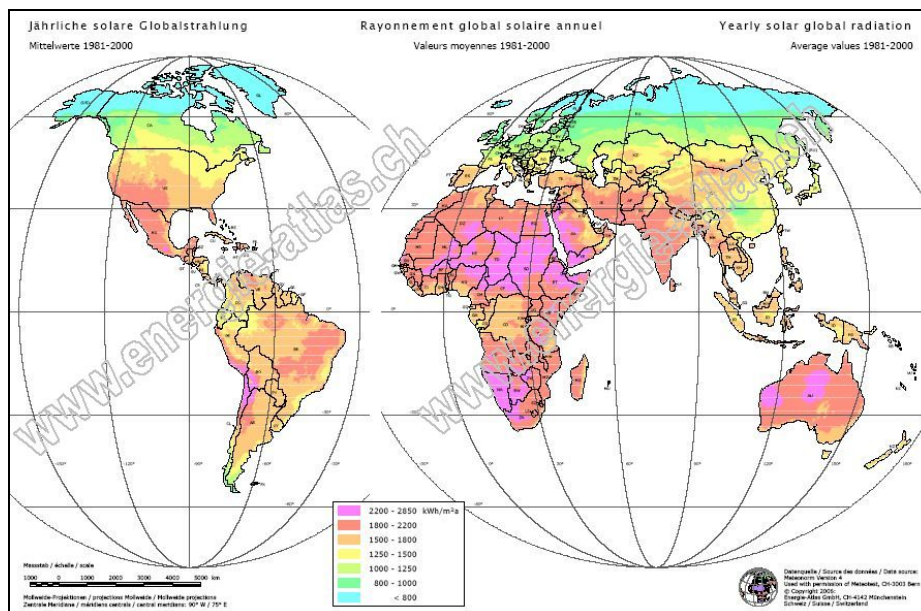


Kuva 56. Tuulivoiman tuotanto vuonna 2005 (data WEC 2007).

10. Muut uusiutuvat energialähteet

10.1 Aurinkoenergia

Aurinko on maailman ylivoimaisesti suurin energialähde. Aurinkoenergiaksi luokitellaan auringon säteilyn lämpö- ja valoenergia, joka sisältää koko sähkömagneettisen säteilyn spektrin. Auringon tuottamasta energiasta ($3,8 \cdot 10^{23}$ kW) vain pieni osa saavuttaa maanpinnan (n. $1,08 \cdot 10^{14}$ kW). Silti aurinkoenergiamäärä, joka kohtaa maanpinnan tunnin aikana, vastaa maailman koko vuoden primäärienergian kulutusta (noin 450 EJ). Maanpinnan saavuttaman auringonsäteilyn määrä on siis noin 3 400 000 EJ eli kertaluokkaa suurempi kuin kaikki fossiiliset resurssit ja ydinpolttoaineet yhteensä. Auringonvalon alhainen intensiteetti sekä energian tuotannon keskeytyminen ja epäsäännöllisyys vuorokauden, vuoden, sään ja maantieteellisen sijainnin mukaan nostavat aurinkoenergialla tuotetun energian kustannuksia huomattavasti. Alle 1 % maailman energiantuotannosta on nykyään aurinkoenergiaa.



Kuva 57. Auringon säteily määrä maapallolla (Energie-Atlas 2009).

10. Muut uusiutuvat energialähteet

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää monella tapaa. Aurinkolämpöä voidaan käyttää suoraan yhdyskunnissa ja teollisuudessa. Aurinkosähköä voidaan tuottaa aurinkokennoissa. Aurinkoenergialla voidaan lisäksi tuottaa polttoaineita, kuten vetyä, tai metalleja metallioksidoista. Aurinkokennot ovat fotoenergiamuuntimia (*photovoltage*, PV), eli ne muuttavat auringonsäteilyn energiaksi. PV-järjestelmät voidaan liittää verkkoon, tai ne voivat toimia itsenäisesti verkon ulkopuolella. 1990-luvun puoleen väliin asti suurin osa aurinkoenergiajärjestelmistä toimi itsenäisesti, mutta viime vuosina sähköverkkoon kytkettyjen järjestelmien määrä on kasvanut eksponentiaalisesti. PV-järjestelmät tuottavat tasavirtaa, mutta vaihtosuuntaajan avulla on mahdollista tuottaa 230 V:n vaihtovirtaa.

70 % maailman kumulatiivisesta aurinkoenergiakapasiteetista sijaitsee Saksassa, Japanissa ja Yhdysvalloissa. Lähitulevaisuudessa aurinkoenergiajärjestelmiin investoitaneen kehittyvissä talouksissa, etenkin Kiinassa ja Intiassa sekä Australiassa, Koreassa ja Espanjassa. Vuonna 2006 kumulatiivinen kapasiteetti oli 1,5 GW. IEA ennustaa kuitenkin, että puhdistetun piin niukkuus rajoittanee aurinkoenergiainvestointeja lähitulevaisuudessa (IEA 2008).

Suurissa aurinkovoimaloissa paraboliset peilit keskittävät lämpöä ja aurinkokerääjät muuntavat aurinkolämmön höyryturbiinin tai stirling-moottorin avulla sähköksi. Ns. keskittävässä eli CSP-aurinkovoimalassa (*Concentrated Solar Power*) voi olla tuhansia parabolisia aurinkokerääjiä (kuva 58), jolloin energiatiheys ja lämpötila ovat suuret. Lämpötilat voivat kohota 300 ja 1 000 °C:n välille tai jopa vielä korkeammalle. CSP-järjestelmät soveltuvat ainoastaan paikkoihin, joissa auringon säteilyintensiteetti on suuri. Lupaavimpia sijoituspaikkoja ovat Yhdysvaltojen lounaisosat, Keski- ja Etelä-Amerikka, Lähi-itä, Välimeren ympäristö Euroopassa, Etelä-Aasia, entisen Neuvostoliiton eteläiset alueet, Kiina ja Australia (kuva 59).



Parabolic Trough



Parabolic Dish-Engine

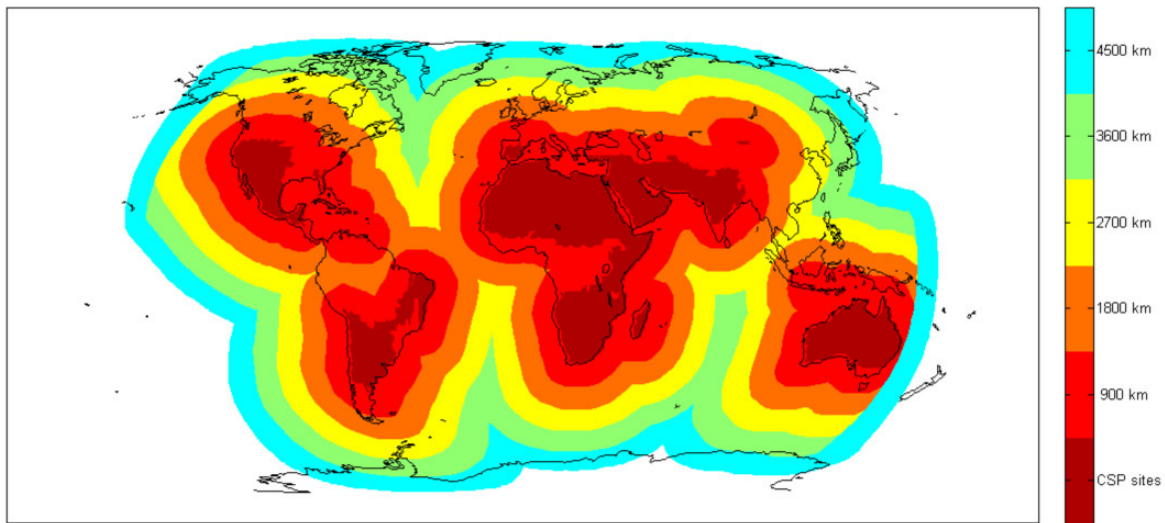


Power Tower



Concentrating Photovoltaic

Kuva 58. Erityyppisiä CSP-laitoksia (NREL 2006).

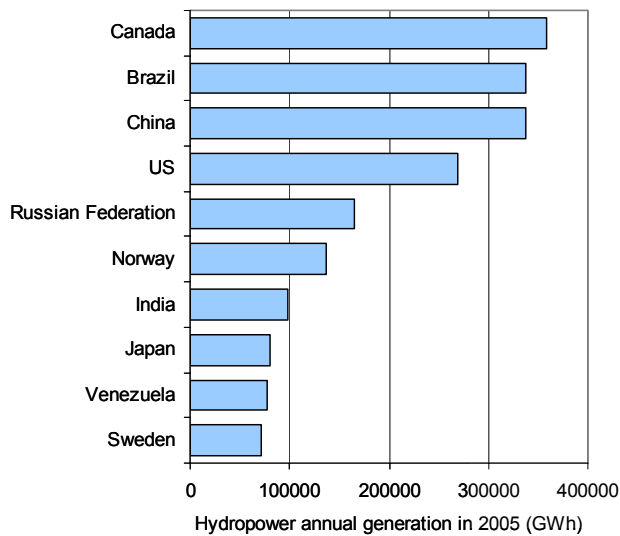


Kuva 59. Suotuisia CSP-laitosten sijoituspaikkoja (tumman punainen) ja HVDC-siirolle arvioidut etäisyydet mahdollisesta CSP-voimalasta (Breyer & Knies 2009).

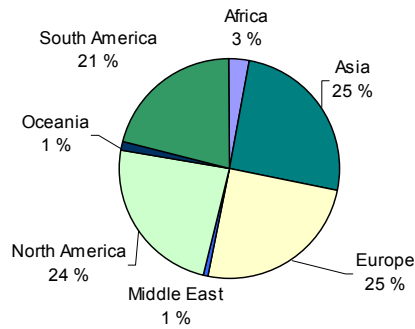
10.2 Vesivoima

Vesivoimaa tuotetaan 160 maassa, ja jopa 90 % uusiutuvasta energiasta tuotetaan nykyään vesivoimalla. Noin puolet maailman vesivoimasta tuotetaan Kanadassa, Brasiliassa, Kiinassa, Venäjällä ja Yhdysvalloissa (kuva 60). Maailman vesivoimakapasiteetti oli vuonna 2005 yhteensä 778 GW, ja rakenteilla tuolloin oli 124 GW uutta vesivoimakapasiteettia (WEC 2007). Lähes 70 % kyseisestä rakenteilla olleesta vesivoimakapasiteetista sijaitsi Aasiassa, etenkin Kiinassa, Intiassa ja Vietnamissa. WEC (2007) arvioi, että vesivoimatuotanto voisi kasvaa Afrikassa kymmenkertaiseksi, Aasiassa kolminkertaiseksi, Etelä-Amerikassa kaksinkertaiseksi ja Pohjois-Amerikassa noin kymmenen prosenttia. Pohjois-Amerikassa uutta vesivoimakapasiteettia voidaan olettaa rakennettavan 16 GW, josta 11 GW on jo identifioitu Kanadassa. IEA (2008) puolestaan arvioi, että realistinen vesivoimapotentiaali olisi 2,5–3-kertainen nykyiseen vesivoimatuotantoon verrattuna. WEC (2007) arvioi resurssiraportissaan maailman teoreettiseksi vesivoimapotentiaaliksi 41 200 TWh/a, josta 16 500 TWh/a olisi teknisesti toteutettavissa nykyisellä teknologialla. IEA arvioi vesivoiman tekniseksi potentiaaliksi 14 000 TWh/a, josta 6 000 TWh/a olisi realistista toteuttaa. Teoreettinen potentiaali sisältää kaikki luonnolliset vesivirtaukset ja oletuksen turbiinin sataprosenttisesta hyötysuhteesta. IEA arvioi pienvesivoiman tekniseksi potentiaaliksi 150–200 GW, josta ainoastaan 5 % on rakennettu.

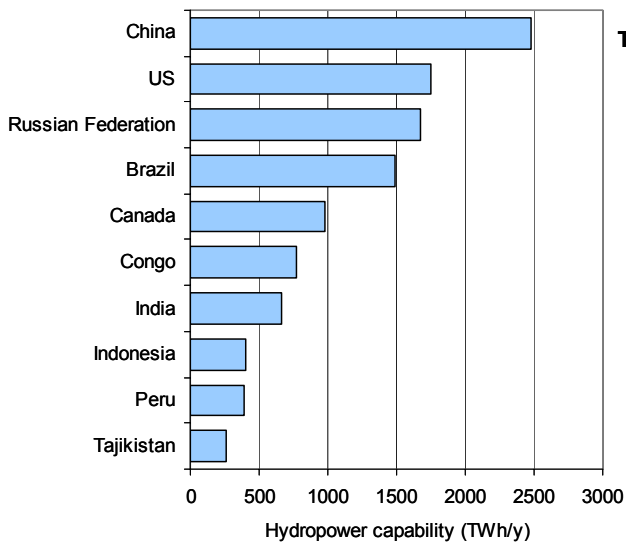
10. Muut uusiutuvat energialähteet



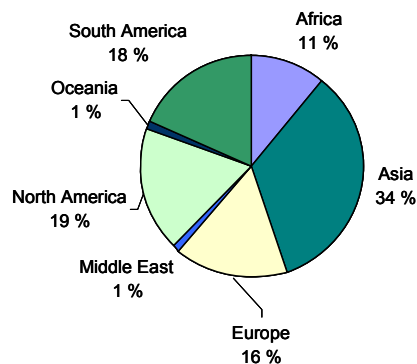
Total hydropower generation in 2005 2837 TWh



Kuva 60. Vesivoiman tuotanto vuonna 2005 (data WEC 2007).



Total technically exploitable hydropower capability at end-2005 16500 TWh/y



Kuva 61. Arvioidut vesivoiman tekniset potentiaalit (data WEC 2007).

Vesivoimatuotannon kasvattamisen haasteet liittyvät rajallisten vesi- ja maaresurssien keskinäiseen kilpailuun sekä vesivoimatuotannon sosiaalisiin ja ympäristövaikutuksiin, jotka rajoittavat erityisesti laajamittaista vesivoimatuotantoa. Suurten vesivoimaloiden kiistanalaisuus liittyy siihen, mitä vaikutuksia voimaloilla on veden saantiin alajuoksulla, sekä arvokkaiden ekosysteemien hukkumiseen veden alle, mikä saattaa myös edellyttää asutuksen siirtoa. Suuret voimalat tarvitsevat myös suuret DC-linjat. Pienvesivoimaa pidetään huomattavasti ympäristöystävällisempänä, mutta ongelmana ovat pienvesivoiman korkeat investointikustannukset.

Vesivoimaa tuotetaan myös pumppuvoimalaitoksissa, joiden toiminta perustuu veden pumppaamiseen alemmasta vesialtaasta ”halvan” sähkön aikana varastoon ylempään vesialtaaseen. Nykyinen pumppuvoimaloiden yhteenlaskettu kapasiteetti on noin 100 GW. Globaalisti pumppuvoimaloiden potentiaaliksi IEA arvioi 1 000 GW, joka on noin puolet IEA:n esittämästä realistisesta uudesta vesivoimapotentiaalista (IEA 2008).

