

Paula Hakola, Miia Kinnunen

ILMASTOLIIKETOIMINTA JA ENERGIA SUOMESSA 2050 (ILMES) - SKENAARIOT JA STRATEGIAT

Taustaraportti 01/06

Tulevaisuuden tutkimuskeskus
eJulkaisu 1/2006

Tulevaisuuden tutkimuskeskus
eJulkaisu 1/2006

**ILMASTOLIIKETOIMINTA JA
ENERGIA SUOMESSA 2050 (ILMES)
- SKENAARIOT JA STRATEGIAT**

Taustaraportti 01/06

Paula Hakola
Miia Kinnunen

Paula Hakola
Projektipäällikkö
Tulevaisuuden tutkimuskeskus
Turun kauppakorkeakoulu

Miia Kinnunen
Tutkimusapulainen
Tulevaisuuden tutkimuskeskus
Turun kauppakorkeakoulu

Copyright © 2006 Paula Hakola & Miia Kinnunen & Tulevaisuuden tutkimuskeskus &
Turun kauppakorkeakoulu

ISBN 951-564-311-2

Tulevaisuuden tutkimuskeskus
Turun kauppakorkeakoulu
Rehtorinpellonkatu 3, 20500 TURKU
Korkeavuorenkatu 25 A 2, 00130 HELSINKI
Hämeenkatu 7 D, 33100 TAMPERE
Puh. (02) 481 4530
Faksi (02) 481 4630
<http://www.tukkk.fi/tutu>
tutu-info@tukkk.fi, etunimi.sukunimi@tukkk.fi



SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	7
1.1	Tausta	7
1.2	ILMES-hankkeen tavoitteet	8
1.3	Taustoituksen rooli	10
2	ENERGIA-ALAN MUUTTUVA TOIMINTAYMPÄRISTÖ	13
2.1	Energia-alan toimintaympäristö Suomessa	13
2.2	Energiasektorin merkittävimmät muutostekijät	17
2.2.1	Energian hinnan muutokset	17
2.2.2	Lainsäädännön vaikutukset	18
2.2.3	Ilmastopolitiikan vaikutukset	19
2.2.4	Kansainvälistyminen ja globalisaatio	19
2.2.5	Toimintaympäristö ja verkostoituminen	20
2.2.6	Innovaatiot, teknologia ja menestystuotteet	20
2.2.7	Hiipuvat liiketoiminta-alueet	20
2.2.8	Koulutus ja osaaminen	21
2.2.9	Muut muutostekijät	21
2.3	Energia-alan kilpailukyky Suomessa	21
2.4	Gloaalit energia-alan näkymät & haasteet	24
3	ENERGIAN TUOTANNON TEKNOLOGIAT JA PALVELUT	27
3.1	Uusiutuva energia	27
3.1.1	Bioenergian asema ja mahdollisuudet	29
3.1.2	Auringosta energiaa	33
3.1.3	Tuulesta voimaa	36
3.1.4	Jätteestä energiaa	41
3.1.5	Muut uusiutuvat energiamuodot	44
3.2	Muut teknologiat	45
3.2.1	Vetytalous ja polttokennot	45
3.2.2	Fuusion haasteet	48
3.2.3	Hiilidioksidin erottaminen ja talteenotto	49
3.2.4	Lämpöpumput	50
4	ENERGIAN JAKELUUN JA KÄYTTÖÖN LIITTYVÄT TEKNOLOGIAT JA PALVELUT	53
4.1	Sähkön jakelun, varastoinnin ja käytön haasteet	53
4.2	Energiaintensiivisen teollisuuden energiankäyttö	58
4.2.1	Metsäteollisuus	59
4.2.2	Rauta- ja terästeollisuus	61
4.2.3	Kemianteollisuus	62
4.2.4	Sementtiteollisuus	63
4.3	Liikenne	64
4.3.1	Biopolttoaineiden nykytilanne	64
4.3.2	Liikennesektorin uutta teknologiaa	70
4.4	Rakennusten energiankulutus	71

SISÄLLYSLUETTELO

5	VALTIOVALLAN TOIMET KASVIHUONEPÄÄSTÖJÄ HILLITSEVÄN TEKNOLOGIAN JA PALVELUIDEN EDISTÄMISEKSI	73
5.1	Kansainvälisiä ja kansallisia tavoitteita	73
5.2	Tukimuodot Suomessa ja EU:ssa	74
6	ENERGIASEKTORIN TULEVAISUUS?	81
6.1	Olemassa olevien skenaarioiden tarkastelua	81
6.2	Päätelmiä eri skenaarioista	88
	LÄHTEET	91

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Globaaliin ilmastomuutokseen varautuminen, fossiilisten energialähteiden niukkeneminen ja kasvava energiankulutus muuttavat energiasektorin toimintaympäristöä merkittäväällä tavalla. Maailman kaupallisesta energiankulutuksesta noin 85 % katetaan nykyisin fossiilisilla polttoaineilla. Globaalissa mittakaavassa energian ja erityisesti sähkön kulutus kasvavat, mutta samalla ilmastomuutoksen torjuminen edellyttää hiilidioksidipäästöjen vähentämistä. Tämä aiheuttaa merkittäviä muutospaineita energian tuotanto- ja kulutusrakenteelle. Energia- ja teknologiapolitiikan haasteena on löytää ne keinot, joiden avulla tarvittavat investoinnit ilmastomyötäisen teknologian kehittämiseen ja sen käyttöönottoon saadaan tehokkaasti toteutettua. Olenaisia ovat myös energiansäästöön liittyvät toimet, jotka energianhinnan noustessa muuttuvat kannattaviksi. Systemaattinen panostus teknologian kehittämiseen alentaa pitkällä tähtäimellä varmimmin CO₂-päästöjen rajoittamisen kustannuksia sekä yritystasolla että koko kansantaloudessa (Energia Suomessa 2004, 358).

CO₂-päästöjä voidaan rajoittaa pienentämällä talouden energiantensiteettiä ja energiajärjestelmän hiili-intensiteettiä. Kehittämällä teknologiaa voidaan tehostaa sekä energiankäyttöä että vähentää energiantuotannon hiilidioksidipäästöjä. Hiilidioksidi on Suomessakin merkittävin kasvihuonekaasu. Sitä vapautuu polttoaineiden käytöstä, raudan, kalkin ja sementin tuotannosta sekä eloperäisistä maatalousmaista ja polttoturpeen tuotannosta. Suomen hiilidioksidipäästöt vaihtelevat vuosittain. Tähän vaikuttavat taloudelliset suhdanteet ja etenkin vesivoiman saatavuus. Runsassateisina vuosina päästöt ovat pienemmät, koska pohjoismainen tuontisähkö korvaa Suomen omaa lähinnä hiililauhdevoimaloiden sähköntuotantoa. (Savolainen et al. 2003, 27, 29.)

Tekesin Teknologia ja ilmastomuutos (Climtech) -tutkimusohjelmasta saadut tulokset osoittavat, että mahdollisuuksia kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen on paljon. Osa potentiaalista on kuitenkin vielä taloudellisesti kannattavien teknologiaratkaisujen ulottumattomissa. Biomassan hyödyntämisellä energiantuotannossa on tässä suuri rooli. Suomessa päästöjä saataisiin vähennettyä kustannustehokkaimmin käyttämällä bioenergiaa runsaasti esimerkiksi suurissa yhteistuotantovoimalaitoksissa, mistä esimerkkinä on Alholmens Kraftin leijupetikattila. Maksimipotentiaalın saavuttaminen edellyttäisi kuitenkin kauppa- ja teollisuusministeriön uusiutuvien energialähteiden edistämishjelmaa suurempia panoksia bioenergiaan sekä metsäteollisuuden tuotannon vakautta. Informaatioteknologian avulla voidaan saada ja analysoida tietoa laitteiden, tehtaiden tai rakennusten energiankäytöstä, mikä auttaa muuttamaan toimintoja vähemmän energiaa kuluttaviksi. Energiaa voidaan tuottaa yhä pienemmissä laitoksissa, ja informaatioteknologian avulla niitä voidaan käyttää ja ohjata automaattisesti kaukaakin. Siten pienemmistä laitoksista voidaan saada mittakaavaetua valmistamalla niitä sarjatuotannossa. Yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon kehittyminen on esimerkki tästä. Siinä polttoainetta voidaan käyttää suurella kokonaishyötysuhteella, kun taas erillistuotannossa raakaenergiaa haaskaantuu huomattavasti. (Savolainen et al. 2003, 44-45.)

Osa Hallitusten välisen ilmastopaneelin (IPCC) suosittelemien teknologiavaihtoehtojen tarjoamasta fossiilisperäisten CO₂-päästöjen rajoituspotentiaalista on jo käytössä Suomessa. Jatkuvaa tutkimus-

ja kehitystyötä kuitenkin tarvitaan energiantuotannon ja -käytön tehokkuuden parantamiseksi. Teknologian käyttöönoton ja kaupallistamisen edistäminen on tärkeää. Yritysten tulisi nähdä pitkän aikavälin mahdollisuudet, jotta kehitystyötä voitaisiin pitää kannattavana. Selkeä pitkäaikainen poliittinen sitoumus olisi tärkeä viesti yrityksille, ja EU:n piirissä tällainen on jo muodostumassa. Tällaisen viestin tulisi ulottua teknologian kehittämiseen saakka. Yhteistyöverkostoilla ja eri osapuolten yhteisillä toimintaohjelmilla olisi oltava keskeinen tehtävä teknologioiden kaupallistamisessa. (Savolainen et al. 2003, 52.) Tärkeimmät tekniset keinot fossiilisperäisten CO₂-päästöjen vähentämisessä ovat energian käytön tehokkuuden parantaminen, energiantuotannon hyötysuhteen parantaminen, siirtyminen vähemmän hiiltä sisältävien polttoaineiden kuten maakaasun käyttöön sekä siirtyminen uusiutuvien energialähteiden ja ydinvoiman käyttöön. (Energia Suomessa 2004, 143.) Toisaalta myös CO₂ talteenottoteknologioiden merkitys voi jatkossa kasvaa (ns. nollapäästötiset fossiiliset teknologiat).

Muutostarve aiheuttaa luonnollisesti epävarmuutta energiasektorin eri osa-alueilla, minkä vuoksi muutosten ennakointi ja toimenpiteiden ohjaus ovat keskeisessä asemassa. Muutos voidaan kuitenkin nähdä voimavarana, joka luo uusia ja merkittäviä mahdollisuuksia kestäväen kehityksen vaatimukset täyttävän teknologian toimittajille ja energiantuottajille. Odotettavissa oleva energiajärjestelmien uudistaminen voi siksi avata uusia liiketoimintamahdollisuuksia suomalaisille yrityksille, joiden osaamisella on jo ennestään hyvä maine. Tutkimuksen ja tuotekehityksen suuntaamiseen tarvitaan näkemystä ja ennakointia teknologisen kehityksen suunnasta ja nopeudesta, joiden perusteella voidaan antaa toimenpidesuosituksia niin yrityksille kuin muillekin energiasektorin toimijoille.

1.2 ILMES-hankkeen tavoitteet

ILMES -tutkimushankkeen tavoitteena on skenaarioiden avulla hahmottaa, mitkä ilmastonmuutosta hillitsevät teknologiat ja palvelut menestyvät nykyhetkestä vuoteen 2050. Yhteistyössä suomalaisten yritysten, Tulevaisuuden tutkimuskeskuksen, Jyväskylän yliopiston, Tampereen teknillisen yliopiston ja VTT:n kanssa kartoitetaan suomalaisen osaamisen ja yritystoiminnan roolia ilmastonmarkkinoilla. Skenaarioiden pohjalta muodostetaan teknologiatiekarttoja, joiden perusteella tutkijaryhmä ja yritykset rakentavat vision ja strategiat pidemmän aikavälin teknologian kehittämiseksi. Strategianmuodostuksen jälkeen lupaavimpia kehittämishankkeita lähdetään toteuttamaan käytännössä. Kansainvälinen tiedonvaihto konsortion ulkomaisissa kontaktitahoissa on keskeinen osa tutkimuksen taustoituksen ja sen tulosten hyödyntämistä.

Tutkimuksen tulokset auttavat suomalaisia alan yrityksiä suuntaamaan kehitys- ja verkostoitumispanoksiaan kilpailukyvyyn vahvistamiseksi. Tuloksilla on käyttöä sekä energia-alan innovaatiojärjestelmän kehittämisessä, että vastaavien energiateknologiaa ja kestäväen kehitystä tukevien hankkeiden suunnittelussa ja toteuttamisessa pidemmällä aikavälillä. Tutkimus on avuksi päättäjille ympäristö-, energia- ja teknologiapoliittisten ratkaisujen valmistelussa. Kestävien teknologiaratkaisujen edistämistä koskeva tutkimus ja sen tarjoamat tulokset ovat tärkeitä ympäristöpoliittisella toimijakentällä EU:n ja valtion hallinnosta käytännön toteuttajiin eli tutkimustahoihin ja yrityksiin. Ilmastopoliittikka tarjoaa tälle hankekokonaisuudelle haasteellisen kehyksen.

Kasvihuonepäästöjä vähentävien energiateknologioiden ja palvelujen liiketoimintamahdollisuuksien tarkastelu on tässä hankkeessa rajattu uusiutuviin energiaratkaisuihin sekä muihin teknologioihin kuten hiilidioksidin erotukseen ja talteenottoon, fuusioteknologiaan ja vetytalouteen. Lisäksi tarkastellaan sähkön varastointiin, jakeluun ja käyttöön liittyviä haasteita sekä energiaintensiivisten teollisuudenalojen¹, liikenteen ja rakennusten energiankäyttöä. Hankkeessa tarkastellaan mm. teknologioita, teknologian diffuusiota, sen edellytyksiä ja esteitä sekä uusia liiketoimintaideoita, kuten esimerkiksi palveluja. Varsinaisen tutkimustyön aikana pyritään täsmentämään energiapalvelukokonaisuutta, joka on usein hyvinkin kirjava.

Energiateknologian kehittymisestä on tehty runsaasti määrällisiä skenaarioita. Käytännön kehittämistoimien ohjaamiseksi niin politiikka- kuin yritystasollakin tarvitaan investointitarpeiden ennakkoinnin rinnalle myös asiantuntijanäkemyksiin perustuvia laadullisia skenaarioita ja niihin perustuvia strategioita. Vuoteen 2050 kohdennettu aikahorisontti tarjoaa mahdollisuuden ennakoida kilpailukykyisiä kestävä kehityksen vaatimukset täyttäviä energiateknologioita ja mahdollistaa myös tutkimus- ja kehityspanostusten suuntaamisen niihin kansallisella tasolla.

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa vuoden 2006 aikana muodostetaan skenaarioita teknologian kehityksen mahdollisuuksista ja niiden todennäköisistä muodoista kohdeyritysten toimialoilla. Skenaarioita muodostetaan sekä teknologian kehitykseen että siihen linkittyviin palveluihin liittyen. Skenaariotyöskentelyn edellyttämää asiantuntijatieta kerätään haastatteluiden ja paneelien avulla delfoi-menetelmää käyttäen. Subjekttiivisten asiantuntijamielipiteiden perusteella muodostetun tiedon katsotaan sisältävän ”hiljaista tietoa”, joka muodostaa tärkeän osan tulevaisuustiedon perustasta. Delfoi-menetelmä muodostuu vähintään kahdesta asiantuntijakerroksesta, joiden kuluessa asiantuntijoiden mielipiteet kerätään ja niistä saatu informaatio kootaan yhteen ja palautetaan asiantuntijoille lisätarkastelua varten (Vapaavuori & von Bruun 2003, 316).

Delfoi-menetelmän valinnan perusteena on hankkeen vaiheittainen eteneminen, mikä on olennaista pitkälle tulevaisuuteen luotaavien skenaarioiden rakentamisessa. Tämä mahdollistaa samojen asiantuntijoiden mukanaolon ja aineiston prosessoinnin useammalla kierroksella. Vaiheittainen eteneminen hankkeessa tarjoaa sekä Tekesille että yrityksille mahdollisuuden seurata hankkeen edistymistä sekä hyödyntää hankkeen välituloksia Climbus -ohjelman aikana.

Delfoi-menetelmässä pyritään löytämään keskeisiä argumentteja ja näkökohtia, jotka perustelevat kehitysarvioita ja toimivat aineistona skenaarioiden muodostamisessa. Menetelmää sovelletaan hankkeen ensimmäisessä vaiheessa haastatteleamalla suomalaisia energia-alan toimijoita (yritykset, tutkijat ja viranomaiset).

Ensimmäisessä vaiheessa toteutetaan noin 80 ydinhaastattelua energia-alan eri tahoilla sekä lisäksi täydentäviä haastatteluja päättötöiden puitteissa. Haastateltavat valitaan hankkeen johtoryhmän ehdotusten pohjalta. Haastattelujen jälkeen järjestetään tulevaisuusverstaas², jossa saatuja tuloksia

¹ Tutkimuksessa tarkasteltavat energiaintensiiviset teollisuuden alat ovat metsäteollisuus, rauta- ja terästeollisuus, sekä sementtiteollisuus. Kemianteollisuutta on käsitelty taustaraportissa, mutta varsinaisesta tutkimuksesta se on rajattu pois.

täydennetään. Tarkoituksena on tulkita kannanottoja ja asettaa ne laajempiin mittasuhteisiin (vrt. Kuusi & Kamppinen 2003, 213-214).

Hankkeessa pyritään myös löytämään heikkoja signaaleja, eli vaikeasti havaittavia tekijöitä, jotka toteutuessaan voivat saada aikaan suuria muutoksia. Näitä etsitään jo haastattelujen aikana, ja erityisesti vuoden 2006 lopulla järjestettävässä tulevaisuusverstaassa. Heikkoja signaaleja pystytään näin analysoimaan myös toisessa vaiheessa eli vuoden 2007 internetkyselyssä. Heikot signaalit ovat keskeisessä asemassa toimintaympäristön muutoksissa (esim. kriisitila öljyalueilla, muutokset Venäjän politiikassa). Muutostekijöitä tarkastellaan tässä hankkeessa globaalissa kontekstissa, jonka jälkeen arvioidaan niiden vaikutuksia Suomen tasolla.

Rahoitus hankkeen toiselle vaiheelle haetaan erikseen. Ensimmäisen vaiheen tuloksia ja niiden perusteluja arvioidaan internetissä toteutettavalla toisella kierroksella, joka kohdennetaan haastatteluihin osallistuneelle asiantuntijajoukolle. Kolmannella kierroksella järjestetään toinen asiantuntijoiden verastapaaminen, jossa valmistellaan strategiatyötä. Ensimmäinen haastattelukierros on tematiikaltaan laaja, mutta toisella kierroksella kysymyksiä rajataan lupaavimpiin energiateknologioihin ja palvelutoimintaan. Tarkoituksena on ottaa tarkasteluun erityisesti sellaisia tekniikoita ja palveluja, jotka ovat jo tunnettuja ja mahdollisesti käytettävissä, mutta joita ei vielä syystä tai toisesta juuri ole käytössä ja joilla on potentiaalisia liiketoimintamahdollisuuksia tulevaisuudessa. Esimerkkejä tällaisista teknologioista ovat mm. kaasutustekniikat, liikenteen biopolttoaineet, hiilidioksidin erottaminen ja talteenotto, kehittyneemmät aurinkoenergiateknologiat, ja vetyteknologiat.

1.3 Taustoituksen rooli

ILMES-hankkeen taustaraportissa tarkastellaan tiedossa olevia kehityskelpoisia kasvihuonekaasupäästöjä vähentäviä teknologioita ja niihin linkittyviä palveluita. Taustaraportin tarkoitus on toimia pohjatyönä seuraavan vuoden aikana toteutettavalle haastattelukierrokselle. Tarkastelun pääpainopiste on Suomessa, mutta mielenkiintoisia tapauksia esitellään myös muualta maailmasta, ja etenkin globaalisti vaikuttavien eri muutostekijöiden vaikutuksia arvioidaan Suomen tasolla. Taustaraporttiin on koottu olennainen kokonaisuus Suomelle jatkossa mahdollisesti merkityksellisistä teknologioista ja palveluista, tai Suomessa kehiteltävistä, mutta ulkomaille suuntautuvista teknologioista.

Hankkeessa hyödynnetään viiden eri tutkimuslaitoksen asiantuntemusta. Tulevaisuudentutkimuskeskuksen (koordinaattori) asiantuntemus perustuu menetelmäosaamiseen ja energia-alan kokonaistuntemukseen. Jyväskylän Yliopiston kontribuutioalueita ovat liikenteen biopolttoaineet, mikro-CHP, mikrovoima, maaseudun energiantuotanto ja energiaomavaraisuus, uudet teknologiat ja niiden diffuusio. TTY:n energia- ja prosessitekniikan laitoksen osahankkeen tavoitteena on tut-

² Tulevaisuusverstaas on useita vaiheita käsittävä ryhmätyömenetelmä yhteisön, yrityksen tai verkoston ajankohtaisen ongelman ratkaisemiseksi tulevaisuusnäkökulmasta. Nykyisin verstaasmenetelmiä on kehitetty useita erilaisia ja eripituisia. Tulevaisuusverstaassa osallistujat nähdään oman alueensa tai ryhmänsä tilanteen asiantuntijoiksi, joiden mielipide toivottavimman tulevaisuudentilan ja strategian valitsemisessa on olennaisen tärkeä. (Vapaavuori & von Bruun 2003, 327).

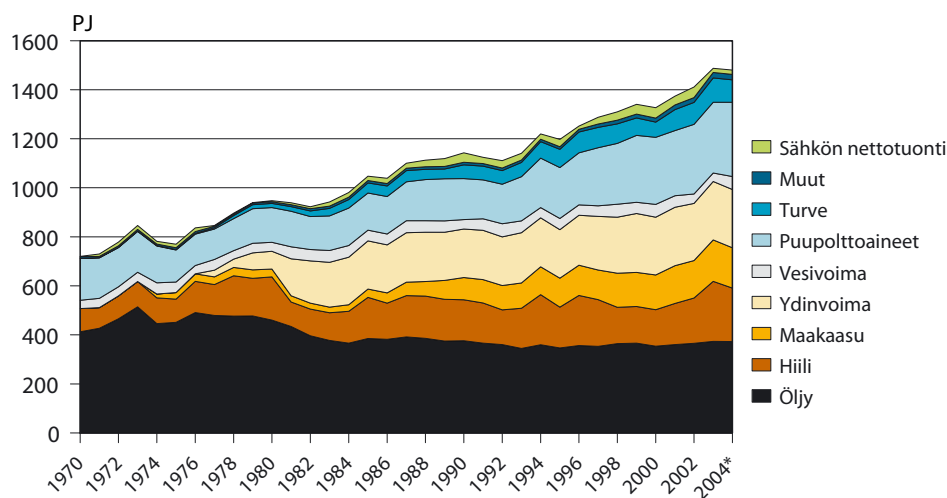
kia bioenergia-alan liiketoiminnan tulevaisuutta Suomessa. TTY:n sähkövoimatekniikan laitoksen tähän hankkeeseen liittyviä tutkimustoiminnan painopistealueita ovat sähkön laadun hallinta, sähkömarkkinat ja verkkoliiketoiminta, sähkönsiirtoverkkojen käyttövarmuus, hajautetut energiajärjestelmät ja niiden verkkovaikutukset sekä hajautetut sähköntuotantotekniikat. VTT:n asiantuntumusalue kattaa koko energian tuotantoketjun polttoaineen tuotannosta ja käsittelystä sähkön, lämmön ja polttoainelajosteiden tuotantoon sekä tehokkaaseen prosessien energian käyttöön. Hajautetun energiantuotannon tutkimuksen painopisteet ovat tuulivoimassa ja polttokennoissa sekä energiajärjestelmien liittämässä sähköverkkoon. Myös energiajärjestelmien taloudelliset ja ympäristövaikutukset ovat VTT:n tärkeä osaamisalue.

Tulevaisuuden tutkimuskeskuksen kokoamaan taustaraporttiin ovat tärkeitä kommentteja ja lisäyksiä antaneet Jyväskylän yliopistosta Ari Lampinen, Tampereen teknillisen yliopiston sähkövoimatekniikan laitokselta Seppo Valkealahti ja Tero Karhumäki, energia- ja prosessitekniikan laitokselta Risto Raiko sekä VTT prosesseista Satu Helynen ja Kati Veijonen. Lisäksi hankkeessa partnereina mukana olevat yritykset ovat osallistuneet raportin kommentointiin: ABB Oy, Foster Wheeler Energia Oy, Jyväskylän Teknologikeskus Oy, Kvaerner Power Oy, Oy Metsäbotnia Ab, Prizztech Oy, Rautaruukki Oyj, Teknologikeskus Hermia Oy, Teknologikeskus Oy Merinova Ab, Vapo Oy, Vattenfall Verkko Oy, Wärtsilä Oy Abp sekä Ääneseudun Kehitys Oy.

2 ENERGIA-ALAN MUUTTUVA TOIMINTAYMPÄRISTÖ

2.1 Energia-alan toimintaympäristö Suomessa

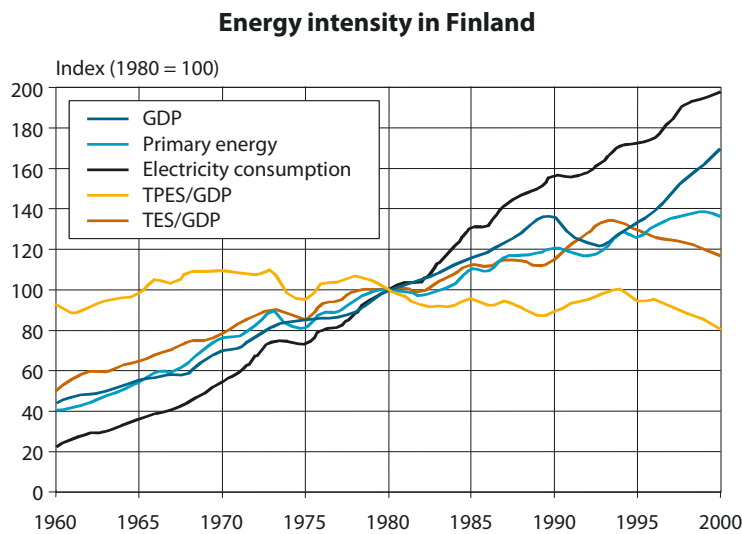
Sekä kansainväliset että kansalliset tahot ovat viime vuosina pyrkineet edistämään uusiutuvien energiateknologioiden käyttöönottoa (luku 5). Uusiutuvien energialähteiden käyttöä koskevassa tiedonannossa Euroopan komissio (1997) asetti tavoitteeksi kaksinkertaistaa uusiutuvien energialähteiden osuuden kokonaisenergiakulutuksesta vuoden 1995 alle 6 %:sta 12 %:iin vuoteen 2010 mennessä. Kuvassa 1 tarkastellaan energian kokonaiskulutusta Suomessa vuosina 1970–2004. Esimerkiksi puupolttoaineiden osuus energiantuotannosta on kasvanut 1990- ja 2000 -luvuilla, kun taas öljyn, hiilen ja kaasun osuus on pysynyt melko vakiona tai lievästi laskenut. Tämä trendi kuvastaa osaltaan primäärienergiakulutuksen hidastumista (kuva 2), joka niin Suomessa kuin muissakin teollisuusmaissa johtuu pääosin teollisuuden rakennemuutoksesta. Energiaintensiivisestä savupiipputeollisuudesta jalostusteollisuuteen siirryttäessä kasvu kohdistuu primäärienergian sijaan sähkönkulutukseen, joka tulee jatkumaan vielä pitkään. Teollisuusmaiden keskimääräinen energiankulutuksen kasvu on kuitenkin selvästi Suomea alempi³.



*ennakkotieto

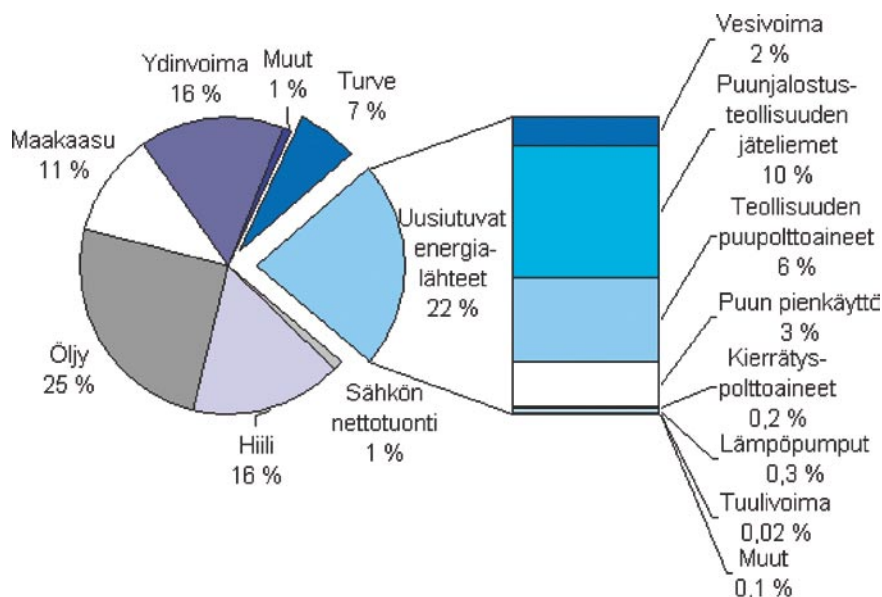
Kuva 1. Energian kokonaiskulutuksen jakautuminen Suomessa vuosina 1970-2004. (Tilastokeskus 2005.) Vuoden 2004 osalta on käytetty ennakkotietoarviota.

³ Tämä syystä, että energiaintensiivisen teollisuuden osuus on Suomessa yhä korkea verrattuna muihin teollisuusmaihin.



Kuva 2. Energiaintensiteetti Suomessa vuosina 1960-2000. (Kara et al. 2001).

Energiantuotannon jakautumista Suomessa vuonna 2003 on tarkasteltu kuvassa 3. Öljy kattaa Suomen energiantuotannosta neljänneksen, hiili 16 %, ydinvoima 16 %, maakaasu 11 % ja turve seitsemän prosenttia. Uusiutuvan energiantuotannon osuus on noin viidennes. Puunjalostusteollisuuden jätehiemet ja teollisuuden puupolttoaineet kattavat suurimman osan uusiutuvan energian jakaumassa. Turve luokitellaan Suomessa tarkasteluajavälistä ja luokittelijasta riippuen joko uusiutuvaksi tai uusiutumattomaksi polttoaineeksi. Tällä hetkellä Suomessa syntyy turvetta enemmän kuin käytetään, ja lisäksi myös turpeelle aletaan maksaa uusiutuvilla energialähteillä tuotettavalle sähkölle maksettavaa hintatukea. Tässä raportissa turvetta käsitellään uusiutuvien energialähteiden yhteydessä ”muuna uusiutuvana” (hitaasti uusiutuva biomassa). Meneillään olevat tutkimukset tulevat mahdollisesti muuttamaan tätä luokittelua ja näin ollen selkeyttämään turpeen asemaa.



Kuva 3. Suomen energiantuotannon rakenne vuonna 2003 (KTM, 2005).

Energiantuotannon tehokkuus on Suomessa suhteellisen korkea etenkin siksi, että lämmön ja sähkön yhteistuotantoa (CHP) käytetään laajasti sekä teollisuudessa että lämmityssektorilla. Jätepuun käyttö polttoaineena yhdistetyssä lämmön ja sähkön tuotannossa on Suomessa laajinta maailmassa. Noin 10 % Suomen sähköstä tuotetaan teollisuuden jätepuuta käyttäen. (Energia Suomessa 2004, 87.) Muiden bioenergiälähteiden sekä vesivoimaa lukuun ottamatta muiden uusiutuvien energialähteiden käyttö on Suomessa toistaiseksi marginaalista. Päästökaupan vaikutukset suomalaisiin energia- ja teräsalan yrityksiin ovat vielä avoimia. VTT:n sähkön markkinahintamallin avulla on arvioitu päästökaupan eri hintatasojen vaikutusta pohjoismaisen sähkön hintaan ottaen huomioon kulutuksen ja tuotantokapasiteetin kasvun sekä kulutukseen ja vesivoiman saatavuuteen liittyvän satunnaisen vaihtelun. Selvityksen mukaan päästöoikeuden hinta välillä 5-30€/t CO₂ nostaa sähkön keskihintaa 5-20€ MWh. Vaikutus on lähes lineaarinen päästöoikeuden hinnan suhteen. (Koljonen et al. 2004.)