10.3 Aalto- ja vuorovesivoima sekä muu merienergian hyödyntäminen

Valtamerien energian hyödyntämiseen liittyvän teknologian kehitys on vasta alkuvaiheessa. Merienergian tuotanto voi perustua veden liike-energian, lämpötila- ja suolapitoisuusgradienttien sekä merien biomassan hyödyntämiseen. Vuorovesivoimalat ja aaltovoimalat ovat edellä mainituista ehkä tunnetuimmat ja aktiivisimman kehitystyön kohteena. Vuorovettä on tosin hyödynnetty jo keskiajalla alavilla mailla viljojen jauhamiseen myllyissä, ja ensimmäiset aaltovoimalaitteen patentit myönnettiin jo 1700-luvulla.

Vuorovesivoimaloita on käytännössä kahta eri tyyppiä: toinen hyödyntää veden pinnankorkeuksien muutoksia ja toinen perustuu merivirtausten hyödyntämiseen samalla tavoin kuin tuulivoimalat hyödyntävät ilmavirtauksia. Edellä mainitun vuorovesivoimalatyypin teknologia on hyvin samantapainen kuin vesivoimaloissa. Sähköä tuotetaan, kun vesi virtaa porteista sisään ja ulos turbiinien kautta. Potentiaalisimpia sijoituspaikkoja vuorovesivoimaloille löytyy Kanadasta, Iso-Britanniasta ja Ranskasta, joissa vedenpinnan korkeus vaihtelee on noin 7–10 m. Ranskassa sijaitseva maailman suurin vuorovesivoimala on rakennettu vuonna 1966. La Ransen voimala on 750 metriä pitkä, ja sen teho on 240 MW. Myös Pohjois-Irlannissa toimii kaupallisesti kannattava vuorovesivoimala. Marine Current Technologiesin rakentama *SeaGen*-niminen laitos koostuu kahdesta 16-metrisestä vedenalaisesta roottorista, ja sen nimellisteho on 1,2 MW. Vuorovesivoimaloita ovat rakentaneet myös Hammerfest Strom ja Verdant Power. Koreaan on rakenteilla uusi 254 MW:n vuorovesivoimala, joka valmistuttuaan lähes kaksinkertaistaa nykyisen vuorovesikapasiteetin (270 MW). Britannian suurimman joen suistoon suunnitellaan vuorovesivoimalaa, joka tuottaisi 17 TWh sähköä vuodessa eli noin 4 % Britannian sähköstä. Voimalan muodostaisi 16 km:n pituinen pato. Se edellyttäisi vaihtoehtoisia elinympäristöjä varsinkin alueen linnustolle, koska pato muuttaisi suiston olosuhteita rajusti. Vedenalaisia veden virtauksia hyödyntäviä voimaloita, jotka koostuvat 2–3 MW:n moduuleista, on suunnitteilla Iso-Britanniaan, Kanadaan ja Yhdysvaltoihin.

Aaltovoimaloiden kehitystyön käynnistivät useat pienet yritykset 1970-luvulla öljykriisin vauhdittamana. Tunnetuin tuolloin kehitetty aaltogeneraattori tunnettiin nimellä *Salterin Anka*, jonka kehitystyöstä vastasi Stephen Salter Edinburghin yliopistosta. ”Ankat” olivat talon kokoisia, meren pohjaan kiinnitettäviä kelluvia kanistereita. ”Ankkojen” edestakainen kellunta muuttaa hydraulisesti liikkeen pyöriväksi, mikä puolestaan pyörittää generaattoria. Kovin montaa aaltoenergiaa hyödyntävistä teknologioista ei ole kuitenkaan testattu suuressa koossa tai edes meriolosuhteissa vielä tähän päivään mennessä. Alla on joitain esimerkkejä aaltovoimaloiden toteutustavoista:

- *Blower*. Menestyksekkäin aaltovoimala, jota on testattu Skotlannin ja Norjan rannikolla. Aaltojen työntyessä betoniputkeen ilmaa puristuu tuuliturbiinin läpi. Vetäytyessään aallot imevät ilmaa putkeen ja turbiinin pyörimissuunta vaihtuu.

10. Muut uusiutuvat energialähteet

- *Käärmemäinen Pelamis*. Pelamis Wave Power -yhtiössä kehitetty 140-metrinen, käärmemäinen laite, jossa aallot kääntävät saranoituja niveliä ja männät pumpaavat nestettä turbiineihin. Yksi Pelamis voi tuottaa 750 kW energiaa. Kolme Pelamis-laitetta on käytössä Portugalissa.
- *Poijumalli*. Putkimallinen Aquaboy on 25-metrinen putki, jonka pystysuuntainen liike paineistaa putken sisällä olevaa vettä. Vesi purkautuu turbiiniin, kun paine on riittävän suuri. Kalifornian rannikolle on suunniteltu Aquaboy-voimalaa. Poijumalleja on myös muunlaisia.
- *The Oyster*. Oyster on 12 m * 18 m -kokoinen metallikaistale, joka on jaettu kahteen osaan, maalle ja merelle. Yksi Oyster tuottaa 600 kW energiaa.

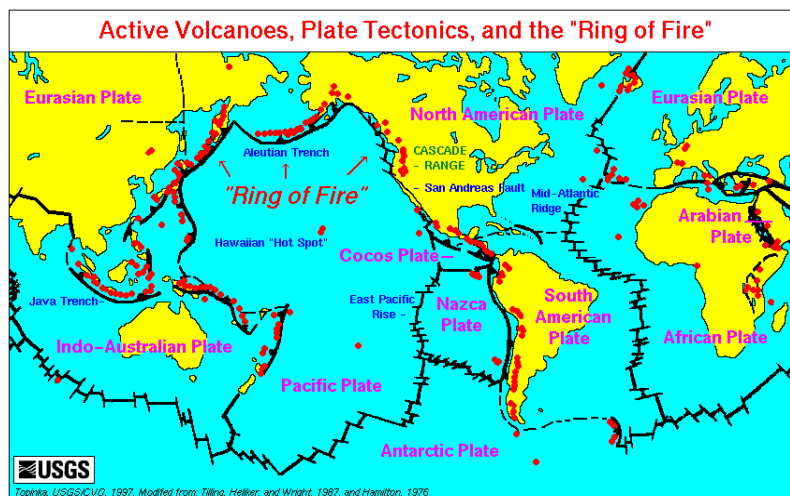
Meriveden lämpöenergiaa käytetään maailmalaajuisesti lämpöpumpuissa sekä jäähdytykseen että lämmittämiseen. Intiassa on käynnissä useita desalinaatiohankkeita, joissa hyödynnetään lämpötilagradientteja makean veden valmistuksessa.

10.4 Geoterminen energia

Geoterminen energia on maapallon termistä energiaa, joka on muodostunut ja varastointunut maapallon ytimeen, vaippaan ja mannerkuoreen. Maan ytimen lämpötila on noin 3 500–4 500 °C, ja mannerkuoresa lämpötila on noin 200–1 000 °C. Mannerkuoreessa lämpötila kohoaa syvyyssuunnassa 25–30 °C/km.

Geotermisen energian hyödyntäminen on lisääntynyt voimakkaasti viime vuosikymmeninä. Geotermisiä resursseja on paikannettu noin 90 maassa, ja yli 70 maassa tuotetaan geotermistä sähköä. Vuonna 2004 geotermistä sähköä tuotettiin noin 55 TWh ja geotermistä lämpöä hyödynnettiin 76 TWh. Ainoastaan pieni osa geotermisestä potentiaalista on nykyään käytössä. Taloudellinen potentiaali rajoittui aiemmin alueille, joilla kuumat lähteet sijaitsevat alle kolmen kilometrin syvyydessä. Maalämpöpumppujen kehitys on kuitenkin mahdollistanut myös muun geotermisen energian hyödyntämisen lämmityksessä ja jäähdytyksessä. Geotermistä energiaa voidaankin hyödyntää kaikkialla maailmassa.

Geotermiset resurssit voidaan jakaa kahteen kategoriaan riippuen siitä, onko geoterminen lähde kytkeytynyt vulkaaniseen ja magmaattiseen aktiivisuuteen vai ei. Geoterminen sähköntuotanto liittyy yleensä ensin mainittuun (lämpötila yli 150 °C) ja suora käyttö molempiin. Geotermisten lähteiden lämpötila vaihtelee alueittain. Vulkaanista aktiviteettia esiintyy lähinnä mannerlaattojen rajoilla (kuva 62).



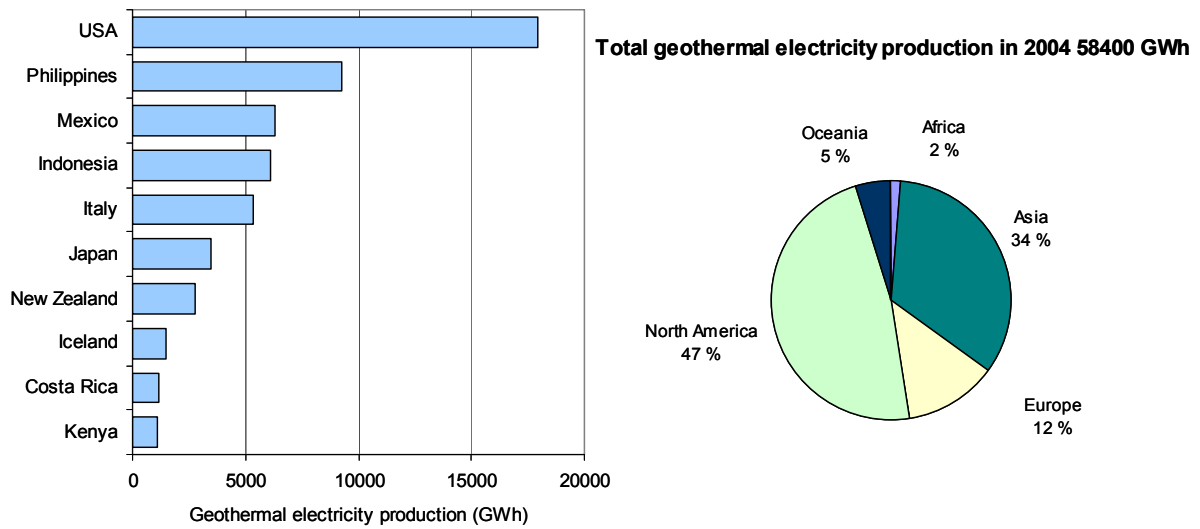
Kuva 62. Mannerlaattojen rajapinnat, joissa esiintyy vulkaanista aktiivisuutta (USGS 2009).

10. Muut uusiutuvat energialähteet

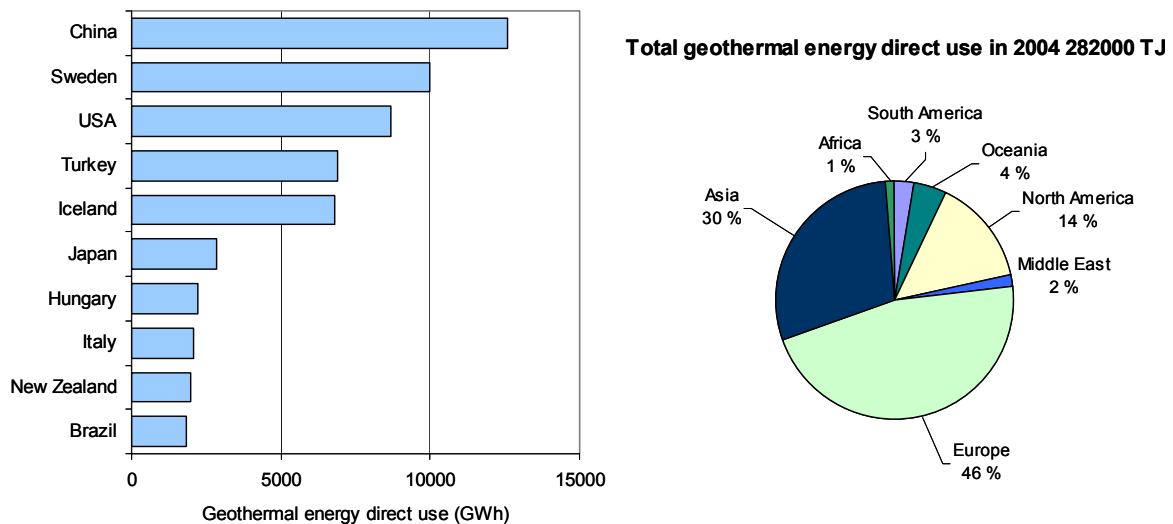
Geotermiset resurssit, joissa ei esiinny vulkaanista aktiivisuutta, voidaan jakaa neljään luokkaan:

- pohjaveden kiertoon maaperän halkeamissa liittyvät resurssit
- huokoisessa kivessä esiintyvä vesi, joka on hydrostaattisessa paineessa
- huokoisessa kivessä esiintyvä vesi, jonka paine on suurempi kuin hydrostaattinen paine
- kuumassa, kuivassa kivessä esiintyvä lämpö.

Kahta viimeistä resurssia ei hyödynnetä nykyään energiantuotannossa. Suurimmat geotermisen sähkön tuottajat sekä geotermisen lämmön käyttäjät esitetään kuvissa 63 ja 64.



Kuva 63. Geotermisen sähkön tuotanto vuonna 2004 (data WEC 2007).



Kuva 64. Geotermisen lämmön käyttö vuonna 2004 (data WEC 2007).

11. Ilmastonmuutoksen vaikutukset energialähteisiin

Ilmastonmuutos vaikuttaa energiasektoriin usealla tavalla. Lämpötilan muutos vaikuttaa muun muassa biomassan tuotantoon, sateisuuden muutos vesivoiman hyödyntämiseen ja tuulisuuden muuttuminen tuulivoiman tuotantoon. Ilmaston lämpeneminen vaikuttaa myös energian tarpeeseen. Suomessa rakennusten lämmitystarpeen on arvioitu vähentyvän noin 10 %:lla vuoteen 2030 mennessä, mikä vaikuttaisi kokonaisenergiankulutuksen vähentymiseen 2 %:lla (Tammelin et al. 2002). Talvella tarvittavan energian tarve vähenee koko Euroopassa, eniten Välimerellä, Atlantilla sekä Pohjois-Euroopassa. Kesällä tarvittavan energian tarve taas kasvaa, merkittävimmin Välimeren alueella. Kesäajan energian tarpeen kasvu johtuu jäähdytykseen ja ilmastointiin tarvittavasta energiasta. Myös kaikkialla muualla Euroopassa ilmaston lämpeneminen tulee vaikuttamaan kesäajan energian tarpeeseen lisäävästi. (Alcamo et al. 2007).