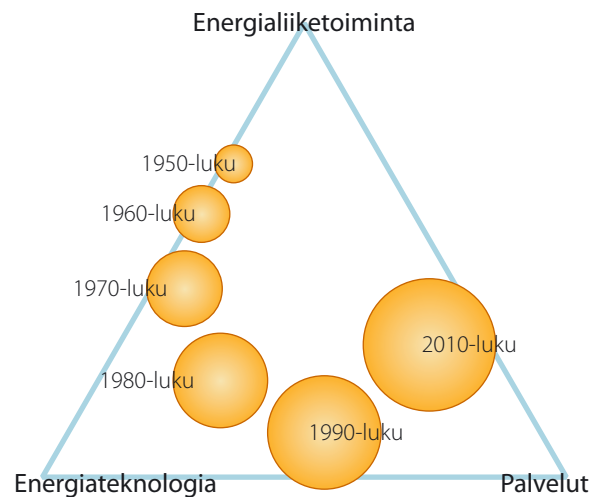
Suomen energiateknologian vienti kasvoi merkittävästi 1990-luvulla. Vuonna 1991 viennin määrä ylitti tuonnin, ja vuosina 1988–1998 energiateknologian viennin arvo lähes viisinkertaistui. Suomalaisen kestävä kehityksen energiateknologian viennin arvo oli vuonna 2000 noin 0,8 mrd € Suomen koko energiateknologian viennin arvon ollessa noin 3,2 mrd €. Selvityksessä kestävä kehityksen energiateknologiaksi laskettiin uusiutuvien energialähteiden lisäksi myös energiansäästöön liittyvä teknologia. Merkittävimpiä suomalaisia uusiutuvan energian vientituotteita ovat biomassan polttoon soveltuvien höyrykattiloiden osat ja tuulivoimaloiden komponentit (Monni et al, 58, 68). Vuodesta 1988 vuoteen 1998 viennin arvo kasvoi 4,9 -kertaiseksi. Samaan aikaan Suomen koko viennin arvo ”vain” 2,5 -kertaistui. (Hernesniemi & Viitamo 1999, 44.) Suomalaisen energiateknologian vahvimpia alueita ovat polttotekniikka ja siihen liittyvä laitevalmistus sekä generaattorit, sähkömoottorit ja taajuusmuuttajat. Uusiutuvaan energiaan liittyvässä viennissä on harvoin kyse kokonaislaitoksen toimituksesta. Tyypillisesti Suomesta myydään teknologiaratkaisuja, komponentteja sekä suunnittelua ja projektivalvontaa.

Energian huoltovarmuuden edistäminen edesauttaa hajautettujen uusiutuvien energiantuotantotapojen yleistymistä. Energian huoltovarmuuden ylläpitämisen nykyinen tavoitetaso perustuu valtioneuvoston toukokuussa 2002 tekemään päätökseen. Perusajatuksena on turvata kansallisiin toimenpiteisiin ja voimavaroihin perustuva itsenäinen huoltovarmuus. Suomen energiantuotannon rakenne, joka painottaa useisiin polttoaineisiin ja hankintalähteisiin perustuvaa energiantuotantoa, tukee energianhuollon turvaamista sekä riittävää kotimaisuusastetta. (Energia Suomessa 2004, 85.)

Energiaklusterin⁴ palvelut ovat heterogeeninen joukko erilaisia energiateknologiaa ja -liiketoimintaa tukevia palvelumuotoja. Niistä tärkeimpiä ovat investointiprojekteihin liittyvä suunnittelu, konsultointi ja energiajärjestelmän kunnossapito. Energiayhtiöiden ja teollisuuden ulkoistaessa palvelutoimintojaan voimalaitosten käytöstä on kehittymässä merkittävä liiketoiminta-alue. Energiaklusterin palveluille on ominaista vahvat muiden teollisuus- ja liiketoiminta-alojen palvelutoimintoihin liittyvät yhteistuotannon edut. Suuri osa merkittävistä palveluyrityksistä toimii energiantuotannossa tai teknologian valmistuksessa, mistä niiden osaaminen on alun perin peräisin. Palvelujen vienti kääntyi voimakkaaseen kasvuun

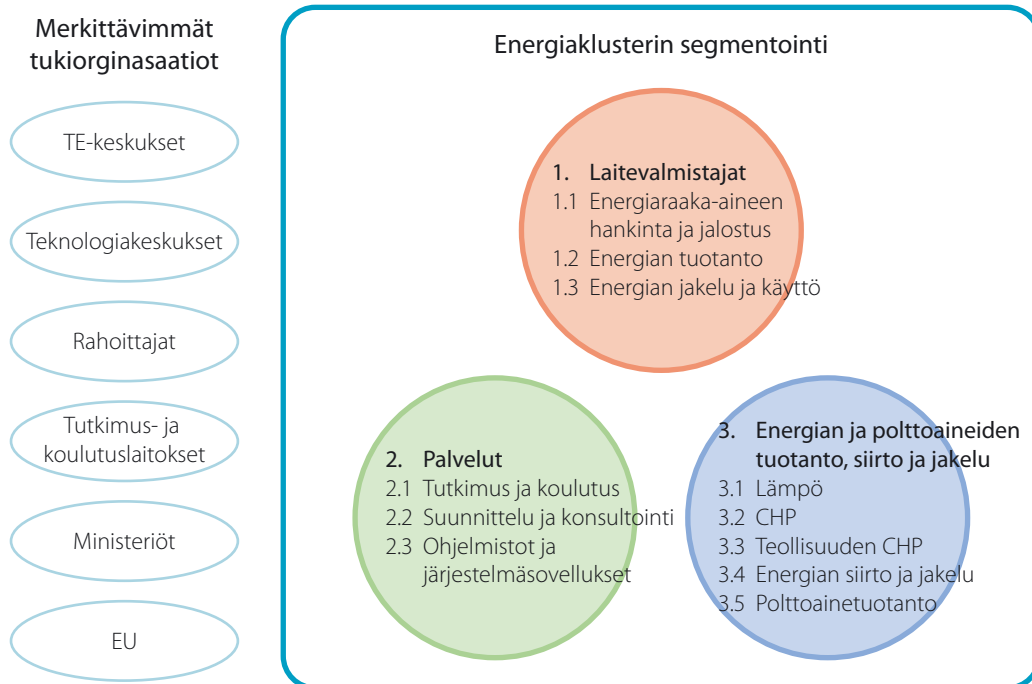
⁴ Klusterilla tarkoitetaan yritysten muodostamaa verkostoa, jossa osaaminen, vuorovaikutus ja yhteistyösuhteet tuottavat merkittävää etua verkoston toiminnalle.

1990-luvun alussa, mihin vaikuttivat mm. kotimaisten investointien vähyys ja energiateknologian viennin vahva kasvu. (Hernesniemi & Viitamo 1999.) Energiaklusterin pääliiketoiminnat muodostavat toisiaan täydentävän kilpailukykyä luovan kokonaisuuden. Energiateknologian, energialiiketoiminnan ja palvelujen keskinäistä suhdetta ja painostusten muutoksia havainnollistetaan kuvassa 4.



Kuva 4. Suomen energiaklusterin kilpailukykyyn painopisteen kehitys (Hernesniemi & Viitamo 1999.)

Energiaklusteri voidaan jakaa kolmeen eri pääsegmenttiin ja niiden alasegmentteihin. Kuvassa 5 on esitetty Suomen energiaklusterin segmentointi sekä merkittävimmät tukioorganisaatiot Pirkanmaan energiaklusterin tarkastelusta johdettuna. Kolme pääsegmenttiä ovat laitevalmistajat, palvelut sekä energian ja polttoaineiden tuotanto, siirto ja jakelu. Tukioorganisaatioiden merkitys vaihtelee organisaatioittain, mutta keskeisimmät niistä ovat rahoittajat, tutkimus- ja koulutuslaitokset, ministeriöt, TE- ja teknologiakeskukset sekä EU. (Hakola & Kinnunen 2005.)



Kuva 5. Energiaklusterin segmentointi (Hakola & Kinnunen, 2005).

2.2 Energiasektorin merkittävimmät muutostekijät

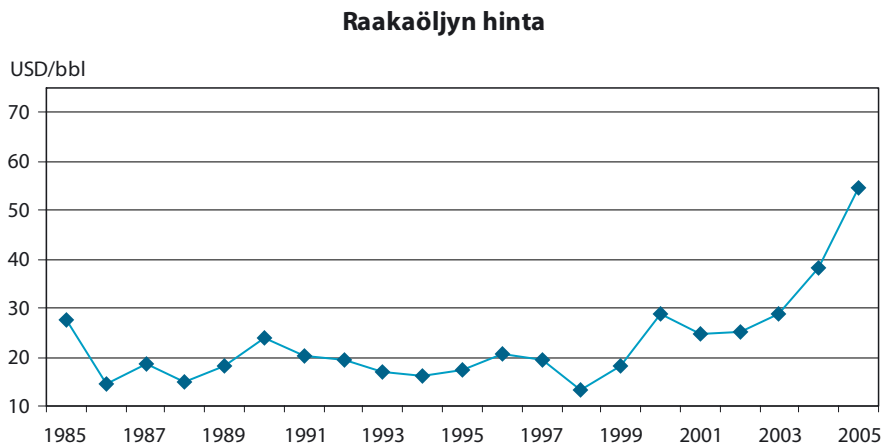
Energiasektorilla vaikuttavat monet erilaiset usein vaikeastikin ennakoitavat muutostekijät. Globaalien tason muutostekijät vaikuttavat myös merkittäväällä tasolla Suomen toimintaympäristöön. Seuraavassa esitellyt muutostekijät perustuvat Pirkanmaan energiaklusterin ennakoiva analyysi 2010-2020 hankkeen tuloksiin (Hakola & Kinnunen 2005), joita voidaan soveltaen yleistää myös koko Suomen energiaklusterin tasolle. Pirkanmaan energiaklusteri -hankkeessa toteutettujen 25 asiantuntijahaastattelun pohjalta tuli tähän sovellettuna esille kahdeksan merkittävää energiasektorin toimintaan vaikuttavaa muutostekijää. Eri muutostekijät ja megatrendit⁵ kytkeytyvät vahvasti tai välillisesti toisiinsa.

2.2.1 Energian hinnan muutokset

Energian ja sähkön reaali-hinnan ennakoitaan nousevan. Mikäli energian hinta nousee, energian käytössä sekä teollisuuden, kotitalouksien että liikenteen piirissä panostetaan energiatehokkuuteen ja energiansäästöön. Uusinvestoinnit voivat vähetä kalliin energian hinnan johdosta, kun taas tuotantopuolella investointihalukkuus voi nousta. Samalla uusia primäärienergiälähteitä hyödyntävien

⁵ Megatrendi on kehityksen suuri linja, ilmiöiden tunnistettava ja selkeän historian omaava yhtenäinen kokonaisuus, jolla on selkeä kehityssuunta. Megatrendi on makrotason kokonaisuus, joka sisältää useita erilaisia ja jopa toisilleen vastakkaisia alailmiöitä ja tapahtumaketjuja (esim. globalisaatio). (Kamppinen et al. 2003.)

ratkaisujen kehittäminen muuttuu kannattavaksi. Energian hinnan nousun myötä uusiutuvat energialähteet tulevat yhä kilpailukykyisemmiksi suhteessa fossiilisiin energialähteisiin. Kuvassa 6 on tarkasteltu raakaöljyn hintakehitystä vuodesta 1985 vuoteen 2005. Öljyn hinnan nousu on viime aikoina ollut merkittävää.



Kuva 6. Raakaöljyn hintakehitys vuosina 1985 - 2005 (IEA 2005. Vuoden 2005 osalta tieto IEA 2006).

Sähkön hinnan nousu vaikuttaa siten, että pienimuotoinen sähköntuotanto muuttuu kannattavaksi ja kilpailukykyiseksi. Tämä synnyttää tarpeita uusille tuotteille. Pitkällä aikavälillä energian hinnan nousu voi muuttaa teollisuuden rakennetta. Tällöin energiaintensiiviset teollisuudenalat kuten metsä- ja metalliteollisuus kärsivät, mikä vaikuttaa välillisesti myös energiasektoriin. Toisaalta myydyt energian reaaliarvo ja siihen liittyvä liikevaihto kasvavat, ja erilaisista ratkaisuista pystytään maksamaan enemmän. Energian hinnan nousu on mahdollisuus laitetoimittajille, mutta uhka tuotannolliselle teollisuudelle Suomessa, missä halpa energia on yksi kilpailutekijä.

2.2.2 Lainsäädännön vaikutukset

EU-tasolla pitkäjänteisesti tapahtuva ympäristölainsäädännön jatkuva tiukkeneminen ja ympäristöstävällisemmän teknologian edistämispolitiikka luovat hyvin ennustettavissa olevan jatkuvan kysynnän entistä tehokkaammalle ja vähäpäästöisemmälle energiateknologialle. Lisäksi lainsäädäntö tukee energiamarkkinoiden vapautumista. Tukipolitiikka ohjaa sekä asiakkaita että tuotekehitystä. Suomi tulkitsee kilpailun kannalta EU:n säädöksiä muita maita tiukemmin ja ympäristön kannalta muita maita löysemmin, mikä saattaa luoda vaikeammat olosuhteet suomalaisille yrityksille, jolloin tarvittavaa kehitystä ei tapahdu. Kansallisella tasolla energiaklusteri on edelleenkin melko poliittinen, sen ennustettavuus on huono ja kulloisenkin hallituksen kokoonpanosta riippuvainen.

Energiamarkkinoiden vapautuminen on vasta alussa, ja se on nyt jo vaikuttanut merkittävästi markkinoihin. Tuotantoon vaikuttavat päästökaupan kehittyminen, ympäristölainsäädäntö ja viranomaisohjaus. Sähkön hinnoitteluun ja verkkotoimintaan vaikuttavat viranomaisten vahvat valvontamallit. Suomessa sähkö on toistaiseksi kuluttajille edullisempaa kuin muissa maissa, ja sähkömarkkinoiden vapautuminen melko pitkällä. EU-direktiivit ovat tiukentuneet, ja viranomais-

ten laskentamallit ovat uhka, jos niitä ei osata ennakoida. Esimerkiksi sähkömarkkinalaki määrää katon sähkönsiirron tuotolle kohtuullisen tuoton laskentamallilla. Tällä haavaa on esimerkiksi epäselvää, tulevatko yrityksen tehokkuus ja laatu mukaan valvontaan. Tämän lopputulos vaikuttaa sähköverkkoinvestointeihin. Energiasektorin kilpailun vapautuminen jatkuu edelleen ja monimutkaistuu, mikä edellyttää palveluja tuekseen.

2.2.3 Ilmastopolitiikan vaikutukset

Kioton sopimus astui voimaan helmikuussa 2005, mutta sen tulevaisuus pitää sisällään monenlaisia muutostekijöitä. Kioton sopimus voi pysyä nykyisellään, jolloin sopimuksen hengen mukaisesti päästövähennystavoitteet kiristynevät ensimmäisen tavoitekauden jälkeen (2008-2012). Päästökaupan hintakehitys vaikuttaa merkittäväällä tavalla energia-alan kehitykseen, koska päästökaupan korkea CO₂-hintaa kasvattaa uusiutuvan energian osuutta ja parantaa energiansäästön kannattavuutta, kun taas matala hinta ei aiheuta muutospaineita.

Kaiken kaikkiaan ilmastomyötäisen energiateknologian ja niihin liittyvien palvelujen markkinoiden odotetaan kasvavan maailmalla. Päästökaupan laajeneminen vaikuttaa teollisuuden toimintaan ja laitosten kustannustehokkuuteen. Päästökauppa on merkittävä muutostekijä, jolle poliittiset päättäjät määrittelevät toiminnan reunaehdot. Päästöoikeuksien hintakehitys 2008-2012 on suuri kysymysmerkki, mikä hidastaa energiainvestointeja ennen vuotta 2008. Yksittäiselle voimalalle päästökaupan hyödyt tai kustannukset voivat nousta kymmeniin miljooniin euroihin vuodessa polttoainevalinnoista ja teknologiasta riippuen (Lampinen 2005). Aikavälillä 2010-2020 epävarmuutta aiheuttaa Kioton sopimuksen kiristymisen voimakkuus tulevilla sopimuskausilla.

2.2.4 Kansainvälistyminen ja globalisaatio

Kansainvälistymiseen liittyy monenlaisia haasteita ja mahdollisuuksia, mutta myös uhkia. Kansainvälistyminen on merkittävässä roolissa kaikissa energiaklusterin segmenteissä, ja sitä tapahtuu viennin, alihankinnan ja erilaisten tutkimus- ja kehittämisprojektien muodossa. Kulttuuri- ja toimintatapojen erot on tiedostettava selkeästi. Eri maissa toimitaan eri tavoin eli kokemusten jakaminen toimijoiden välillä on tärkeää. Kansainvälistyminen tuo lisävaatimuksia kielitaidolle ja muille sosiaalisille taidoille. Lisäksi tuotteiden on oltava kunnossa. Uhkana on, että ulkomaalainen kumppani voi muuttua kilpailijaksi. Kilpailijoita voi joillekin osa-alueille tulla ulkomailta Suomeen. Keskeinen kansainvälistymisen haaste on oppia ymmärtämään ulkomaisia prosesseja ja infrastruktuuria. Tärkeää on seurata kansainvälistä lainsäädäntöä. Ristiriidat kansainvälisten toimintatapojen välillä ovat yksi uhka. Päästökaupan tuomat mahdollisuudet kansainvälistymiselle ovat tulevaisuudessa suuret. Energiasektorilla tarvitaan riskinottoa kansainvälistymiseen.

Kaikille segmenteille yhteinen uhka pk-yritysten kannalta on se, että isommat yritykset siirtävät toimintojaan halpamainiin kuten Kaakkois-Aasiaan ja Itä-Eurooppaan. Hallituksen olisi luotava Suomeen yrityksille hyvät olosuhteet esimerkiksi verotusta keventämällä, jotta toiminta ja työllisyys säilyisivät Suomessa. Kuitenkin nykyisessä energiateknologiapolitiisessa tilanteessa, jossa suuri osa nykyään merkittävästä Suomessa kaupallistetusta energiantuotantoteknologiasta on myyty ulkomaisille yhti-

öille, valtion toimenpiteillä on vaikea vaikuttaa työllisyyden säilymiseen tai ylipäänsä toimenpiteiden hyötyjen kohdistumiseen Suomen osaksi. Uhkana on teknologian ja työpaikkojen lyhyellä varoitusaikalla tapahtuva siirtyminen ulkomaille. Lähi-idän, Venäjän ja Etelä-Amerikan olojen muuttuminen epävakaa on yksi kansainvälistymiseen ja energiahuollon varmuuteen liittyvä uhka.

2.2.5 Toimintaympäristö ja verkostoituminen

Energiaklusterin kehittyminen edellyttää erikoistumista ja synergiaetuja tukevaa kumppanuutta verkostossa. Yhteisten kehittämishankkeiden synnyttäminen ja yhteisten tavoitteiden määrittely ovat osa onnistunutta verkostoitumista. Tavoitteena on onnistua innovaatioiden kaupallistamisessa kansainvälisille markkinoille. Alueelliset energia-alan verkostot voivat toimia tiiviissä yhteistyössä läpi Suomen ja kansainvälisten tahojen kanssa. Tavoitteena on, että isot yritykset menestyvät, pk-yritykset kasvavat ja niistä osa kansainvälistyy. Tutkimuksen ja koulutuksen monipuolisuus ja keskeisten energiaratkaisujen huippututkimus tukevat suomalaisen energiaklusterin toimintaa.

2.2.6 Innovaatiot, teknologia ja menestystuotteet

Suomen energiaklusterissa on pystyttävä kehittämään uusia energia-alan innovaatioita ja kaupallistamaan niitä sekä kansallisille että kansainvälisille markkinoille. Uhkana kehitykselle on energiasektorin T&K-työn siirtyminen yhä enemmän halpamaihin. Lisäksi ongelmana on kuilu perustutkimuksen ja innovaatioiden kaupallistamisen rahoituksen välillä. Ilmastomyönteisen teknologian merkitys kasvaa, samoin sen kysyntä Euroopassa ja muualla maailmassa. Ympäristölainsäädäntö tiukkenee ja tuo tarvetta uudelle teknologialle. Koko toimialan kannalta merkittävimmät muutokset liittyvät uusiin, haastaviin polttoaineisiin kuten biopolttoaineisiin, seospolttoaineisiin sekä jätteenpoltoon. Mikäli jokin nopea innovaatio yleistyy energia-alalla (fuusioenergia, polttokennoteknologia), se voi muuttaa energia-alan pelikenttää.

2.2.7 Hiipuvat liiketoiminta-alueet

Ympäristön kannalta haitallinen energiantuotanto vähenee ajan myötä, mutta ei kovin nopeasti. Tähän voidaan edelleen löytää uusia ja puhtaampia teknisiä ratkaisuja. Työllisyyden siirtymistä laitevalmistuksen ja suunnittelutyön osalta halpamaihin pitäisi pystyä rajoittamaan erikoistumalla ja kehittämällä kustannustehokkaita tuotteita kotimaassa. On pystyttävä ennakoimaan, mitkä työvoimavaltaiset osatehtävät ovat vastaisuudessa siirtymässä muualle. Pienten yritysten on kyettävä kehittymään ja varautumaan tähän. Pienten yritysten etuna on joustavuus ja maantieteellinen läheisyys. Palvelupuolella on helpompi pärjätä paikallisella tasolla. Kuitenkin myös suunnittelutoimintaa voidaan hintakilpailun johdosta ulkoistaa ulkomaille.

2.2.8 Koulutus ja osaaminen

Koulutus- ja osaamistarvetta on syytä seurata energiaklusterin kehittymisen kannalta. Koulutus- tarjonta voi parhaimmillaan antaa merkittävää tukea energiaklusterin yritys- ja tutkimustoiminnalle. Korkean koulutuksen merkitys monissa tehtävissä korostuu yhä enemmän, mutta toisaalta ammattitaitoisista asentajista on suuri puute, ja tekniikkoportaan häviäminen koetaan vakavana ongelmana. Osaajia tarvitaan kaikilla tasoilla asentajista insinööreihin ja ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneisiin. Kuilu suunnittelijoiden ja asentajien välillä on tällä hetkellä valtava tekniikkoportaan hävittyä koulutusjärjestelmästä. Lisäksi asiakaspalvelu, konsultointiosaaminen ja projektinhallinta ovat tärkeitä osaamisalueita nyt ja tulevaisuudessa. Energia-alan ja asiakastarpeiden tunteminen kokonaisuutena on olennaista. Sekä markkinointiosaamisen että teknisen osaamisen yhdistäminen korostuvat jatkossa, samoin laiteasennus- ja palvelukonseptiosaamisen. Teknisessä osaamisessa erityisesti automaatio-osaamisen merkitys kasvaa. Myös sähkömarkkinoilla palvelut ovat nousseet tärkeään rooliin, jolloin markkinointi ja myyntitaidot ovat tärkeitä. Sukupolvenvaihdokseen on suhtauduttava vakavasti. Siihen tarvitaan toimivia työkaluja, jotta hiljainen tieto saadaan ajoissa siirrettyä nuoremmalle sukupolvelle.

2.2.9 Muut muutostekijät

Edellä käsiteltyjen muutostekijöiden lisäksi on havaittavissa myös useita muita tekijöitä jotka vaikuttavat energia-alaan. Kaupungistuminen on näistä yksi merkittävimmistä. Energiahuoltoa suunniteltaessa onkin tärkeää huomioida kaupunkien ja maaseudun eriävät tarpeet (asiakaslähtöisen ajattelun korostuminen). Uusilla, innovatiivisilla ratkaisuilla voidaan lisätä maaseudun vetovoimaisuutta ja synnyttää uusia elinkeinoja, kuten esimerkiksi bioenergian ympärille kehittyviä toimintoja.

Eurostat⁶ on muiden muassa tutkinut erilaisia demografisia ja sosiaalisia muutoksia, joilla voi olla hyvinkin merkittävä vaikutus energia-alalle. Tunnistettuja muutostekijöitä ovat esimerkiksi väestörakenteeseen liittyvät muutokset; yksinasujien määrän kasvu sekä väestön ikääntyminen. On esimerkiksi havaittu että vanhuksat kuluttavat enemmän lämmitysenergiaa, kun taas nuoremmat kuluttavat enemmän energiaa liikennöimiseen. Yksinasujien määrän kasvu puolestaan nostaa energiankulutusta henkilöä kohden mitattuna.

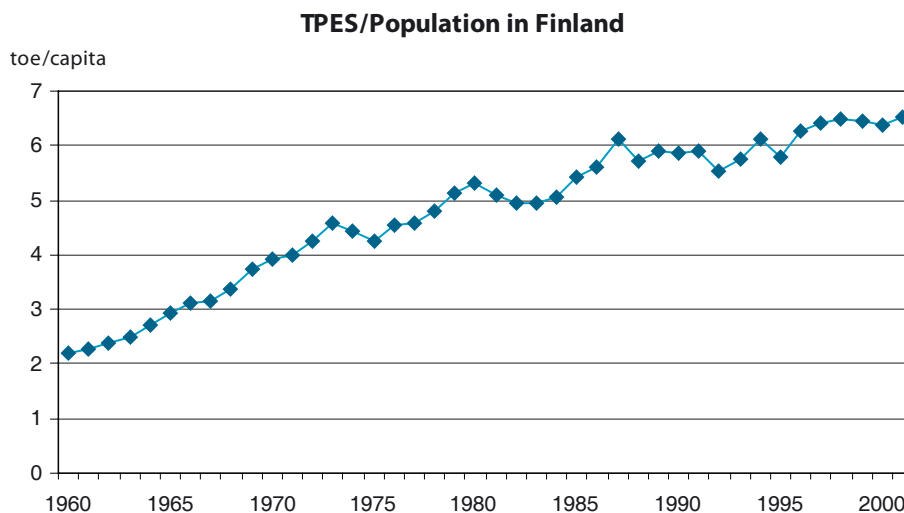
2.3 Energia-alan kilpailukyky Suomessa

Energiasektori on yksi maailman merkittävimmistä toimialoista. Vuonna 2015 energiamarkkinoiden arvioidaan olevan puolitoistakertaiset nykyisiin verrattuna. Suomessa energiasektorin vuosivolyymi on noin 10 miljardia euroa ja koko energiainfrastruktuuri voimalaitokset ja sähkön ja lämmönjakeluverkostot mukaan lukien noin 30 miljardin euron arvoinen. Energiateknologialii- ketoiminta kattaa energian tuotantoon ja käyttöön liittyvät tuotteet ja niiden valmistuksen. Suomen energiateknologian vienti on moninkertaistunut viimeisten 10-15 vuoden aikana ollen noin kolme

⁶ Eurostat: ”Trends in households in the European Union: 1995-2025”

miljardia euroa vuonna 2003. Toisaalta voidaan puhua myös energian jakeluun ja käyttöön liittyvästä liiketoiminnasta, jonka kasvu on ollut hidasta ja joka pääasiassa nojaa kotimarkkinoihin. Markkinoiden vapautuminen mahdollistaa myös vientimarkkinoiden avautumisen suomalaisille toimijoille. (Energia Suomessa 2004, 306.)

Energian merkitys Suomen kilpailukyvyllä ja koko yhteiskunnalle korostuu globaalitaloudessa. Energia-alan kilpailukyvyistä ja menestyksestä on huolehdittava, jotta suomalaisille pystytään turvaamaan riittävä, turvallinen ja kohtuuhintainen energiansaanti, mikä mahdollistaa myös teollisuuden ja talouselämän kehittymisen. Energian saatavuudella, laadulla ja hinnalla on keskeinen merkitys nykyaikaisessa yhteiskunnassa ja etenkin Suomessa, jossa on paljon energiaintensiivistä teollisuutta, kylmä ilmasto ja pitkät etäisyydet. Suomen energiajärjestelmä on kansainvälisesti vertailtuna tehokas. Esimerkki tehokkuudesta ovat eräät teollisuuden energiatehokkaat prosessit sekä yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto, jolla tuotetaan noin 35 % sähköstämme. (Energia ja Suomen kilpailukyky 2005.) On kuitenkin huomattava, että CHP:n kannattavuus juontuu juuri siitä, että vallinneella energian hintatasolla CHP:n edistäminen on ollut kannattavaa. Suomessa energian kulutus bruttokansantuotteeseen nähden ja väestömäärään suhteutettuna on kuitenkin suuri. Kuvasa 7 on tarkasteltu Suomen kokonaisenergiankulutuksen kehitystä henkeä kohden. Trendi on ollut voimakkaasti kasvava aina 1960 -luvulta 2000-luvulle, joskin kasvu on tasaantunut ja pienentynyt 1990 -luvun puolivälistä alkaen merkittävästi.



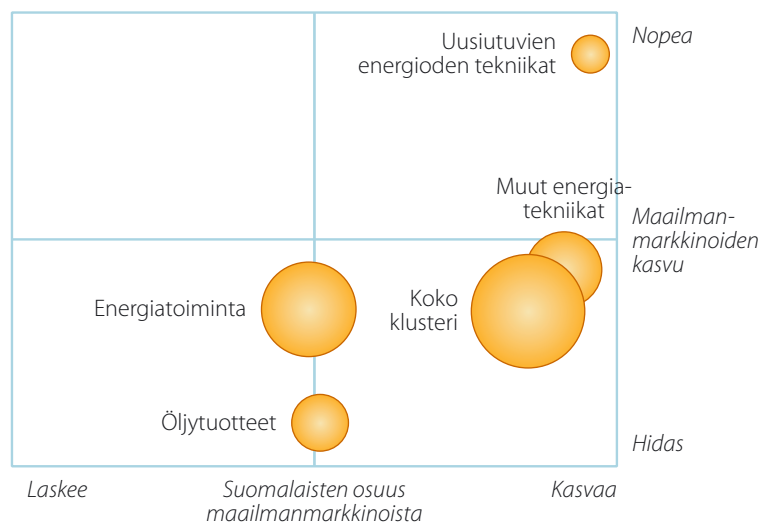
Kuva 7. Primäärienergian kulutus (TPES, total primary energy supply) per capita Suomessa 1960-luvulta 2000-luvulle. (IEA 2003.)

Energia-alan liiketoiminta on alalla vaikuttavien muutostekijöiden vaikutuksesta muuttunut lyhytjänteisemmäksi, mikä vähentää halukkuutta kantaa uusien teknologioiden mukanaan tuomia riskejä. Merkittävien tuotantoteknologioiden myynti ulkomaille on siirtänyt merkittävän osan päätösvallostakin ulkomaille. Toisaalta onnistuessaan uudet teknologiat ovat kilpailukyvyyn turva. Alan rakenne on myös muuttumassa. Tuloksena on nykyistä harvempi joukko suuria alueellisia tai jopa maailmanlaajuisia monikansallisia yhtiöitä tai alliansseja. Teknologiayritysten ei ole realistista perustaa liiketoimintaansa pelkästään kansallisille markkinoille. Pk-yritysten mahdollisuudet menes-

tyä kansainvälisessä kilpailussa perustuvat joko huippuosaamiseen kapealla alueella tai verkostomaiseen liiketoimintaan. Hajautetun energiantuotannon yleistymisen uskotaan korostavan tällaisia liiketoimintatapoja, sillä hajautettuun energian tuotantoon liittyy aina luontaisesti alueellista liiketoimintaa, kuten sähkön- ja lämmönjakelu sekä paikallisten polttoaineiden hankinta ja tuotanto. (Energia Suomessa 2004, 307.)

Koko Suomen energiaklusterin piirissä markkinoiden vapautuminen ja ilmastonmuutoksen asettamat haasteet luovat mahdollisuuksia uusiutuvan energian ja energian käytön teknologioille. Haasteena on pitää liiketoiminta ja osaaminen Suomessa. Suomen energiaklusteri muodostuu energiateknologian ja energialiiketoiminnan osaklustereista. Energiateknologian osaklusteri kattaa energian tuotannon ja jakelun, koneita, laitteita ja järjestelmiä tuottavan teollisuuden ja konsultoinnin. Tämä osaklusteri on vientivetoinen ja pitkälti kansainvälisessä omistuksessa. Osaklusteri on kansallisella tasolla kasvanut noin 15 % vuodessa ja tuotannon kokonaisvolyymi on 4,9 miljardia euroa. Energialiiketoiminnan osaklusteri sisältää energian tuotannon, muunnon ja jakelun sekä energian ja polttoaineiden jalostuksen. Osaklusteri toimii kotimarkkinoilla, mutta sen tuotteiden kilpailukykyisyys luo kilpailuedun suomalaiselle vientiteollisuudelle ja merkittävän hyvinvointilisän kuluttajille. Tämä osaklusteri on kasvanut 2 % vuodessa tuotannon kokonaisvolyymillä ollessa 6,3 miljardia euroa. (Tulevaisuus on osaamisessa 2002.) Kuvassa 8 näkyy suomalaisen energiaklusterin osa-alueiden asema ja dynamiikka maailmanmarkkinoilla.

Energiaklusterin dynamiikka



Kuva 8. Energiaklusterin dynamiikka: suomalaisten osuus maailmanmarkkinoista (Tulevaisuus on osaamisessa, Tekes 2002).