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia energialähteisiin on arvioitu eniten vesivarojen osalta. Ilmastonmuutos voi muuttaa veden valumamääriä sekä sateiden ajoitusta ja siten myös vesialtaiden täyttöasteita. Bates et al.:n (2008) mukaan vuoteen 2070 mennessä vesivoimapotentiaali vähenee Euroopassa 7–12 %:lla (vesivoiman osuus 20 %). Arvio pitää sisällään vesivoimapotentiaalin vähentymisen Välimeren alueella 20–50 %:lla, kun taas potentiaalin on arvioitu lisääntyvän 15–30 % Pohjois- ja Itä-Euroopassa. Länsi- ja Keski-Euroopan vesivoimapotentiaalin on arvioitu pysyvän ennallaan. Pohjois-Amerikassa Suurten järvien ulosvirtaaman ja siten myös vesivoimapotentiaalin on arvioitu pienenevän merkittävästi. Kanada saattaa kuitenkin hieman hyötyä ilmaston lämpenemisestä suuremman sateisuuden ja avoimempien vesiolosuhteiden myötä.

Vuosittaisen tuulivoimapotentiaalin on arvioitu hieman kasvavan Atlantilla sekä Pohjois-Euroopassa. Talviajan potentiaalilisäys on merkittävämpi aikavälillä 2071–2100 (IPCC 2007). Suomessa tuulivoimapotentiaalin lisäystä on arvioitu kahdella eri projektiolla, jotka antoivat potentiaalin lisäykseksi 2–10 % (Tammelin et al. 2002). Talviajan tuulisuudessa näkyi selvästi suuria muutoksia merialueilla, mutta muutokset sisäalueilla jäivät hyvin pieniksi. Tuulivoima on kuitenkin herkkä säiden ääri-ilmiöille. Lisääntyneet myrskyt sekä heikot tuulet johtavat tuulivoiman tuotannon vähenemiseen. Samoin lapojen jäätyminen on tuulivoimalle kriittistä (Kirkinen et al. 2005).

Bioenergiapotentiaalin muuttuminen ilmaston lämpenemisen johdosta riippuu hyvin pitkälti siitä, miten paikalliset ilmasto-olosuhteet muuttuvat. Suomen olosuhteissa ilmaston lämpeneminen ja hiilidioksidipitoisuuden kasvu vaikuttavat positiivisesti biomassan kasvuun. Myös pidentynyt kasvukausi vaikuttaa saatavilla olevan biomassan potentiaaliin. Bioenergian tuotantopotentiaalin on arvioitu lisääntyvän Suomessa 10–15 % ajanjaksolla 2021–2050 (Tammelin et al. 2002). On arvioitu, että 2100-luvulla biopolttoaineiden tuotantoon varattu alue kasvaa kahdella kolmasosalla joka puolella Euroop-

11. Ilmastonmuutoksen vaikutukset energialähteisiin

paa. Yleisesti ilmastonmuutoksen on arvioitu vaikuttavan negatiivisesti erityisesti maataloustuotantoon. IPCC:n (2007) mukaan paikallinen tuottavuus (riippuen lajikkeesta) saattaa kasvaa keski- ja pohjoisilla leveysasteilla, mutta jos maapallon keskilämpötila nousee yli 1–3 astetta, tuottavuus alkaa pienentyä. Erityisesti eteläisillä leveysalueilla satotuottavuuden on arvioitu vähentyvän pieninkin lämpötilan nousun myötä. Myös lisääntyneet tuholaiset ja patogeenit saattavat aiheuttaa ongelmia biomassan tuotannolle. Samoin lisääntyneet myrskyt sekä säiden ääri-ilmiöt vaikuttavat biomassan tuotantoon (mm. lisääntyneet tuulikaadot ja metsäpalot) (Kirkinen et al. 2005).

Ilmastonmuutoksella ei ole merkittäviä vaikutuksia fossiilisten polttoaineiden tai ydinenergian hyödyntämiseen. Jäähdytysveden lämpötilan nouseminen saattaa aiheuttaa hyötysuhteen heikkenemistä lauhdevoima- ja ydinvoimalaitoksissa. Ilmastonmuutos saattaa vaikeuttaa fossiilisten energiavarojen hyödyntämistä, sillä muun muassa arktisille lähteille pääsy saattaa hankaloitua sekä energiavarojen kuljetus vaarantua myrskyjen ja muuttuneiden olosuhteiden vuoksi (Kirkinen et al. 2005).

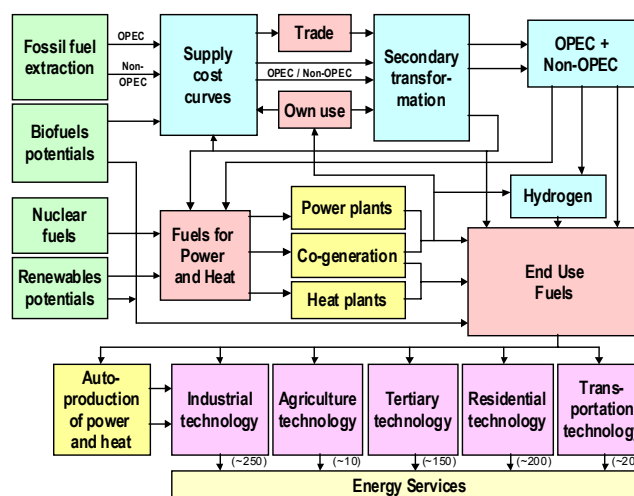
12. Globaalit ja alueelliset energiaskenaariot

Tässä kappaleessa esitellään Global TIAM -mallilla laskettuja globaaleja ja alueellisia energiaskenaarioita, jotka liittyvät lähinnä primäärienergiälähteiden käyttöön tulevaisuudessa. Global TIAM -malli pohjautuu metodiikaltaan täysin IEA ETSAP -ohjelmassa (*Energy Technology Systems Analysis Programme*) kehitettyyn energiajärjestelmien mallinnusjärjestelmään TIMESiin (*The Integrated Markal-Efom System*) (Loulou et al. 2005). Myös VTT on aktiivisesti osallistunut ohjelmaan ja mallin kehitystyöhön.

SEKKI-hankkeessa kehitettiin lisäksi Monte Carlo -simulointiin perustuva Euroopan kaasunhankinnan malli, jonka avulla arvioitiin kaasun saatavuuteen liittyviä tekijöitä Euroopan näkökulmasta. Tässä raportissa on esitelty mallilla laskettuja tuloksia. Mallin tarkempi kuvaus on esitetty erillisessä raportissa (Forsstöm 2009).

Alueellisissa skenaarioissa tarkastelun kohteena ovat Euroopan (pois lukien entisen Neuvostoliiton alue) ja kehittyvän Aasian energian kysyntä sekä energian saatavuus tulevaisuuden mahdolliset kasvihuonekaasupäästöjen rajoitustavoitteet huomioiden. Globaalien energiajärjestelmäskenaarioiden lähtöoletuksia ja Global TIAM -mallin rakennetta on tarkemmin raportoitu Climbus SETELI -hankkeen lopuraportissa (Koljonen et al. 2008a) sekä kahdessa konferenssiartikkelissa (Koljonen et al. 2008b, 2009).

Kuvassa 65 on esitetty Global TIAM -mallin perusrakenne. Kuvasta 66 ja taulukosta 11 näkyy mallin käyttämä aluejako. Malli käsittää koko energiajärjestelmän primäärienergian tuotannosta energian kuluutukseen. Malli sisältää myös ilmastomallin sekä energiahyödykkeiden (öljy, kaasu, LNG, hiili) ja päästöoikeuksien kaupan eri TIAM-alueiden välillä.



Kuva 65. Global TIAM -mallin rakenne.



Kuva 66. Global TIAM-mallin aluejako.

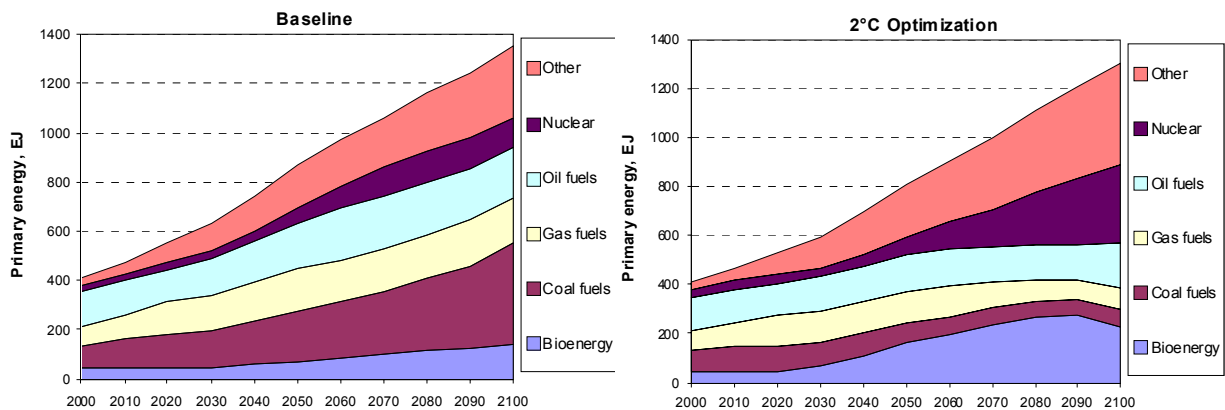
Taulukko 11. Aluejako ja niiden bkt-kasvuoletukset Global TIAM -skenaarioissa.

<i>Region</i>		<i>2000– 2020</i>	<i>2020– 2050</i>	<i>2050– 2100</i>
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

12.1 Globaalit energia- ja päästöskenaariot

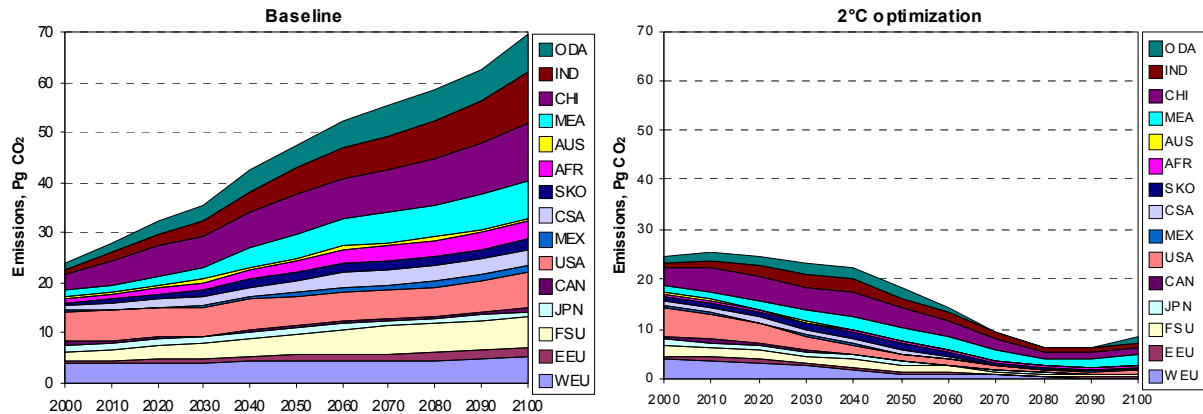
Kuvassa 67 esitetään globaali primäärienergian kehitys baseline- (*business as usual*) ja ilmastopoliittikkaskenaarioissa (alla 2 °C -skenaario) vuoteen 2100 asti. Skenaarioissa oli tavoitteena Euroopan unionin esittämä kahden asteen rajoite ilmakehän lämpötilan nousulle. TIMES-järjestelmässä 2 °C:n tavoite vastaa noin 450 ppm:n kasvihuonekaasujen (khk) pitoisuustavoitetta, kun ilmaston herkkyydeksi oletettiin kolme astetta. Ilmaston herkkyyssparametri kuvaa maapallon tasapainolämpötilan muutosta, johon keskilämpötila hakeutuu, kun ilmakehän CO₂-pitoisuus asettuu tasolle 550 ppm. Ilmakehän herkkyyttä ei tunneta tarkasti: se saattaa IPCC:n mukaan vaihdella 2–4,5 °C:seen (IPCC 2007).



Kuva 67. Globaali primäärienergian kulutus baseline- ja 2 °C -skenaarioissa. Other-sektori on pääosin muuta uusiutuvaa energiaa kuin bioenergiaa.

Kuvasta 67 nähdään, että fossiilisista polttoaineista hiilen kulutus noin kaksinkertaistuu vuoteen 2050 mennessä baseline-skenaariossa, kun taas 2 °C -skenaariossa hiilien kulutus lähes puolittuu samalla ajanjaksolla. Maakaasun ja öljyn käyttö kasvaa maltillisemmin sekä baseline- että 2 °C -skenaarioissa. Bioenergian kulutus kasvaa 2 °C -skenaariossa maksimiarvoonsa, joten oletetulla bioenergian maksimipotentiaalilla on merkittävä vaikutus skenaariotuloksiin. Myös muiden uusiutuvien energialähteiden, etenkin tuulivoiman, lisääntyminen rajusti 2 °C -skenaariossa.

Kuvassa 68 esitetään globaalien CO₂-päästöjen kehitys baseline- ja 2 °C -skenaarioissa eri laskenta-alueilla. 2 °C -skenaariossa CO₂-päästöjen tulisi vähentyä noin kolmannekseen vuoden 2000 tasosta. Baseline-skenaariossa kehittyvän Aasian (CHI + IND + ODA) yhteenlasketut CO₂-päästöt kasvavat noin 30 %:iin maailman kokonaispäästöistä vuoteen 2050 mennessä. 2 °C -skenaariossa kehittyvien maiden CO₂-päästöt eivät saisi juurikaan lisääntyä nykytasosta, ja teollisuusmaiden CO₂-päästöjen tulisi pienentyä vähintään 80 % vuoden 2000 tasosta.

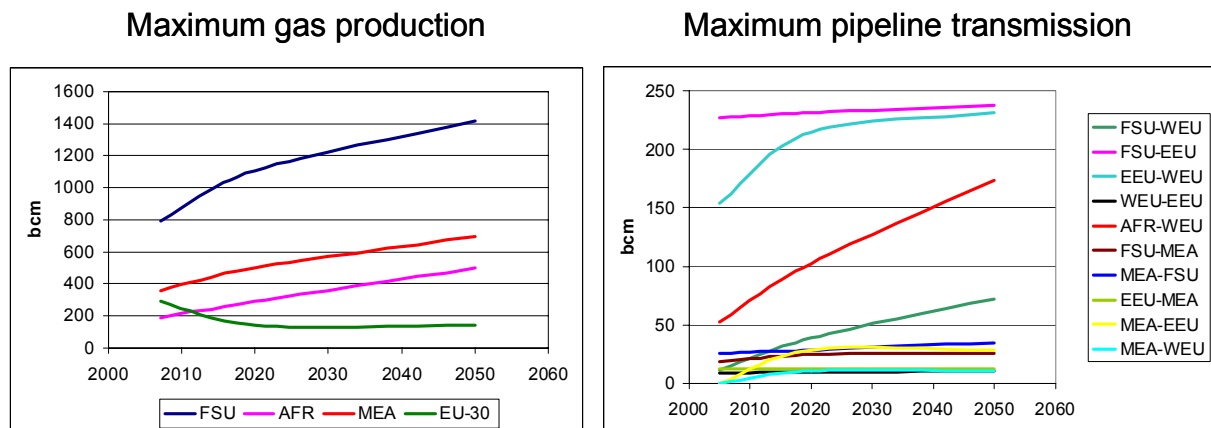
Kuva 68. Globaalien CO₂-päästöjen kehitys baseline- ja 2° C -skenaariossa.