2.4 Globaalit energia-alan näkymät & haasteet

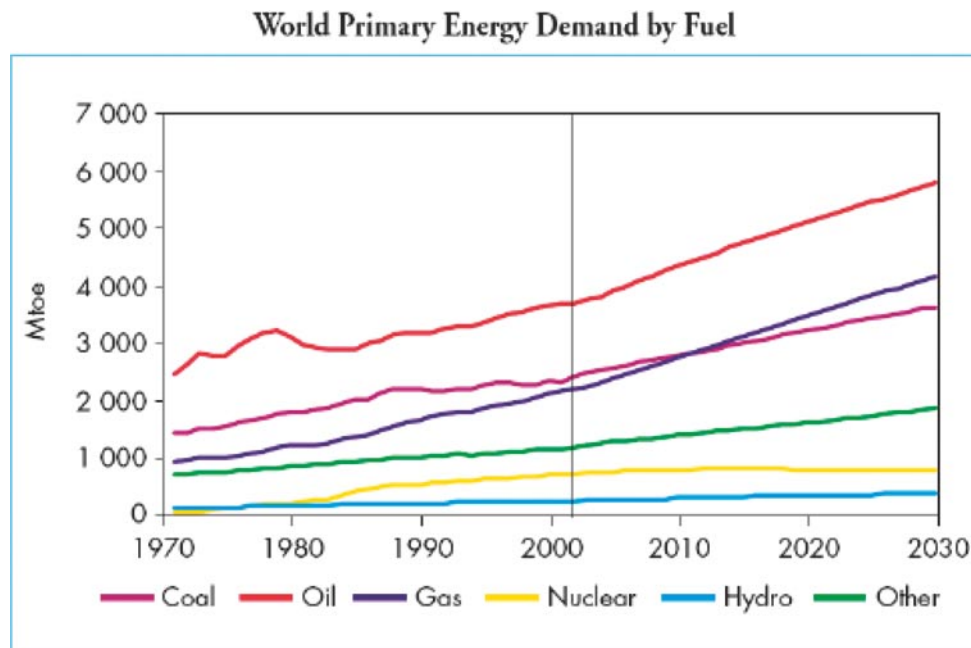
Globaali energiahuolto on rakentunut pääosin öljyn, kaasun ja hiilen tuotannon varaan, jotka muodostavat tällä hetkellä lähes 80 % primäärienergiakulutuksesta (TPES). Biomassan osuus on vastaavasti noin 12%, ydinvoiman 7%, vesivoiman 2% ja muiden uusiutuvien kuten tuuli, aurinko ja geoterminen energia, osuus on vain noin 0,5 %. (IEA, 2004a)

Energian ja erityisesti öljyn kulutus on kasvanut tasaisesti. 1970-luvun öljykriisit olivat kasvulle vain lyhytaikainen hidaste. Öljykriisien seurauksena maakaasu tosin kasvatti selvästi markkinaosuuttaan ja energiatehokkuuteen alettiin kiinnittää aiempaa enemmän huomiota (Jorgensen, 2005). Energiakulutus on vähentynyt ainoastaan entisen Neuvostoliiton alueella, ja tämäkin vain siitä syystä, että Neuvostoliiton romahdettua teollinen tuotanto romahti. Teollisuusmaat kuluttavat maailman öljystä edelleen suurimman osan eli yhteensä 62 prosenttia. Maailman vauraimmissa maissa käytetään henkilöä kohden nykyään 25 kertaa niin paljon energiaa kuin maailman köyhimmässä maissa. (Maailman tila 2004, 51)

Maailman energiankulutuksen on arvioitu kasvavan reilut 60 prosenttia vuosina 2002-2030. Vaikkakin eri organisaatioiden⁷ laatimissa energiankäytön ennusteissa on selviä eroja, niin yksimielisiä ollaan kuitenkin siitä, että tulevaisuudessa energiantarve tulee kasvamaan voimakkaasti ja perustumaan edelleen pääosin öljyn, hiilen ja kaasun tuotantoon. Muiden muassa IEA ennustaa energiankulutuksen kasvavan yli 60 prosenttia vuosina 2002–2030 (Kuva 9). Kulutuksesta 85 prosenttia tuotetaan edelleen fossiililla polttoaineilla. Öljy tulee säilymään johtavana energianlähteenä (34 %), seuraajinaan hiili ja maakaasu. Hiilen käytön kasvusta kaksi kolmannesta tulee tapahtumaan Aasiassa. Kulutuksen kasvun arvioidaan olevan nopeinta kehitysmaissa, jotka tarvitsevat yli puolet maailman energiantarjonnasta vuonna 2030, kun osuus nykyisellään on 40 prosentin luokkaa. (IEA, 2004a) Etenkin sähkönkulutuksen kasvun ennakoitaan kasvattavan primäärienergiakulutusta⁸. EU-maissa energiantarpeen on sitä vastoin arvioitu hidastuvan tuotannon tehostumisen myötä. (EC, 2003) Myös EU-maissa öljyn ja maakaasun arvioidaan säilyvän johtavina energianlähteinä. Ydinvoima ja uusiutuvat energianlähteet muodostavat hieman alle 20 % EU:n energiantarpeesta vuonna 2030. (EC, 2003)

⁷ Globaaleja energia-alan skenaarioita laativat mm. EIA (Energy Information Administration), IEA (International Energy Agency), IPCC (the International Panel on Climate Change), EC (The European Commission), WEC (World Energy Council), Association for the Study of Peak Oil & Gas (www.peakoil.net), Shell, Exxon Mobile.

⁸ Lähes kolmannes maailman ihmisistä elää ilman sähköä tai muita nykyaikaisia energiapalveluja, ja toisella kolmanneksella on vain rajallinen mahdollisuus käyttää niitä. Puut tai muu biomassa on ainoa energianlähde noin 2,5 miljardille ihmiselle. (Maailman tila, 2004)



Kuva 9. Maailman primäärienergiantarve polttoaineittain, 1970 – 2030. (IEA, 2004a)

Fossiiliset polttoaineet näyttävät siis jatkavan voittokulkuaan ainakin vuoteen 2030 saakka. Tästä johtuen myös globaalien hiilidioksidipäästöjen on ennustettu kasvavan. (IEA, 2004a) Vuonna 2030 maailmanlaajuiset CO₂-päästöt ovatkin mahdollisesti yli kaksinkertaiset vuoteen 1990 verrattuna. Etenkin kehitysmaiden päästöt tulevat kasvamaan rajusti. (EC, 2003) Tämä luo väistämättä pohjan myös globaaleille ilmastoteknologiamarkkinoille.

Globaalit tulevaisuuden haasteet teollisuusmaissa liittyvät pääosin nykyisen tuotantoteknologian tehostamiseen sekä puhtaampien teknologioiden kehittämiseen ja käyttöönottoon, joka näin ollen luo kasvavat markkinat ilmastoteknologialle. Kehitysmaiden haasteena on vastaavasti energiantarjonnan turvaaminen kasvavalle väestölle sekä talouden kasvun mahdollistaminen. (Jorgensen, 2005.)

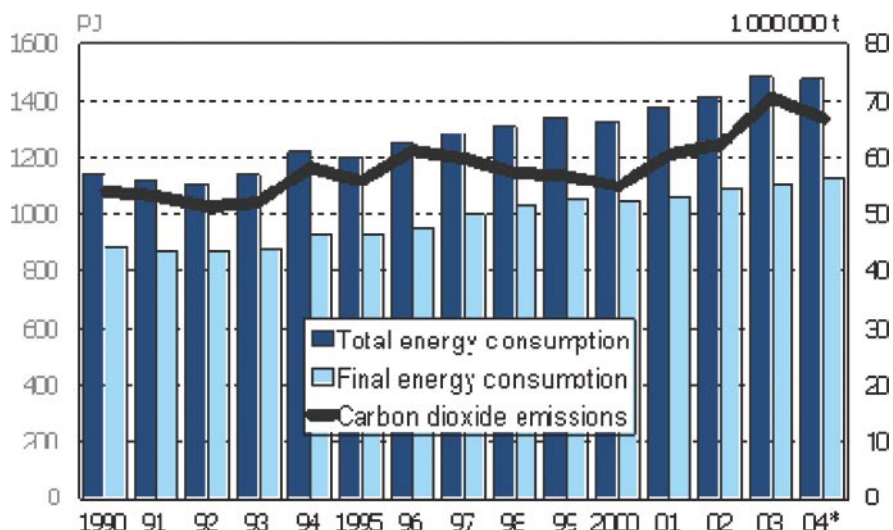
3 ENERGIAN TUOTANNON TEKNOLOGIAT JA PALVELUT

3.1 Uusiutuva energia

Suomen energiajärjestelmä on hyvin monipuolinen, mikä on vahvuus kasvihuonepäästöjen rajoittamispyrkimyksissä. Suomen energiaomavaraisuus on kuitenkin pieni, sillä Suomi on lähes 70-prosenttisesti riippuvainen fossiilisista ja ydinpolttoaineista. Tämän johdosta polttoaineiden saatavuus ja maailmanmarkkinahinnat vaikuttavat eri energiantuotantomuotojen väliseen kilpailuasetelmaan. Nykyisellä energiarakenteella päästöt lisääntyvät energiankulutuksen kasvaessa. Päästömäärät riippuvat myös eri energialähteiden vuosittain vaihtelevista suhteellisista osuuksista kuten hiilivoiman ja vesivoiman osuuksista. (Savolainen et al. 2003, 123.)

Kuvassa 10 on tarkasteltu Suomen energian kokonaiskulutusta ja hiilidioksidipäästöjä. Vuonna 2004 Suomen energiankulutus laski puoli prosenttia eli pysyi lähes edellisvuotisella tasolla. Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen polton hiilidioksidipäästöt laskivat viisi prosenttia vuoden 2003 ennätyslukemista. Päästöt olivat Tilastokeskuksen mukaan yhteensä 67 miljoonaa tonnia eli noin 3,5 miljoonaa tonnia pienemmät kuin vuotta aiemmin. Syynä oli keskimääräistä sateisempi vuosi, joka kasvatti vesivoiman tuotantoa jopa 56 % vuonna 2004 vähentäen polttoaineperäinen lauhdevoiman tuotantoa. Vuotta 2004 leimasi myös edellisvuotta lämpimämpi sää, mikä johti lämmitysenergian tarpeen ja kaukolämmön tuotannon vähenemiseen. Uusiutuvan energian käyttö kasvoi vuonna 2004 kaikkiaan noin 10 %. Uusiutuvista energialähteistä kasvoi eniten vesivoiman tuotanto. Myös puupolttoaineiden käyttö energialähteenä kasvoi edellisvuosien tapaan, kaikkiaan viisi prosenttia, mihin vaikutti metsäteollisuuden tuotannon nopea kasvu. Energian loppukäyttö⁹ kasvoi edellisestä vuodesta kaksi prosenttia vuonna 2004. Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käytön väheneminen johti myös energian käytöstä aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen vähenemiseen. Vuoden 2004 kaikki kasvihuonekaasupäästöt ovat arviolta noin 16 % suuremmat kuin vuonna 1990. Energiankulutus on kasvanut voimakkaasti 2000-luvulla vuoden 2004 poikkeusta lukuun ottamatta.

⁹ Energian loppukäytöllä tarkoitetaan energiamäärää, joka jää energian siirto- ja muuntohäviöiden jälkeen yritysten, kotitalouksien ja muiden kuluttajien käyttöön.



Kuva 10. Energian kulutus ja loppukäyttö Suomessa (Tilastokeskus 2005 b).

Suurin osa Suomen energiajärjestelmästä perustuu nykyään keskitettyihin ratkaisuihin eli isoihin tuotantoyksiköihin, jotka eivät ole kulutuskohteiden lähellä. Poikkeuksen muodostavat teollisuuslaitokset, joissa energia tuotetaan kulutuskohteessa. Pienempiin yksiköihin verrattuna isojen voimaloiden etuna pidetään yleensä pienempiä investointikustannuksia tehoyksikköä kohden lasketuna sekä parempaa energiantuotannon hyötysuhdetta. Kaikkein pienempien eli mini- (< 1 MW) ja mikro-kokoisten (< 100 kW) tuotantoyksiköiden suurten sarjojen valmistus on mahdollista auton moottoreiden tapaan, jolloin niiden hintakilpailupotentiaali voisi tulevaisuudessa olla suurempia voimaloita parempi. Keskitetyn voimantuotannon haittapuolena ovat sähkö- ja lämpöenergian jakeluun liittyvät ongelmat kuten siirtohäviöt ja monista syistä johtuvat toimituskatkokset. Keskitetyissä energiantuotannon ratkaisuissa hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää lähinnä hyötysuhdetta parantamalla (uudet voimalaitostekniikat kuten paineistetut kaasutus- ja polttotekniikat, yhdistetyt energian, polttoaineiden ja kemikaalien tuotantovaihtoehdot sekä korkealämpötilapolttokennot ja polttokennohybridit). (Savolainen et al. 2003, 124-125.) Esimerkiksi Tanskassa on tapahtunut radikaali muutos suurista keskitetyistä hiilivoimalaitoksista hajautetumpaan sähköntuotannon rakenteeseen, joka perustuu keskitettyihin ja hajautettuihin yhdistetyn tuotannon laitoksiin ja tuulivoimaan. (Hvelplund 2005, 86.)

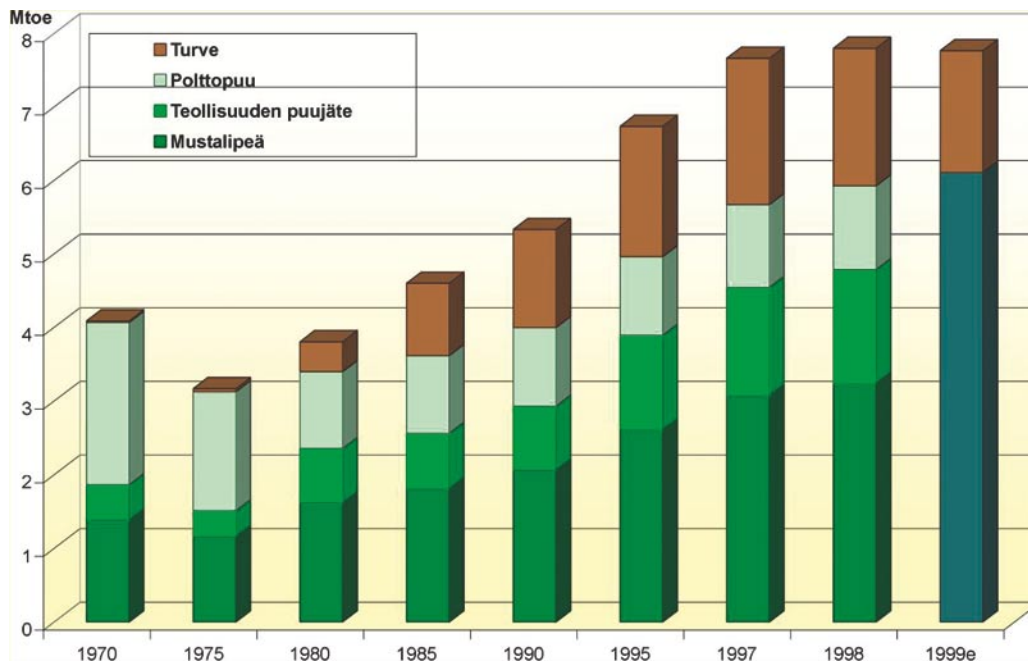
Yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa (CHP) voidaan samalla polttoaineella tuottaa samaan aikaan sekä sähköä että lämpöä. Tämä perustuu siihen, että palamisprosessissa syntynyt energia, jota ei voida muuttaa sähköksi, kerätään talteen ja hyödynnetään esimerkiksi prosessihöyrynä tai kaukolämpönä. Yhdistetyssä tuotannossa voidaan päästä hyvin korkeisiin, jopa yli 90 %:n hyötysuhteisiin. Erillistuotannossa kuten uudehkossa hiililauhdetuotannossa se on noin 40 %, koska lauhteeksi jäänyttä lämpöä ei hyödynnetä. Noin 35 % Suomen sähkönkulutuksesta tuotetaan CHP:n avulla. Euroopassa ainoastaan Hollannissa ja Tanskassa yhteistuotannon osuus on hieman suurempi. Pohjoisessa lämmölle on kysyntää suuremman lämmitystarpeen johdosta. Lämpöä ei kuitenkaan voida siirtää pitkiä matkoja, mikä puoltaa hajautettua, paikallisempaa energiantuotantoa. Toinen merkittävä edellytys CHP:n tuotannolle on polttoaineen saatavuus kuten puupolttomainen riittävyys biomassaan perustuvissa laitoksissa. Lisäksi CHP-laitoksessa tuotetun sähkön arvo on lähes kaksinkertainen lämpöön verrattuna. (Savolainen et al. 2003, 127-128.)

Suurin osa energiantuotannosta perustuu todennäköisesti vielä pitkän aikaa keskitettyihin ratkaisuihin. Hajautetut energiantuotantojärjestelmät (tässä nimellisteholtaan alle kymmenen MW:n kokoiset uusiutuviin energialähteisiin tai pienimuotoiseen CHP:hen pohjautuvat) ovat tulevaisuudessa kuitenkin yhä merkittävämpiä. Hajautetuilla järjestelmillä tarkoitetaan yleensä lähellä loppuasiakasta sijaitsevia lämmön ja /tai sähkön tarpeeseen tarkoitettuja pienitehoisia, teollisesti tuotettuja tuotanto- ja varastointijärjestelmiä sekä niihin liittyviä palveluja. Uudet hajautetut järjestelmät hyödyntävät paikallisia, vähäpäästöisiä tai uusiutuvia energianlähteitä. Muita uuden hajautetun tuotannon piirteitä ovat vakioidut laitteet, modulaarisuus, isot valmistussarjat sekä miehittämättömyys. (Savolainen et al. 2003, 128-130.)

Hajautetun energiantuotannon markkinapotentiaaliin vaikuttavat monet erilaiset toimintaympäristöjen muutokset kuten poliittinen toimintaympäristö, sosiaalinen, taloudellinen ja teknologinen toimintaympäristö. Suomessa hajautettujen energiajärjestelmien mahdollisuudet ja markkinapotentiaali ovat hyvät. Suomi on harvaan asuttu maa, jolloin energian siirtoetäisyydet ovat suuret, mikä puoltaa hajautetun energiantuotannon kehittämistä. Lisäksi myös huoltovarmuus ja energiaomavaraisuuden merkitys kasvavat tulevaisuudessa. Paikallisen polttoaineen käytön kehittäminen hajautetuissa yksiköissä onkin suuri ja varteenotettava haaste. Suurin potentiaali hajautetun energiantuotannon teknologioista lyhyellä tähtämellä on biomassakattiloilla. Myöhemmin myös tuulivoiman merkitys ja aurinkoenergian sekä lämpöpumppujen merkitys kasvavat. CHP-teknologioista suurin markkinapotentiaali on aluksi 1-10 megawatin voimaloilla ja pitkällä tähtämellä myös alle yhden megawatin CHP-teknologioiden potentiaali kasvaa. Hajautetun energiantuotannon maailmanlaajuinen kasvu luo myös vientimahdollisuuksia suomalaiselle teknologialle ja osamiseksi. Suomi on tällä hetkellä vahvimmillaan tuulivoiman komponenteissa, biopolttoaineissa ja -polttotekniikoissa sekä moottorivoimaloissa. Myös pien- ja minivesivoiman turbiinigeneraattorit, tuulivoimalat, biokaasureaktorijärjestelmät sekä aurinkoenergian ja polttokennojen teknologia- ja järjestelmäosaaminen ovat potentiaalisia vientialoja. (Savolainen et al. 2003, 130-132.)

3.1.1 Bioenergian asema ja mahdollisuudet

Bioenergiaksi kutsutaan kasvi- ja eläinperäistä uusiutuvaa biomassaa. Näistä tuotettuja polttoaineita kutsutaan biopolttoaineiksi. Biopolttoaineita ovat mm. maa- ja metsätalouden, yhdyskunnan ja teollisuuden orgaanista alkuperää olevat jätteet ja sivutuotteet. Biomassat muodostavat öljyn, hiilen ja kaasun jälkeen neljänneksi suurimman energialähteen maailmassa. Arvion mukaan niiden vuosittainen energiakäyttö vastaa 11 % maailman primäärienergian kulutuksesta. Yli 80 % biomassan energiakäytöstä tapahtuu kehitysmaissa, missä se vastaa keskimäärin 30 % energian kokonaiskulutuksesta. Teollisuusmaissa osuus on keskimäärin 3 % kokonaiskulutuksesta. Suomessa biomassan osuus energian kokonaiskulutuksesta on teollisuusmaiden korkein, noin 20%. Käytettävistä biopolttoaineista merkittävin osuus, lähes 80 % syntyy metsäteollisuuden jalostusprosessien sivutuotteina (jäteliemet, kuori, puru jne.). (Energia Suomessa 2004, 122-123.) Kuvassa 11 on esitetty biopolttoaineiden primäärikäytön kasvua Suomessa vuosina 1970-1999. Uudempaa kuvaa ei ollut saatavilla. Kasvu oli erityisesti 90 -luvun aikana merkittävää. Liikenteen biopolttoaineita on käsitelty erikseen luvussa 4.3.1.



Kuva 11. Biopolttoaineiden primäärikäyttö Suomessa 1970-1999 (ennakkotieto). (Bioenergia Suomessa, 2005 a).

Tällä hetkellä pienen mittakaavan puunpoltto sekä hakkuutähteiden hyödyntäminen ovat keskeisimmässä asemassa. Jatkossa puusta jalostettavan pyrolyysiöljyn, maatalouden biomassan ja jättepolttoaineiden merkityksen uskotaan VTT:n arvioiden mukaan kasvavan Suomen bioenergiatuotannossa. (Kara et al 2001.) Vuoteen 2010 mennessä nykyisissä sekä rakenteilla ja suunnitteilla olevissa lämpökeskuksissa ja voimalaitoksissa voitaisiin käyttää kiinteitä biopolttoaineita 10-25 TWh1 enemmän kuin vuonna 2000. Vaihtelu riippuu sekä turpeen käytön määrästä että korvattavan hiilen ja öljyn määrästä eli biopolttoaineiden kilpailukyvyistä. Useimmissa nykyisissä voimalaitoskattiloissa tarvitaan puupolttoaineen ohella turvetta (laitoskohtaisesti 30-50 %) kattilan häiriötömän käytön ja korroosiovaurioiden välttämiseksi. (Helynen et al 2002.)

Nykyiset bioenergialla tuotetun sähkön kustannukset vaihtelevat 0-120 €/MWh välillä prosessista ja polttoaineen hinnasta riippuen. Alin hintataso on saavutettavissa teollisuuden jätetuulla, erityisesti mustalipeällä sekä CHP-käytössä, ja ylätaso tarkoittaa energiapuuviljelmää lauhdesähkökäytössä. Tulevaisuudessa energiakasveilla tuotetun energian hinnan arvioidaan tavanomaisella nykylauhdetekniikalla laskevan 50 euroon/MWh, mutta vielä silloinkin hinta olisi hiiltä ja maakaasua korkeampi. Kaasutuskombivoimalatekniikka mahdollistaa IPCC:n arvion mukaan vuoteen 2020 mennessä lauhdesähkötuotannossa hintatason 22 euroa/MWh, joka alittaa sekä kivihiili- että maakaasulauhdesähkön hinnan ilman päästökauppaakin (IPCC 2001). Hajautetulla biosähköntuotannolla on paljon suurempi hinnanalennuspotentiaali johtuen sarjavalmistuksesta.

Bioenergialla tuotetun sähkön kilpailukyvyen edellytys Euroopassa olisi, että hajautetun energijärjestelmän edut ja ympäristövaikutukset otetaan huomioon. Suurin osa nykyisistä biomassan hyödynnysteknologioista on kaupallisesti saatavilla. Siitä huolimatta tarvitaan edelleen monia tehokkuutta ja kustannustehokkuutta koskevia parannuksia seuraavien 5-10 vuoden aikana. Biomassalla

tuotetun yhdistetyn sähkön ja lämmön potentiaali on hyvin korkea. Globaalilla tasolla biomassan rooli energiantuotannossa voi muodostua suureksi, vaikkakin se on hyvin riippuvainen poliittisista toimenpiteistä. Biomassalla tuotetun energian määrä on kasvanut Euroopassa noin 10 % vuodessa aikavälillä 1999-2003 ja sen odotetaan edelleen nousevan 6-10 % vuodessa vuoteen 2010 saakka. Tällä oletuksella biosähkön tuotantomäärä on 65-91 TWh vuonna 2010 ilman lisäkannustimia. Tämä jää kuitenkin reilusti alle Valkoisen Kirjan tavoitteiden. (European Commission 2005.)

Eurooppa on johtavassa asemassa biomassan T&K -työssä. Euroopan tasolla tarvittaisiin kuitenkin parempaa koordinoitua, jotta teknologiaverkostoja, harmonisempaa säädöskokonaisuutta sekä kokemusten vaihtoa parhaista käytännöistä maiden välillä saataisiin kehitettyä. Suurin este bioenergian tulevaisuuden markkinoiden kehittymiselle on uusiutuville energialähteillä tuotetun sähkön hinnoittelupolitiikka. Biosähkön hinnat vaihtelevat maittain, ja tariffit riippuvat mm. aloituspäivästä, sähkön lähteestä, teknologiasta ja laitoksen koosta. Myös jatkuvat muutokset kansallisissa toimenpiteissä poliittisista puolueista riippuen vaikeuttavat pidemmän aikavälin investointeja. (European Commission 2005.)

Suomessa metsäteollisuuden puuraaka-aineesta 40 % päätyi energiantuotantoon erilaisina sivutuotteina Suomessa vuonna 2002. Merkittävimmän energiantuotantoon ohjattavan sivutuotteen muodostaa sellun valmistuksessa keittolipeään liukeneva puuaines. Puuraaka-aineen kuorinnassa syntyvää puujätettä hyödynnetään etenkin sahojen omaan energiantuotantoon. Sahoilta toimitetaan polttoaineita myös yhdyskuntien kaukolämpövoimalaitoksiin. Puupolttoaineen tuotannon kannalta suurimman potentiaaloin muodostavat päätehakkuualueiden hakkuutähteet, kantomurske sekä pienpuuhake energiapuun- ja ensiharvennuksista. Tuotetun biopolttoaineen kustannuskilpailukyky rajoittaa vielä teknisesti korjuukelpoisten metsäenergiavarojen käyttöönottoa kokonaisuutena. Kilpailukyvyyn parantamiseksi tuotantomenetelmiä pyritään kehittämään yhä tehokkaammiksi. Parhaisiin tuloksiin on päästy tuotantomenetelmillä, joilla pystytään tehokkaasti yhdistämään teollisuuden puuraaka-aineen ja energiapuun hankinta. Metsäteollisuuden puutähteiden energiasisältöä olisi mahdollista nostaa useita TWh:a käyttämällä niiden kuivaamiseen hukkalämpöä. (Energia Suomessa 2004, 124-125.)

Myös pelloilla kasvatettua biomassaa voidaan käyttää energiantuotannossa kiinteänä polttoaineena tai biomassasta voidaan jalostaa kaasumaisia tai nestemäisiä polttoaineita. Elintarviketuotantoon käytettävien kasvien ohella vaihtoehtoina ovat mm. ruokohelpi sekä pajut. Energiantuotantoon käytettävien kasvien osalta tuotantopotentiaaloin arviointi on epävarmaa, koska se riippuu olennaisesti ruoan tuotannon ulkopuolelle jäävästä viljelypinta-alasta. (Energia Suomessa 2004, 124.) Jatkossa biomassan käytön merkitys polttoaineen tuotannossa sekä sähkön ja lämmön tuotannossa todennäköisesti kasvaa.

Biomassasta voidaan valmistaa biopolttonesteitä käytettäväksi sähkön, lämmön tai yhdistettyyn lämmön ja sähkön tuotantoon esimerkiksi öljykattiloissa ja dieselvoimaloissa. Pidemmällä aikajänteellä kehitystyön kohteena on lisäksi pienen kokoluokan CHP-tuotanto polttokennoilla, joiden polttoaineina käytetään alkoholia. Biomassasta voidaan valmistaa bioöljyä ns. pyrolyysitekniikalla. Pyrolyysissä biomassaa kuumennetaan hapettomassa tilassa, jolloin syntyy kaasuja, nestemäinen tuote ja kiinteä hiiltojäännös. Suomessa Fortum ja Vapo rakensivat yhteistyössä Pohjoismaiden ensimmäisen hakepolttonesteen koetuotantolaitoksen Fortumin Porvoon tuotantolaitoksen yhteyteen. Laitos valmistui

vuonna 2002 ja sen kapasiteetti on noin 350 kg pyrolyysiöljyä tunnissa. Koetuantolaitoksessa valmistettiin puuraaka-aineista hyvälaatuisia bioöljyä, jota voidaan käyttää lämmityksessä. Päästöt saatiin pudotettua yhtä vähäisiksi kuin hyväkuntoisessa öljykattilassa. Forestera-polttonesteen markkinoille tuloa on kuitenkin siirretty taloudellisin perustein. (Energia Suomessa 2004, 262.)

Sulfaattiselutehtaiden sivutuotteista (sellunkeiton jäteliemi eli mustalipeä, raakasuopa ja mäntyöljy) voidaan valmistaa monenlaisia polttonesteitä lähinnä raskaan ja kevyen polttoöljyn korvaamiseksi. Vaihtoehtoisista prosesseista kaasutus ja kaasun hyödyntäminen sähkön ja lämmön tuotannossa on osoittautunut kilpailukykyisimmäksi. (Energia Suomessa 2004, 263.)

Bioenergian edistäminen on pitkän tähtäyksen energiapolitiikkaa. Energiantuotannon investointien teknis-taloudelliset pitoajat ovat kymmeniä vuosia. Siksi kotimaisen energian kannattavuus tuontienergiavaihtoehtoihin verrattuna ei välttämättä muodostu tulevaisuudessa samaksi kuin viimeksi kuluneen vuosikymmenen aikana (Tamminen 1997, 57). Ilmastopolitiikan tai muiden toimenpiteiden avulla voidaan lähestyä fysikaalista potentiaalia, jota on arvioitu taulukossa 1 CHP-teknologian osalta. CHP-teknologian 100%:n diffuusio antaisi mahdollisuuden tuottaa 88 TWh lisää sähköä vuodessa noin kaksinkertaisella primääribioenergian määrällä. Täydellinen diffuusio ei kuitenkaan voi toteutua, eikä sitä ole syytä tavoitellakaan, mutta poliittisella ohjauksella nykyistä biosähkön tuotantoa voidaan Suomen bioenergiaresursseilla kasvattaa hyvin runsaasti.

Taulukko 1. Bioenergiapohjaisen CHP-teknologian fysikaalinen lisäyspotentiaali Suomessa nykyisellä rakennusten polttoaine- ja suorasähkölämmitysenergian loppukäyttötasolla. Tilastotiedot ovat vuodelta 2003/Tilastokeskuksen energiatilastot 2004 (Lampinen 2000/2005).

Toimenpide	Saatavissa lisäsähköä	Primäärienergian lisäämistarve
1. Kaikkiin polttoaineilla erillislämmitettäviin rakennuksiin mikro-CHP-järjestelmät ($\eta = 90\%$)	10,7 TWh	3,1 TWh
2. Kaikki kaukolämpölaitokset CHP-laitoksiksi ($\eta = 80\%$)	4,2 TWh	4,9 TWh
3. Kaikki suorasähkölämmitysjärjestelmät mikro-CHP-järjestelmiksi ($\eta = 90\%$)	5,8 TWh	-7,7 TWh
4. Rakennusasteen kaksinkertaistaminen nykyisissä CHP-kaukolämpövoimaloissa	18,8 TWh	22,6 TWh
5. Rakennusasteen kolminkertaistaminen nykyisissä teollisuuden CHP-voimaloissa	25 TWh	30 TWh
6. Rakennusasteen kaksinkertaistaminen uusissa CHP-laitoksissa	20,7 TWh	21 TWh
7. Kaukolämmön muut käytöt (kaukokylmä, veden puhdistus jne.): 10 % nykyisestä lämpökäytöstä	3,1 TWh	7,7 TWh
YHTEENSÄ	88 TWh	81,6 TWh = 7,0 Mtoe

Biopolttoaineiden suurkäyttökohteissa kilpailukykyä voidaan parantaa pienentämällä investointikustannuksia (yksinkertainen rakenne, sarjavalmistus, tehdasvalmistus, nykyisten laitosten muutokset uusinvestointien sijaan), nostamalla yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon (CHP) laitoksissa sähkön

tuotannon osuutta uudella tekniikalla, aloittamalla CHP-tuotanto entistä pienemmillä lämpökuormilla, kehittämällä tekniikoita, joissa biopolttoaineilla korvataan nestemäisiä tai kaasumaisia fossiilisia polttoaineita ja pienentämällä käyttökustannuksia hyötysuhdetta parantamalla, automatisoimalla ja kaukokäytöllä käyttöhenkilökunnan tarpeen vähentämiseksi. (Helynen et al. 2002, 25-26.)

3.1.2 Auringosta energiaa

EU:n tavoitteena on yli kymmenkertaistaa aurinkoenergian käyttö jäsenmaissaan vuoteen 2010 mennessä. Suomessakin uusiutuvien energialähteiden edistämishjelmassa aurinkoenergian käytön hyödyntämistavoite on 100 GWh vuodessa vuonna 2010. Määrä on noin 25-kertainen vuoden 2003 tasoon verrattuna. (Savolainen et al. 2003, 117.) Aurinkoenergiaa pidetään yhtenä mahdollisena globaalina energiaratkaisuna öljyn jälkeisessä energiataloudessa. Shell Internationalin ylipitkän aikavälin energiaskenaariossa aurinkoenergia vastaisi noin 30 % maailman energiantuotannosta vuonna 2060. Aurinkoenergia on kehityskaarensa alussa, jolloin teknologialla ja sen kehittämisellä on vielä hyvin suuri merkitys. Yhtä tärkeää on myös sopivien liiketoimintamallien löytäminen. Suomea ajatellen aurinkoenergia on lyhyellä ja keskipitkällä tähtäimellä teknologiaan painottuva vientimahdollisuus. Pienetkin kotimaan markkinat voivat tukea teollisuuden kehittämistä ja sen kilpailukykyä. Vuosisadan lopussa aurinkovety voisi olla perustana kestäväälle ja lopulliselle energiaratkaisulle. (Solpros 2001, 5.)

Viime vuosikymmenen aikana maailman aurinkosähkömarkkinat ovat kasvaneet voimakkaasti keskimäärin yli 30 % viimeisten viiden vuoden aikana. Markkinoiden uskotaan kasvavan vuoden 2004 5,7 miljardista eurosta 30 miljardiin euroon vuonna 2010. EU ja Japani ovat merkittävimmät toimijat aurinkokennomarkkinoilla. Eurooppa on saavuttanut viimeisten viiden vuoden aikana hyvän aseman useiden eri aurinkoteknologioiden saralla. Euroopassa on paljon merkittäviä tutkimusinstituutioita ja kriittistä massaa tieteen palveluksessa, erityisesti Saksassa. Kansalliset T & K -ohjelmat ovat kuitenkin liian fragmentoituneita, mikä on EU:n haittapuoli suuriin valtioihin kuten Yhdysvaltoihin ja Japaniin nähden. Eurooppalaisia standardeja ja säännöksiä valmistellaan parhaillaan EU-direktiivien mukaisesti yhteistyössä kansainvälisten ja kansallisten komiteoiden kanssa, jotta aurinkoteknologian markkinoille tuloa saataisiin edistettyä harmonisoimalla standardeja. EU:n tekemien skenaarioiden mukaan aurinkokennojen kustannukset voivat laskea merkittävästi tulevina vuosina. Kun kustannukset vielä vuonna 1990 olivat 15 000 €/kW ja vuonna 2000 6 500 €/kW, niin vuonna 2010 niiden arvioidaan olevan 4 400 €/kW ja vuonna 2030 3 200 €/kW. (European Commission 2005.) Taulukossa 2 on esitetty julkisia aurinkokennoteknologian tutkimus- ja kehitystyön, demonstroitien ja markkinoiden tukemisen budjetteja maittain vuonna 2003. Suomen panostukset ovat olleet hyvin pieniä moniin muihin Euroopan maihin verrattuna.

,

Taulukko 2. Julkiset aurinkokennoteknologian T&K -työhön suunnatut budjetit, demonstroinnit ja markkinoiden tukeminen eri maissa (k\$)vuonna 2003. Saksan markkinointiavustukset ovat pääasiassa lainoja, joten niitä ei voida suoraan verrata muihin valtioiden budjetteihin. (IEA 2004.)

Maa	T&K	Demonstroinnit / kenttäkokeet	Markkinatuki	Yhteensä
Itävalta	1 695		8 588	10 283
Tsekin tasavalta	11 136	1 114	2 301	14 551
Taska	3 797	759		4 556
Saksa	33 559		757 062	(790 621)
Suomi	531		5	538
Ranska	5 763		22 600	28 363
Iso-Britannia	4 885	9 443		14 328
Italia	5 424	226	22 599	28 249
Hollanti	2 373	169	84 746	87 288
Ruotsi	2 104			2 104
Yhdysvallat	65 700		273 700	339 400

Aurinkoenergiajärjestelmien liiketoiminta käsittää useita eri tasoja ja erilaisia toimijoita. Kaupallisista tuotteista aurinkoenergian liiketoiminta kattaa seuraavia teknologia- ja palvelutuotteita: suunnittelu ja projektointi, perusmateriaalien toimittajat ja aurinkoenergiamoduulien valmistajat, energian varastointi tai liitäntä energiajärjestelmiin, säätöyksikkö ja ohjauselektronikka, perinteisen teknologian oheislaitteet, aurinkoenergiajärjestelmän toimittajat sekä asennus, huolto ja kuluttajaneuvonta. (Solpros 2001, 6.)

Aurinkoenergiesovellukset jaetaan yleensä lämpöä ja sähköä tuottaviksi. Auringon säteily voidaan muuttaa suoraan sähköksi valosähköisen ilmiön perusteella toimivissa aurinkokennoissa eli PV-kennoissa tai useilla termisillä aurinkosähkötekniikoilla. Useimmissa termisissä aurinkovoimaloissa laaja kenttä on peitetty auringon säteilyä voimakkaasti keskittävillä peileillä. Säteily suunnataan yhteiseen polttopisteeseen tai polttoviivaan, ja syntyvällä lämmöllä tuotetaan sähköä useilla eri menetelmillä. Terminen aurinkosähkö maksaa noin 80 % vähemmän kuin PV -sähkö, mutta useimmat ko. teknologiat ovat mahdollisia vain keskitetyissä voimalaitoksissa (10 MW-1000 MW). Myös paraboloidipeilin käyttöön perustuvia hajautettuja termisen aurinkosähkön tuotantoyksiköitä on markkinoilla (1 kW-100 kW). Lähes kaikille termisille aurinkosähkötekniikoille on yhteistä vaatimus suoraan auringonsäteilyyn. Koska Suomessa vain noin puolet kaikesta auringonsäteilystä tulee suorana, tämän teknologian käyttömahdollisuudet ovat varsin vähäiset. Teknologiaa suomalaiset yritykset voivat silti toimittaa. Termiset aurinkosähkötekniikat, jotka toimivat myös hajasäteilyllä, eivät vielä ole kaupallisella tasolla.

PV-paneelit sen sijaan ovat omiaan rakennustasolle hajautetuissa järjestelmissä ja ne pystyvät hyödyntämään sekä suoran että hajasäteilyä. Puolijohdetekniikan nopean kehittymisen ansiosta myös aurinkokennot ovat kehittyneet nopeasti. Yleisin kennomateriaali on pii, ja yksikiteisen piiaurinkokennon teoreettinen hyötysuhde on noin 30 %. Laboratorio-oloissa on päästy yli 20 %:n hyötysu-

uhteeseen, ja kehitystoiminta on hyvin vilkasta. Piin lisäksi käytetään myös muita materiaaleja, ja teollinen kehitystyö onkin suunnattu ohutkalvotekniikkaan, joka vaatii huomattavasti vähemmän raaka-ainetta kuin kiteisestä piistä valmistetut kennot. Ohutkalvotekniikka on myös helpommin sovellettavissa massatuotantoon. Aurinkosähkö on nykyään Suomessa kilpailukykyinen vain tietyissä erityissovellutuksissa. Kustannustehokkaimpia ovat paikalliset sovellutukset, joissa aurinkokennot voidaan yhdistää muihin rakenteisiin. Nämä edellyttävät kuitenkin vielä pitkään yhteiskunnan taloudellista tukea ollakseen kannattavia. (Energia Suomessa 2004, 268-270.)

Aurinkosähkön käyttö Suomessa on paljon muita EU-maita vähäisempää. Aurinkoenergiaolosuhteet ovat meillä kuitenkin keskimääräistä EU-tasoa. Erityispiirteinä Suomessa ovat aurinkosähkön kesämökkimarkkinat, jotka ovat syntyneet ilman julkisia toimia. (Solpros 2001, 23.) Suomessa aurinkonsäteilyn vuodenaikavaihtelut ovat huomattavat ja kasvavat pohjoiseen siirryttäessä, kun taas vuorokausivaihtelut vähenevät pohjoiseen mentäessä. Suomessa saadaan kesällä yleensä enemmän auringon säteilyenergiaa kuin Keski-Euroopassa, mutta talvella tilanne on päinvastainen. Suomen kannalta keskeisiä aurinkoenergian markkinasegmenttejä ovat rakennukset, rakennetun ympäristön ja kesäajan sovellukset sekä syrjäseutujen aurinkosähkösovellukset. Nämä ovat myös keskeisiä globaaleja markkinasegmenttejä. (Solpros b 2001, 5.)

Kansallinen aurinkoenergiaohjelma (Solpros c 2001, 2) tavoittelee suomalaiselle teollisuudelle 150 milj. €/v uutta liiketoimintaa, josta 80 % viennin muodossa ja 100 GWh/v aurinkoenergiasovelluksia Suomessa vuonna 2010. Aurinkoenergia on murrosvaiheessa, jota kuvastaa markkinoiden voimakas suhteellinen kasvu. Suurten energiatoimijoiden visiot, markkinatrendit ja monet poliittiset päätökset ennustavat aurinkoenergialle lupaavaa tulevaisuutta. Alan liiketoiminta on vielä usein projektipohjaista, teknologian kehittäminen on voimakasta, ja yritykset pyrkivät vahvistamaan markkina-asemiaan. Kansallisen aurinkoenergiaohjelman kolme strategista pääosaa ovat: Yhteistyöstrategia (markkinoiden avaaminen yhteistyössä ja lisäkustannusten pienentäminen), innovaatiostrategia (hallitut innovaatiot eli liiketoimintamallien innovaatiot ja nopeat innovaatiokyklit) sekä verkottuminen (toimijoiden kytkeminen ohjelmaan ja selkeä tehtävänjako). Keskeisiä toimijoita ovat teollisuus, tutkimus, energiatoimistot, konsultit, viranomaiset, järjestöt ja loppukäyttäjät.

Suomesta löytyy yli 150 km² aurinkosähkölle soveltuvaa katto- tai julkisivupintaa. Jos ko. pinta olisi aurinkosähköpaneelia, tuotto olisi 14 TWh/v. Kansallisen aurinkoenergian toimenpideohjelman tavoitteena on 40 MWp aurinkosähköä vuonna 2010 ja noin 500 MWp vuonna 2025, joka mahtuu hyvin potentiaaliarvion sisään. (Solpros b 2001, 8) Taulukossa 3 on tarkasteltu aurinkosähkön teoreettista potentiaalia Suomessa sekä teholtaan että sähköntuotantomahdollisuuksiltaan.

Taulukko 3. Aurinkosähkön teoreettinen potentiaali Suomessa (Solpros b 2001, 8).

Sovellus	Teho	Sähkö
Kesämökäytöt ja lomakäytöt	10 MWp	10 GWh
Erytissovellukset	10 MWp	10 GWh
Julkiset rakennukset (20 % kunnista, a´50 kW)	4 MWp	4 GWh
Rakennusten katot	14 000 MWp	11 TWh
Rakennusten julkisivut	4 000 MWp	3 TWh
PV verkossa ilman lisävaratehoja	1 500 MWp	1,5 TWh

Aktiivista aurinkolämpöä on Suomessa pääosin hyödynnetty rakennusten lämpimän käyttöveden valmistamisessa ja kylmäilmakuivureissa aurinkokeräimillä ja rakennusten tilalämmitykseen ja lämpimän käyttöveden valmistukseen lämpöpumpuilla. Aurinkolämmölle löytyy Suomesta erilaisia sovelluskohteita, joissa erityisesti passiivisen aurinkolämmön tekniikoilla on erittäin suuri potentiaali varsinkin rakennetussa ympäristössä. Erilaiset kesäajan erikoisovellukset vapaa-aikaan, matkailuun ja maa- ja metsätalouteen liittyvät ovat myös mahdollisia.

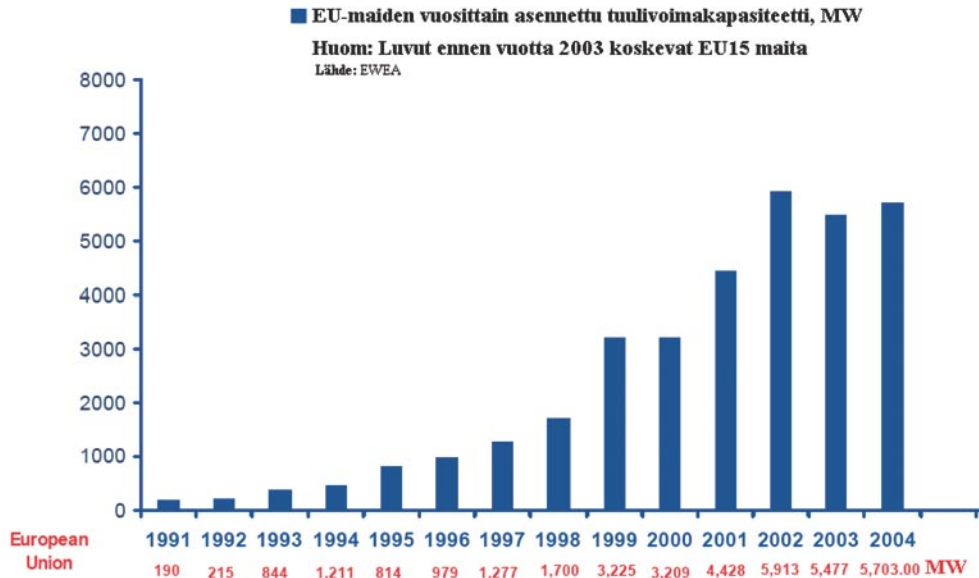
3.1.3 Tuulesta voimaa

Tuulivoima on nopeimmin kasvava energiantuotantomuoto maailmassa. Markkinoiden keskimääräinen kasvuvauhti on ollut runsaat 30 % vuosittain. Maailmanlaajuisesti tuulivoimamarkkinoiden arvo oli vuonna 2001 noin 6 miljardia euroa, josta Suomen teollisuuden osuus lähenteli 200 miljoonaa. Kasvu on jatkunut vakaana, ja merituulivoiman käyttö on aloitettu useissa maissa. EU-maiden yhteenlaskettu kapasiteetti oli runsaat 34205 MW vuoden 2004 lopussa, tuottaen noin 73 TWh sähköä, mikä vastaa lähes Suomen sähkön kulutusta. Suurimmat markkinat olivat Saksassa (16629 MW), Espanjassa (8263 MW) sekä Tanskassa (3117 MW). EU maiden välillä on kuitenkin merkittäviä eroja. Suurin osa kasvusta on tapahtunut viime vuosina nimenomaan edellä mainituissa maissa, mutta sen sijaan esimerkiksi uusissa jäsenmaissa tuulivoimaa ei vielä hyödynnetä. (EC 2005b.)

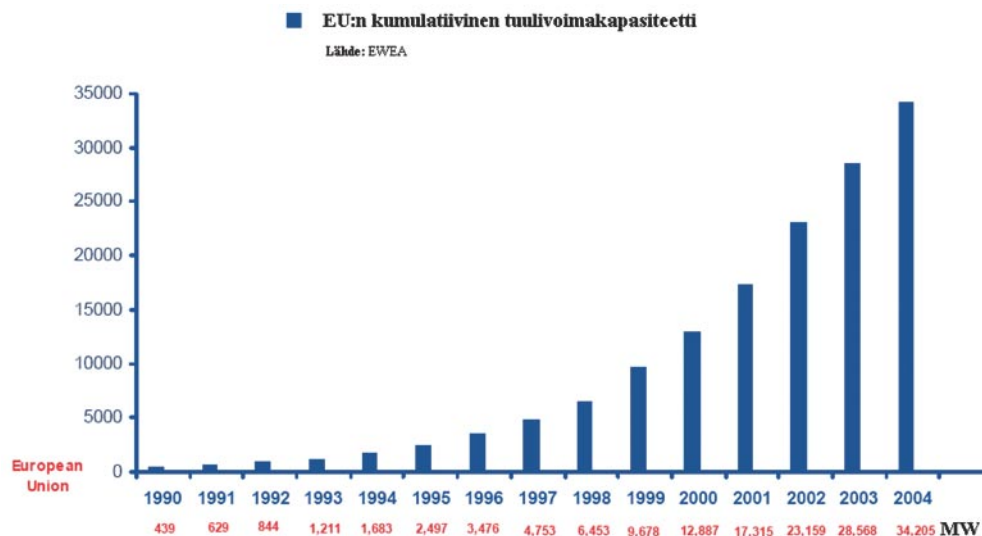
Suomessa on tällä hetkellä 93 tuulivoimalaa, joiden kokonaiskapasiteetti vuonna 2005 oli 83 MW (VTT 2005). Vuosi 2005 oli Suomessa tuulivoimalla tuotetun sähkön suhteen kasvava. Suomen vajaat sata tuulivoimalaa tuottivat sähköä 129 GWh lokakuun 2005 loppuun mennessä, mikä merkitsee yli 50 prosentin kasvua edellisvuoteen verrattuna. Uusia tuulivoimalahankkeita on vireillä sen verran, että Suomen tuulivoimakapasiteetti nousee lähitulevaisuudessa yli 100 megawatin. Kasvavista luvuista huolimatta Suomi on kansainvälisesti tuulivoimamaana edelleen kääpiösarjaa, sillä Suomen sähkönkulutuksesta tuotetaan ainoastaan vajaat 0,2 % tuulivoimalla. Esimerkiksi Tanskassa voimalakapasiteettia on Suomeen verrattuna yli 40-kertainen määrä. (Tekniikka & Talous 24.11.2005.)

EU-maissa tuulivoiman käyttö lisääntyi edellisestä vuodesta 20 % vuonna 2004, ja vuoden lopussa oli asennettuna 34 205 MW, mikä oli 5637 MW enemmän kuin vuotta aikaisemmin. Voimalavalmistajien yhteenlaskettu liikevaihto oli noin 5700 M€. Viimeisen kuuden vuoden aikana kasvu on ollut keskimäärin 22 % vuodessa. Kasvua rajoittavat tällä hetkellä eniten verkkoon pääsy ja hallin-

nolliset epäkohdat. Kaksi maata, Italia ja Hollanti ylittivät viime vuonna 1000 MW:n rajapyykin, mikä osoittaa, että Euroopassa on edelleen kehittyviä markkinoita. Suurin osa EU-jäsenvaltioista on vielä tuulivoiman tuotannossa alikehittyneitä maita, vaikka potentiaalia on paljon. EU-maiden vuosittaista tuulivoimakapasiteetin kehittymistä ja tuulivoiman tuotantokapasiteettia on tarkasteltu kuvissa 12 ja 13. (Haapanen 2005.)



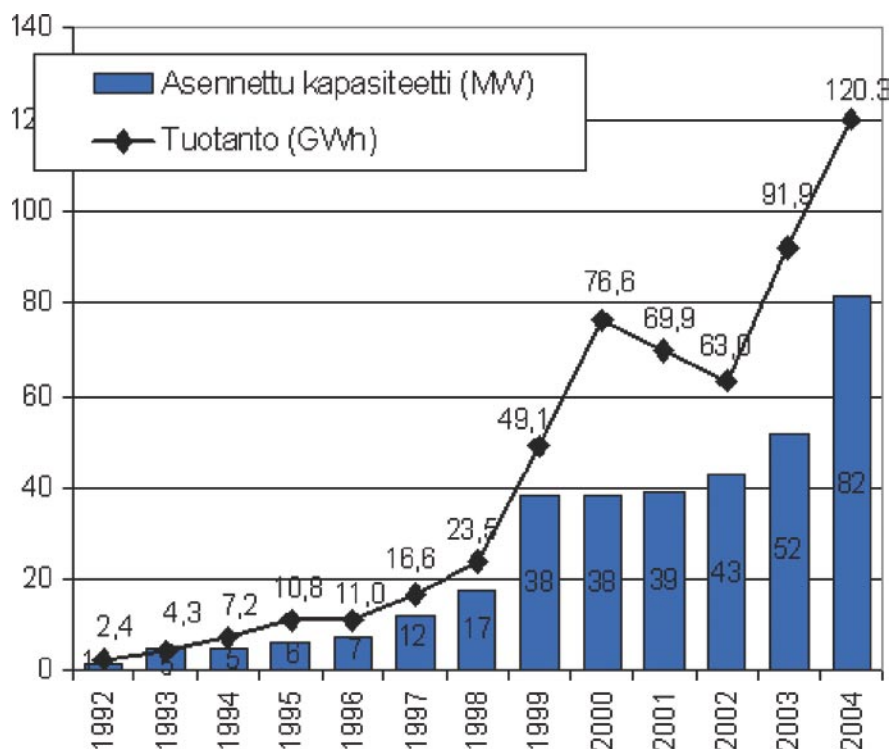
Kuva 12. EU-maiden vuosittain asennettu tuulivoimakapasiteetti vuosina 1991-2004 (Haapanen 2005).



Kuva 13. EU-maiden tuulivoiman kumulatiivinen tuotantokapasiteetti vuosina 1990-2004 (Haapanen 2005).

Laitekoon kasvu, tekninen kehitys ja kustannustason suhteellisen voimakas aleneminen ovat viime vuosina tehneet tuulivoimasta maailman nopeimmin kasvavan energiantuotantomuodon. Myös Suomessa kiinnostus tuulivoimaa kohtaan on voimakkaassa kasvussa. Kuvassa 14 on esitetty tuulivoiman

tuotannon kehitys Suomessa vuosina 1992-2004. Tuulivoimalaitokset ovat yleisimmin vaaka-akselisia (potkurimallisia) ja kolmilapaisia. (Tuulienergia 2005¹⁰.) Tuulivoimamarkkinat ovat eriytyneissä, sillä markkinoita löytyy sekä pienemmälle että suuremmalle laitoskoolle. Suurimmat laitosyksiköt ovat 4,5 - 5 MW kokoluokassa. Nämä ovat vielä pilot -yksiköitä, joilla tähdätään isoihin merituulivoimahankkeisiin vuosikymmenen lopulla. Suurimmat kaupalliset yksiköt tällä hetkellä ovat 3 MW kokoluokkaa (3 - 3,6 MW), mutta tämän kokoluokan tarjonta on vielä rajoitettua. Markkina-alueina tälle ovat erityisesti merituulivoimahankkeet ja isommat maalle rakennettavat projektit esimerkiksi Pohjois-Euroopassa. Pohjois-Euroopassa rakennettavat projektit ovat lähinnä Norjan vuoristoihin rakennettavia isoja tuulipuistoja sekä merituulivoimahankkeita Ruotsin ja Tanskan vesillä. (Peltola 2005.)



Kuva 14. Tuulivoiman tuotanto Suomessa vuosina 1992-2004 (VTT 2005).

Main stream -kokoluokka on tällä hetkellä 1,8-2,5 MW. Kaikilla päätoimijoilla on tarjontaa tässä kokoluokassa, ja markkinaosuus on kasvussa. Tässä kokoluokassa toimituksia tehdään kaikkialle Eurooppaan ja Pohjois-Amerikkaan. Pienemmille 0,8-1,5 MW laitoksille löytyy edelleen kysyntää Etelä-Euroopassa, Aasiassa ja haastavissa olosuhteissa. Tämän kokoluokan osuus markkinoista on pienenevässä, mutta tulee säilymään markkinoilla. Tätä pienemmät laitokset on tarkoitettu erikoissovelluksiin, ja vanhempia laitoksia liikkuu second hand -markkinoilla (myös Suomeen). Keski-Euroopassa on siirrytty tehonnostoon, jolloin useita pieniä yksiköitä vaihdetaan yhteen tai useampaan mahdollisimman suureen yksikköön. (Peltola 2005)

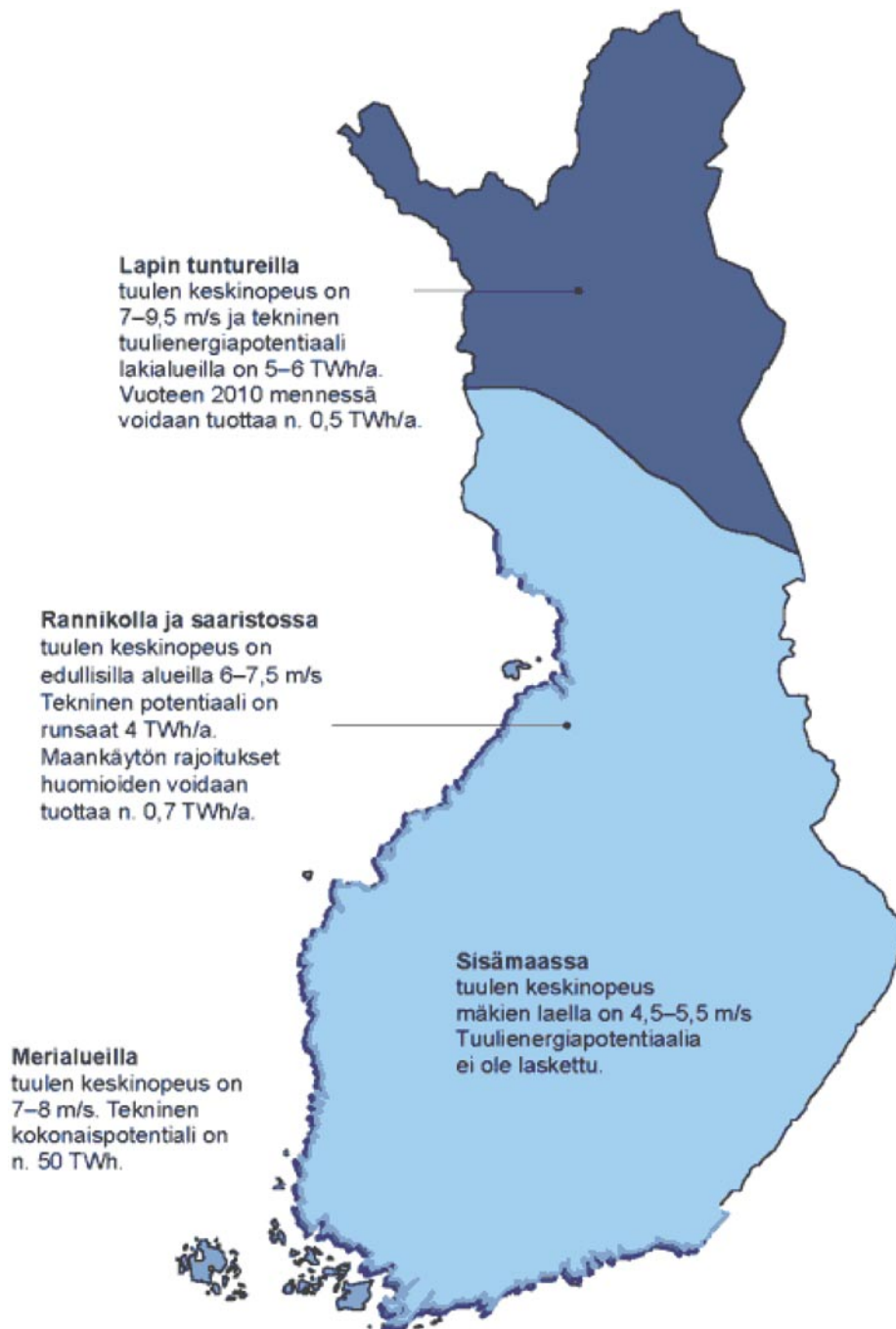
¹⁰ Tiedotteen on laatinut Suomen Tuulivoimayhdistys ry yhdessä VTT Energian kanssa. Tiedotteen teon rahoittanut EU:n ALTENER-ohjelma European Energy Network (EnR) yhdessä Kauppa- ja teollisuusministeriön Energiaosaston kanssa.

Tuulivoimaloiden yksikkökoko on kasvanut nopeasti. Monet suomalaisyritykset (esim. ABB, Ahlström ja Metso) toimittavat alihankintana komponentteja ja materiaaleja tanskalaisille ja saksalaisille tuulivoimalaitosten valmistajille. Suomeen rakennettujen tuulivoimaloiden kotimaisuusaste vaihtelee. Kotimaisen valmistajan toimittamassa projektissa tämä on noin 80 % ja tuontivoimalan kohdalla 50-60 %. Markkinat kasvavat nopeasti, jopa 30 % vuodessa kansainvälisen kehityksen myötä. (Tuulienergia 2005.) 10 % Suomen nykyisestä sähkön kulutuksesta, eli noin 8 TWh, voitaisiin tuottaa rakentamalla noin 3500 MW tuulivoimakapasiteettia. Tämä merkitsisi laitoskokojen kehityksestä riippuen 1500–2500 tuulivoimalaitosta. (Faktaa tuulivoimasta 2005.)

Tuulivoimalaitos muuttaa tuulen liike-energian pyörimisliikkeeksi ja edelleen sähköksi, jonka se syöttää sähköverkkoon. Valtakunnan verkossa toimiessaan tuulivoima täydentää muuta sähköntuotantoa, ja muu sähköntuotanto tasaa tuulivoimatuotannon ja kulutuksen eriaikaisuudet. Tuulivoimalaitos vaatii käynnistykseen yleensä noin 3 m/s tuulennopeuden, minkä jälkeen tehontuotto kasvaa nopeasti tuulen voimistuessa. Tuulennopeuksilla 15 m/s - 25 m/s tehoa rajoitetaan joko passiivisella sakkaus-säädöllä tai aktiivisella lapakulman säädöllä, ja tuulen yltyessä yli 25 m/s myrskyksi laitos pysähtyy automaattisesti ylikuormitusten ja laiterikkojen estämiseksi. (Tuulienergia 2005.)

Tuuliolosuhteet Suomen rannikoilla ja Lapin tuntureilla ovat suotuisat tuulivoiman tuotantoon, koska tuntureiden lakialueet ovat Euroopan mittakaavassa tuuliolosuhteiltaan huippuluokkaa ja rannikkoalueetkin hyvää keskitasoa. Lisäksi Suomella on huomattavan suuri merituulipotentiali (> 50 TWh), jonka rajoittavana tekijänä ei ole niinkään tekninen potentiaali vaan merirakentamisen kustannus (Asplund et al. 2005).

Tuulivoiman tuottaminen Suomessa nykyisillä sähkön hinnoilla onkin taloudellisesti kannattavaa vain meren rantaviivan välittömässä läheisyydessä ja sisämaassa riittävän korkealle ympäristöstään kohoavien tunturien ja vaarojen huipuilla. Kohteessa, jossa keskituulennopeus on 7,5 m/s, tuulivoimala tuottaa jopa yli 2 kertaa enemmän kuin kohteessa, jossa keskituulennopeus on 5 m/s. Suomen tuulienergiavaroja tarkastellaan kuvassa 15. (Tuulienergia 2005.)



Kuva 15. Suomen tuulienergiavarat painottuvat rannikkoalueille ja Lapin tuntureille. Merialueilla varat ovat vielä huomattavasti suuremmat. (Faktaa tuulivoimasta 2005.)

Modernit tuulivoimalaitokset ovat teknisesti erittäin luotettavia. Niiden tekninen käytettävyys (aika, jonka laitos on toimintakunnossa) on yli 95 %, parhaimmillaan 98 - 99 %. Laitokset ovat täysin automatisoituja ja kauko-ohjattuja, joten niiden käyttö ei vaadi miehitystä, vaan ainoastaan kaksi lyhyttä huoltokäyntiä vuodessa sekä vikatilanteista aiheutuvat korjauskäynnit, joita voidaan arvioida tulevan edellisten lisäksi keskimäärin 2 - 4 kertaa vuodessa. Laitosten taloudellinen käyttöikä on 20 - 25 vuotta. Tuulivoima on investointivaltainen sähköntuotantomuoto, jossa vuotuiset ylläpito- ja käyttökustannukset ovat vain murto-osa (tyypillisesti noin 2 %) investointikustannuksista. Tuuli-

voimalaitosten investointikustannukset ovat viime vuosina laskeneet voimakkaasti suurempien ja kustannustehokkaampien laityyppien tullessa markkinoille. Kauppa- ja teollisuusministeriö on toistaiseksi myöntänyt Suomessa toteutettuihin tuulivoimahankkeisiin investointiavustuksia 33 - 40 % kokonaiskustannuksista. (Tuulienergia 2005.)

3.1.4 Jätteestä energiaa

Valtioneuvoston valtakunnallisen jättesuunnitelman tavoitteena oli nostaa jätteiden hyötykäyttöaste 70 %:iin vuoteen 2005 mennessä. Todellisuudessa yhdyskuntajätteen hyötykäyttöprosentti on yhä alle 40 %. Toisaalta syntyvän jätteen määrää on saatu rajoitettua, ja ajoittain määrä on ollut jopa laskussa. (Keräysviesti 2005.) Jätelainsäädäntö edellyttää myös kaatopaikoille menevän orgaanisen aineen vähentämistä. Yhdyskuntajätteestä noin 20 % on biologisesti hajoavaa hiiltä, josta noin 25 % vapautuu kaatopaikoilta metaanina ja saman verran hiilidioksidina. Loput 50 % jäävät hiilivarastoksi tai liukenevat hiilyhdisteinä valumavesiin. Tämän vuoksi uusille kaatopaikoille ei tulisi sijoittaa ollenkaan metaania tuottavaa, biologisesti hajoavaa materiaalia kiinteinä jätteinä tai lietteinä. Useissa Euroopan maissa on jo päätetty orgaanisesti hajoavan jätteen kaatopaikkakielloista, muun muassa Ruotsissa tämä tuli voimaan jo vuoden 2002 alussa. Metaania tulee vähentää, koska se on erittäin voimakas kasvihuonekaasu¹¹. Sitä on mahdollista kerätä talteen energiakäyttöä varten, tai polttaa pienemmillä kaatopaikoilla soihdussa. (Savolainen et al. 2003, 148-150.)