12.2 Energiavarmuus EU-30-alueella

12.2.1 Skenaariotarkastelut Global TIAM -mallilla

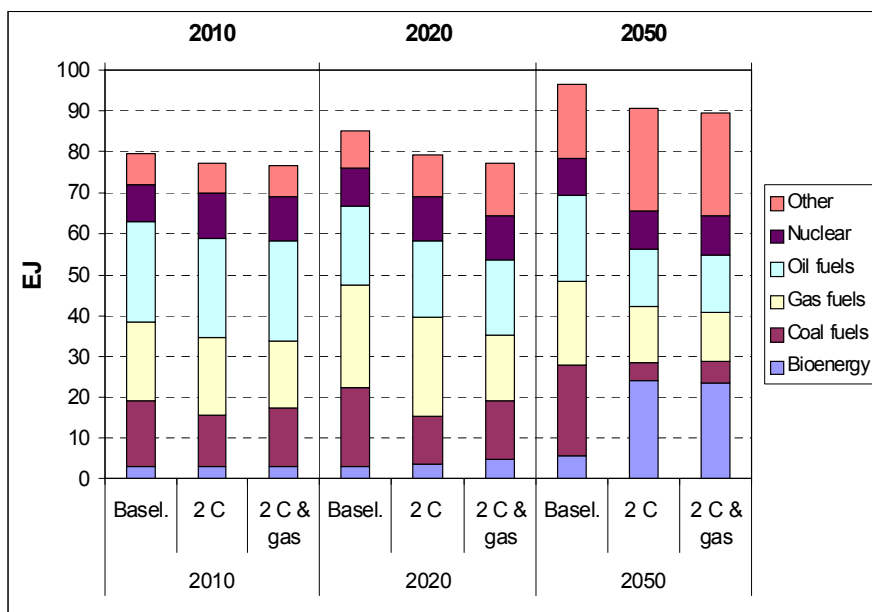
EU-30-alueen energiavarmuutta vuoteen 2050 asti tarkasteltiin antamalla maakaasun tuonnille, tuuli-voimainvestoinneille sekä biomassan käytölle EU-30-alueella laskennallinen maksimiarvo. EU-30-alue vastaa kuvassa 66 esitettyä EEU + WEU -aluetta. Baseline- ja 2 °C -skenaarioiden lisäksi laskettiin 2 °C & gas -skenaario, jossa ilmastotavoitteiden lisäksi rajoitettiin investointeja maakaasun tuotantoon ja siirtoon sekä LNG-tuotantoon ja -terminaaleihin. Kuvassa 69 esitetään 2 °C & gas -skenaariossa oletetut kaasun maksimituotannot EU-30-alueella, FSU-alueella, Lähi-idässä sekä Pohjois-Afrikassa sekä kaasun maksimisiirtokapasiteetti (putkisiirto ja LNG). Kaasun maksimituotannossa on oletettu, että investoinnit Bonanenkovo-, Jamal-, Stokman-kentille toteutuvat. Lisäksi on oletettu, että kaasuntuotanto muilla FSU-alueen kaasukentillä lisääntyy ja että pieniin, itsenäisiin yrityksiin kaasukentillä investoidaan. Afrikan ja Lähi-idän tuotannon kasvu on laskettu historiatiedon perusteella, eli lähtökohtana on konservatiivinen oletus siitä, että kaasun tuotanto lisääntyy näillä alueilla. Lisäksi oletettiin, että vuoden 2020 jälkeen uudet investoinnit EU-30-alueella korvaavat hiipuvien kaasukenttien tuotannon. Maakaasun maksimisiirtokapasiteetin taustalla ovat ilmoitetut putki- ja LNG-terminaalien investointisuunnitelmat vuoteen 2020 asti. Kuvassa 69 esitetään oletettu maakaasun maksimituotanto- ja siirtokapasiteetti vuoteen 2050 asti 2 °C & gas -skenaariossa. Malli puolestaan laskee maakaasun kaupan ja eri alueiden oman käytön.

12. Globaalit ja alueelliset energiaskenaariot



Kuva 69. Maakaasun maksimituotanto ja -siirtokapasiteetti 2 °C & gas -skenaariossa.

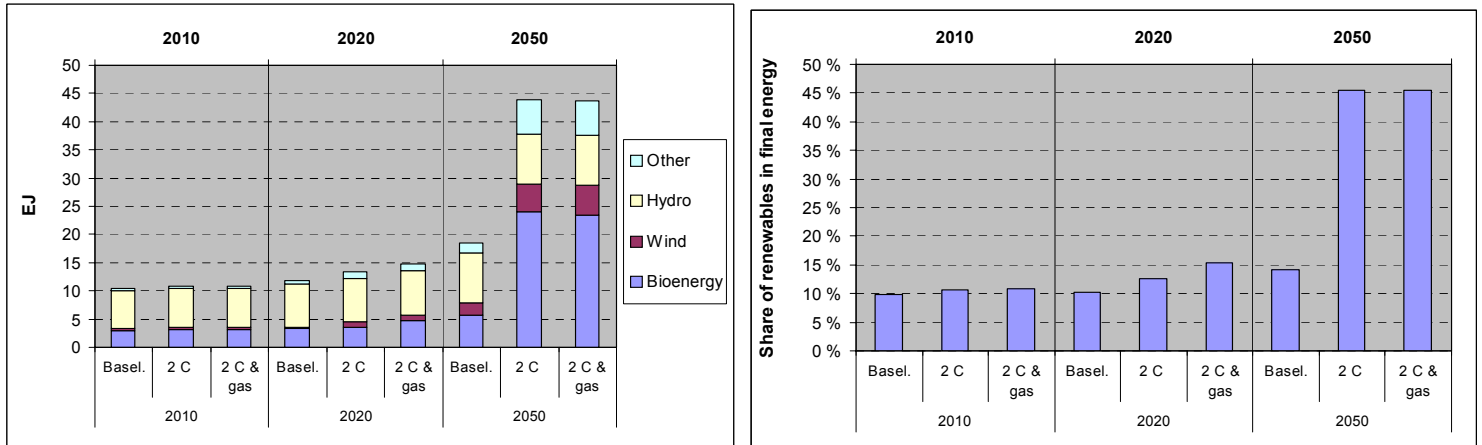
Kuvassa 70 esitetään EU-30-alueen primäärienergian kulutus eri skenaarioissa. Kuvasta nähdään, että kaasun maksimikulutus saavutetaan kaikissa skenaarioissa vuonna 2020, jonka jälkeen hiilen käyttö lisääntyy baseline-skenaarioissa ja uusiutuvat energialähteet ilmastopoliittiskenaarioissa. 2 °C gas -skenaario osoittaa, että oletukset kaasun saatavuudessa rajoittavat kaasun käyttöä EU-30-alueella vuonna 2020, eli kaasun saatavuus EU-30-alueelle oli laskelmissa kriittinen parametri.



Kuva 70. Primäärienergian kulutus EU-30-alueella baseline-, 2 °C- ja 2 °C & gas -skenaarioissa.

Kuvassa 71 esitetään uusiutuvan energian kulutus energian loppukäytöstä (ei vastaa EU-direktiivin mukaista määrittelyä uusiutuvien energialähteiden osuudesta energiankulutuksessa). Vuonna 2020 EU:n tavoitteita ei saavutettu 2 °C tai 2 °C & gas -skenaarioissa, mutta vuonna 2050 uusiutuvien osuus oli jo yli 45 % energian loppukulutuksesta. Skenaarioiden perusteella voitaisiin olettaa, että vuoden 2020 tavoitteen saavuttaminen edellyttäisi muitakin tukimekanismeja kuin päästöoikeuden hinnan nou-

sun tuoman paremman kannattavuuden. Suomessa, samoin kuin useissa muissa EU-valtioissa, on joko suunnitteilla tai jo käytössä esimerkiksi syöttötariffi- tai sertifikaattijärjestelmä uusiutuvalla sähköllä. Lisäksi uusiutuvaa energiaa käyttäviin energialaitoksiin myönnetään monessa EU-valtiossa investointitukia.



Kuva 71. Uusiutuvan energian kulutus energian loppukäytöstä EU-30-alueella.

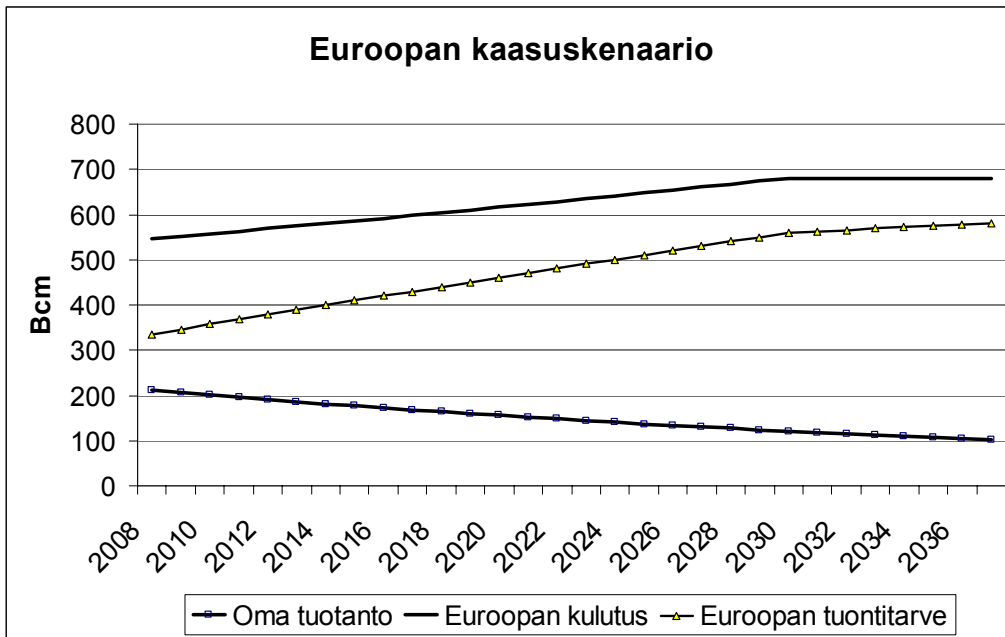
12.2.2 Euroopan maakaasun hankintaskenaariot VTT:n maakaasumallilla

Lähi-idän kaasuvarat ovat mittavat (ks. luku 4.1.1). Mielenkiintoista on, että Iran ja Saudi-Arabia tuottavat kaasu toistaiseksi vain omaan käyttöönsä. Seuraavissa Monte Carlo -simulointiin perustuvissa laskelmissa on oletettu, että molemmat maat aloittavat viennin vuonna 2020. Mallissa on oletettu, että resursseja löytyy lisää keskimäärin 10 % olemassa olevien resurssien perusteella laskettuna. Lisälöydöt oletetaan normaalijakautuneiksi, kun keskiarvo on em. 10 % resurssien määrästä. Jakauman hajonnaksi oletetaan 1. Lisälöydöt realisoituvat logistisen kasvukäyrän mukaan, kuten mallin kuvauksessa on kerrottu. Venäjän kenttien käyttöönotosta on oletettu seuraavaa: Vuonna 2013 otetaan Jamalin niemimaan kaasukenttä käyttöön. Kaasuesiintymä ulottuu siitä edelleen merialueelle. Merialueen varojen käyttöönotto tapahtuu vuonna 2030. Barentsinmerellä sijaitsevan Stokmanin kenttää ei oteta käyttöön ennen vuotta 2030. Kaasuntuotannon määrä seuraa suunnilleen BOFITin arvioita (Solanko 2008).

Kaasun kulutus on keskeinen suure skenaarioanalyseissa. Esitettyssä esimerkissä kaasun kulutukset on sovitettu WEO 2008 -skenaarion (IEA 2008a) mukaisiksi niin kaasun tuottajamaissa kuin Euroopassa, Yhdysvalloissa ja Aasiassakin. Monte Carlo -simuloinnissa kulutuksen epävarmuus on merkittävä tulossuureiden vaihteluiden syy. Euroopan kulutus kuvataan skenaariotyypillisesti, ei epävarmana suurena. Tämä johtuu siitä, että analyysin kohde on nimenomaan se, miten skenaariossa kuvattu kaasun hankinta voi toteutua annettujen olosuhteiden vallitessa.

Euroopan kulutuksen ja kaasun hankinnan, oman tuotannon ja tuonnin, kehittyminen näkyy kuvassa 72. Keskeiset kaasuvirrat vuosina 2006 ja 2030 on kuvattu taulukossa 12. Taulukosta puuttuvat Norja ja Kaspianmeren alueen tuottajat. Viimeksi mainitut vievät kaasu Venäjän siirtoputkiston kautta Eurooppaan. Venäjä aloittaa kaasun viennin Kiinaan ja Japaniin WEO:n skenaarion mukaan. Se on laajuudeltaan vuonna 2030 yhtä suurta kuin Kaspian alueen vienti Venäjälle nyt. Merkille pantavaa taulukossa 12 on, että Afrikan vienti Eurooppaan lisääntyy voimakkaasti. Euroopan tuonti yhteensä on taulukon mukaan 478 bcm. Muissa tuottajamaissa kenttien resursseja otetaan käyttöön askeleittain tarpeen mukaan.

12. Globaalit ja alueelliset energiaskenaariot



Kuva 72. Euroopan kaasun käyttö ja hankinta.