Ensisijaisesti tavoitteena on vähentää syntyvien jätteiden määrää ja kierrättää raaka-ainetta. Tämän jälkeen jätettä voidaan hyödyntää energiantuotannossa. EU:n jätteenpolttodirektiivi astuu voimaan 28.12.2005 ja tulee koskemaan kaikkia polttolaitoksia. Direktiivi ja sitä koskeva suomalainen asetus määrittelevät jätteenpolton päästöille tiukat raja-arvot. Myös päästöjen mittausvaatimukset kiristyvät. Tästä syystä jätteenpolto tullee keskittymään suurempiin yksiköihin. Direktiivi saattaa myös vähentää jätteen rinnakkaispoltoa nykyarvioiden mukaan selvästi. Syinä tähän ovat muun muassa määräysten edellyttämät lisäinvestoinnit, sekä lupien aikataulun viivästyminen valitusten vuoksi. EU:n jätteenpolttodirektiivin astuessa voimaan vuonna 2006, Suomessa toimintaansa jatkaneet kymmenkunta jätteenpolttolaitosta. Tämän lisäksi teollisuuslaitokset polttavat yleisesti omia prosessijätteitään, kuten lietteitä ja puunkuoria. (Keräysviesti 2005.) Kierrätyspoltoaineiden käyttö energiantuotannossa riippuu lähinnä jätehuollon ratkaisuista. Jätehuoltoa koskeva lainsäädäntö asettaa toisaalta tiukkoja ehtoja energiankäytölle. Biohajoaville jätteille on tärkeätä ja kiireellistä kehittää uusia käsittely- ja hyödyntämismuotoja, koska EY:n kaatopaikkadirektiivin mukaisesti niitä voidaan sijoittaa kaatopaikoille yhä vähemmän. (KTM 2005 f.)

Jätteenpolto energiaksi on nykyisellään osa noin sadan kunnan jätehuoltoa Suomessa. Yhdyskuntajätettä poltettiin kuluneen vuoden aikana 20-30 voimalaitoksessa muun polttoaineen rinnakkaispolttoaineena¹². Jäteraa-ainetta hyödynnetään polttoaineena koko maassa noin 300 000-400

¹¹ Jopa 20 x voimakkaampi kuin CO₂

¹² Oheis- eli rinnakkaispolto tarkoittaa jätteen polttamista voimalaitoksessa muun polttoaineen lisänä. Tämä voidaan tehdä sekä polttamalla jätteitä suoraan kattilassa tai kaasuttamalla ensin jätteet ja polttamalla sitten kaasu.

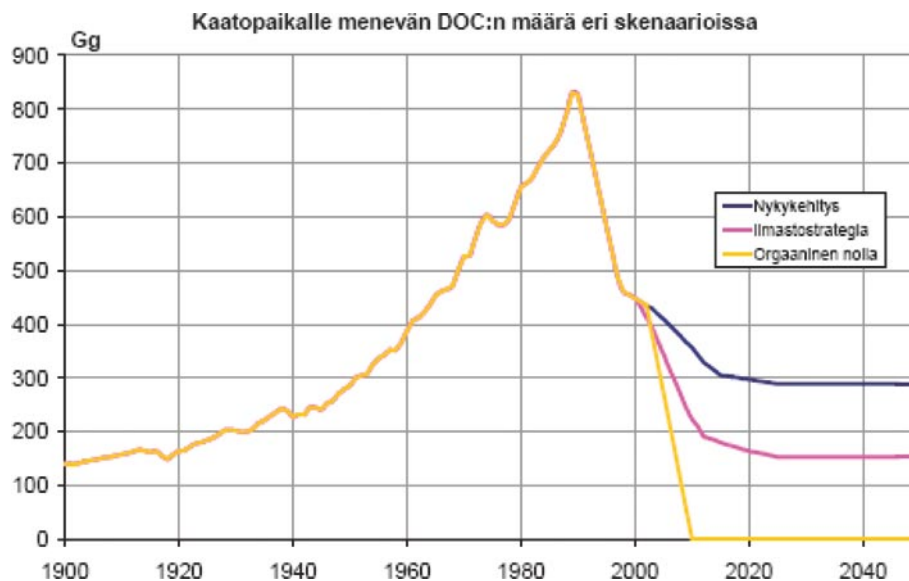
000 tonnia. Tästä määrästä poistunee kansallisen asetuksen voimaanastumisen vuoksi aluksi jopa puolet. Jätteenpoltossa ja sitä koskevan asetuksen tulkinnessa on monta muuttujaa, jotka vaikuttavat toisiinsa. On otettava huomioon muun muassa paikkakuntien erilaiset energiantuotantorakenteet, rinnakkais- ja massapolton¹³ ero sekä kiinteän jätteen käyttö sellaisenaan sivupolttoaineena verrattuna jätteen kaasuttamiseen. (Kierrätysviesti 2005.)

Suomessa kerätään nykyisellään huomattava määrä kaatopaikkakaasua energiantuotannon tarpeisiin. Vuoden 2002 lopussa kaatopaikkakaasua kerättiin talteen 26 kaatopaikalla. Noin kolmasosa kaasusta käytettiin tuolloin sähkön ja lämmön tuotantoon. Kaatopaikkakaasun talteenotto tuli pakolliseksi yli 100 000 asukkaan alueiden kaatopaikoilla vuoden 2002 alusta. (KTM 2005 b, 50.) Kaatopaikkakaasua voidaan hyödyntää myös liikennekäyttöön. Se on uusiutuvaa energiaa, joten korvattaessa sillä fossiilisia polttoaineita, samalla vähennetään myös energiantuotannon hiilidioksidipäästöjä. Kaatopaikkakaasun energiakäytöllä voi kuitenkin olla lähinnä paikallista merkitystä. Kustannusarvioiden mukaan kaatopaikkakaasun talteenotto on edullinen keino vähentää kasvihuonepäästöjä, kun kustannuksia verrataan esimerkiksi kansallisen ilmastostrategian keskimääräisiin päästöjen vähentämiskustannuksiin. (Savolainen et al. 2003, 150.)

Kaatopaikkakaasun talteenottojärjestelmät ovatkin nykyisellään melko vakiintunutta teknologiaa. Talteenottojärjestelmä koostuu jätekerroksiin asennettavista siivilämäisistä imukaivoista tai sala-ojaputkistosta. Imukaivot asennetaan pystyyn, kun taas salaojajärjestelmä perustuu vaakaputkistoihin. Myös näiden yhdistelmiä käytetään. Lisäksi järjestelmään kuuluu imuputkisto ja pumppaamo, jossa tehdään putkistoon ja kaivoihin tarvittava imu. Pumppaamosta kaasu johdetaan joko poltettavaksi soihdussa tai energiakäyttöön. Varsinkin ennen energiakäyttöä kaasu täytyy puhdistaa. (KTM 2005 b, 48-49.)

VTT:n tekemässä tutkimuksessa (Tuhkanen 2002) kaatopaikkojen metaanipäästöjen ja kaatopaikkakaasun talteenoton kehitystä tarkasteltiin kolmen eri skenaarion avulla. Nykykehitysskenaariossa oletettiin kaatopaikalle menevän jätemäärän vastaavan Suomen Ympäristökeskuksen Nykykehitys-skenaariota. Ilmastostrategiaskenaariossa kaatopaikalle menevä jätemäärä vastaisi SYKE:n rinnakkaispoltto/kaasutus -skenaarion. Orgaaninen nolla -skenaario vuodelle 2010 oletti, että orgaanisen jätteen kaatopaikkasijoitus loppuu kokonaan vuonna 2010. Kuvassa 16 on tarkasteltu kaatopaikalle menevän orgaanisesti hajoavan hiilen määrää eri skenaarioissa vuosina 1900-2050. (Tuhkanen 2002, 30.)

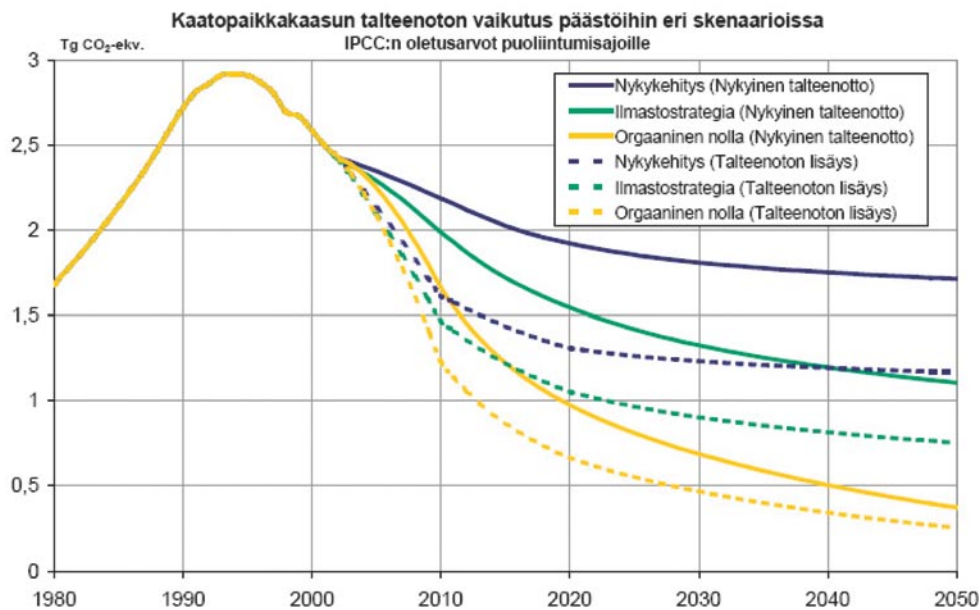
¹³ Massapoltto tarkoittaa sekalaisemman yhdyskuntajätteen polttamista tätä polttoa varten erikseen rakennetussa laitoksessa.



Kuva 16. Kaatopaikalle kulkeutuvan orgaanisesti hajoavan hiilen määrä eri skenaarioissa vuosina 1900-2050 (Tuhkanen 2002, 30.)

Kaatopaikkakaasun talteenoton vaikutusta metaanipäästöihin on arvioitu FOD -menetelmän¹⁴ avulla olettamalla, että talteenotto pysyy joko nykytasolla tai lisääntyy vuoteen 2010 mennessä 35 %:iin ja vuoteen 2020 mennessä 40 %:iin syntyvästä metaanimäärästä. Käytännössä tämä merkitsisi talteenottokapasiteetin kolminkertaistumista nykyisestä. Talteenoton lisäksi jätekerroksissa syntyvän metaanin pääsyä ilmakehään vähentää kaatopaikkojen pintakerroksissa tapahtuva metaanin hapettuminen. Suomen päästölaskennassa on arvioitu, että hapettava määrä olisi noin 10 % syntyvästä metaanista. Talteenoton ja hapettumisen vaikutus päästöihin eri skenaarioissa sekä nykyisellä talteenottotasolla että talteenottoa lisättäessä nähdään kuvassa 17. Potentiaalinen talteenottomäärä on suhteutettu metaanin tuotantomääriin. Siten kaatopaikkasijoituksen vähentyessä myös talteenottopotentiaali on pidemmällä tähtäimellä pienempi. (Tuhkanen 2002, 33.)

¹⁴ FOD-menetelmä (First Order Decay method) ottaa huomioon metaanin (CH₄) syntymisen aikakäyttämisen. Menetelmä kuvaa päästöjä huomattavasti realistisemmin kuin nykyisin käytössä oleva massatase menetelmä varsinkin, kun kaatopaikalle menevissä jätemäärissä tapahtuu suuria muutoksia. FOD-menetelmän käyttöön tullaan siirtymään lähivuosina IPCC:n kansainvälisten laskentaohjeiden mukaisesti. (Tuhkanen 2002.)



Kuva 17. Kaatopaikkojen metaanipäästöt eri skenaarioissa sekä nykyisellä että lisätyllä kaatopaikkakaasujen talteenotolla. Laskennassa on käytetty IPCC:n oletusarvoja jätteen hajoamisnopeudelle. (Tuhkanen 2002, 34.)

3.1.5 Muut uusiutuvat energiamuodot

Vesivoima on merkittävin uusiutuva sähköntuotantomuoto Suomessa. Energiajärjestelmän toimivuuden ja käyttövarmuuden kannalta vesivoimalla on lisäksi erityinen asema säättöminaisuutensa vuoksi. Suomessa on yli 200 vesivoimalaitosta, joiden yhteenlaskettu teho on lähes 3000 MW (vuoden 2004 lopussa). Suurvesivoimalla tarkoitetaan nimellisteholtaan yli 10 MW:n, pienvesivoimalla 1-10 MW:n ja minivesivoimalla alle 1 MW:n tehoista vesivoimaa. Nykyisin vesivoiman osuus sähköntuotannosta vaihtelee Suomessa vuosittain 10-20 % välillä riippuen vesitilanteesta. Vuonna 2004 osuus sähköntuotannosta oli 17 %. Kannattavuudeltaan edullisimmat vesivoimakohteet Suomessa on jo rakennettu tai suojeltu uudelta vesivoimarakentamiselta. Lisäämismahdollisuus rakennetuissa vesistöissä on vajaa 400 MW ja suojelemattomissa vesistöissä rakennettavissa oleva lisäkapasiteetti on noin 270 MW. Vesivoiman tulevaisuuteen liittyy paljon epävarmuuksia. Yksi suurimmista on EU:n vesipolitiikan puitedirektiivi, jonka tavoitteet ovat vaativat. Kiristyvät ilmastotavoitteet puolestaan tukevat vesivoiman käyttöä. (Energiateollisuus 2005.)

Suomi on aalto-, vuorovesi- ja merivirtavoiman suhteen epäedullisella alueella, joten niiden käyttöönotto on mahdollista vain laajan ulkomaisen kokemuksen jälkeen. Komponenttitoimituksen ovat kuitenkin suomalaisille yrityksille mahdollisia jopa lähialueille, sillä ko. energiamuotojen eräät parhaimmat potentiaalit löytyvät Norjasta ja Venäjältä.

Kuten aurinko- ja tuulienergiaa myös geotermistä energiaa on saatavissa joka paikassa Paikasta riippuen lämmöntuotantoon ja sähköntuotantoon kelpaava lämpötila löytyy eri syvyyksistä. Suomessa ei geotermistä energiaa hyödynnetä, vaikka esimerkiksi Ruotsissa se on jo vuosia ollut käytössä.

tössä. Ainakin pitkällä tähtäimellä on syytä olettaa ko. teknologian leviävän Suomeenkin. Siihen asti suomalaisilla yritysillä on mahdollisuus toimittaa komponentteja ulkomaisiin järjestelmiin.

Turve on orgaaninen maaperälaji ja luokitellaan tässä taustaraportissa hitaasti uusiutuvaksi biomassaksi. Turve on kuitenkin tällä hetkellä kiistanalaisessa asemassa, ja sen luokittelu tullee vielä muuttumaan meneillään olevien tutkimusten myötä. Turpeen koko elinkaaren huomioonottavan päästötaseen määrittelyä varten on organisoitu laaja tieteellinen tutkimusohjelma, jonka on määrä tuoda lisävalaistusta tähän kysymykseen vuoden 2006 alkuun mennessä. (KTM 2005 f.) Turvetta hyödynnetään yhteispoltossa muiden bioenergiamuotojen kanssa. Energiaturpeella on erityinen merkitys Suomen energiasuunnitelmissa. Turpeelle on Suomessa ajettu erityiskohtelua, koska turpeen vuotuinen kulutusvaihtelu kasvaa etenkin päästökaupan käynnistymisen takia. Kulutushaarukka voi vuonna 2010 olla jopa 15–34 TWh vuodessa, mikä on liian suuri turvealan hoidettavaksi. Turveala ei siis nykyisillä resursseilla, nykyisessä toimintaympäristössä pysty hoitamaan likimainkaan näin suuria joustotarpeita. Turpeen energiakäytön kauppa- ja teollisuusministeriön asiantuntijaryhmä on muistiossaan (Aalto & Saarinen 2005) esittänyt, että turpeen valmisteverosta luovuttaisiin, ja turpeella tuotetun sähkön nykyistä verotukea pienvoimalaitoksille jatkettaisiin. Merkittävin kasvihuonekaasupäästöjä vähentävä toimenpide turvealalla on siirtyminen luonnonsoilta suopeltojen käyttöön. Tällöin poltetaan ihmisen kuivaustoimenpiteillä tuottamaa orgaanista maaperää, joka muutenkin hajoaa hiilidioksidina, eikä siis merkittävää päästölisäystä välttämättä aiheuteta.

Turpeen asema on vaikeutunut päästökaupan alettua. Tämä johtuu pitkälti siitä, että turpeen hiilisisältö ja sen mukainen hiilidioksidipäästökerroin on määritelty pelkästään poltosta vapautuvan päästön mukaan. Näin määritelty päästökerroin on suurempi kuin esimerkiksi kivihiiilen päästökerroin. Tämä merkitsee sitä, että voimalaitosta ja lämpökeskusten kannattaa korvata turvetta fossiililla tuontipolttoaineilla. (KTM 2005 f.)

3.2 Muut teknologiat

3.2.1 Vetytalous ja polttokennot

Vetytalouteen siirtyminen on teknologiyhteiskunnallinen visio, jonka toteutuminen edellyttää kaikkien tahojen yhteistyötä. Vetyä voidaan valmistaa sähkön lailla monella eri tavalla ja sen käyttö on puhdasta. Lisäksi sitä voidaan myös varastoida. Vedyn laajamittaisen hyödyntämisen edellytyksenä on polttokennoteknologia, jossa vety muutetaan suoraan sähköksi kemiallisen reaktion kautta. Vedyn laajamittaiseen käyttöön liittyy monia teknisiä ja taloudellisia ongelmia, mutta siitä huolimatta kehitystyö on käynnissä ympäri maailmaa. Vetytalous saattaa sekä ratkaista energiaongelman että luoda kokonaan uuden IT -teollisuuden mittakaavaan verrattavissa olevan teollisuushaaran. On arvioitu, että polttokenno- ja siihen liittyvät muut laitemarkkinat voivat vuonna 2011 olla 20 miljardia euroa ja jopa biljoona euroa vuonna 2021. (KTM 2005 b, 16.)

Vetyteknologiaa ja polttokennoja koskeva säännösten ja standardien joukko on Euroopassa melko monimutkainen. Jotkut nykyisistä kansallisista säädöksistä voivat merkittävästi vaikeuttaa polttokennovoimalaitosten asentamista ja toimintoja. European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform:in (HFP) osan, Initiative Group on Regulations, Codes and Standards (RCS) toivotaan

kehittävän toimintasuunnitelman kaupallisesti kilpailukykyisen vety- ja polttonnoteknologiaa kehittävien prosessien toteuttamiseksi. Tämä voisi auttaa Eurooppaa pysymään mm. Japanin perässä. (European Commission 2005, 16.) Useimpien polttonnoteknologioiden kohdalla investointikustannukset edelleen ylittävät 10 000 €/kW. Tämä on kuitenkin parannus vielä muutama vuosi sitten vallinneisiin viisinkertaisiin kustannuksiin nähden. Jotta markkinat muodostuisivat kilpailukykyisiksi, tavoitteena on saavuttaa 700-1500 €/kW hinta suuremmille kiinteille sovelluksille, 3000-4000 €/kW pienille kiinteille sovelluksille, 150-300 €/kW kaupunkiliikenteen sovelluksille ja 50-60 €/kW yksityisautoille. (European Commission 2005.)

Vetytalouteen siirtyminen ei tapahdu hyppäyksenä, vaan vähän kerrallaan todennäköisesti seuraavien 50 vuoden aikana. Välituotteena syntyy paljon hyödyllistä teknologiaa ja teollista tuotantoa, jota voidaan hyödyntää, vaikkei täydellistä vetytaloutta syntyisikään. Esimerkiksi polttonnot voivat käyttää vedyn ohella muitakin polttoaineita. Vuonna 2003 polttonnoteollisuuden liikevaihto maailmanlaajuisesti oli noin 600 miljoonaa euroa. Kehitysmaiden kannalta polttonnot ovat avainasemassa, koska kehitysmaiden ennakoitua siirtyvän osittain suoraan hajautettuihin energijärjestelmiin. (KTM 2005 b, 17.)

Kemianteollisuudessa syntyy merkittäviä määriä vetyä sivutuotteena vesiliuoksessa tapahtuvassa elektrolyysissä. Suomessa Finnish Chemicals tuottaa sivutuotevetyä 30 milj. m³/v (2700 t/v). Osa tästä käytetään lämmön tuotantoon, osa pullotetaan ja osa poltetaan soihduna. Vedyn teollinen tuotanto koko maailmassa on 550 miljardia m³/v. Euroopassa tuotanto on 5,4 miljoonaa tonnia vuodessa. Pienessä mittakaavassa vetyä ja vedyn ja metaanin seosta valmistetaan paikallisesti polttonnoteknologioiden polttoaineeksi erilaisia reformointimenetelmiä käyttäen. Esimerkiksi joissakin polttonnoteknologioiden autoissa tai niiden apuvoimalaitteissa on metaanin ja bensiinin reformointi jo käytössä. Reformointitekniikat usein heikentävät kokonaishyötysuhdetta, mutta ovat tärkeitä siltä vetyteknologian kehitysmahdollisuuksien kannalta. NykYTEKNIKALLA keskitetyssä valmistuksessa vedylle tulee hintaa noin 10 €/GJ. Ongelmana on, että hiilivetyjen reformointi tuottaa hiilidioksidia ilmaan. Hiilidioksidi voidaan kuitenkin joko varastoida tai pelkistää hiileksi ja hapeksi. Näitä teknologioita kehitetään parhaillaan. Sen sijaan vedyn valmistaminen elektrolyysissä ei tuota hiilidioksidia, mutta prosessi puolestaan kuluttaa paljon sähköä. Vettä voidaan myös hajottaa suoraan vedyksi ja hapeksi korkeassa lämpötilassa erilaisten kemiallisten välireaktioiden kautta. Korkean lämpötilan voi tuottaa joko aurinko- tai ydinenergialla, mutta korkea lämpötila taas edellyttää materiaalien kestävyysongelmien ratkaisemista. (KTM 2005 b, 17-19.)

Euroopassa lähtökohtana on hiilidioksidivapaan vedyn tuotanto. Tässä vaihtoehtona ovat elektrolyysi tuulisähköllä tai vedyn valmistus biomassasta tai biologisesti (biomassan kaasutus, fermentaatio eli käyminen sekä levien tai bakteerien hyväksikäyttö). Näistä menetelmistä yksikään ei ole vielä kaupallisesti saatavilla. Sen sijaan metaanin valmistus fermentoimalla on jo käytössä, ja kaatopaikkakaasuja on hyödynnetty korkealämpötilapolttonnoteknologioiden polttoaineena. (KTM 2005 b, 19.)

Vedyn jakeluverkon luominen edellyttää suuria investointeja. On laskettu, että polttonnoteknologioiden käytön yleistyminen edellyttäisi vedyn jakelun aloittamista 30 %:ssa huoltoasemista. Ongelmana on lähinnä se, ettei autoja saada kaupaksi ennen kuin investoinnit on tehty, mutta investoinneilla taas on erittäin pitkä takaisinmaksuaika. Vedyn kuljetus joko putkistolla tai tankkiautolla on nykyteknikalla kallista ja edellyttää julkista tukea. Air Liquid ylläpitää Euroopassa 1100 km pitkää vetykaasuverkostoa

ja jakelee vetyä Pohjois-Euroopassa useassa maassa. Vety kuitenkin diffundoituu helposti eri materiaaleissa, mikä aiheuttaa korroosio-ongelmia. Lisäksi pumppaus edellyttää maakaasua enemmän energiaa. Tämän johdosta vedyn kuljetus putkistoa pitkin vaatii kalliimpaa putkistoa ja suurempaa energiankulutusta kuin maakaasu, mikä tekee kustannuksista kokonaisuudessaan 50-80 % suuremmat kuin maakaasun kuljetuksessa. Vetyä voisi kuitenkin kuljettaa nykyisessä maakaasuverkossa sekoittamalla sitä maakaasuun. Silloin sitä voitaisiin käyttää maakaasubusseissa polttoaineena, polttaa sellaisenaan tai reformoida yhdessä maakaasun kanssa. Vety voitaisiin myös erottaa maakaasusta membraanitekniikan¹⁵ avulla, mutta toistaiseksi se tulisi liian kalliiksi. (KTM 2005 b, 20.)

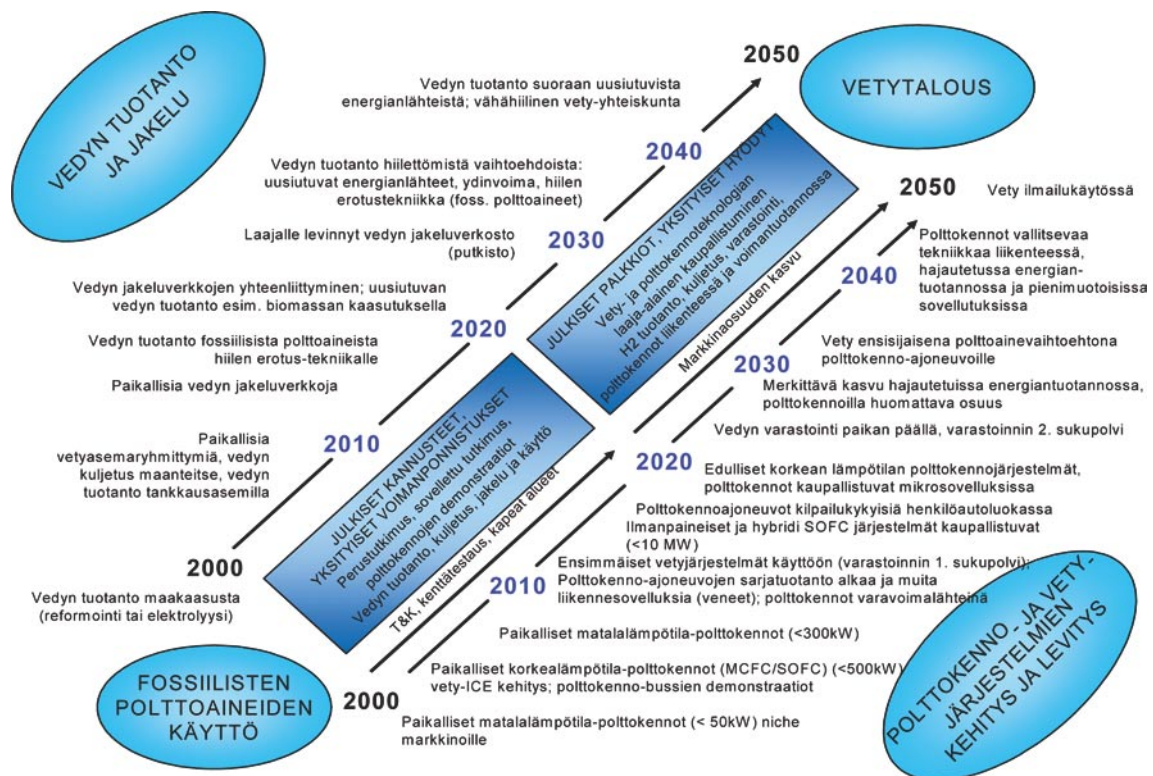
Vetyä varastoidaan nykyteknologialla kolmella eri tavalla, paineistamalla, nesteyttämällä tai absorboimalla. Ajoneuvoissa vetyä varastoidaan paineistettuna komposiittisäiliössä. Vedyn paineistaminen edellyttää energiaa ja on siksi kallista. Vedyn kuljettaminen ja säilytys nestemäisenä edellyttää erittäin alhaista lämpötilaa (-253 °C). Nesteytys vaatii kuitenkin paineistamistakin suuremman määrän energiaa, jolloin nesteytys tulee kyseeseen ainoastaan käytön edellyttäessä nestemäistä olomuotoa kuten polttomootorissa. Kehitteillä on myös metallihydridisäiliöitä, joissa paine on matala ja ne ovat siten turvallisempia. Ongelmana on hinta ja liikennekäytössä paino. Varastointimenetelmäksi kehitteillä ovat mm. nanoputket ja aktiivihiili, ja innovatiivisia menetelmiä etsitään jatkuvasti. (KTM 2005 b, 21.)

Polttokenno on laite, joka muuntaa polttoaineen kemiallisen energian suoraan sähköksi. Energiantuotannon ja liikenteen kannalta merkittävimpiä polttokennotyyppejä ovat polymeerimembraanipolttokenno (PEM tai PEFC), kiinteäoksidipolttokenno (SOFC), sulakarbonaattipolttokenno (MCFC) ja fosforihappopolttokenno (PAFC). Vety on polttokennojen peruspolttoaine, ja siksi polttokennoteknologian kehitys on yksi edellytys vetytalouden synnylle. Osa polttokennoista voi käyttää myös maakaasun puhdistettua metaania polttoaineena. Kohtuullisen yksinkertainen esireformointi riittää siihen, että kaikkia hiilivety-pohjaisia polttoaineita dieselistä ja maakaasusta aina biopohjaisiin kaasuihin saakka voidaan käyttää. Polttokennon paikalliset päästöt ovat pienet, koska vetyä ja happea yhdistämällä saadaan sähköä, ja päästönä on puhdas vesi. Koska vety ei kuitenkaan ole primäärienergian lähde, on polttokennon ominaisuuksiin liitettävä koko energiaketju. Mikäli polttoaine sisältää hiiltä, päästönä on myös hiilidioksidia. Päästöjä rajoittaa kuitenkin polttokennojen hyvä hyötysuhde. Polttokennon hyvät tekniset ominaisuudet ja soveltuvuus hajautettuihin energijärjestelmiin ennustavat laajenevia markkinoita. Polttokennojärjestelmien hinnat ovat kuitenkin vielä korkeita, eikä kestävyys ole riittävä. (Energia Suomessa 2004, 276-278.)

Polttokennovoimalaitoksia on rakennettu kaikkiaan yli 2000 kappaletta (vuonna 2004). Tällä hetkellä kysyntä demonstraatiotarkoituksiin ylittää tuotantokapasiteetin. Useat markkinaennusteet povaavat laitteille suurta kysyntää jo lähivuosina, mikäli hinta ja teknologian taso kehittyvät odotetusti. Euroopan markkinoille esitetty yksi arvio on, että polttokennoautoja on vuonna 2020 1-5 % koko autokannasta. Kasvun on oletettu kiihtyvän voimakkaasti vuodesta 2012 alkaen. Voimantuotannolle on useita ennusteita. Esimerkiksi Wärtsilän ennuste SOFC-polttokennojen kysynnälle maailmanlaajuisesti on 200 MW/a vuosina 2009-2012, mutta 2000 MW/a jo vuosina 2013-2016.

¹⁵ Hiilidioksidiaakin voidaan poistaa suodattamalla kaasua polymeerimateriaalia olevan membraanin lävitse, ns. membraanitekniikalla. Paksu polymeerimembraani, jota ympäröi huokoinen kantajamateriaali, voi erottaa kaasumolekyylejä niiden erilaisten läpäisykykyjen perusteella. (Uusi-Penttilä, 2004.)

Luvut vastaavat kohtuullisen suurta lukumäärää polttokennolaitoksia yksittäisen laitoksen koon ollessa tavallisimmin 1 kW - 5 MW. Tällöin monet yritykset saisivat jo merkittävää myyntiä, mutta osuus energian tuotannosta olisi edelleen hyvin pieni. (Energia Suomessa 2004, 279.) Kuvassa 18 on esitetty alustava roadmap Euroopan vetytalouteen. Siinä kehitys alkaa heti, mutta merkittävä asema on saavutettu vasta vuoden 2040 paikkeilla. Polttokennojen asema sähköntuotannossa kasvaneen hyötysuhteen kehittymisen myötä vasta vuoden 2040 jälkeen, koska vedyn valmistuksessa kuluu paljon sähköenergiaa. On luultavaa, että jatkossa liikenteessä on monenlaisia autoja. Euroopalaisten ennusteiden mukaan polttokennoautojen osuus olisi 1-5 % vuonna 2020 ja kasvaisi sen jälkeen voimakkaasti siirtyen hallitsevaan asemaan vuoteen 2040 mennessä. (KTM 2005 b, 31-32.)



Kuva 18. Alustava roadmap Euroopan vetytalouteen. (KTM 2005 b, 31-32.)