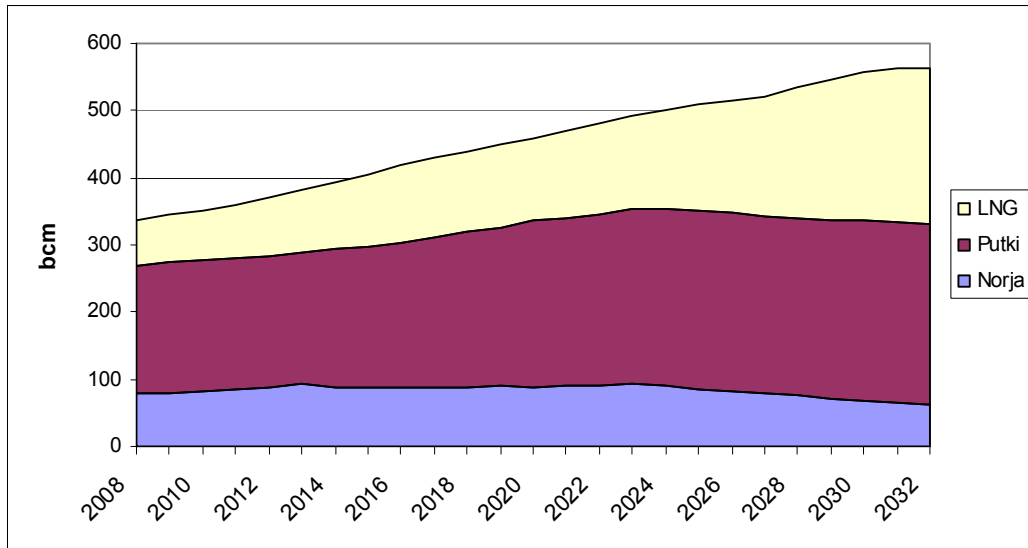
Taulukko 12. Alueiden väliset kaasuvirrat, yksikkö bcm. Sarakkeet kuvaavat ostajia ja rivit myyjä.

2006/2030	Eurooppa	Yhdysvallat (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

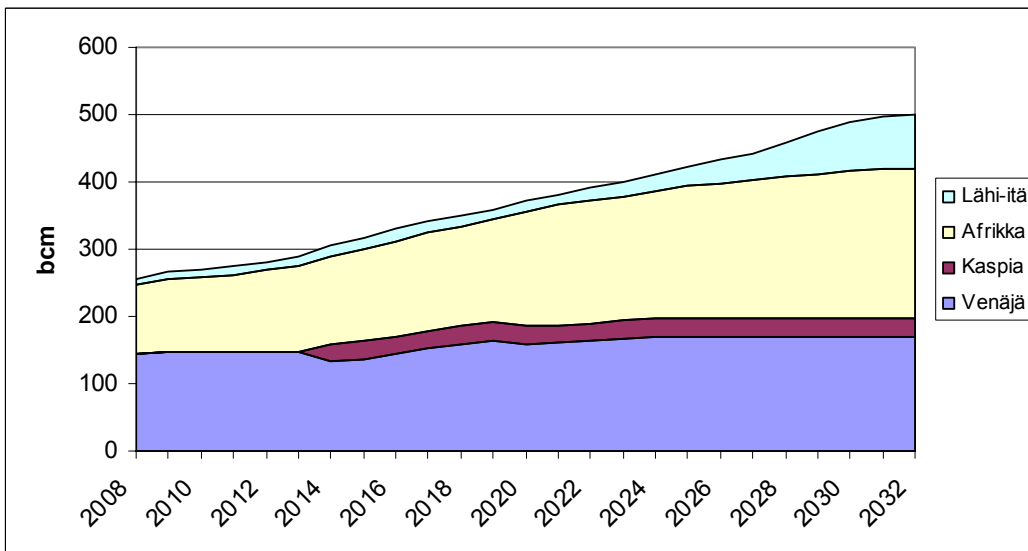
WEO:n skenaarion mukaan Euroopan tuonti Venäjältä ei juuri kasva vuoteen 2030 mennessä. Tällöin ei siis ole tarvetta uudelle putkikapasiteetille. Mahdollinen Itämeren Nordstream-putki toisi vaihtoehdoisen reitin Venäjältä Eurooppaan, mikä parantaisi siirron luotettavuutta. Venäjän putkikapasiteetti Eurooppaan ei siis malliajoissakaan kasva nykyisestä. Nabucco-putki, jota on suunniteltu pitkään, avataan laskelmissa vuonna 2014. Kaasua siihen syöttävät Kaspianmeren alueen tuottajat. Lähi-itää ei nyt esiteltävissä ajoissa kytketä putkella Eurooppaan. Afrikasta rakennetaan vuonna 2020 uusi kapasiteetiltaan 30 bcm:n putki, jota Nigeria syöttää. LNG:n vastaanottokapasiteettia rakennetaan Euroopassa siten, että sen kapasiteetti riittää. LNG-toimituksen pullonkaulat, jos niitä ilmenee, sijaitsevat tuotantopäässä.

Vastaavan ajankohdan Euroopan tuonti on 492 bcm, eli vastaavuus on erinomainen. Mallissa Norja vie Eurooppaan, mutta WEO:n laskelmissa Norjan tuotanto on Euroopan tuotantoa. Kyse on Euroopan maantieteellisen ja poliittisen (EU) kartan eroista.

Kuvasta 73 nähdään, että esimerkkilaskelmassa LNG:n tuonti aloittaa voimakkaan kasvun kauden vuoden 2024 jälkeen, kun putkikaasun tuonti kääntyy laskuun mutta tuontitarve jatkaa kasvuaan. Alueellisesti Euroopan tuonti jakautuu kuvan 74 mukaisesti.



Kuva 73. Euroopan tuonti eri tuotteissa. Norjan putkikaasu korostetusti esillä.

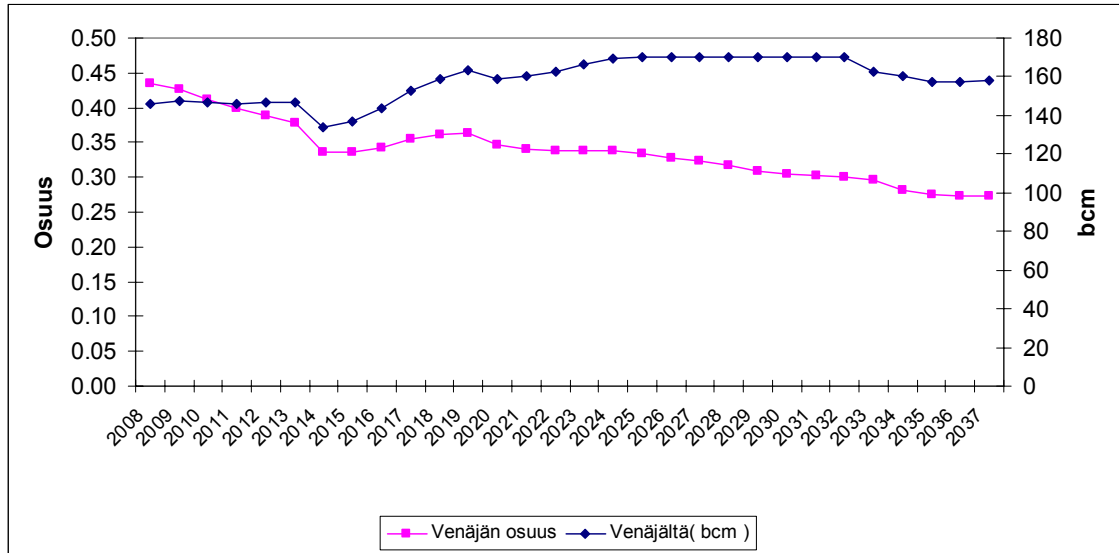


Kuva 74. Euroopan kaasuntuonti alueellisesti.

Kuva ei tietenkään ole tarkka LNG:n osalta, koska markkinoilla osto ja myynti ovat anonyymejä. Tulos poikkeaa hieman WEO 2008 -skenaariosta, koska putkikaasun tuontia on hieman enemmän, vaikka kokonaistuonti onkin sama. WEO 2008 -skenaariossa vähäisempi putkikaasun tuonti korvautuu suuremmalla tuonnilla Lähi-idästä.

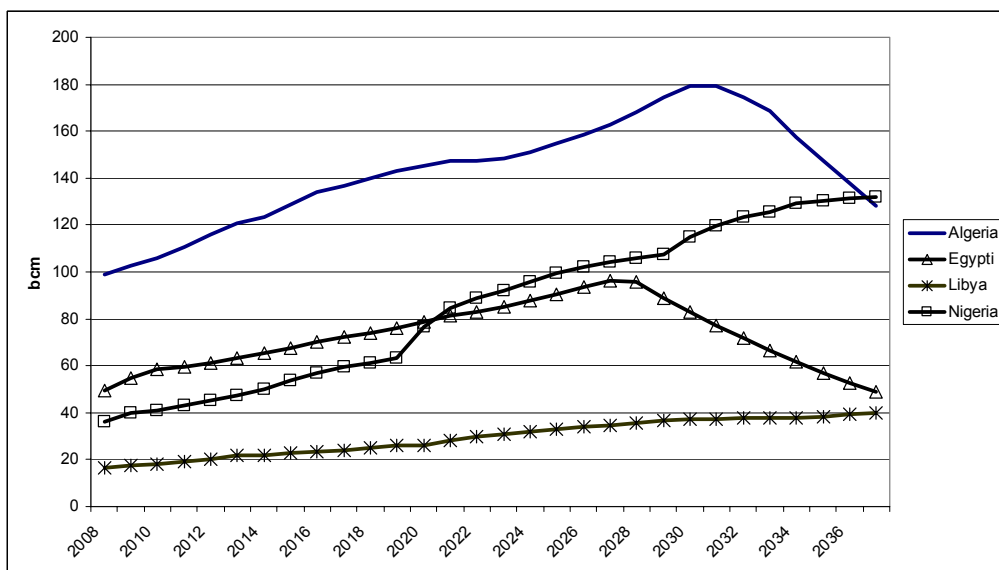
12. Globaalit ja alueelliset energiaskenaariot

Venäjän osuus Euroopan tuontikaasusta ja Euroopan Venäjältä ostaman kaasun määrän kehitys esitetään kuvassa 75.



Kuva 75. Venäjä Euroopan kaasuntoimittajana.

Koska putkikapasiteetti ei kasva, Venäjän osuus kasvavan tuonnin oloissa vähenee väistämättä. Pieni notkahdus tuontimäärässä vuoden 2015 paikkeilla johtuu siitä, että Jamalin kentän tuotantokyky ei ole ehtinyt kasvaa riittävälle tasolle. Lopussa hinnan noustua putkikaasun osuus Euroopan hankinnasta pienenee, mikä aiheuttaa pienen määräpudotuksen. Afrikasta on skenaarion mukaan muodostumassa todella tärkeä kaasun toimittaja Euroopalle. Kuvassa 76 esitetään Afrikan merkittävimpien tuottajien kaasun tuotanto perusuralla. Tarkastelujakson loppupuolella Algerian ja Egyptin tuotanto kääntyy laskuun. Nigeria ja Libya vielä laajentavat tuotantoaan.

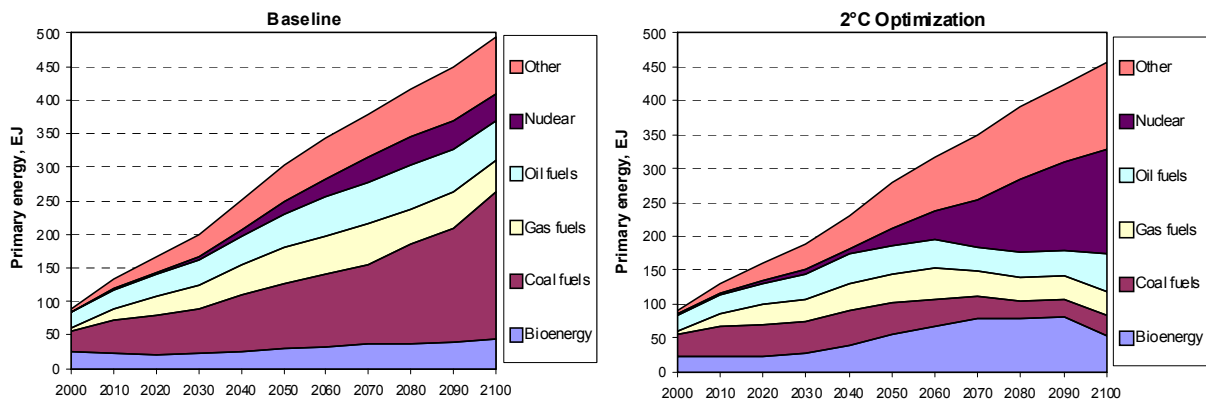


Kuva 76. Afrikan suurimpien tuottajien kenttädynamiikka.

12.3 Ilmastonmuutoksen hillintä ja energiavarmuus kehittyvässä Aasiassa

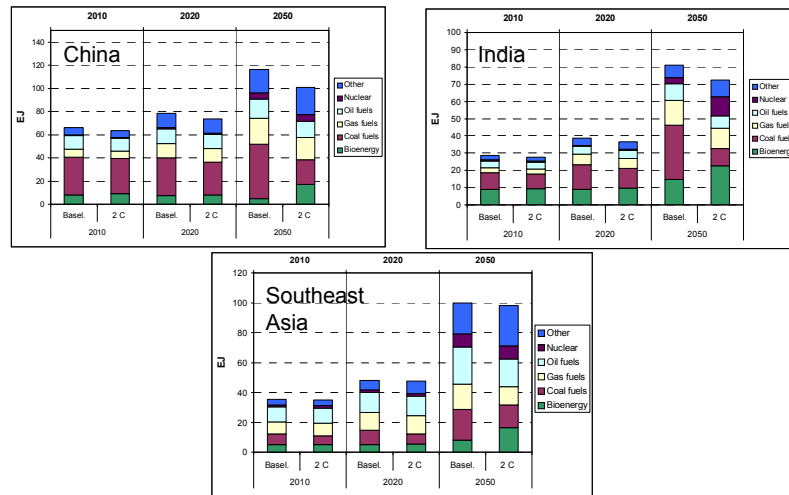
SEKKI-hankkeessa arvioitiin myös kehittyvän Aasian energiataloutta vuoteen 2050 asti, koska kehittyvän Aasian osuus maailman energian kulutuksesta ja siten myös kasvihuonekaasupäästöistä kasvane merkittävästi seuraavina vuosikymmeninä talous- ja väestönkasvun myötä. Tarkasteluiden kohteena olivat Kiina, Intia, sekä kehittyvä Kaakkois-Aasia (vrt. kuva 66). Kuvassa 77 esitetään kehittyvän Aasian primäärienergiankulutus baseline- ja 2 °C -skenaarioissa. Kuvasta nähdään, että primäärienergian kulutus noin kolminkertaistuu vuoteen 2050 mennessä. Baseline-skenaariossa fossiilisten polttoaineiden, erityisesti hiilen, kulutus kasvaa rajusti. Vuoden 2020 jälkeen baseline-skenaariotulokset osoittavat, että voimakkaan energian kysynnän kasvun vuoksi kehittyvä Aasia on yhä riippuvaisempi tuontienergiasta. 2 °C -skenaariossa uusiutuvien energialähteiden käyttö lisääntyy, mikä parantaa myös alueen energiavarmuutta.