3.2.2 Fuusion haasteet

Fuusio voidaan luokitella uusiutuvaksi energiamuodoksi silloin, jos polttoaineena käytetään veden raskasta tai kevyttä vetyä. Syy on sama kuin geotermisen energian luokituksessa, eli käytettävissä on rajaton energiavarasto, vaikkakaan käyttöprosessi ei sinänsä ole uusiutuva. Kaikki fuusiovoimalasuunnitelmat perustuvat kuitenkin rajallisesta luonnonvarasta litiumista saatavan tritiumin käyttöön, jolloin tämä teknologia sijoitetaan uusiutumattomien joukkoon.

Tärkeäksi kaupalliseksi energianlähteeksi fuusio ehtii aikaisintaan useamman vuosikymmenen kestävä koe- ja demonstraatioreaktorivaiheen jälkeen. Fuusioteknologian kehittämiseen käytetään paljon julkisia tutkimusvaroja. EU:n fuusio-ohjelman laajuus on vuosittain 450 miljoonaa euroa.

Eurooppa onkin tällä hetkellä johtavassa asemassa fuusion kehittämisessä. EU, Kiina, Japani, USA, Etelä-Korea ja Venäjä saivat kesällä 2005 päätöksen aikaan ITER-kooreaktorin (International Thermonuclear Experimental Reactor) sijainnista Ranskan Cadaracheen (lähelle Marsheillesia). Noin 600 MW kooreaktori tulee valmistumaan vuoteen 2015 mennessä. (Energia Suomessa 2004, 290-291.)

Tekesin FUSION Teknologiaohjelma (2003-2006) kattaa kaiken fuusioenergia- ja fuusioteknologiaturkimuksen Suomessa ja sillä pyritään tukemaan hankkeita jotka luovat suomalaisille yrityksille edellytyksiä toimittaa materiaaleja, laitteistoja ja palveluita fuusiokooreaktoreille. Ohjelma on integroitu Euroopan Fuusio-ohjelmaan Euratomin ja Tekesin välisellä assosiaatiosopimuksella. Tekes-assosiaatio on yksi 21 eurooppalaisesta fuusioassosiaatiosta. Kahdenväliset assosiaatiosopimukset yhdessä monenkeskisen Euroopan fuusiokehityssopimuksen kanssa ohjaavat Euroopassa tehtävää fuusiotutkimusta, jonka pitkän tähtäimen tavoitteena on kaupallinen tuotanto.

3.2.3 Hiilidioksidin erottaminen ja talteenotto

Hiilidioksidin erotus savu- ja prosessikaasuista on kaupallista tekniikkaa. Sitä sovelletaan jo nyt kohteissa, missä erotetulle hiilidioksidille on kaupallista käyttöä. Suomessa on kolme hiilidioksidin tuotantolaitosta, joissa hiilidioksidi erotetaan vedyn, kalsiumkloridin ja alkoholin valmistuksen yhteydessä. Hiilidioksidia valmistetaan myös jonkin verran polttamalla fossiilisia polttoaineita. Hiilidioksidin erotus on nykytekniikalla kallista, eikä kokemuksia voimalaitoskokoluokan sovelluksista ole. Hiilidioksidi tulee erottaa voimalaitosten savukaasusta, koska muutoin siirrettävät ja loppusijoitettavat kaasumäärät olisivat huomattavasti suuremmat. Jos hiilidioksidia alettaisiin erottaa ennen polttoa, erotuksesta voisi tulla kustannustehokkaampaa. Toisaalta kokonaan uudenlaisen polttotekniikan kehittäminen voi johtaa siihen, ettei erillistä hiilidioksidin erotusta tarvita lainkaan. (Savolainen et al 2003, 139.)

Hiilidioksidin kalliin erotuksen lisäksi keskeinen haaste on sen varastointi. Pitkäikäisinä loppusijoitusvaihtoehtoina pidetään huokoisia kivilajeja, geologisia muodostumia kuten ehtyneitä öljy- ja kaasulähteitä¹⁶ sekä syviä suolaisen veden kerrostumia.

Hiilidioksidin erotuksen ongelmana on sen kalleus. Erotus maksaa yli 70 % varastoinnin kokonaiskustannuksista, ja kuljetus ja loppusijoitus alle 30 %. Hiilidioksidin erotus nostaisi sähkön tuotantokustannusta noin sentin kilowattitunnilta ja kuljetus sekä loppusijoitus yhteensä alle 0,5 senttiä. Hiilidioksidia käytetään mm. jäähdytyssovelluksissa halogenoitujen hiilivetyjen tilalla sekä happamuuden säätöön sellu- ja paperiteollisuudessa, vesilaitoksissa ja kemianteollisuudessa. Hiilidioksidin erotus ja varastointi on kustannustehokkainta suurissa laitoksissa. Isoja päästölähteitä ovat fossiilisia polttoaineita käyttävät voimalaitokset ja teollisuus. Laitoksen tulisi myös sijaita kohtuullisen matkan päässä hiilidioksidin hyötykäyttö- tai varastointialueesta. Suomessa hiilidioksidia voitaisiin ottaa talteen kivihiililauhdelaitoksilla, öljynjalostamoilla ja terästeollisuudessa. (Savolainen et al 2003, 140-143.)

¹⁶ Lisätietoa tutkimuksesta: Potential of CO₂ capture and geological storage in the world. Plouchart & Fradet.

Huomattavasti nykyistä kustannustehokkaammat erotusteknologiat voivat olla kaupallisia 5-10 vuoden kuluttua, jolloin hiilidioksidin erotuksen ja varastoinnin kokonaiskustannuksia voidaan laskea jopa 50-75 % nykyisestä. Aikataulu riippuu siitä, uskovatko laitevalmistajat paljon kehitystyötä vaativien uudentyypisten ratkaisujen kysynnän yleistyvän. Toinen vaikuttava tekijä on, kuinka pieniksi kustannukset lopulta saadaan ja miten muiden kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen kustannukset kehittyvät. Yleisen hyväksyttävyyden saavuttamiseksi myös varastoinnin ympäristövaikutukset ja turvallisuuskysymykset tulee selvittää perusteellisesti. Jotta loppusijoitus estäisi kasvihuoneilmiötä, hiilidioksidin vuotaminen takaisin ilmakehään tulisi estää satojen, jopa tuhansien vuosien ajaksi. (Savolainen et al 2003, 143-144.) Tämä toteutuu varmimmin, kun hiilidioksidi varastoidaan kiinteinä epäorgaanisina yhdisteinä, esimerkiksi karbonaatteina, vaikkapa tienpohjiin. Toistaiseksi ei vielä kuitenkaan voida olla varmoja siitä, onko kaasumaisen tai nestemäisen hiilidioksidin varastointi pysyvästi mahdollista.

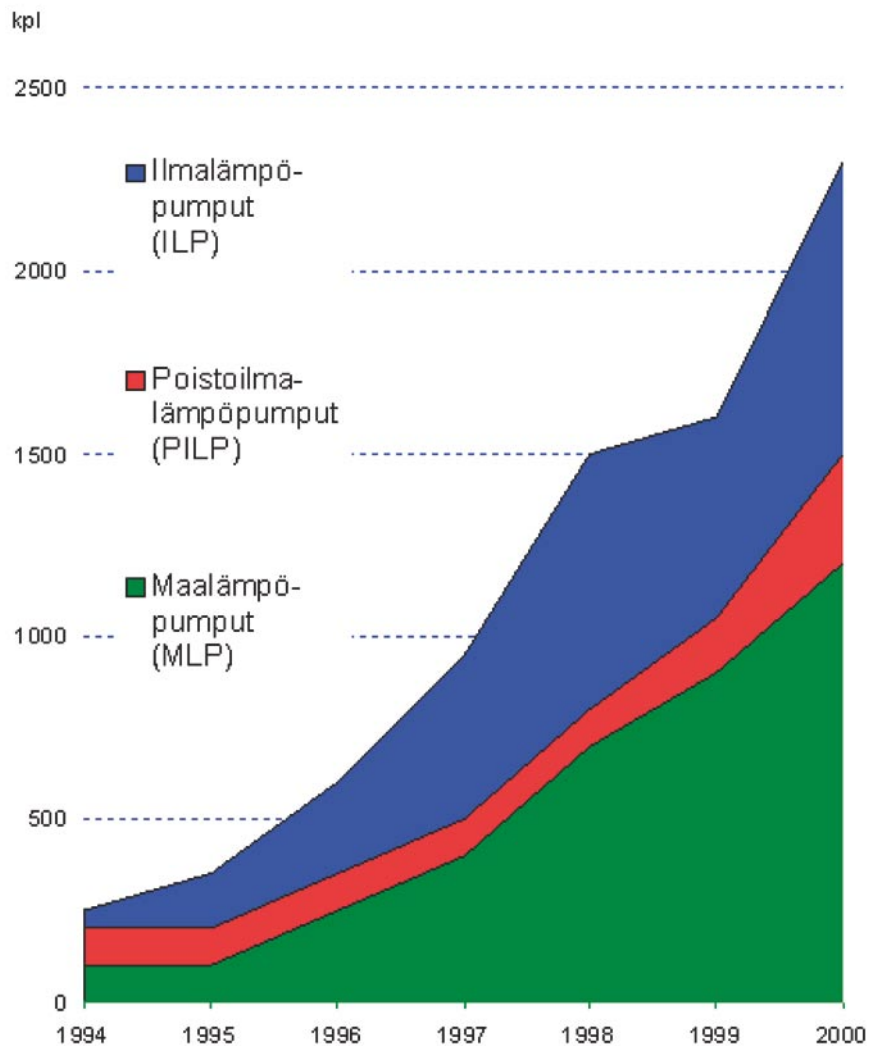
Kivihiihivarantojen on arvioitu olevan hyvät vielä satoja vuosia. Hiilivaroja sijaitsee myös tervahiekoissa ja liuskeissa. Tämän vuoksi ei voida olettaa, että hiilen käytöstä täysin luovuttaisiin lähivuosikymmeninä. Tämän vuoksi onkin fokusoiduttava tarkastelemaan hiilenpoistotekniikoita, joilla tulee olemaan kasvavat markkinat hiilidioksidipäästöjen hillitsemisessä.

3.2.4 Lämpöpumput

Lämpöpumput hyödyntävät maalämpöä, joka on maahan, kallioon tai veteen auringosta varastoituvaa lämpöenergiaa. Lämpöpumppua voidaan verrata pakastinkaappiin, joka ottaa lämmön ruokatavaroista ja siirtää sen kaapin ulkopuolelle. Lämpöpumppu toimii vastaavalla tavalla, mutta se kerää ulos varastoitunutta lämpöä ja siirtää sen sisätiloihin.

Suomessa maalämmön käyttö on ollut toistaiseksi vähäistä. Suomessa oli käytössä vuoden 2004 lopussa yhteensä 52 500 lämpöpumppua (joista maalämpöpumppuja 25 600, ilmalämpöpumppuja 18 900 ja poistoilmalämpöpumppuja 8 000), kun taas vertailun vuoksi läntisessä naapurissamme Ruotsissa on käytössä jo reilut 400 000 pientalolämpöpumppua, ja lisäksi kaukolämpölaitokset tuottavat lämpöpumpuilla energiaa yhden ydinreaktorin verran. Samalla lämpöpumpuista on Ruotsissa kehittynyt menestyvä teollisuudenala, jonka vientinäkömät ovat erittäin valoisat. (Motiva 2005 c.; SULPU 2005.) Kuvassa 19 on tarkasteltu lämpöpumppujen myyntikehitystä Suomessa vuosina 1994-2000.

Suomen Lämpöpumppuyhdistys SULPU ry

Suomen lämpöpumput 1994-2000

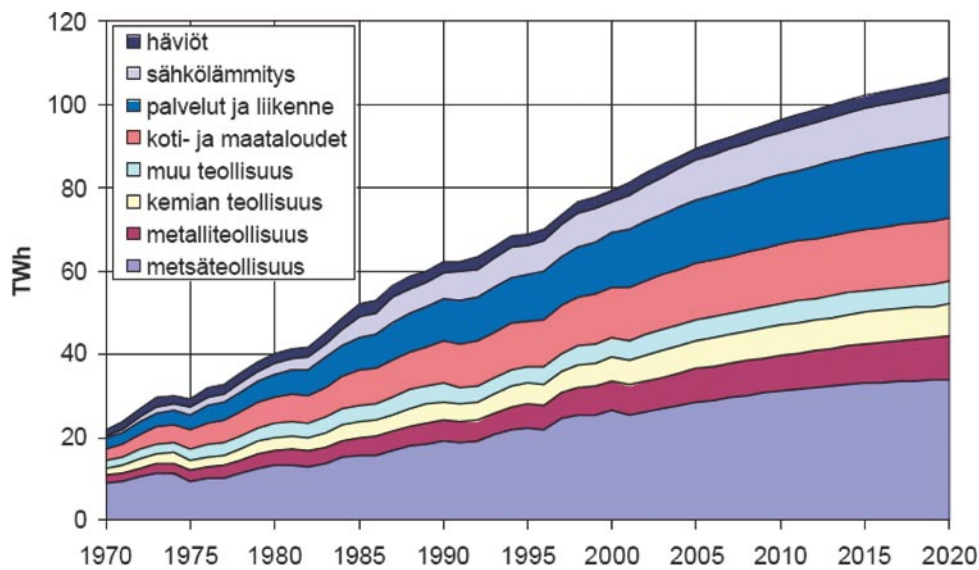
Kuva 19. Lämpöpumppujen myyntikehitys Suomessa, vuosina 1994-2000. (Sulpu, 2005.)

Omakotitalorakentajista jo yli 15 % valitsi vuonna 2001 talonsa lämmitysmuodoksi joko maa- tai poistoilmalämpöpumpun. Öljylämmityksen valitsi enää 5 %. Vertailun vuoksi vuoden 1996 omakotitalon rakentajista öljylämmityksen valitsi vielä yli 20 % ja lämpöpumppulämmityksen vajaan 2 %. (Motiva 2005 c.) KTM:n mukaan lämpöpumppujen hyödyntäminen on edennyt hyvin. Edistämistoiminta on painottunut informaatiotoiminnan tukemiseen. Lämpöpumpuilla tuotetun energian tavoitteiden saavuttamiseksi tuetaan alan teknologian korkean tason ja luotettavuuden turvaamista. (KTM, 2005 f.) Tutkimukset ovat osoittaneet, että lämpöpumput voisivat vähentää lämmityksestä johtuvia CO₂-päästöjä ja muita ilmansaasteita Euroopassa 30 – 50%. Eri sektoreilla (kotitaloudet, teollisuus) käytettävien lämpöpumppujen CO₂-päästövähennyspotentiaali on noin 6% globaaleista päästöistä. Tämä on yksi suurimmista säästöpotentiaaleista, jonka yksi teknologia voi tarjota. (Eurelectric 2004.)

4 ENERGIAN JAKELUUN JA KÄYTTÖÖN LIITTYVÄT TEKNOLOGIAT JA PALVELUT

4.1 Sähkön jakelun, varastoinnin ja käytön haasteet

Sähkön kokonaiskulutus Suomessa oli 83,5 TWh vuonna 2002, 85,2 TWh vuonna 2003 ja vuonna 2004 86,8 TWh (TVO 2005). Finergyn arvioiden mukaan sähkön tarve kasvaa yli 96 TWh:iin vuoteen 2010 mennessä. Kuvassa 20 on tarkasteltu sähkön kulutuksen kehittymistä sektoreittain vuosina 1970-2020. Keskimäärin kasvun on ennustettu olevan noin 1,4 % vuodessa vuodesta 2002 vuoteen 2020. Menneeseen kehitykseen verrattuna kehitys on huomattavasti hitaampaa. Teollisuuden ja rakentamisen sähkönkäytön arvioidaan olevan vuonna 2010 noin 17 % ja vuonna 2020 noin 28 % suurempi kuin vuonna 2002. Sähkövaltaisista teollisuussektoreista nopeinta kasvu on metalliteollisuudessa. Sähkön käytön kasvun myötä myös siirto- ja jakeluhäviöt kasvavat hieman. Tätä sähköntarvearviota voidaan pitää suhteellisen varovaisena, koska siihen on laskettu mukaan huomattavaa energiatehokkuuden paranemista. On siis mahdollista, että sähkön tarve kasvaa tässä arvioitua nopeammin. (Finergy 2004, 8-12.) Sähkönkulutuksen kasvun voidaan katsoa johtuvan teollisuuden rakennemuutoksesta (savupiipputeollisuudesta jalostusteollisuuteen siirtyminen), jonka seurauksena primäärienergiankulutus hidastuu sähkönkulutuksen samanaikaisesti kasvaessa.



Kuva 20. Sähkön kulutus Suomessa sektoreittain vuosina 1970-2020, TWh (Finergy 2004, 8).

KTM:n (2001) BAU-skenaarion mukaan sähkön kokonaiskulutus nousisi hieman yli 90 TWh:iin vuonna 2010 ja 99 TWh:iin vuonna 2020. Maltillisemmissä KTM:n skenaarioissa sähkönkulutus olisi 87,9-89,8 TWh vuonna 2010 ja 94,7-97,2 TWh vuonna 2020. Joka tapauksessa sähkön kulutuksen ennakoitaan nousevan edelleen melko voimakkaasti. Päästökauppa on uusi sähkön käyttöön vaikuttava epävarmuustekijä. Se tulee nostamaan fossiilisella energialla tuotetun sähkön

hintaa ja alentamaan uusiutuvalla energialla tuotetun sähkön hintaa, mutta vaikutuksen suuruutta on vaikea ennakoida. Sähkön hinnan nousulla on merkitystä erityisesti sähkön käyttöön sähkövaltaisessa teollisuudessa ja lämmityksessä.

Suomen sähkömarkkinat avattiin asteittain kilpailulle 1990-luvun puolivälin jälkeen. Sähkömarkkinalaki astui voimaan vuonna 1995, ja alussa vain suuret sähkökäyttäjät saivat valita toimittajansa vapaasti. Vuoden 1997 alusta lähtien kaikki sähkökäyttäjät saivat valita sähkömyyjänsä, mutta vaatimuksena oli tunnittainen mittarointi, mikä käytännössä jätti pienkuluttajat kilpailun ulkopuolelle. Syksyn 1998 jälkeen ovat kaikki sähkökäyttäjät voineet vapaasti kilpailuttaa sähköntoimittajansa. Sähkömarkkinoiden avaamisen yhteydessä perustettiin kantaverkkoyhtiö Finngrid Oyj. Monopoliliiketoiminnan valvontaa ja viranomaistehtäviä varten perustettiin Energiamarkkinavirasto. Suomi, Ruotsi, Norja ja Tanska muodostavat yhteispohjoismaisen sähkömarkkina-alueen. Etuna on, että sähköä voidaan tuottaa aina niissä voimalaitoksissa, joissa tuotanto on kulloinkin edullista. Pohjoismainen sähköpörssi Nord Pool perustettiin vuonna 1993, ja Suomi liittyi pörssiin vuonna 1998. (Energia Suomessa 2004, 194-197.)

Suomen sähköjärjestelmä koostuu voimalaitoksista, valtakunnallisesta kantaverkosta, erillisistä alueverkoista, paikallisten verkkoyhtiöiden hallitsemista jakeluverkoista sekä sähkön kuluttajista. Suomen sähköjärjestelmä on osa yhteispohjoismaista sähköjärjestelmää (Nordel) yhdessä Ruotsin, Norjan ja Tanskan kanssa. Yhteistyössä voidaan hyödyntää eri Pohjoismaiden erilaisia sähköntuotantorakenteita. Kantaverkko on valtakunnallinen suurjännitteinen sähkönsiirtoverkko, johon kuuluvat 400 kV:n, 220 kV:n ja tärkeimmät 110 kV:n johdot. Alueverkko koostuu kantaverkkoon kuulumattomista vähintään 110 kV:n verkostoista ja jakeluverkko on paikallisten verkkoyhtiöiden hallussa oleva alle 110 kV:n jännitteinen sähköverkko, johon sisältyy sekä keski- että pienjänniteverkko. Eri jännitteillä toimivat verkot liittyvät toisiinsa sähköasemien välityksellä, joissa muuntajat muuntavat sähköenergian siirron jännitetason ylempään alemmalle tai päinvastoin. (Energia Suomessa 2004, 78-79.)

Keskijänniteverkon käyttövarmuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota, koska sähkökäyttäjien kokemista sähköntoimituskeskeytyksistä yli 80 % on peräisin keskijänniteverkossa olevista vioista. Uusi tietotekniikka on herkkä lyhyillekin sähkökatkoksille, jotka aiheuttavat tuotantotappioita teollisuudessa ja liike-elämässä. Tieto- ja tiedonsiirtotekniikan kehittyminen on mahdollistanut sen, että nykyaikaisella verkostoautomaatiolla ja tietojärjestelmillä käyttötoimintaa voidaan tehostaa. (Energia Suomessa 2004, 83.)

Suomen energiaklusterin teollisuus valmistaa kattavasti sähkön siirron ja jakelun laitteita. Lisäksi teollisuus on kansainvälisesti katsottuna hyvässä asemassa sähkönjakeluverkon järjestelmien ja ohjelmien tuotannossa. Eräissä tuotteissa on kotimaista kilpailua, mutta useimmiten yritykset täydentävät toisiaan ja vahvimmat kilpailijat löytyvät maailmanmarkkinoilta. Sähkön siirron ja jakelun teknologia on selvässä murroskaudessa. Kansalliset kilpailurajoitukset ovat poistuneet ja kansalliset sähkömarkkinat ovat yhdistymässä alueellisiksi useampia valtioita kattaviksi sähkömarkkinoiksi. Nämä muutokset yhtenäistävät eri maissa käytettäviä tekniikoita. Näin yritykset yhä useammilla toimialoilla kilpailevat yksillä globaaleilla markkinoilla, jonka seurauksena skaalaetuja omaavilla toimialoilla toiminta keskittyy harvempien yritysten käsiin. Sähkömarkkinoiden vapaus korostaa sähköverkon systeemiluonnetta, mikä vaikuttaa teknologiaan. Toinen elementti on verkkotoiminnan tehostamisvaatimus. Verkon on välitettävä laadukasta sähköä edullisin kustannuksin ja sähköverkkoa on voitava optimoida erilaisissa

muuttuvissa tilanteissa. Kaiken tämän vuoksi verkossa ja sen laitteissa on oltava enemmän älyä ja kommunikaatiokykyä. (Hernesniemi & Viitamo 1999, 143-144.)

Suomella on erinomaiset mahdollisuudet hyötyä näistä muutoksista. Kotimaisten sähkömarkkinoiden vapautuminen ja yhteispohjoismaiset sähkömarkkinat ovat tehneet kotimarkkinoista uuden teknologian koelaboratorion. Energiayritysten liiketoiminnassa painottuvat nyt ennen kaikkea taloudellisuus, tehokkuus, energiakaupan lisääntyvä kilpailu ja asiakastarpeiden huomioon ottaminen. Olennaisia kilpailuetuja tarjoaa kotimainen ICT -osaaminen. (Hernesniemi & Viitamo 1999, 144.)

Sähkön siirto- ja jakelujärjestelmät ja niiden laitteet rakennetaan yleensä siten, että niiden käyttöikä on 30-40 vuotta. Järjestelmän radikaali uusiutuminen ei ole mahdollista, ellei tekniikan kehittyminen tuo mukanaan jotakin sellaista, mikä mullistaisi siirto- ja jakeluverkon kokonaan. Sellainen uudistus on ensi vuosikymmenellä alkamassa. Vuonna 2020 sähköenergian tuotannon hajautuksen takia siirtoverkkoa tarvitaan vähemmän, siirtokatkoksia tapahtuu vähemmän sekä jakelun luotettavuus on korkeampi paremman huollon ja automaation sekä lisääntyneen kaapeloinnin ansiosta. Siten sähköjärjestelmä on paljon nykyistä keskitettyä mallia luotettavampi. Lisääntyneen hajautetun tuotannon takia siirtoverkon älykkyys on huomattavasti korkeammalla tasolla kuin nyt ja demand-side-management ja supply-side-management ovat yleisessä käytössä.

Sähkön siirron ja jakelun toimintaympäristö on siis tulevaisuudessa nykyisestä poikkeava. 20 vuoden kuluttua yhä suurempi osa verkkoyhtiön toiminnasta tapahtuu kilpailutettujen palveluntarjoajien toimesta. Verkkoyhtiöiden ja muiden alalla toimivien yritysten liiketoimintamallit ovat muuttuneet voimakkaasti. Uutena liiketoimintamuotona on pientuottajien sähkön välittäjä-toiminta. Sähkön myyjä, jakelija ja välittäjä ovat kiinteässä kosketuksessa asiakkaidensa kanssa tietoverkkojen välityksellä. Jatkossa myös sähkön varastoiminen lisääntyy, vaikka läpimurtoa sähköenergian suurimittaiseen varastointiin ei olekaan näköpiirissä. Sähkön käyttötekniikan odotetaan kehittyvän jatkossa merkittävästi.

Merkittäviä sähkönjakelun ja siirron toimintaympäristön haasteita seuraavien 20 vuoden aikana ovat (Energia Suomessa 2004, 293):

- Viranomaisvalvonta
- Kilpailun lisääntyminen
- Ympäristövaatimukset ja energian säästö
- Sähkön laadun parantaminen
- Kokonaisvaltainen asiakaspalvelu
- Verkostojen vanheneminen
- Tekniikan kehitys
- Hajautettu tuotanto
- Sähkön käyttötekniikka
- Tietotekniikka ja automaatio
- Sähkön siirto- ja jakelutekniikka

Huoli energiavarojen riittävydestä ja elinympäristömme hyvinvoinnista on herättänyt kiinnostusta sähköntuotannon hajauttamista ja uusiutuvia energialähteitä kohtaan. Hajautetun sähköntuotannon

perusajatuksena on tuottaa sähköenergiaa siellä, missä sitä tarvitaan. Näin vältetään häviöitä aiheuttava energian siirto ja ennen kaikkea mahdollistetaan paikallisten energialähteiden hyödyntäminen. Hajautetun tuotannon määritelmä ei rajaa energialähdettä, mutta useimmiten tuotanto perustuu uusiutuviin energialähteisiin. Sähköenergian hajautetuista tuotantotekniikoista käytetyimpiä ovat pienvesivoima, tuulivoima sekä biomassan polttoprosessit. Tuulivoiman ennustetaan nousevat näistä tärkeimmäksi tekniikaksi seuraavien vuosikymmenten aikana. Se ei kuitenkaan yksistään riitä turvaamaan energian saantia tulevaisuudessa. Polttokennoihin ja vetyteknologiaan liittyy vielä monia keskeisiä ratkaisemattomia ongelmia, koska vety ei esiinny vapaana luonnossa, vaan se tavallisimmin erotetaan jostakin fossiilisesta polttoaineesta. Tältä pohjalta polttokennot eivät tuo lopullista ratkaisua fossiilisten polttoaineiden korvaamiseen ja ympäristöystävälliseen sähköntuotantoon. Hyväksi vaihtoehdoksi jää tällöin aurinkoenergian suora hyödyntäminen. Teknologinen kehitys fotosähköisen energiamuunnoksen osalta on jo melko pitkällä, ja nykyiset aurinkokennot tuottavat selvästi enemmän energiaa kuin niiden valmistuksessa käytetään. (Poikonen et al 2005, 126.)

Ennen kuin hajautettu sähköntuotanto voi laajamittaisemmin yleistyä, on ratkaistava tuotannon sähköverkkoon liittämistä koskevat epäkohdat ja tekniset ongelmat. Suomessa sähkömarkkina-laki velvoittaa verkonhaltijan liittämään ehdot täyttävän tuotantolaitteiston verkkoonsa. Selkeät ja syrjimättömät pelisäännöt verkkoon liittymiselle kuitenkin puuttuvat, ja lainsäädäntö on kehittymätöntä. Toistaiseksi verkkoon liittyminen perustuu verkonhaltijan ja sähköntuottajan tapauskohtaiseen sopimukseen. Hajautetun voimantuotannon kannalta verkkoon liittämisen voi ongelmaiksi muodostua mm. suojausten tekninen luotettavuus ja toimintavarmuus. Sähkön tuottaminen useissa pienissä voimaloissa suurten yksiköiden asemesta ei ole edes mahdollista sähköverkkojen nykyisellä suojaustekniikalla. Asiaa mutkistavat vielä sähköverkon suojauksessa nykyisin käytetyt pikajälleenkytkennät. Tiettyä osaa hajautetun sähköntuotannon tekniikoista leimaa tuotannon epäsäännöllisyys, mikä voi näkyä sähkön laadussa. Tuotantoa ei tällöin kannata liittää suoraan sähköverkkoon pyörivän sähkökoneen kautta, vaan generaattorin ja verkon väliin laitetaan yhä useammin vaihtosuuntaaja huolehtimaan tuotannon taajuuden vaihteluista. (Poikonen et al 2005, 127.)

Sähköverkkoon liittymisen lisäksi myös korkeat investoinnin pääomakustannukset ovat hajautetun sähköntuotannon kynnyskysymys. Esimerkiksi CHP -laitoksella energian tuotantokustannukset jäävät usein erillistuotannon ja ostosähkön vaihtoehtoa alhaisemmiksi, jolloin suuri alkuinvestointi on merkittävä este hankinnalle. Uusiutuvia energialähteitä käyttäville laitoksille maksettavat investointituet nousevat tällöin merkittävään rooliin. Alkuinvestoinnin lisäksi CHP -järjestelmän kannattavuuteen vaikuttavat muutkin tekijät, kuten energiamarkkinoiden tila, polttoaineiden hintasuhteet sekä verkkoon liittymisen ja energianmyynnin kustannukset. Tuotannon ohjaaminen vastaamaan kulutusta ja sen vaihteluita edellyttää monipuolista energiajärjestelmää, jolloin oikealla tavalla suunnitellut ja toteutetut sähköenergiaa tuotantomuodot voivat täydentää ja tukea toisiaan. (Poikonen et al 2005, 126.)

Sähkön kulutuksen kasvu on aikaisempaa hitaampaa ja vaikeammin ennakoitavissa. Tämä puoltaa pienempien yksiköiden rakentamista, jolloin ne voidaan kooltaan ja rakentamisajankohdiltaan sopeuttaa todelliseen kulutuksen kasvuun. Sähkön alhainen ja epävarma markkinahinta saattaa olla este suurten voimalaitosinvestointien tekemiselle jatkossa. Lisäksi hajautetun tuotannon tekniikat kehittyvät koko ajan ja sähkön tuotantokustannus laskee. Myös ympäristöperustainen julkinen tuki parantaa joidenkin hajautetun tuotannon laitosten kilpailukykyä. (Energia Suomessa 2004, 294-295.)

Tietojärjestelmien ja automaation integrointi sähköjärjestelmiin on tehostanut sähköyhtiöiden toimintaa ja mahdollistanut uusia toimintatapoja. Uusilla informaatiotekniikan sovelluksilla luodaan edellytyksiä ratkaista edellä kuvattuja asiakkuuden hallintaan, sähkön laatuun, kunnonvalvontaan ja verkosto-omaisuuden hallintaan sekä hajautettuun tuotantoon liittyviä kysymyksiä. (Energia Suomessa 2004, 295.)

Primääriverkon komponenteissa ja verkostoratkaisuissa tapahtuu jatkuvaa kehitystä esimerkiksi uusien materiaalien ja tekniikoiden suhteen. Tehopuolijohteiden kehittyminen voi muuttaa merkittävästi sähkönjakelutekniikkaa. Ne ovat transistorityyppisiä komponentteja, jotka pystyvät toimimaan suurilla virroilla. Näistä muodostettujen säätölaitteiden avulla sähkön siirtoa voidaan kontrolloida hyvin tarkasti, jolloin voimajohtojen kapasiteetti ja tehonsiirtokyky voidaan maksimoida. (Energia Suomessa 2004, 295.)