Kuvissa 78 ja 79 esitetään lisäksi primäärienergian kulutus sekä eri uusiutuvien energialähteiden käyttö Kiinassa, Intiassa ja kehittyvässä Kaakkois-Aasiassa. Rajuimmin primäärienergian kulutus kasvaa vuosien 2020 ja 2050 välillä kaikilla tarkastelluilla alueilla. Intian ja Kaakkois-Aasian primäärienergian kulutus kasvaa skenaarioissa yli kaksinkertaiseksi, mutta kasvu on määrällisesti lähes yhtä suurta Kiinassa. 2 °C -skenaariossa sekä Kiinassa että Intiassa kulutuksen jousto on vuonna 2050 suurempi kuin Kaakkois-Aasiassa, jossa esimerkiksi raskasta teollisuutta ja väestöä on vähemmän. Tarkasteltaessa uusiutuvien energialähteiden käyttöä voidaan todeta, että Kiinassa bioenergian ja vesivoiman osuudet ovat huomattavat. Intiassa uusiutuva energia on puolestaan lähes kokonaan bioenergiaa, kun taas Kaakkois-Aasiassa investoidaan bioenergiaan, vesivoimaan sekä aurinkoenergiaan. Tuulivoiman osuudet ovat pienet johtuen melko epäedullisista tuuliolosuhteista, geografiasta sekä maan käyttöön liittyvistä rajoituksista (investoinnit tuulivoimaan eivät olleet sallittuja tiheästi asutuilla alueilla).

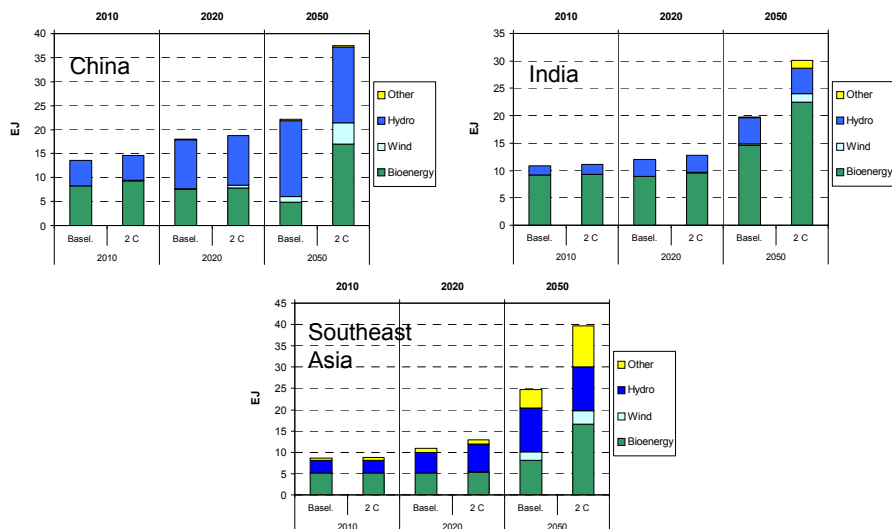


Kuva 77. Primäärienergian kulutus kehittyvässä Aasiassa (Kiina, Intia ja Kaakkois-Aasia) baseline- ja 2 °C -skenaariossa.

12. Globaalit ja alueelliset energiaskenaariot



Kuva 78. Primäärienergian kulutus kehittyvässä Aasiassa (Kiina, Intia ja Kaakkois-Aasia) baseline- ja 2 °C -skenaariossa vuosina 2010, 2020 ja 2050.



Kuva 79. Uusiutuvan energian tuotanto kehittyvässä Aasiassa (Kiina, Intia ja Kaakkois-Aasia) baseline- ja 2 °C -skenaariossa vuosina 2010, 2020 ja 2050.

13. Johtopäätökset

Suurin osa maailman energiatarpeesta katetaan nykyään fossiilisella energialla, ja näin on mitä todennäköisimmin vielä useiden vuosikymmenten ajan. Huoli ilmastonmuutoksesta sekä fossiilisten polttoaineiden riittävydestä ja saatavuudesta edistävät kuitenkin uusiutuvien energialähteiden käyttöä tulevaisuudessa. Toisaalta uusiutuvien energialähteiden käytön merkittävää lisäämistä lähitulevaisuudessa rajoittavat teknologioiden kypsyttömyys ja sen myötä myös korkeat kustannukset (esim. aurinko-, aalto-, merituulivoima, geoterminen energia) ja lisäksi maankäyttöön liittyvät rajoitteet (esim. bioenergia, vesi- ja tuulivoima) sekä mahdolliset ekologiset tai sosiaaliset syyt (esim. bio-, vesi, tuulivoima).

Useat eri organisaatiot julkaisevat vuosittain arvioita öljyn, maakaasun sekä hiilen reserveistä. Tarkasteltaessa eri tietolähteitä ja tilastoja voidaan kuitenkin havaita, että arvioissa on huomattavia epä johdonmukaisuuksia. Syynä tähän ovat paitsi epävarmuudet reservien suuruuksista myös tilastointiluokituksissa ilmenevät eroavuudet. Esimerkiksi öljyreservitiedoissa tapahtuneet lisäykset useassa OPEC-maassa 1980-luvun lopussa ja toisaalta suuret leikkaukset 2000-luvun alussa ovat selkeä viesti öljyreserviarvioihin liittyvistä poliittisista ja taloudellisista intresseistä. Viime vuosina eri pörssit ovat tiukentaneet öljy-yhtiöiden reserviarvioiden raportointiin liittyviä vaatimuksiaan, mutta myös tiukimmat luokittelustandardit jättävät mahdollisuuden sille, että reserviarvioiden laadinnassa käytetään omaa harkintaa. Hiilireservit ovat kaikista ei-uusiutuvista polttoaineista suurimmat, ja reservien sijainti, suuruus ja hyödynnettävyys tunnetaan suhteellisen hyvin. Hiilireservien arviot perustuvat suurelta osin eri maiden antamiin arvioihin, joissa yleisesti ottaen noudatetaan erilaisia periaatteita esiintymien taloudellisen ja teknisen hyödynnettävyyden arvioinnissa. Näin ollen myös hiilireserviarvioihin tulee suhtautua tietyllä varauksella.

Maailman todennetut öljyreservit olivat BP:n tilastojen mukaan 1 240 bbl (biljoonaa barrelia) vuoden 2007 lopussa. Reservien suhde tuotantoon (R/P-luku) kyseisenä vuonna oli 41,6 vuotta. Öljyreservit ovat maantieteellisesti keskittyneitä: noin 60 % reserveistä sijaitsee Lähi-idässä. Merkittäviä öljyreservejä on myös Venezuelassa ja Venäjällä. Maailman maakaasuvarat ovat suuret: todennetut reservit olivat vuonna 2007 noin 177 tcm (triljoona kuutiometriä), ja nykyisellä tuotannolla nämä varat riittäisivät noin 60 vuodeksi. Maakaasureservit ovat voimakkaasti keskittyneet Lähi-itään ja Venäjälle, joten kaasuvarojen geopoliittinen jakautuma on öljyvareiden kaltainen. Eniten kaasua käytetään Yhdysvalloissa ja Euroopassa ja kaasun käytön odotetaan kasvavan niiden lisäksi myös Aasiassa. Kasva-va maakaasun kysyntä ja reservien sijoittuminen erilleen kysynnästä edellyttävätkin lähivuosina huomattavia investointeja maakaasun tuotantoon ja kuljetukseen.

Hiili on laajimmalle levinnyt fossiilinen polttoaine: taloudellisesti hyödynnettävissä olevia hiilivaroja on noin 70 maassa. Yhdysvalloilla on suurimmat tunnetut hiilivarat, 29 % kokonaisvaroista. Venä-

13. Johtopäätökset

jällä on hiilivaroista 19 % ja Kiinalla 14 %. Vuoden 2007 lopussa paikannettuja, taloudellisesti ja teknisesti hyödynnettävissä olevia hiilireservejä oli yhteensä 850 Gt, josta 430 Gt oli bitumista hiiltä, 270 Gt puolibitumista hiiltä sekä 150 Gt ligniittiä. Kiinan ja Intian hiilen kysyntä on viime vuosina kasvanut erittäin voimakkaasti, ja hiilen käyttö lisääntyykin voimakkaammin kuin muiden fossiilisten polttoaineiden. Samalla arviot maailman hiilireserveistä ovat pienentyneet huomattavasti. Vuonna 2000 hiilen reservien R/P-suhteeksi arvioitiin 227 vuotta, mutta vuonna 2007 arvio oli enää 133 vuotta. Euroopan oma kivihiilen tuotanto tulee lähivuosina edelleen vähentymään, sillä taloudellisesti hyödynnettävät varat on jo suurelta osin käytetty. Jäljellä olevien eurooppalaisten varojen käyttö on kalliimpaa kuin hiilen tuonti ulkomailta. Useissa Euroopan maissa on sen sijaan suuria ligniittiesiintymiä, ja eurooppalainen ligniitin tuotanto onkin viime vuosina kasvanut.

Edellä esitetyt öljy- kaas- ja hiilireservit kattavat ainoastaan tunnetut, taloudellisesti hyödynnettävissä olevat ns. konventionaaliset reservit. Reservien lisäksi esitetään arvioita resursseista, jotka eivät ole vielä nykyteknologialla taloudellisesti hyödynnettävissä tai joita ei ole vielä löydetty, sekä arvioita ns. epäkonventionaalisista resursseista. Epäkonventionaalisia öljy- ja kaasuvaroja ovat muun muassa öljyhiikka, raskaimmat öljyلاادut, öljyliuske, kaasuhydraatit, pohjaveteen liuennut kaasu (*aquifer gas*), hiilikerrostumiin adsorboitunut kaasu sekä kaasuresvit, joissa kaasua ympäröivän kallion permeabiliteetti eli läpäisevyys on erittäin pieni (*tight gas*). Polttoaineiden hinnan noustessa teknologian kehittyessä sekä geologisen tiedon lisääntyessä osa reserveistä muuttuu resursseiksi, mutta edelleen on hyvin epävarmaa, voidaanko kasvava kysyntä kattaa tulevaisuuden reserveilla.

Uraaniresurssit ovat melko laajalle levinneet kuten hiiliresurssitkin. Uraania louhitaan nykyään 20 maassa, uusin uraanintuottajamaa on Iran. Kanada ja Australia tuottavat yhteensä 44 % maailman uraanista. Muita suuria uraanintuottajia ovat muun muassa Kazakstan, Niger ja Venäjä. Konventionaalisten uraaniresurssien on arvioitu riittävän vuoden 2006 kulutuksella vähintään sadaksi vuodeksi. Uraanipolttoaineen lisääntyneen kysynnän ja uraanin nousseen markkinahinnan ansiosta 2000-luvulla on investoitu aktiivisesti uraanin etsintään, minkä myötä identifioitujen uraaniresurssit ovat kasvaneet. Toisaalta taloudellisesti hyödynnettävien reservien riittävyysarviot riippuvat merkittävästi uraanin käyttöteknologiasta. Sadan vuoden arvioissa oletetaan, että uraani käytetään tyypillisissä kevytvesireaktoreissa. Konventionaalisten uraaniresurssien on arvioitu riittävän nykykulutuksella kevytvesireaktorilaitoksissa noin 300 vuodeksi uraanin hintatasolla yli 130 \$US/kg. Jos maailmassa siirryttäisiin käyttämään suljetun polttoainekierron ydinteknologioita, uraanivarat riittäisivät nykykulutuksella jopa tuhansiksi vuosiksi.

Suurimmat sekä turpeen tuottaja- että käyttäjämaat ovat Irlanti, Suomi, Viro ja Venäjä. Suurimmat turveresurssit ovat tosin Kanadassa, joka ei hyödynnä energiantuotannossa turvevarojaan lainkaan. Turpeen tuotanto vaihtelee vuosittain sääolojen mukaan, mutta turpeen kulutus on yleisesti ottaen huomattavan tasaista turpeen varastoinnin vuoksi.

Bioenergian käyttöön energianlähteenä on viimeisen vuosikymmenen aikana kiinnitetty erityistä huomiota. Bioenergian käyttö ei kiihdytä kasvihuoneilmiötä niin kauan kuin se on hallittua. Metsiin liittyvää energiaa on hyödynnetty hyvin pitkään perinteisillä tavoilla, ruuan valmistuksessa ja asuntojen lämmityksessä. Maailmanlaajuisesti katsoen polttopuun käyttö muodostaakin valtaosan puun energiakäytöstä. Vuonna 2006 maailmassa käytettiin puuta runsaat 3,5 miljardia kuutiometriä. Läntisissä teollisuusmaissa valtaosa ns. saharakeesta hyödynnetään sellun raaka-aineena ja sahanpuru on perinteisesti hyödynnetty energiantuotannossa. Nykyisin teollisuusmaissa sahanpurun rooli korostuu myös raaka-aineena: siitä voidaan keittää sellua tai sitä voidaan käyttää levyteollisuudessa, puupellettien

raaka-aineena tai tulevaisuuden liikennepolttoaineiden raaka-aineena. Metsän korjuun ja kunnostuksen yhteydessä syntyvät tähteet muodostavat huomattavan energiapotentiaalin. Nykyinen metsäenergian hyödyntäminen verrattuna kokonaispotentiaaliin on vähäinen. Helpoimmin hyödynnettävä metsäenergia on päätehakkuiden yhteydessä syntyvä metsätähte. Pyrittäessä metsäenergian tehokkaaseen hyödyntämiseen korjuussa käytettävän korjuuteknologian merkitys on huomattava. Kuori voidaan hyödyntää joko energian tuotannossa tai muuna raaka-aineena. Joissakin maissa huomattava osa kuorinnasta tapahtuu metsässä, jolloin kuoren hyödyntäminen energian tuotannossa vaikeutuu. Hankkeessa tehdyn arvion mukaan polttopuun käyttö säilyy hallitsevana puun hyödyntämismuotona, ja sen osuudeksi arvioitiin 62–67 % puuraaka-aineen kokonaiskäytöstä. Metsätähteet edustavat loppua vajaata 40 %:a, joista suurin potentiaali on metsäteollisuuden sivutuotteilla.

Kasvinviljelyn sivutuotteet (esim. viljan oljet sekä öljy-, palko- ja juurikasvien varret), jotka on yleensä muokattu maahan, ovat potentiaalisia bioenergian raaka-aineita. Öljykasveista öljypalmun tyhjä hedelmystöt sekä sokeriruo' on puristusjäte bagasse ovat jo nyt energiakäytössä paikallisissa puristamoissa. Koska bioenergian tuotannon tarve on lisääntynyt, näiden sivuvirtojen hyödyntämiseen on kannustettu monissa maissa. Viljakasvien olkimateriaali muodostaa kasvintuotannon sivutuotteista suurimman energiareservin. Hankkeessa tehdyn arvion mukaan eniten potentiaaleja olisi Aasian alueella Kiinassa, Kaakkois-Aasiassa ja Intiassa. Yhdysvalloissa sekä Keski- ja Etelä-Amerikassa olisi runsaasti mahdollisia hyödynnettäviä sivutuotteita. Maatalouden sivuvirtojen (mukaan lukien edellä mainitut peltokasvit ja pois lukien nurmikasvit) teoreettiseksi maksimipotentiaaliksi saatiin 61,62 EJ ja tekniseksi potentiaaliksi 43,83 EJ (peltoon jäävä osuus vähennetty). Potentiaaliarvot laskettiin vuoden 2006 kuiva-ainesatojen avulla. Vastaavat luvut arvioituna vuodelle 2050 olivat 64 EJ ja 45 EJ. Kuitenkin vain osa teknisestä potentiaalista olisi hyödynnettävissä, sillä useilla jo nyt kuivuudesta kärsivillä alueilla kasvinjätteen poisvienti peltoilta aiheuttaisi maaperän köyhtymistä ja eroosion lisääntymistä. EU:n alueella kuivuus vaivaa eteläosia, mutta muilla alueilla sivutuotteiden hyödyntämistä olisi mahdollista lisätä.

Kun alueellinen ruokahuolto otetaan huomioon, potentiaalisia bioenergiakasvien tuotantoalueita olisi tulevaisuudessa Australiassa, Kanadassa ja Keski- ja Etelä-Amerikassa olettaen, että lihan kulutus ei merkittävästi lisääny. Sivutuotteita sen sijaan olisi saatavilla teoriassa kaikilla alueilla. Maailman bioenergian tuotanto voisi näillä edellytyksillä olla nykyään 50–280 EJ ja vuonna 2050 yhteensä noin 58–386 EJ vuodessa. Toisaalta tulevaisuuden tilanne bioenergian tuotannon kannalta saattaa olla näin arvioituna melko optimistinen. Arviossa oletetaan, että kaikki viljelykelpoinen maatalousmaa on käytössä, mutta sen sijaan sitä ei ole otettu huomioon, että peltoala voi myös pienentyä kuten tapahtuu esimerkiksi Australiassa peltojen suolapitoisuuden kasvaessa. Kasvintuotannon sivutuotteita ei myöskään voida korjata joka vuosi tai kaikilta alueilta täysimääräisesti, kuten tässä on oletettu. Tutkimustietoa siitä, kuinka paljon sivutuotteita voidaan korjata ja kuinka usein, on saatavissa hyvin rajallisesti. Lisäksi hävikit elintarvikeketjun eri vaiheissa lisäävät kehittyneissä maissa ruoan tuotantoon tarvittavaa maa-alaa ja siten vähentävät bioenergian potentiaalista tuotantoalaa. Vaikka B1-skenaariota mukaan maailmasta tulisi tulevaisuudessa yhtenäisempi, tässä tutkimuksessa on pidetty todennäköisempänä, että ruokahuolto hoidetaan alueellisesti ja yli jäävä tuotanto myydään maailmanmarkkinahintaan.

Tulevaisuudessa merilevien kasvisöljystä tuotetaan mahdollisesti biopolttoainetta. Etuna merilevien kasvattamisessa on se, että merilevien tuotanto ei kilpaile samalla tavoin peltoalasta ruoan tuotannon kanssa kuin energiakasvien viljely. On arvioitu, että levien teolliseen tuotantoon päästäisiin 5–10 vuoden kuluttua ja että levistä valmistettua biopolttoainetta olisi kaupallisessa tuotannossa vuonna 2020.

13. Johtopäätökset

Ongelmana ovat toistaiseksi olleet levätuotannon ympäristövaikutukset, kasvihuonekaasupäästötase ja tuotannon kalleus. Levien kasvatusta vaatii myös valtavia määriä vettä, eikä levien laajamittaiseen keräykseen tarvittavaa teknologiaa ole vielä olemassa. Levien kasvatusta on pystytty nopeuttamaan bioreaktoreissa, mutta teollisuuden mittakaavassa sitä vasta kehitetään.

Tuulivoimaresurssien teoreettinen potentiaali on arvioitu 100–200 kertaa suuremmaksi kuin ihmiskunnan nykyinen primäärienergiankulutus. Myös resurssiarviot, jotka ottavat tekniset rajoitukset huomioon, osoittavat tuulivoimaresurssin olevan moninkertainen nykyiseen primäärienergian kulutukseen verrattuna. Resurssin suuruus vaihtelee voimakkaasti alueiden välillä. Resurssiarvio on riippuvainen siitä tuulivoimateknologiasta, jolla se on tehty. Suuret voimalat saavuttavat suuremman osuuden paikallisesta tuuliresurssista ja yltyvät paremmille keskituulennopeuksille. Nykyisellä teknologialla ja sadan metrin voimalakorkeudessa globaali tuuliresurssi on noin 1 000 PWh/a (3 600 EJ/a). Tämä sisältää merialueita, jotka ovat riittävän lähellä mannerta ja joilla vesi ei ole erityisen syvää. Pääosa resurssista on kuitenkin maalla.

Kaikista maanosista löytyy alueita, joilla on hyvä tuulivoimaresurssi. Joillain alueilla, kuten Saharan eteläpuolisessa Afrikassa, etäisyys hyvien resurssialueiden ja kulutusalueiden välillä voi olla pitkä. On hyvä huomata, että globaalilla kartalla pienikin hyvätuulinen alue voi tuottaa suuren määrän sähköä.

Pohjois-Amerikka on erinomaisessa asemassa: vaikka parhaat resurssit ovat kaukana kulutuksesta, myös kulutusta lähellä on riittävästi hyviä resursseja. Venäjän tuulivoimaresurssi on erittäin suuri, erityisesti puuttomilla alueilla pohjoisessa ja etelässä. Kiinan resurssi on suurimmillaan Sisä-Mongolian aroilla, mutta muitakin hyviä alueita löytyy. Intiassa resurssi keskittyy etelä- ja länsiosiin. Myös Suomessa mereltä, Etelä-Suomen metsättömiltä alueilta sekä Pohjois-Suomesta laajojen matalan kasvillisuuden alueita löytyy hyvä tuulivoimaresurssi. Tekninen potentiaali merellä ja maalla on useita kertoja suurempi kuin nykyinen primäärienergiankulutus Suomessa.

Maanpinnan saavuttaman auringonsäteilyn määrä on kertaluokkaa suurempi kuin kaikki fossiiliset resurssit ja ydinpolttoaineet yhteensä. Auringonvalon alhainen intensiteetti sekä energian tuotannon keskeytyminen ja epäsäännöllisyys vuorokauden, vuoden, sään ja maantieteellisen sijainnin mukaan nostavat aurinkoenergialla tuotetun energian kustannuksia huomattavasti. Ainoastaan alle 1 % maailman energiantuotannosta onkin nykyään aurinkoenergiaa. 70 % maailman kumulatiivisesta aurinkoenergiakapasiteetista sijaitsee Saksassa, Japanissa ja Yhdysvalloissa. Lähitulevaisuudessa aurinkoenergiajärjestelmiin investoitaneen kehittyvissä talouksissa, etenkin Kiinassa ja Intiassa sekä Australiassa, Koreassa ja Espanjassa.

Jopa 90 % uusiutuvasta energiasta tuotetaan nykyään vesivoimalla. Vesivoimatuotannon lisäämisen haasteet liittyvät rajallisten vesi- ja maaresurssien keskinäiseen kilpailuun sekä vesivoimatuotannon sosiaalisiin ja ympäristöllisiin vaikutuksiin, jotka rajoittavat erityisesti suuren mitan vesivoimatuotantoa. Eri lähteet arvioivat tulevaisuuden vesivoiman tekniseksi potentiaaliksi 6 000–17 000 TWh. Vuonna 2005 vesivoimaa tuotettiin noin 2 800 TWh, joten vesivoimaa voitaisiin lisätä 2–6-kertaisesti nykyiseen tuotantoon nähden. IEA:n mukaan noin puolet uudesta vesivoimapotentialista olisi pumppuvoimaloita. Myös pienvesivoiman hyödyntäminen on vasta alkutekijöissä arvioituun potentiaaliin nähden.

Valtamerien energian hyödyntämiseen liittyvän teknologian kehitys on vasta alkuvaiheessa. Potentiaalisimpia sijoituspaikkoja vuorovesivoimaloille löytyy Kanadasta, Iso-Britanniasta ja Ranskasta, joissa vedenpinnan korkeus vaihtelee noin 7–10 m. Tosin suurin olemassa oleva vuorovesivoimala (240 MW) rakennettiin jo vuonna 1966 Ranskaan. Erityyppisiä aaltovoimaloita on kehitetty myös jo 1970-luvuta lähtien, mutta kovin montaa aaltoenergiaa hyödyntävistä teknologioista ei ole kuitenkaan testattu suuressa kokoluokassa tai edes meriolosuhteissa vielä tähänkään päivään mennessä.

Geotermisen energian hyödyntäminen on lisääntynyt voimakkaasti viime vuosikymmeninä. Geotermisiä resursseja on paikannettu noin 90 maassa, ja yli 70 maassa tuotetaan geotermistä sähköä. Ainoastaan pieni osa geotermisestä potentiaalista on nykyään käytössä. Maalämpöpumppujen kehitys on kuitenkin mahdollistanut geotermisen energian hyödyntämisen lämmityksessä ja jäähdytyksessä kaikkialla maailmassa.

Tulevaisuuden energiaresurssien hyödyntämiseen liittyvää epävarmuutta lisäävät mahdolliset ilmastomuutoksen vaikutukset. Erityisesti vesi-, tuuli- ja biomassaresurssien hyödyntämismahdollisuudet voivat muuttua eri alueilla. On arvioitu, että Pohjois-Euroopassa vesi-, tuuli- ja bioenergian tuotannot voisivat kasvaa, kun taas Keski- ja Etelä-Euroopassa olosuhteet saattavat pysyä samana tai huonontua merkittävästikin ilmastomuutoksen vaikutuksesta. Lisääntyneet myrskyt sekä heikot tuulet johtavat tuulivoiman tuotannon vähenemiseen. Yleisesti ilmastomuutoksen on arvioitu vaikuttavan negatiivisesti erityisesti maataloustuotantoon. Merkittävää on se, kuinka monta astetta ilmaston oletetaan lämpenevän. Esimerkiksi eteläisillä leveysalueilla satotuottavuuden on arvioitu vähentyvän pienekin lämpötilan nousun myötä.

Eurooppa-neuvoston hyväksymään EU:n uuteen energia- ja ympäristöpolitiikkaan sisältyy kauaskantoinen poliittinen suunnitelma, jonka avulla pyritään saavuttamaan kestävyyttä, kilpailukykyä ja toimitusvarmuutta koskevat yhteisön keskeiset energiatavoitteet. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi EU on sitoutunut 20-20-20-aloitteeseen eli vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä 20 %:lla vuoteen 2020 mennessä, nostamaan uusiutuvien energialähteiden osuuden nykyisestä 8,5 %:sta 20 %:iin vuoteen 2020 mennessä ja parantamaan energiatehokkuutta 20 %:lla vuoteen 2020 mennessä. Täydentäviä toimia kuitenkin tarvitaan EU:n uuden energiapolitiikan kolmen tavoitteen saavuttamiseksi. Nämä tavoitteet ovat kestävyys, kilpailukyky ja ennen kaikkea energian toimitusvarmuus loppukuluttajalle.

Eniten EU:ssa aiheuttaa huolta maakaasun saatavuus tulevaisuudessa, sillä monet jäsenvaltiot ovat suurelta osin riippuvaisia yhdestä yksittäisestä kaasuntoimittajasta. VTT:n skenaariotarkasteluiden tulokset osoittavat samoin kuin yleisesti on esitetty, että EU:n on yhä riippuvaisempi tuontienergiasta, kun fossiilisten polttoaineiden tuotanto Euroopassa vähenee. Etenkin maakaasun saatavuus sekä toimitusvarmuus tulevaisuudessa ovat keskeinen energiavarmuuskysymys, ellei uuteen kaasun infrastruktuuriin ja tuotantoon investoida merkittävällä tavalla. Venäjällä ja Lähi-idässä on suuret kaasuresurssit, mutta nykyiset kaasun tuotanto- ja siirtokapasiteetit eivät riitä kattamaan kasvavaa kaasun kysyntää. Myös kaasuntuonti Afrikasta Eurooppaan etenkin LNG:n osalta tulee kasvamaan huomattavasti tulevaisuudessa. Investointien lykkääntyminen tulee aiheuttamaan epävarmuutta paitsi kaasun toimitusvarmuuteen myös kaasun markkinahintoihin.

Maailman öljyn- ja kaasunkulutus näyttää kehittyvän keskipitkällä aikavälillä siten, että varsinkin kehittyvissä maissa kysyntä kasvaa edelleen huomattavalla ja pysyvällä tavalla. Suurinta energian kulutuksen kasvu VTT:n skenaariolaskelmien mukaan on kehittyvässä Aasiassa, etenkin Kiinassa, Intiassa ja Kaakkois-Aasiassa. Rajuitten primäärienergian kulutus kasvaa vuosien 2020 ja 2050 välillä. Global TIAM -skenaarioiden perusteella Intian ja Kaakkois-Aasian primäärienergian kulutus kasvaa yli kaksinkertaiseksi, ja kasvu on määrällisesti lähes yhtä suurta Kiinassa. On selvää, että kehittyvä Aasia tulee kilpailemaan Euroopan kanssa Venäjän, Lähi-idän ja Afrikan kaasureserveistä. Energiavarmuuden kannalta onkin oleellista, kuinka nopeasti maailmalla siirrytään uusiutuvien energialähteiden käyttöön ja kuinka nopeasti pystytään pysäyttämään energian kulutuksen kasvu siirtymällä energiatehokkaisiin ratkaisuihin sekä lopulta muuttamalla yhteiskuntarakennetta ja kulutustottumuksia.

Lähdeluettelo

- Alcamo, J., J.M. Moreno, B. Nováky, M. Bindi, R. Corobov, R.J.N. Devoy, C. Giannakopoulos, E. Martin, J.E. Olesen, A. Shvidenko, 2007: Europe. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, s. 541–580.
- API 2006. Understanding Natural Gas Markets. API. Saatavilla: <http://www.api.org>.
- Asikainen, A., Liiri, H., Peltola, S., Karjalainen, T., Laitila, J. 2008. Forest energy potential in Europe (EU27). Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 69. 33 s. ISBN 978-951-40-2080-3 (PDF), ISBN 978-951-40-2081-0 (paperback). Saatavilla: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2008/mwp069.htm>.
- Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof, Eds., 2008: Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 s.
- BGR 2006. Reserves, Resources and Availability of Energy Resources 2005. Annual Report 2005. BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Saatavilla: <http://www.bgr.bund.de/>.
- BGR 2007. Reserves, Resources and Availability of Energy Resources 2006. Annual Report 2006. BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Saatavilla: <http://www.bgr.bund.de/>.
- BP 2008. Statistical Review of World Energy 2007. Saatavilla: <http://www.bp.com>.
- Breyer, C. & Knies, G. 2009. Global energy supply potential of concentrating solar power. Proceedings SolarPACES 2009, Berlin, September, 15 – 18. Saatavilla: http://www.trec-uk.org.uk/reports/Breyer_paper_SolarPACES_GlobalEnergySupplyPotentialCSP_final_090630_proc.pdf.
- Campbell, C.J. & Laherrère, J.H. 1998. The End of Cheap Oil. Scientific American, March 1998. s. 78–83. Saatavilla: <http://dieoff.com/page140.pdf>.