Yksi tulevaisuuden haasteista liittyy sähkön varastointiin. Energian varastointitekniikkaan liittyvän kehityksen perustana on ollut sähkö- ja hybridiajoneuvojen kehitys, hajautetun sähkönjakelun kehitys, uusiutuvia energialähteitä hyödyntävän voimantuotannon kehitys, ympäristönsuojelulliset näkökohdat sekä sähkön jakelun luotettavuus- ja laatuongelmat. Energiavarastojen käyttö tuo taloudellisia etuja, koska ne mahdollistavat kysynnän vaihtelujen ja huippukuormituksen optimaalisen hyödyntämisen. Energian varastointitekniikka on pääosin perustaltaan vanhaa tekniikkaa, jonka kehittymistä esimerkiksi materiaalitekniikan kehittyminen on vauhdittanut. Esimerkiksi faasinmuutosmateriaalien ja uusien kylmäaineiden käyttö tuo uusia tutkimustarpeita ja tuotteita lämpö- ja kylmävarastointiin. Mikro- ja nanotekniikan tutkimus sekä lisääntynyt tietämys ovat tuomassa merkittävää panosta niin akku- kuin kondensaattori- ja polttokennotekniikkaan. Toisaalta useimmat energian varastointitekniikat (mm. vauhtipyörät, SMES, virtausakut, regeneroivat polttokennot) vaativat tehokkaan ja monipuolisen hallintajärjestelmän, joten ohjausjärjestelmän tehoelektroniikkaan ja muuhun sähkö- ja oheistekniikkaan liittyvään kehitykseen tarvitaan panostusta edelleen. Integroituminen muihin järjestelmiin ja verkkoon liittynän hallintakonseptit, ohjeet, säännöt, standardit ja suojauksen/ohjauksen hallintalaitteet vaativat edelleen panostusta ja pitkälti myös maakohtaisia versioita, joten energian varastointiin liittyvät tuotteet tarjoavat runsaasti kehitysmahdollisuuksia myös suomalaisille yrityksille. (Alanen et al 2003, 3)

Varastointitekniikkaa pyritään kehittämään kahteen suuntaan. Toisaalta kehitetään suuria keskitettyjä varastoja, joilla sähkön tuotanto- ja siirtokapasiteettia voitaisiin hyödyntää nykyistä paremmin. Tällä hetkellä veden gravitaatioon ja paineilmaan pohjautuvat tekniikat ovat useissa maissa laajassa kaupallisessa käytössä, mutta eivät vielä Suomessa. Uudenlaisiakin teknologioita on suunnitteilla, esimerkiksi suuria, halkaisijaltaan kilometrien suuruisia suprajohtavia magneetteja. Koelaitoksia jo suunnitellaan, mutta tekniikka voinee tulla laajamittaisempaan käyttöön noin 25 vuoden kuluttua. Toinen lähempänä käytäntöä oleva tekniikka on sähköakkujen ja polttokennojen hyödyntäminen. Ne voidaan sijoittaa pieninä yksiköinä lähelle kulutusta tasaamaan kulutusvaihteluja verkossa, jolloin verkostot voidaan mitoittaa nykyistä tehokkaammiksi. Taloudellisuus riippuu pitkälti akkutekniikan tulevasta kehityksestä. (Energia Suomessa 2004, 295.) Tulevaisuuden ratkaisuksi on esitetty myös sähköenergian varastointia vedyn muodossa. Kondensaattoreita lukuun ottamatta kaikki yllä mainitut tällä hetkellä tai lähitulevaisuudessa käytettävissä olevat varastointitekniikat perustuvat kuitenkin sähköenergian muuttamiseen joksikin muuksi energiaksi, mikä heikentää merkittävästi varastoinnin hyötysuhdetta.

4.2 Energiaintensiivisen teollisuuden energiankäyttö

Teollisuus on ollut Suomen suurin energiankuluttaja koko sotien jälkeisen ajan. Suomen teollisuus on alkuvaiheistaan saakka ollut hyvin energiaintensiivistä, eivätkä eri teollisuudenalojen osuudet ole olennaisesti muuttuneet viime vuosikymmeninä. Metsä-, kemian- ja metalliteollisuus ovat perinteiset energiaintensiiviset teollisuudenalat Suomessa. (Energia Suomessa 2004, 46.) Teollisuus käyttää noin puolet koko Suomen energiasta. Lähes 80 % teollisuuden energiasta käytetään edellä mainitussa prosessiteollisuudessa. Vuonna 2004 teollisuus käytti 53 % koko Suomen sähköstä ja eniten sähköä käytti metsäteollisuus. Elinkeinoelämän keskusliiton arvion mukaan sähkön tarve kasvaa edelleen vuonna 2005 yli kolmella prosentilla. Elinkeinoelämän keskusliitto arvioi kulutuksen kasvavan lähivuosina keskimäärin noin kahden prosentin vuosivauhdilla. (EK 2005.) Finergyn (2004) arvioiden mukaan sähkön tarve kasvaa n. 1,4 % vuodessa.

Yksi vaihtoehto energiansäästötoimenpiteiden toteuttamiseksi on ESCO-konsepti, jossa ESCO (= Energy Service Company) ottaa kokonaisvastuun energiansäästöhankkeen rahoituksesta ja teknisestä toteutuksesta. Investointi maksetaan takaisin sen tuottamalla säästöillä, jolloin se asiakkaan kassavirran näkökulmasta toteutetaan ”ilmaiseksi”. ESCO -konsepti yleistyy maailmalla nopeasti, koska siinä yhdistyy tehokkaasti toiminnan taloudellisen kannattavuuden parantuminen ja energiankäytön aiheuttaman ympäristökuormituksen pienentyminen. (Motiva 2005.)

Puulla on merkittävä osuus teollisuuden energiantuotannossa. Tärkeimmät teollisuuden puuenergiälähteet ovat paperin raaka-aineena käytettävän sellun valmistuksessa syntyvät bioliemet. Niiden osuus on teollisuuden energiankäytöstä 34 %. Kuorien ja muiden massa- ja paperiteollisuuden jatkojalostukseen kelpaamattomien jättepuiden osuus on 15 %. Viime vuosina myös metsän hakkuutähteiden ja kantojen hyödyntäminen energian tuotantoon on lisääntynyt merkittävästi. Turpeen osuus teollisuuden polttoainekäytöstä on viisi prosenttia. Teollisuuden energiankäytöstä 19 % on maa- ja nestekaasua. Raskaan polttoöljyn osuus on saatu 1970-luvun alusta tiputettua 11 %:iin kaikesta energiankäytöstä. Kivihiiltä, koksia ja masuunikaasuja käytetään teollisuuden energian tuotannossa 13 %. (EK 2005.)

Energian käytön tehostamista teollisuudessa edistävät saavutetut kustannussäästöt, suotuisat ympäristövaikutukset ja tuotteiden markkinahyväksyttävyyden lisääntyminen. Nykyisiin energiansäästösopimuksiin sisältyy energiatehokkuuden seuranta, säästösuunnitelmien laadinta, energiansäästöinvestoinnit ja uuden energiatehokkaan teknologian käyttöönotto. Prosessiteollisuus on solminut valtiovallan kanssa vuonna 1997 vapaaehtoisen energiansäästösopimuksen, jonka tärkeimpänä tavoitteena on tuotteiden ominaisenergian kulutuksen laskeminen. Sopimusten piirissä on yli 80 % teollisuuden energiankäytöstä. 2000-luvun alussa kasvihuonepäästöjen vähentäminen ja kansallinen ilmastostrategia ovat luoneet tarpeen energian käytön tehostamistoimille ja -ohjelmille, joiden onnistumisella on huomattava merkitys kansallisten päästövähennystavoitteiden saavuttamisen kannalta. Myös päästökaupan arvioidaan kannustavan energiansäästötoimenpiteisiin teollisuudessa. (Energia Suomessa 2004, 212.)

Käytössä olevan tuotantolaitoksen energian käytön tehostamiseen on käytettävissä esimerkiksi seuraavia toimia:

1. ajotapamuutokset ja perushuollot (tarpeettomien kulutusten poiskytkentä, lämpöpintojen puhdistus),
2. ohjaustoimenpiteet ja yksinkertaiset muutokset (säätöpiirien viritys, pumpun juoksupyörän sorvaus pienemmäksi) ja
3. laiteinvestointeja vaativat muutokset (lämmönsiirtimen tai taajuusmuuttajan hankinta, laajat putkisto- tai kanavistomuutokset tai prosessilaitteen uusinta).

Säästökohteiden paikantamiseksi tarvitaan perusteelliset tiedot prosessista: aine- ja energiataseet, tuotekohtaiset ominaiskulutukset, lämpötilatasot jne. Uutta tehdasta suunniteltaessa voidaan valita energiatehokkainta tekniikkaa. Energiansäästöinvestoinnin toteutuspäätökseen vaikuttavat olennaisesti energian hinta ja sen kehitysnäkymät. Koko elinkaaren aikaisten kustannusten selvittäminen, oikea kohdentaminen ja hallinta suosivat energiatehokasta tekniikkaa. Sähköenergian käytön tehostamisessa kyse on lähinnä yksittäisten laitteiden hyötysuhteen parantamisesta, laitteiden oikeasta mitoituksesta, hylkytuotannon ja vajaakapasiteettiajon minimoinnista sekä tuotantoprosessien yksinkertaistamisesta. Lämpöenergiaa käytetään teollisuudessa höyrynä ja suorina prosessipolttoaineina. Lämpöä voidaan hyödyntää vielä sen primäärikäytön jälkeenkin. Merkittävimmät säästömahdollisuudet ovat sekundäärilämpöjärjestelmän optimoinnissa, varastointijärjestelmien kehittämisessä syklisissä prosesseissa, lämpöpumppu- ja lauhdutusjärjestelmien käyttöönotossa sekä säteily- ja haihtumishäviöiden pienentämisessä laitteiden eristystä kehittämällä. (Energia Suomessa 2004, 212-213.)

4.2.1 Metsäteollisuus

Paperi valmistetaan massasta, joka paperilaadusta riippuen sisältää eri suhteissa kemiallista ja mekaanista massaa. Paperia valmistetaan myös pelkästään selluloosasta, jonka valmistuksessa tarvitaan merkittävästi lämpöä toisin kuin mekaanisen massan valmistuksessa, joka on puolestaan erittäin sähköintensiivistä. Viime vuosina valmistus on suuntautunut yhä enemmän korkeatasoiisiin päällystettyihin painopapereihin, jolloin paperi sisältää aiempaa enemmän mekaanista massaa, hioketta tai hierrettä ja on aiempaa sähköintensiivisempää. Merkittävintä lämmönkulutus on keittossa, mustalipeän haihdutuksessa ja mahdollisessa sellun kuivatuksessa. Soodakattilasta saatava höyrymäärä vastaa koko selluprosessin tarvetta. Sellun valmistukseen tarvittava lämpö ja sähkö saadaan soodakattilasta ja siihen kytketystä höyryturbiinista. Selluloosan valmistusprosessin energiataloutta on tehostettu merkittävästi viime vuosikymmenien aikana. Tärkeimmät toimenpiteet ovat olleet mustalipeän kuiva-ainepitoisuuden nosto ja keittoprosessien kehitys. Sähkönkulutusta ovat lisänneet jäteveden ja savukaasujen puhdistuksen sekä valkaisu- ja värjäysprosessien muutokset. Tehtaan energiataseeseen vaikuttavat myös tarve edelleen vähentää tarvittavan raakaveden ja kaatopaikalle sijoitettavan lietteen määrää. (Energia Suomessa 2004, 47-49.)

Mekaanisessa massanvalmistuksessa tarvitaan ainoastaan sähköä. Syntyvä sekundaarilämpö hyödynnetään muualla tehtaan prosesseissa ja joissain tapauksissa kaukolämpönä. Toistaiseksi energiankulutuksen aleneminen on kompensoitunut lopputuotteen jalostusasteen nousussa, jolloin kulutus on pitkään säilynyt samalla tasolla tuotantoyksikköä kohden. Teoreettinen energian minimitarve kuitujen irrottamiseen on vain muutama prosentti nykyisestä ominaiskulutuksesta. (Energia Suomessa 2004, 214-215.)

Paperinvalmistusprosessissa lämpö kuluu lähes kokonaisuudessaan kuivatusosassa höyrylämmittämissä kuivatussyntereissä. Kuivatusosalta poistuvan lämpimän ja kostean ilman avulla lämmitetään korvausilmaa ja prosessivesiä. Sähköä käytetään viiraosan imujärjestelmässä vedenpoistoon, koneen käyttöön, massan jauhatukseen, pumppuihin, puhaltimiin ja mahdollisiin infrapunakuivaimiin. Paperitehtaan höyry saadaan sellutehtaaseen integroidussa tehtaassa sellutehtaan sooda- ja kuorikattilasta, muissa tapauksissa paperitehtaan monipolttoainekattilasta. Osa sähköstä ostetaan aina tehtaan ulkopuolelta. Paperin valmistuksen energiataloutta on parannettu nostamalla rainan kuiva-ainetasoa puristinosalla, imujärjestelmän käytön optimoinnilla sekä kuivatusosan ja lämmöntalteenottojärjestelmän kehittämällä. (Energia Suomessa 2004, 49.) Paperinvalmistuksessa laitetekniikan kehitystä ohjaa pyrkimys konenopeuksien nostoon, lajinvaihdon nopeuttamiseen ja vedenkäytön vähentämiseen. Nopeuden nosto edellyttää nykyistä tehokkaampaa vedenpoisto- ja kuivatustekniikkaa. Massan- ja paperinvalmistuksen energian ominaiskulutuslukuja on koottu taulukkoon 4. Suurimmat tehostamismahdollisuudet liittyvät mustalipeän kaasutustekniikan käyttöönottoon.

Taulukko 4. Metsäteollisuustuotteiden energian ominaiskulutukset. (Energia Suomessa, s.50.)

	Sähkönkulutus, kWh/t	Lämmönkulutus, GJ/t
Havusulfaattisellu, valkaistu	680	12,0
Lehtisulfaattisellu, valkaistu	620	10,5
Hioke ja painehioke, karkea	1 550	0,0
Hioke ja painehioke, hieno	2 100	0,0
Kuumahierre (TMP), karkea	2 400	-2,7 (kehitetty lämpö)
Kuumahierre (TMP), hieno	3 300	-4,2 (kehitetty lämpö)
Kemihierre (CTMP)	1 650	2
Siistattu kierrätysmassa	400	1,5
Sanomalehtipaperi	570	5,2
Puupitoinen päällystämätön paperi	640	5,2
Puupitoinen päällystetty paperi	800	5,2
Puuvapaa päällystämätön paperi	660	6,8
Puuvapaa päällystetty paperi	870	7,6
Nestepakkauskartonki	840	7,0

4.2.2 Rauta- ja terästeollisuus

Integroidut terästehtaat käyttävät sekä malmipohjaista rautaa että romua raaka-aineenaan ja hyödyntävät masuuniteknologiaa raakaraudan valmistuksessa. Raakarauta tuotetaan masuuneilla, joissa raudan oksidit pelkistetään raakaraudaksi häkä- ja vetykaasun avulla. Niitä syntyy, kun kivihiilestä valmistettu koksi ja öljynjalostuksen sivutuotteena saatava erikoisraskas pohjaöljy palaavat masuunissa. Masuunikaasua hyödynnetään masuuniin puhallettavan ilman esilämmityksessä, muissa tehtaan prosesseissa sekä sähköntuotannossa. Malmipohjaisen teräksentuotannon energiankulutus on romupohjaista suurempi, koska raudan pelkistäminen malmista hiilen avulla vaatii kemiallista energiaa. Energiatalouden näkökulmasta juuri masuuniprosessi kuluttaa valtaosan, noin 2/3, raudan ja teräksen valmistuksessa tarvittavasta kokonaisenergiasta. Energiankulutukseen masuunissa vaikuttaa malmin laatu ja sen muoto, erikoisraskaan polttoöljyn käyttö korvaten osan koksia, puhallusilman laatu (kosteus, lämpö ja paine), puhallusilman rikastaminen hapella sekä itse prosessin tehokas ohjaaminen ja säätö. Koksi valmistetaan kivihiilestä tehtaan kooksaamossa. Myös masuunin koko vaikuttaa energiankulutukseen. Terästeollisuuden hiilidioksidipäästöistä suurin osa syntyy juuri koksien ja muiden pelkistysaineiden käytöstä masuunissa malmipohjaisen raudan valmistamiseksi. Metalliteollisuuden energiankulutuksen jakautumista on tarkasteltu taulukossa 5. (Energia Suomessa 2004, 55-56.)

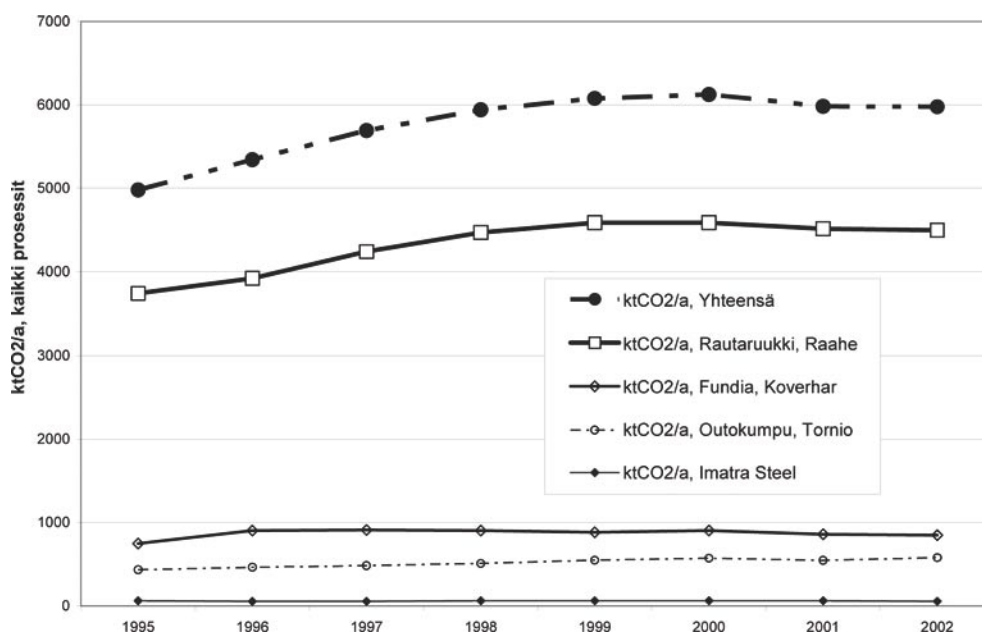
Taulukko 5. *Energiankulutus metalliteollisuudessa. (Energia Suomessa 2004, 55-56.)*

Tuotanto	Sähkö	Lämpö	Polttoaineet
Raudan ja teräksen jalostus	3,0 TWh	4,4 PJ	65,4 PJ
Metallituotteiden valmistus	0,6 TWh	0,6 PJ	1,7 PJ
Muiden metallien jalostus	1,5 TWh	2,5 PJ	2,9 PJ
Koneet, kulkuneuvot ja sähkötekn.tuotteet	2,2 TWh	3,8 PJ	2,1 PJ
Yhteensä	7,3 TWh	11,2 PJ	72,1 PJ

Suomalaisen metallinjalostusteollisuuden kilpailukyky on perustunut vahvaan uusimpien teknologisten mahdollisuuksien hyödyntämiseen sekä asiakaslähtöiseen joustavaan ja korkeaan laatuun tähtäävään toimintaan. Kilpailukykyä lisäävät myös erikoistuminen ja kustannustehokkuus, jonka tärkeä osa-alue on energian käytön tehokkuus. Viime aikoina Suomessa on kehitetty rautamalmia käyttävän teräksenvalmistuksen tuotannon ohjausta, sulatusten ajoitusta sekä jatkuvavaluprosessien masuunin, konvertterin ja kuumennusuunien ohjausjärjestelmiä. Lisäksi on etsitty mahdollisuuksia masuunin pelkistysaineiden ominaiskulutuksen ja hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen. Esimerkiksi vetyyn perustuvat pelkistysteknologiat saattavat tulevaisuudessa myötävaikuttaa eri metallien valmistukseen sovellettuna merkittävästi energiankäytön tehostumiseen ja hiilidioksidipäästöjen vähentymiseen. Ominaisenergiankulutuksen vuotuinen aleneminen on ollut 1 %:n tasolla, mutta tuotannon määrät ovat kasvaneet tätä voimakkaammin. (Energia Suomessa 2004, 217-219.)

Teräsaihioiden tuotanto on kasvanut Suomessa 50 % vuoden 1995 tasosta vuoteen 2003 mennessä. Värimetallien ja valujen tuotanto on tasaantunut vuoden 2000 jälkeen. Hiilidioksidipäästöjen kannalta merkittävin kokonaiskuvaan vaikuttava seikka on ollut Raahen terästuotannon kasvu, mutta lähitulevaisuudessa kasvua syntyy erityisesti Tornion tehtaan kapasiteettilaajennuksista. Malmipohjaisen

terästuotannon ja erillisten valssaamojen yhteenlasketut päästöt kattavat noin 90 % koko Suomen terästeollisuuden hiilidioksidipäästöistä ja yli 10 % koko päästökauppasektorin päästöistä. Kuvassa 21 on esitetty ”rautametallien jalostus” -ryhmän päästökauppajärjestelmän piiriin kuuluvien yritystoimipaikkojen kokonaishiilidioksidipäästöjen kehittyminen vuoteen 2002 asti. Kauppa- ja teollisuusministeriön selvityksen perusteella rautametallien valmistuksen hiilidioksidipäästöt kasvavat yritysten toimittamien tietojen perusteella vuoteen 2005 mennessä 15 % vuoden 2002 tasolta. Tiedossa olevien päästöjen vähennyskeinojen avulla päästöjä kyettäisiin leikkaamaan ainoastaan 2,8 %, jolloin kasvu olisi noin 12 % vastaten hiilidioksidin 6,5 Mt/a päästötasoa. Yhteenvetona voidaan arvioida, että hiilidioksidipäästöt kasvavat rautametallien tuotannossa ja jalostuksessa tarkastelluilla toimipaikoilla jopa tasolle 7,5 Mt/a (+29 %) vuoteen 2010 mennessä. (KTM 2005 b, 98-104.)



Kuva 21. ”Rautametallien jalostus” -ryhmän päästökaupan piiriin kuuluvien yritystoimipaikkojen hiilidioksidipäästöt ja ryhmän kokonaispäästöjen kehittyminen vuosina 1995-2002. Lukuarvot ovat suuntaa antavia. (KTM 2005 b, 99.)

Euroopan Komission rahoittamassa (40 M€) ULCOS (Ultra Low CO₂ Steelmaking) tutkimus- ja kehityshankkeessa kartoitetaan uusia mahdollisia teräksen valmistuskeinoja, joilla CO₂-päästöjä voitaisiin leikata huomattavasti. Vuonna 2004 alkanut hanke osallistaa 48 yritystä ja organisaatiota ympäri Eurooppaa, pitäen sisällään sekä teräksenvalmistajat, laitosvalmistajat, raaka-aineentoimittajat että yksityiset ja yliopistolaboratoriot. (EC 2005 c.)

4.2.3 Kemianteollisuus

Peruskemikaalien valmistukseen kuluu kemianteollisuuden sähköstä 67 % ja lämmöstä 43 %. Polttoaineista 60 % kuluu öljynjalostuksessa, ja teollisuuskasujen ja muovituotteiden valmistukseen kuluu runsaasti sähköä. Energiatarpeen kannalta keskeisimpiä kemianteollisuuden tuotteita ovat valkaisu- ja kemikaalit, erilaiset öljytuotteet, petrokemikaalit, muoviaiaineet, lateksit, typpi-, rikki-, fosfori- ja

suolahappo, teollisuuskaasut, titaanidioksidi, sulfaattit ja epäorgaaniset suolat. Sähköä kuluu kemianteollisuudessa mm. elektrolyyseyihin, komprimointiin, pumppuihin, puhaltimiin ja puristimiin. Lämmön käyttökohteita ovat prosessivirtojen lämmitys sekä tislauksen- ja haihdutusprosessit. Kemianteollisuuden energiankulutustietoja tuoteryhmittäin on esitetty taulukossa 6. (Energia Suomessa 2004, 51.)

Taulukko 6. *Energiankulutus kemianteollisuudessa. (Energia Suomessa 2004, 55-56.)*

Tuotanto	Sähkö	Lämpö	Polttoaineet
Öljyjalosteet	0,9 TWh	12,4 PJ	37,7 PJ
Epäorgaaniset peruskemikaalit	2,1 TWh	3,6 PJ	
Muut peruskemikaalit	1,8 TWh	9,9 PJ	23,0 PJ
Muut kemialliset tuotteet	0,3 TWh	3,7 PJ	
Kumi- ja muovituotteet	0,8 TWh	1,1 PJ	0,8 PJ
Yhteensä	5,8 TWh	31 PJ	61,5 PJ

Teollisuuskemikaalien valmistuksen lämmönkäytössä on edetty viime vuosikymmeninä merkittävästi ja esimerkiksi rikkihappoprosessissa syntyvä sekundaarilämpö hyödynnetään tehokkaasti. Prosessi-integraation arvioidaan edelleen tarjoavan lisäsäästömahdollisuuksia. Myös oman sähköntuotannon lisäämistä tavoitellaan. Mini-CHP -teknologioille saattaa löytyä uusia sovelluskohteita kemian- ja muun teollisuuden prosesseista. (Energia Suomessa 2004, 219.)

4.2.4 Sementtiteollisuus

Sementtiteollisuus nousi viime vuosisadalla uutena teollisuudenalana suurten energiankuluttajien joukkoon. Suomeen rakennetut sementtitehtaat laajensivat tuotantoaan 1950-luvulla, jolloin ylittiin miljoonan tonnin valmistusraja. Kahden miljoonan tonnin tuotanto ylittyi vastaavasti 1970-luvun alussa. Suomessa oli muutama kalkkitehdas jo 1800-luvun lopussa. Kalkin polttamisessa tarvittiin paljon energiaa, mutta vasta sementtiteollisuus muutti energian kulutuksen mittasuhteita olennaisesti. Sementti on valmistettu peruseräiteiltään samalla tavalla 1900-luvun alusta lähtien ja valmistus on vaatinut myös alusta asti huomattavan paljon energiaa. On tarvittu pääosin hiilellä tuotettua lämpöenergiaa sekä sähköenergiaa. Sähkön saannilla onkin ollut olennainen merkitys tehtaiden sijoittamiselle. Lämmön tarve on sementtitehtaissa uusien menetelmien ansiosta hieman laskenut viime vuosikymmeninä. Sähkön kulutus on puolestaan kasvanut lisääntyneestä mekani-soitumisesta ja ympäristönsuojeluun liittyvistä tekijöistä johtuen. (Energia Suomessa 2004, 28.)

Sementtiteollisuuden energiakustannukset ovat korkeat, yleensä 30–40%:n luokkaa tuotantokustannuksista (investointeja lukuun ottamatta). Prosessissa tarvittavan lämmön tuottamiseen voidaan käyttää eri polttoaineita, joista kuitenkin petrokoksi ja hiili ovat olleet yleisimmät. Sementtiteollisuuden vuotuiset hiilidioksidipäästöt ovat Suomessa lähes 300 000 tonnia. Hiukkasia pääsee ympäristöön kaikissa sementtituotannon vaiheissa, joihin kuuluvat aineen käsittely, raaka-aineen valmistelu (murskaimet, kuivaimet), klinkkereiden tuotanto ja sementin valmistus. Raskasmetalleja pääsee sementtiuuniin sekä raaka-aineiden että fossiilisten ja jättepolttoaineiden mukana. (EurLex, 2001.)

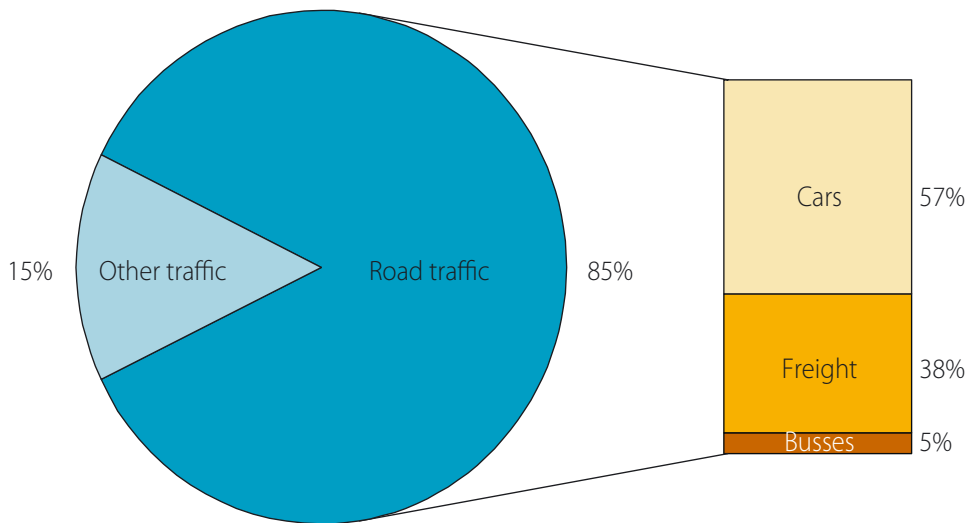
4.3 Liikenne

4.3.1 Biopolttoaineiden nykytilanne

Liikennesektorilla on edessään useita haasteita energian ominaiskulutukseen ja päästöjen vähentämiseen liittyen. Edulliset öljyvarat ovat tulevien vuosikymmenten kuluessa jäämässä vähiin, ja myös hiilidioksidipäästöjen vähentämispyrkimykset voivat nopeuttaa raakaöljystä jalostettujen polttoaineiden käytön rajoittamista. Huoltovarmuuskulmasta liikennepolttoaineet ovat energia-alan suuri ongelma, koska omavaraisuus esimerkiksi Suomessa on nolla ja EU:ssakin hyvin alhainen. (Lampinen 2004.)

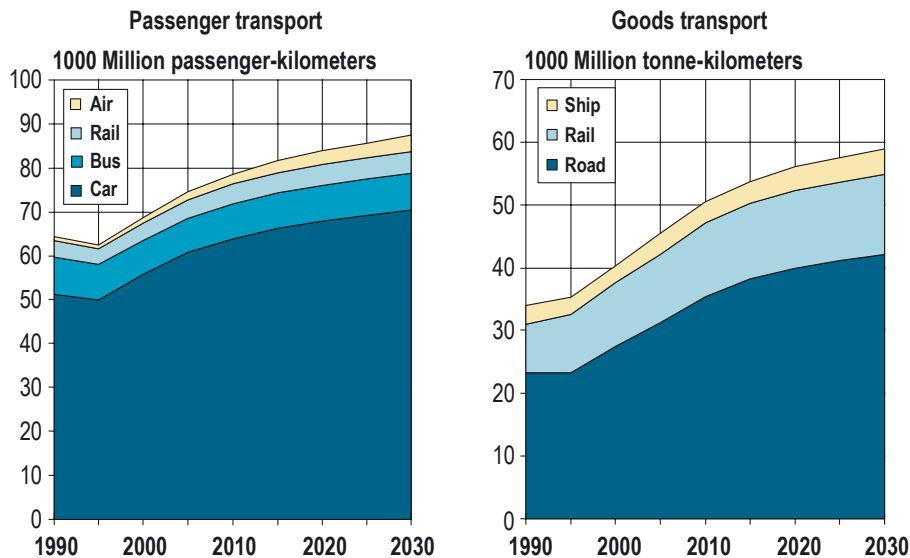
Lokakuussa 2005 kauppaja- ja teollisuusministeriöön perustettiin työryhmä valmistelemaan ehdotusta liikenteen biopolttoaineiden tuotannon ja käytön edistämiseksi. EY:n direktiivi liikenteen biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä (2003/30/EY) edellyttää, että jäsenmaiden olisi varmistettava, että niiden markkinoille saatetaan biopolttoaineita ja muita uusiutuvia polttoaineita vähimmäisosuus. Tämä edellyttää ohjeellisten kansallisten tavoitteiden asettamista. Jäsenvaltioiden on seuraavassa vaiheessa ilmoitettava komissiolle vuotta 2010 koskeva kansallinen tavoitteensa 1.7.2007 mennessä. Komissio on lisäksi vihreässä kirjassa ”Energiahuoltostrategia Euroopalle” asettanut tavoitteeksi, että 20 % tavanomaisista tieliikenteen polttoaineista korvataan vaihtoehtoisilla polttoaineilla vuoteen 2020 mennessä. Vaihtoehtoisten liikennepolttoaineiden (biopolttoaineiden lisäksi mm. maakaasu ja vety) kirjo tulee seuraavan vuosikymmenen aikana kasvamaan huomattavasti, sikäli kuin nykyinen kehitystyö mm. puu- ja jätöpohjaisen raaka-aineen hyödyntämiseksi biopolttoaineiden valmistamiseksi tuottaa tuloksia. Liikenteen biopohjaisten polttoaineiden tuotannon mahdollisuuksien kartoittaminen ja konkreettisten tavoitteiden asettelu vaatii kuitenkin jatkotyötä. Samoin lisätyötä vaatii niiden vaihtoehtojen selvittäminen, joilla liikenteen biopohjaisten polttoaineiden riittävä käyttö voidaan varmistaa. Tavoitteiden perustaksi on arvioitava tuotannon ja käytön eri teknologiavaihtoehtoja, kokonaisuhyötyjä, joita bio- ja vaihtoehtoisilla polttoaineilla on saavutettavissa sekä kustannuksia, joita niiden käyttöönotto sekä tuotanto ja tuonti aiheuttavat kansantaloudelle, kuluttajille ja valtiontaloudelle. (KTM 2005 c.)

Kuvassa 22 näkyy tieliikenteen suuri osuus liikenteen aiheuttamista hiilidioksidipäästöistä Suomessa. Henkilöautot kattavat noin 57 %, rahtiliikenne 38 % ja linja-autot 5 % tieliikenteen hiilidioksidipäästöistä. Kuvassa 23 esitellään liikennevolyymin kehitysskenaariot sekä matkustaja- että tavaraliikenteelle aikavälillä 1990-2030. Liikennemäärän uskotaan kokonaisuudessaan kasvavan merkittävästi. Matkustajaliikenteessä erityisesti yksityisautojen osuus kasvaa, samoin lentokone liikenteen. Tavarankuljetuksessa tieliikenteen osuuden uskotaan kasvavan merkittävästi. Myös raide- ja laivaliikenteen ennakoitaan kasvavan tarkastellulla aikavälillä.