- EC DG COMP 2007. DG Competition Report on Energy Sector Inquiry. European Commission, Competition DG. 10 January 2007. Saatavilla: http://ec.europa.eu/comm/competition/sectors/energy/overview_en.html.
- EC JRC 2007. The Future of Coal. European Commission Joint Research Centre, Institute for Energy. February 2007. EUR 22744 EN.
- Edwards, W.R 2009. Impact of Oil Price on Demand. IAEE Energy Forum. First Quarter 2009. 1 s. Saatavilla: <http://www.iaee.org/documents/newsletterarticles/109Edwards.pdf>.
- EEX 2009. European Energy Exchange. <http://www.eex.com>.
- Energie-Atlas GmbH 2009. Saatavilla: <http://www.energieatlas.ch>.
- EIA 2008a. Oil market basics. Energy Information Administration. Saatavilla: http://www.eia.doe.gov/oil_gas/petroleum/info_glance/petroleum.html .
- EIA 2008b. International Energy Outlook 2008. Chapter 3, natural gas. Saatavilla: http://www.eia.doe.gov/oiaf/archive/ieo08/nat_gas.html.
- EWG 2007a. Energy Watch Group. Crude oil - the supply outlook. Report to the Energy Watch Group. October 2007. EWG-Series No 3/2007. 101 s. Saatavilla: http://www.energywatchgroup.org/fileadmin/global/pdf/EWG_Oilreport_10-2007.pdf (Alkuperäislähde: Campbell, C.J., Laherre, J.H. 1995. The World's Oil Supply 1930-2050. Petroconsultants (ed.). Geneva.)
- EWG 2007b. Energy Watch Group. Coal: Resources and Future Production. Background paper prepared by the Energy Watch Group. March 2007. EWG-Series No 1/2007.
- FAO 2006. FAOSTAT. Saatavilla: <http://faostat.fao.org/>
- Forsström, J. 2009. Euroopan kaasunhankinnan malli. VTT Working Papers 133. Espoo: VTT. 80 s. Saatavilla: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2009/W123.pdf>.
- HS 2008. Helsingin Sanomat. Tiede & Luonto 23.12.2008.
- IEA 2004. International Energy Agency. World Energy Outlook 2004. Paris: OECD/IEA. 570 s.
- IEA 2005. Resources to Reserves. Oil & Gas Technologies for the Energy Markets of the Future. International Energy Agency. OECD/IEA 2005.
- IEA 2006. World Energy Outlook 2006.
- IEA 2007. World Energy Outlook 2007. Paris: OECD/IEA.
- IEA 2008a. World Energy Outlook 2008. Paris: OECD/IEA.
- IEA 2008. Energy Technology perspectives. Paris: OECD/IEA.

- 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. 2007. IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, s. 7–22.
- JP Morgan 2008. Coal 101. Fuel of the Past, Present and Future. JPMorgan Securities Inc. North America Equity Research. 12 June 2008. Saatavilla: www.morganmarkets.com.
- Kirkinen, J., Martikainen, A., Holttinen, H., Savolainen, I., Auvinen, O. and Syri, S. 2005. Impacts on the energy sector and adaptation of the electricity network business under a changing climate in Finland. FINADAPT Working Paper 10, Finnish Environment Institute Mimeographs 340, Helsinki, 43 s.
- Kirkinen, J. 2009. Impacts of Climate Change on the Availability of the Renewable Energy Resources. Research Report VTT-R- 08841-09. Espoo: VTT.
- Klett, T.R. & Tennyson, M.E. 2007 An Approach to the Classification of Potential Reserve Additions of Giant Oil Fields of the World. U.S. Department of Interior. U.S. Geological Survey 2007. Saatavilla: http://www.unece.org/energy/se/pdfs/UNFC/oct07/TimKlett_USGS.pdf.
- Leinonen, A. 2004. Harvesting Technology of Forest residues for fuel in the USA and Finland. Espoo: VTT Tiedotteita . Research Notes 2229. 132 p. + app. 10 s. Saatavilla: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2229.pdf>.
- 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 energia-tekniikan globaali kysyntä ilmastopolitiikan muuttuessa. Espoo: VTT. VTT Tiedotteita – Research Notes 2448. 63 s. + liitt.. 8 s. Saatavilla: <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. 2009. The role of CCS and renewables in tackling climate change. Energy Procedia Vol. 1 (2009), No: 1, s. 4323–4330.
- Lappalainen 2006. Global Peat resources. 1996. Eino Lappalainen (ed.), International Peat Society. Saarijärven offset Oy, Saarijärvi.

- Loulou, R., Remme, U., Kanudia, A., Lehtilä, A. & Goldstein, G. 2005. Documentation for the TIMES Model. (Verkkodokumentti) Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP), April 2005. Saatavilla: <http://www.etsap.org/documentation.asp>.
- Lu, X., McElroy, M.B., Kiviluoma, J. 2009. Global potential for wind-generated electricity. Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America. NNAS July 7, 2009, vol 106, no 27, s. 10933–10938. Saatavilla: <http://www.pnas.org/content/106/27/10933.full.pdf+html>
- NREL 2006. Stoddard, L., Abiecunas, J. & O’Connell R. National Renewable Energy Laboratory. Economic, Energy, and Environmental Benefits of Concentrating Solar Power in California. Sub-contract Report NREL/SR-550-39291. April 2006. Saatavilla: <http://www.nrel.gov/csp/pdfs/39291.pdf>.
- OECD 2008. Uranium 2007: Resources, Production and Demand. Joint Report by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency, OECD, Paris.
- OECD 2006. Advanced nuclear fuel cycles and radioactive waste management. OECD, Paris.
- OECD 2004. Uranium 2003: Resources, Production and Demand. Joint Report by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency, OECD, Paris.
- OECD 2001: Trend in the nuclear fuel cycle, economic, environmental and social aspects. OECD, Paris.
- OIES 2005. Oxford Institute for Energy Studies. The Oil Supply and Demand Context for Security of Oil Supply to the EU from the GCC Countries. Report by Robert Skinner and Robert Arnott. April 2, 2005 Kuwait City. <http://www.oxfordenergy.org/pdfs/WPM29.pdf>.
- Pahkala, K., Hakala, K., Kontturi, M. & Niemeläinen, O. 2009. Peltobiomassat globaalina energianlähteenä. Maa- ja elintarviketalous 137. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. MTT. Saatavilla: <http://www.mtt.fi/met/pdf/met137.pdf>.
- Remme, U., Blesl, M., Fahl, U. 2007. Global resources and energy trade: An overview for coal, natural gas, oil and uranium. Universität Stuttgart. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung IER. July, 2007.
- Ross, J. 2004. Ross Petroleum. SPE/WPC/AAPG Petroleum Resource Classification. UNSD/ESCWA/OPEC Seminar on the UNFC. Beirut, June 2004. Saatavilla: <http://www.unece.org/ie/se/pdfs/UNFC/bei/ross.pdf>.
- Shell 2008. Harvesting energy from algae. Shell World 15 February 2008. http://www-static.shell.com/static/innovation/downloads/swol/jan_mar_2008/algae/algae_en.pdf.
- SPE/AAPG/WPC/SPEE 2007. Petroleum Resources Management System. Society of Petroleum Engineers (SPE), American Association of Petroleum Geologists (AAPG), World Petroleum Council (WPC), Society of Petroleum Evaluation Engineers (SPEE). Saatavilla: <http://www.spe.org/spe-app/spe/industry/reserves/prms.htm>.

- Solanko, L., Ollus, S. 2008. Paljonko kasua Venäjä pystyy viemään? Suomen Pankki, BOFIT - Siirtymätalouksien tutkimuslaitos. BOFIT Online 2008 No. 3. Saatavilla: <http://www.bof.fi/bofit>.
- Tammelin, B., Forsius, J., Jylhä, K., Järvinen, P., Koskela, J., Tuomenvirta, H., Turunen, M.A., Vehviläinen, B., Venäläinen, A. 2002. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia energiantuotantoon ja lämmitysenergian tarpeeseen. Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 121 s.
- Turveteollisuusliitto 2009. Yleistietoa soista ja turpeesta. www.turveteollisuusliitto.fi.
- United Nations 2007. World Population Prospects: The 2006 Revision.
- USGS 2009. US Geological Survey. Active Volcanoes, Plate Tectonics, and the "Ring of Fire". Saatavilla: http://vulcan.wr.usgs.gov/Glossary/PlateTectonics/Maps/map_plate_tectonics_world.html.
- USGS 2000. U.S. Geological Survey World Petroleum Assessment 2000. Saatavilla: <http://www.usgs.gov/>.
- VTT 2009. Energy Visions 2050. Edita. 2009.
- WCI 2005. World Coal Institute. The Coal Resource. A Comprehensive Overview of Coal. Saatavilla: <http://www.worldcoal.org>.
- WEC 2007. 2007 Survey of Energy Resources. World Energy Council 2007. ISBN 0 946121 26 5. Saatavilla: http://www.worldenergy.org/publications/survey_of_energy_resources_2007/default.asp.
- WTRG Economics 2009. Oil Price History and Analysis (Updating). Saatavilla: <http://www.wtrg.com/prices.htm>.



Julkaisun sarja, numero ja
raporttikoodi

VTT Tiedotteita 2489
VTT-TIED-2489

Tekijä(t) Tiina Koljonen, Maija Ruska, Martti Flyktman, Juha Forsström, Juha Kiviluoma, Johanna Kirkinen, Antti Lehtilä & Katri Pakkala		
Nimeke Energiaresurssit ja -markkinat		
Tiivistelmä Energian kysynnän kasvaminen, fossiilisten energiavarojen ehtyminen sekä il- mastomuutoksen hillitseminen tulevat ohjaamaan eri energiaresurssien kysyn- tää sekä energian hintaa. Tässä raportissa on esitetty arvioita polttoaineiden ja uusitutuvien energialähteiden teknisistä potentiaaleista sekä niihin liittyvistä epä- varmuuksista. Työ toteutettiin Tekesin ClimBus -ohjelman hankkeessa ”Suomalai- sen energiateollisuuden kilpailukyky ilmastopolitiikan muuttuessa – SEKKI” VTT:n, MTT:n ja BOFITin yhteishankkeena, ja sen koordinaattorina toimi VTT. VTT:n työn keskeinen sisältö oli arvioida kriittisesti fossiilisten polttoaineiden riit- tävyyttä ja uusiutuvien energialähteiden teknistä potentiaalia tulevaisuudessa. Tarkastelun pääpaino oli maakaasun saatavuuden arvioinnissa Euroopan näkö- kulmasta. Maakaasutarkastelut tehtiin yhteistyössä BOFITin kanssa, joka arvioi Venäjän kaasun riittävyttä ja vientiä Venäjältä Eurooppaan tulevaisuudessa. Bioenergian käytön voimakas lisääminen edellyttäisi erityisesti peltoalan hyödyn- tämistä energiakasvien tuotannossa. MTT:n työ painottui peltobioenergiapotentia- alien arviointiin alueellisesti ja globaalisti. Arvioissa huomioitiin riittävä ruoan tuo- tanto maailman kasvavalle väestölle.		
ISBN 978-951-38-7546-6 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Projektinnumero 17968
Julkaisuaika Joulukuu 2009	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 110 s.
Projektin nimi SEKKI		Toimeksiantaja(t) Tekes
Avainsanat Energy resources, fossil fuels, fuel markets, bio- energy potentials, wind power potentials, renewable resources, gas supply, Russian gas, field biomass, climate change impacts		Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4520 Faksi 020 722 4374



Series title, number and
report code of publication

VTT Research Notes 2489
VTT-TIED-2489

Author(s) Tiina Koljonen, Maija Ruska, Martti Flyktman, Juha Forsström, Juha Kiviluoma, Johanna Kirkinen, Antti Lehtilä & Katri Pahkala		
Title Energy resources and markets		
Abstract Growing energy demand, depleting fossil energy reserves, and tackling climate change will drive the demands and prices of fossil fuels and renewable energy. This report gives an overview of technical potentials of fossil and renewable energy resources and their uncertainties. The work was carried out within the research project "SEKKI – The Competitiveness of Finnish Energy Industry under Developing Climate Policy", which was part of ClimBus-programme by Tekes, the Finnish Funding Agency for Technology. The SEKKI research was performed 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. VTT's work aimed at 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 assessments 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.		
ISBN 978-951-38-7546-6 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Project number 17968
Date December 2009	Language Finnish, English abstr.	Pages 110 p.
Name of project SEKKI		Commissioned by TEKES – Finnish Funding Agency for Technology and Innovation
Keywords Energy resources, fossil fuels, fuel markets, bio-energy potentials, wind power potentials, renewable resources, gas supply, Russian gas, field biomass, climate change impacts		Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P. O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4520 Fax +358 20 722 4374

SEKKI-hankkeessa (Suomalaisen energiateollisuuden kilpailukyky ilmastopolitiikan muuttuessa) on tutkittu suomalaisen energiateollisuuden kilpailukykyyn vaikuttavia tekijöitä, kun taustalla ovat ilmastonmuutoksen hillintä, niukkenevat energiaressit sekä energiateknologioiden kehitys. Hanke toteutettiin VTT:n (Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen), MTT:n (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen) ja Suomen Pankin siirtymätalouksien tutkimuslaitoksen (BOFIT) yhteishankkeena osana Tekesin Climbus-ohjelmää.

SEKKI-hankkeen yhtenä tutkimuskohteena oli arvioida tulevaisuuden energiaressseja ja -markkinoita sekä Euroopan näkökulmasta että globaalisti. Tarkastelut painottuivat fossiiliin polttoaineisiin (kaasu, hiili, öljy) sekä bioenergia- ja tuuliresursseihin. Tulevaisuuden kehitystä arvioitiin lisäksi skenaariotarkasteluin Global TIAM -mallilla ja hankkeessa kehitetyllä Euroopan kaasunhankinnan mallilla.

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

- 2487 Koljonen, Tiina, Forsström, Juha, Kekkonen, Veikko, Koreneff, Göran, Ruska, Maija, Similä, Lassi, Pahkala, Katri, Solanko, Laura & Korhonen, Iikka. Suomalaisen energiateollisuuden kilpailukyky ilmastopolitiikan muuttuessa. 2009. 90 s.
- 2489 Koljonen, Tiina, Ruska, Maija, Pahkala, Katri, Flyktman, Martti, Forsström, Juha, Kiviluoma, Juha, Kirkinen, Johanna & Lehtilä, Antti. Energiaressit ja -markkinat. 2009. 109 s.
- 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. 80 s.