Split of transport sector related CO₂ emissions in Finland

Kuva 22. Tieliikenteen ja muun liikenteen osuus Suomen liikennesektorin CO₂-päästöistä (Kara et al 2001).

Scenario for transport volume



Kuva 23. Liikennevolyymin kehitysskenaariot matkustaja- ja tavarakujetuksissa Suomessa (Kara et al 2001).

Bioraaka-aineista voidaan valmistaa useita eri liikennepolttonesteitä kuten biodieseleitä (kasviöljyjen, esim. mäntyöljyn, esterit), alkoholeja (etanoli, metanoli), bioalkoholeista tuotettuja eettereitä (MTBE, ETBE) ja moniin prosesseihin perustuvia synteettisiä polttoaineita. Nykyiset biopolttoainien käyttövaihtoehdot eivät ole taloudellisesti mahdollisia ilman viranomaisten tukitoimenpiteitä kuten verotukea ja useimpien biopolttonesteiden tuotantoprosessit eivät ole vielä kaupallisia. Suurin kiinnostus toistaiseksi on ollut peltopohjaisissa tuotteissa, mutta kustannustehokkuudeltaan parhaita ovat jätteperäiset biopolttoaineet.

Biokaasun energiaresurssit Suomessa ovat huomattavat. Taulukossa 7 on listattu Suomen nopeasti hajoavan biojätteen tuotantomäärät sekä metaanin tuotantopotentiaali, mikäli kaikki voitaisiin hyödyntää optimaalisesti. Tämän perusteella on laskettu kuinka monen henkilö- tai linja-auton polttoaineeksi kaasu riittäisi. Taulukon ilmaisemat ajoneuvomäärät voidaan saavuttaa tuottamalla biokaasua biojätteen lisäksi energiakasveista ja puusta, joiden molempien tekninen potentiaali on huomattavasti nopeasti hajoavaa biojätettä suurempi. Biokaasuteknikka tarjoaa siis merkittävän potentiaalın syrjäyttää kaikkein vaikeimmin korvattavissa olevia fossiilisia energiamuotoja: bensiiniä ja dieseliä. Se tarjoaa maataloilta ja elintarviketeollisuudelle mahdollisuuden energiaomavaraisuuteen sähkön, lämmön sekä liikenne- ja työkonepolttoaineiden osalta ja myös mahdollisuuden myyntituloihin. (Lampinen 2004, 8.)

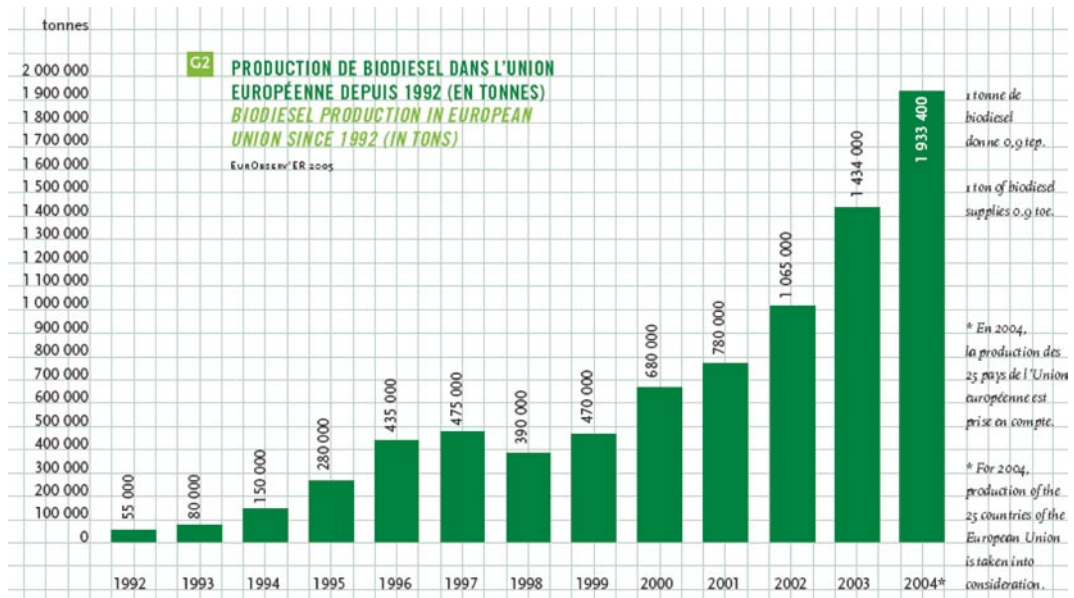
Taulukko 7. Jäteperäisen biokaasumetaanin vuosituotantopotentiaali Suomessa. (Lampinen 2004, 7.)

Metaanin lähde	Jätteen massa (t)	Metaanin tuotto (m ³ /t)	Energia (TWh)	Polttoaine autoille (kpl)	Polttoaine busseille (kpl)
Kaatopaikkakaasu			1,5	75 000	5 000
Yhdyskuntien biojäte (keittiöjäte)	360 000 (tuorepaino)	100	0,36	18 000	1 200
Yhdyskuntien jätevesi	160 000 (kiintoaine)	200	0,32	16 000	1 100
Eläinten lanta	21 500 000 (tuorepaino)	20	4,3	220 000	15 000
Maatalouden kasvisjätteet	4 000 000 (tuorepaino)	170	6,8	340 000	23 000
Elintarviketeollisuuden jätteet	960 000 (tuorepaino)	50	0,48	24 000	1 600
Teollisuuden jätevesi	22 300 (kiintoaine)	200	0,04	2 000	130
Yhteensä			14	700 000	47 000

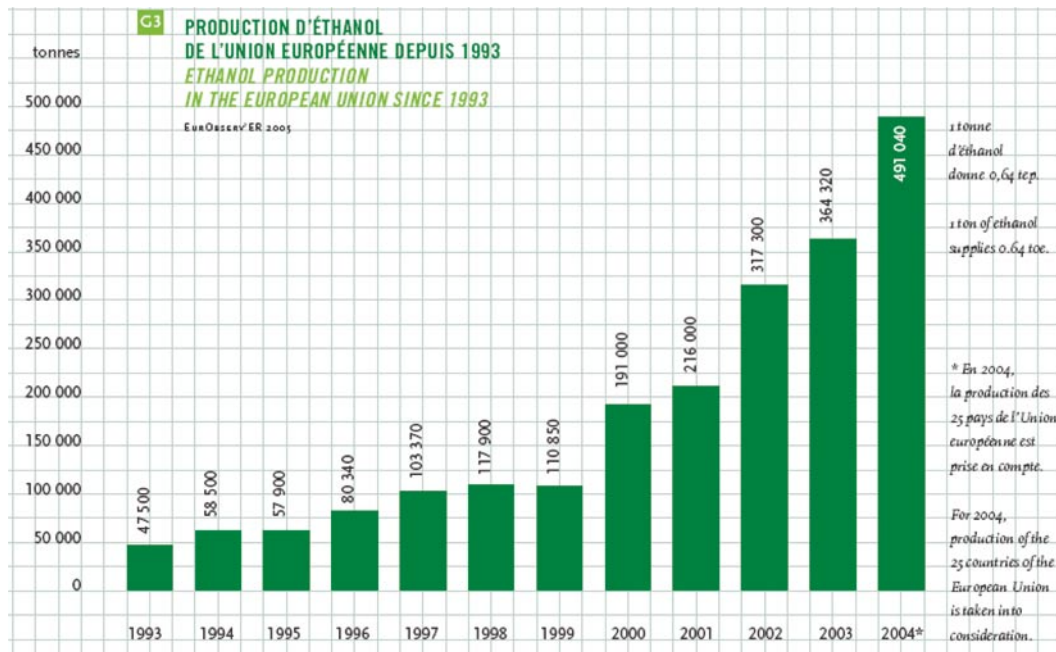
Nykyisin valmistetaan kaupallisesti liikenteen polttoaineiksi viljelykasvipohjaista etanolia ja biodieseliä lähinnä Brasiliassa, Yhdysvalloissa ja joissakin EU-maissa. Brasiliassa, Yhdysvalloissa ja Ruotsissa pääasiassa käytettävä biopolttoaine on etanoli ja sen seokset fossiilisten polttoaineiden kanssa. Ranskassa ja Espanjassa etanoli käytetään bensiinin lisäkomponenttina, ETBE:nä. Biodieseliä käytetään lähinnä Saksassa, Ranskassa ja Italiassa. Ruotsissa biokaasu on tällä hetkellä jo merkittävä liikennepolttoaine. Biopolttoaineiden osuus liikenteen polttoaineista oli EU:ssa vuonna 2002 noin 0,3 %. Muiden biopoltonesteiden tuotantoprosessit eivät ole vielä kaupallisia. Yleisimmät biodieselin raaka-aineet ovat rypsi ja auringonkukkaöljy sekä soijaöljy.

Arviot liikenteen biopoltonesteillä saavutettavista kasvihuonekaasupäästöjen vähenemistä vaihtelevat raaka-aineen ja prosessin sekä laskennassa käytettyjen oletusten mukaan. Tyypillisiä laskentaoletuksia ovat raaka-aineen viljelyssä ja kuljetuksessa käytetty energia, tuotannon hyötysuhde sekä sivutuotteiden hyödyntämismahdollisuudet. Biodieselillä on esitetty saatavan 50-80 %:n päästövähennä verrattuna fossiiliseen dieselpolttoaineeseen ja vastaavasti viljaetanolilla 20-40 %:n päästövähennä verrattuna bensiiniin. Puupohjaisilla polttoaineilla on mahdollista saavuttaa 75-95 %:n päästövähennä. (Mäkinen et al. 2005, 12.)

Parhaat päästövähennemät saadaan jäteresursseilla, erityisesti biokaasutekniikalla, mutta myös synteettisillä prosesseilla ja esteröinnillä. Kuvissa 24 ja 25 on tarkasteltu biodieselin ja polttoainetanolin tuotannon kehittymistä EU:ssa. Aikavälillä 2000-2003 biodieselin tuotanto on kaksinkertaistunut. Samalla aikavälillä myös etanolin tuotanto on lähes kaksinkertaistunut.

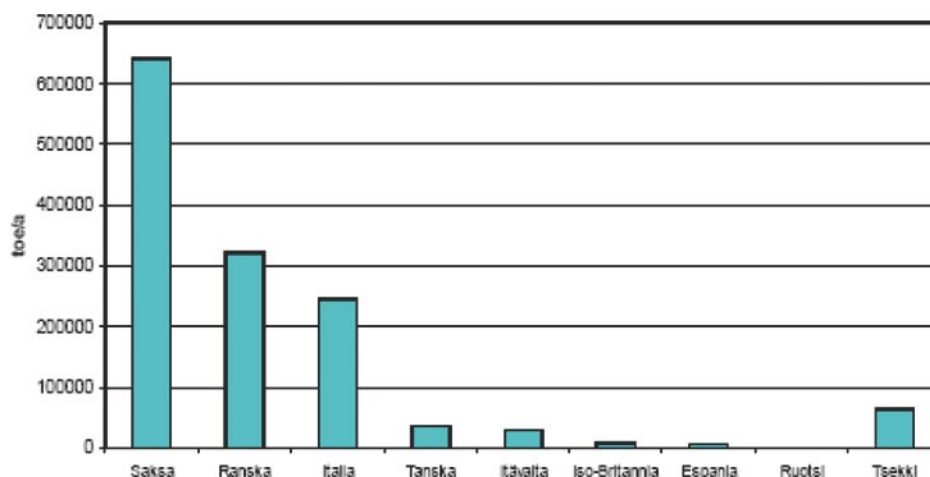


Kuva 24. Biodieselin tuotannon kehittyminen EU:ssa 1992-2004. Vuoden 2004 osalta mukana on myös uusien jäsenmaiden tuotanto (1 tonni biodieseliä = 0,9 öljykvivalenttitonnia). (Biofuels barometer 2005.)

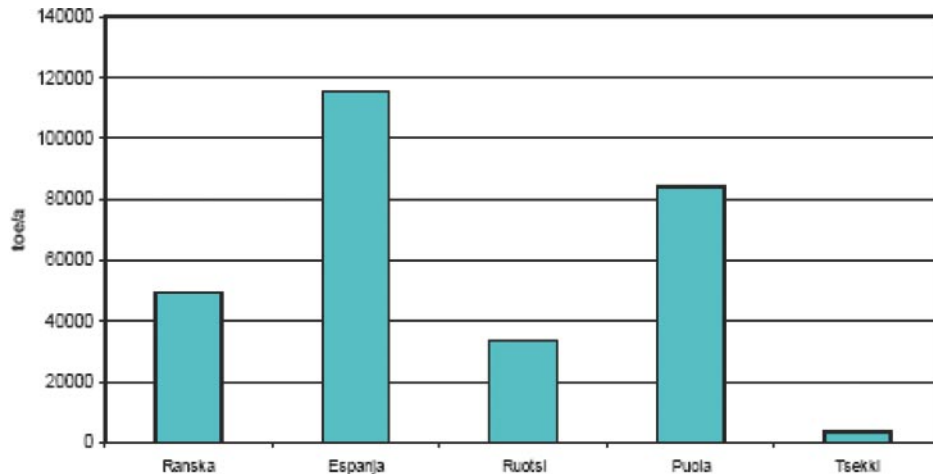


Kuva 25. Liikenne-etanolin tuotannon kehittyminen EU:ssa 1993-2004. Vuoden 2004 osalta mukana on myös uusien jäsenmaiden tuotanto (1 tonni etanolia = 0,64 öljykvivalenttitonnia). (Biofuels barometer 2005.)

Kuvissa 26 ja 27 on tarkasteltu puolestaan biodieselin ja polttoaine-etanolin tuotantoa maittain. Saksa on ylivoimaisesti merkittävin biodieselin tuottaja, ja myös Ranskassa ja Italiassa biodieseliä tuotetaan runsaasti muihin EU-maihin verrattuna. Etanolin tuotannossa Espanja, Puola sekä Ranska ovat johtavassa asemassa.



Kuva 26. Biodieselin tuotanto EU:ssa maittain vuonna 2003. (Mäkinen et al. 2005, 40.)



Kuva 27. Polttoaine-etanolin tuotanto EU:ssa maittäin vuonna 2003. (Mäkinen et al. 2005, 40.)

Biopolttonesteestä ja tuotantotekniikasta riippuen biopolttonesteiden tuotantokustannukset ovat 1-5-kertaisia nykyisten fossiilisten polttoaineiden verottomiin hintoihin. Nopeasti noussut öljyn hinta on kaventanut tätä eroa. Nykyiset kaupalliset biopolttonesteet (biodiesel, etanoli ja biokaasu) on saatu monissa maissa kuluttajille kilpailukykyisiksi verohelpotuksin tai tuotantolaitoksia tukemalla (Yhdysvallat ja Brasilia), jonka jälkeen tuet on voitu poistaa kokonaan (Brasilia) tai osittain (USA). Biopolttonesteiden tuotantokustannuksia pyritään alentamaan tutkimus- ja kehitystyöllä niin EU:ssa kuin Yhdysvalloissakin. Tässä etsitään toimintamalleja, joissa biopolttonesteiden tuotanto yhdistettäisiin teollisuus- tai voimalaitokseen sekä hyödynnettäisiin edullisimpia puu- tai jäteperäisiä raaka-aineita. Suomessa voitaisiin valmistaa biopolttoaineiden tuotantoprosessien laitteita sekä koti- että ulkomaan markkinoita varten. Esimerkiksi viime vuosikymmenellä Suomesta toimitettiin viljaetanolin tuotantolaitoksia maailman markkinoille.

Kiinnostus biopolttonesteisiin on kasvanut viime vuosina uusiutuvalle energialle asetettujen kasvutavoitteiden myötä. Biopolttoaineet nähdään yhtenä keinona rajoittaa liikenteen hiilidioksidipäästöjä ajoneuvojen polttoainekulutuksen pienentämisen ja muiden vaihtoehtoisten polttoaineiden käytön rinnalla. EU:n direktiivi (2003/30/EY) liikenteen biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämiseksi asettaa ohjeelliset tavoitteet biopolttoaineen hyödyntämiselle ajoneuvojen polttoaineena. Tavoitteena on ollut saavuttaa vuonna 2005 biopolttoaineilla 2 %:n osuus liikenteen polttoaineista (energiasisällön perusteella laskettuna) ja vuonna 2010 5,75 %:n osuus. Muita vaihtoehtoisia polttoaineita ovat edellä mainitut maakaasu ja tulevaisuudessa vety.

Uusien biopolttoaineiden kehittäminen kaupalliselle asteelle kestää 5-10 vuotta ja uuden teknologian vielä pidempään. Uudet biopolttoaineet voisivat tulla markkinoille laajamittaisesti vuosina 2015-2025. IEA on arvioinut raakaöljyn tuotannon kääntyvän laskuun vuosina 2010-2015, mikä voi nostaa öljyn hintaa. Vaihtoehtoisten liikennepolttoaineiden kehittämiseksi Suomessa etenemispolku voisi olla seuraavanlainen (Mäkinen et al. 2005, 16.):

- Synteesikaasun valmistus, biopolttonesteiden tuotanto, demolaitoksen aikaisin arvioitu käynnistyminen vuonna 2010
- Biokaasun käyttö liikenteessä ja maakaasuverkossa, demonstroitu ulkomailla
- Selluloosapohjaisen etanolin tuotanto, pienimuotoinen pilottilaitos Ruotsissa

- Puupyrolyysiöljy kiinteistöjen lämmitykseen ja mahdollisesti jalostamolle liikenteen polttoainetien tuotantoon, pilottilaitos Suomeen vuosina 2008-2010
- Synteettisen maakaasun (SNG:n) tuotanto ja käyttö maakaasuverkossa, demolaitoksen rakentamisvalmius kehitystyön onnistuessa arviolta vuosina 2008-2012.

4.3.2 Liikennesektorin uutta teknologiaa

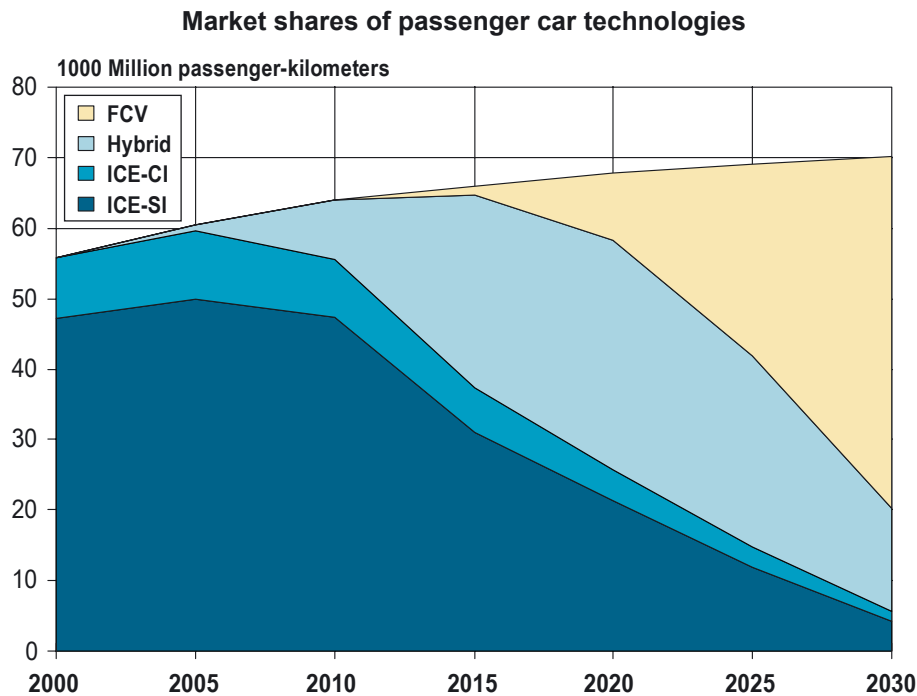
Mäntäpolttomoottori ei ole kovin hyvä auton voimanlähde, sillä huippunopeuden ja kiihtyvyyden saavuttamiseksi ajoneuvoon sijoitettu suuritehoinen moottori on normaaliajossa hyvin epätaloudellinen, koska sen voimavaroista käytetään vain hyvin pientä osaa. Hybridikäytössä polttomoottori voidaan optimoida toimimaan aina parhaalla mahdollisella tavalla. Tulevaisuuden hybridautossa sähkö tuotetaan polttokennolla, jossa vety yhtyy happeen synnyttäen sähkövirtaa. Päästönä syntyy ainoastaan puhdasta vettä. Polttokenno vaatii toimiakseen apulaitteita ja ohjausjärjestelmän, joka valvoo ja ohjaa prosesseja. Kehitystyön suuri haaste on laitteistojen pienentäminen ja integrointi. Nykyvaiheen polttokennoautot ovat perustekniikaltaan pitkälti samanlaisia, sillä kaikissa on PEM-tyyppinen polttokenno. Vety sopii myös mäntäpolttomoottorin polttoaineeksi, mikä voi tarjota polttokennoautoja nopeammin laajenevan kysyntäpohjan vetypolttoaineelle. Tämä edesauttaisi jakeluinfrastruktuurin kannattavaa rakentamista. (Energia Suomessa 2004, 231-232.)

Vety on luontaisesti hajautettu resurssi, mikä sopii yhteen liikennekäytön ja muun hajautetun käytön kanssa. Vetyä voidaan valmistaa esimerkiksi huoltoasemilla vesijohtovedestä tai biomassoista useilla eri menetelmillä. Lisäksi vetyä voidaan toki valmistaa myös keskitetysti ja kuljettaa joko vetyputkissa, metaaniputkissa tai rekoilla.

Puhdas vety on polttokennon ja ympäristön kannalta paras ratkaisu, mutta vedyn varastointi ajoneuvoissa tuottaa vielä vaikeuksia. Parhaillaan tutkitaan myös vaihtoehtoisia nestemäisiä polttoaineita, joista vetyä voitaisiin valmistaa ajoneuvon reformereilla tai ”polttoaineprosessoreilla”. Tällöin polttokennon tarvitsema vety valmistettaisiin autossa nestemäisestä polttoaineesta. Nestemäisen polttoaineen saatavuus ja jakelu olisi helpommin järjestettävissä. Kokonaishyötysuhteen parantumisen ansiosta hiilidioksidipäästöt vähenevät tässäkin vaihtoehdossa nykyisestä noin puoleen. Tutkimuksen kohteena olevat nestemäiset polttoainevaihtoehdot ovat metanoli ja bensiinin kaltainen hiilivetyseos. (Energia Suomessa 2004, 233.) Uusin polttokennokonseptiautoon sovellettavaksi ajateltu energianlähde on vedyn valmistaminen natriumborohydridistä (NaBH₄), joka on olomuodoltaan jauhemaista, myrkytöntä eikä palo- tai räjähdysaltista, ja siksi turvallista varastoida ajoneuvossa. Yhdistettä voidaan valmistaa natriumboridista, jota syntyy kemianteollisuuden prosessituotteena. Kun boorihydridijauhe on auton vetyprosessorissa luovuttanut sisältämänsä vedyn, se palaa käytetyn aineen säiliöön, ja voidaan ottaa uudelleen kiertoon ”vedytettäväksi”, kun auto käy tankkaamassa uutta natriumborohydridiä. (Energia Suomessa 2004, 233.)

Kaikkia kehitysvaihtoja polttokennoautojen energiahuollon hoitamiseen viedään edelleen eteenpäin, eikä merkittävää kohdentumista ole havaittavissa. Polttoaine- ja energiainfrastruktuurin rakentaminen on hidas ja pääomaintensiivinen prosessi, joten moniin rinnakkaisiin järjestelmiin ei ole varaa. Kuvassa 28 on arvioitu henkilöautoteknologioiden markkinaosuuksien kehittymistä Suomessa vuoteen 2030. Perinteisten teknologioiden markkinaosuuksien uskotaan pienenevän nopeasti. Hybridautot tulevat kor-

vaamaan aluksi suurimman osan markkinaosuudesta vanhempien teknologioiden tilalla, mutta vuodesta 2015 vuoteen 2030 polttokennoautojen osuuden kasvuun ennakoitaan olevan erittäin merkittävää.



Kuva 28. Henkilöautoteknologioiden markkinaosuuksien kehitysarvio Suomessa 2000-2030 polttokenno- ja hybridiajoneuvojen (FCV, hybrid) sekä bensiini- (ICE-CI) ja dieselmootoriajoneuvojen (ICE-SI) osalta (Kara et al 2001).

4.4 Rakennusten energiankulutus

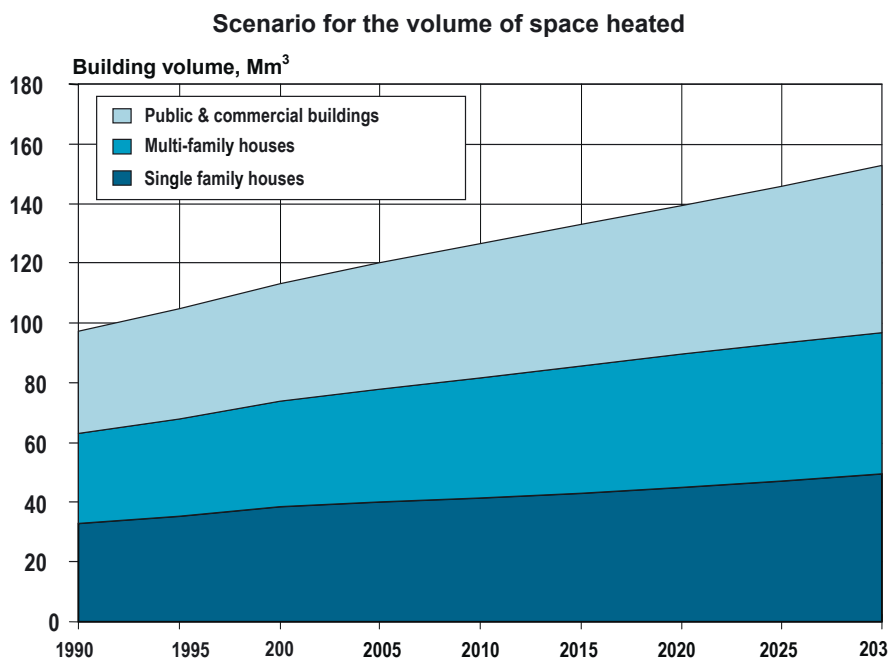
Rakennusten lämmitys on energian käytön sektoreista kokenut eniten muutoksia viime vuosikymmeninä. Muutoksen taustalla ovat muun muassa maaltamuutto, kaupunkien ja maaseudun taajamien uudisrakentaminen sekä uudet energiataloudelliset ratkaisut. Myös 1970-luvun öljykriiseillä oli vaikutuksensa etenkin rakennusten lämmittämisen säästötoimenpiteisiin. Rakennusten lämmittämiseen kului 294 PJ (7,0 Mtoe) eli noin viidennes Suomessa käytetystä energiasta vuonna 2002. Siitä noin 70 % käytettiin asuinrakennusten lämmittämiseen. (Energia Suomessa, 2004, 60.)

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin toimeenpano tuo vuoden 2006 alusta mukanaan uusia tuulia Suomen kiinteistö- ja rakennusalan toimintatapoihin. Rakentamismääräysten energiaohjaus kehittyi sisällöllisesti, ja rakennuskannassa tulee käyttöön pakollinen energiatehokkuustodistus. Yksi keskeinen elementti ohjauksen kehittämisessä on rakennusten energiatehokkuuden laskenta. Sekä tulevien rakentamismääräysten että rakennusten energiatehokkuustodistuksen tulee perustua kansallisesti vahvistettuun kokonaisenergiatehokkuuden laskentamenetelmään. Taustatyötä Suomessa käyttöön otettavan laskentamenetelmän valmisteluun on tehty vuodesta 2003 alkaen RET -projektissa, joka on koostunut saman pöydän ääreen viranomaisia, tutkimuslaitoksia ja suuren joukon Suomen kiinteistö- ja rakennusalan yrityksiä. RET -projekti tuottaa rakennusten kokonaisenergiatehokkuuden laskennalle

tekniset perusteet, joita hyödyntäen ympäristöministeriö valmistelee Suomen rakentamismääräyskoelmassa julkaistavan kansallisen laskentamenetelmän. (Motiva 2005 b.)

Kiinteistö- ja rakennusalalla on myös oma vapaaehtoinen energiansäästösopimus, joka on suunnattu Suomen toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry:n jäsenyrityksille ja -yhteisöille seuraavilla sektoreilla: rahoitus ja vakuutus, kauppa ja palvelut sekä valtion kiinteistöyksiköt. Sopimuksen tavoitteena on saada mahdollisimman suuri osuus kiinteistöjen rakennustilavuudesta sopimuskäytännön piiriin. Sopimuksen piirissä oli vuoden 2003 loppuun mennessä toteutettu yli 670 energiatehokkuutta edistävää toimenpidettä, joiden avulla saavutettiin 26 GWh lämmönsäästö sekä 9,5 GWh sähkönsäästö. Tämä vastaa lähes 1800 omakotitalon vuotuista energiankulutusta. Tarkoituksena oli, että sopimuksen piirissä jopa 80 % energiankulutuksesta olisi katselmoitu ja kulutusseurannan piirissä vuoden 2005 lopussa, ja tavoite myös toteutui. Myös asuinkiinteistöalalla on energiansäästösopimus, joka on kohdistettu Asuntokiinteistö- ja rakennuttajaliitto ASRA ry:n yleishyödyllisille ja kunnallisille jäsenyhteisöille. Tavoitteena on saada mahdollisimman suuri osuus jäsenistön omistamista asunnoista sopimuksen piiriin sekä vähentää lämmön ominaiskulutusta 10 % vuoteen 2008 ja 15 % vuoteen 2012 mennessä. Tavoitteena on myös alentaa veden ominaiskulutusta ja kiinteistösähkön sekä rakennusten muuta sähkönkulutusta. (Motiva 2005 b.)

Motivan organisoiman Energiatehokas koti -kampanjan¹⁷ toivotaan myös edistävän energiatehokkaiden ratkaisujen ja toimintatapojen toteuttamista. Tavoitteena on kasvattaa matalaenergiapienalojen markkinaosuus viidennekkseen vuosittain rakennettavista pienaloista vuoteen 2010 mennessä. (Energiatehokas koti 2005) Kuvassa 29 on kuvattu lämmitettävän rakennustilavuuden kasvua aikavälillä 1990-2030. Kaikkien rakennustyyppien määrän ennakoitaan kasvavan, mutta erityisesti julkisten ja kaupallisten lämmitettävien rakennusten määrän (tilavuus) ennakoitaan kasvavan voimakkaasti.



Kuva 29. Lämmitettävän rakennusvolyymien kasvu (Mm³) Suomessa 1990-2030 (Kara et al 2001).

¹⁷ <http://www.energiatehokaskoti.fi> katso myös <http://www.zedfactory.com/>

5 VALTIOVALLAN TOIMET KASVIHUONEPÄÄSTÖJÄ HILLITSEVÄN TEKNOLOGIAN JA PALVELUIDEN EDISTÄMISEKSI

5.1 Kansainvälisiä ja kansallisia tavoitteita

Rio de Janeirossa solmittiin vuonna 1992 ilmastopimus (Framework Convention on Climate Change, FCCC), jonka tavoitteena on vakauttaa ilmaston kasvihuonekaasujen pitoisuus vaarattomalle tasolle. Kiotossa 1997 ilmastopimuksen osapuolet, 169 valtiota, laativat pöytäkirjan päästöjen rajoittamisesta. Kioton sopimus astui voimaan helmikuussa 2005. Rajoituksista tehtiin mahdollisimman joustavia, jotta valtioilla olisi vapaus toteuttaa sitoumus mahdollisimman kustannustehokkaasti. Pöytäkirjan mukaan teollisuusmaat sitoutuvat vähentämään vuosien 2008-2012 keskimääräisiä kasvihuonepäästöjään vähintään 5 % vuoden 1990 tasoon verrattuna. Yhteistoteutuksessa (Joint Implementation) kehittyneet maa voi rahoittaa toisessa kehittyneessä maassa päästöjä vähentävää hanketta ja hankkia päästöoikeuksia itselleen. Kehittyneet maa voi rahoittaa myös kehitysmaassa tapahtuvaa päästövähennysprojektia päästöoikeuksia hankkiakseen. Tätä kutsutaan ns. puhtaan kehityksen mekanismiksi (CDM). (Energia Suomessa 2004, 147-148.)

Päästökauppajärjestelmä voidaan jakaa kahteen pääryhmään kaupan kohteen perusteella. Cap-and-trade -järjestelmissä päästöoikeuksilla käydään kauppaa, joka koskee päästökaupan piiriin määriteltyjä toimijoita, laitoksia ja kasvihuonekaasuja. Järjestelmän päästörajan muodostaa myönnettyjen päästöoikeuksien kokonaismäärä. Toisessa pääryhmässä eli baseline-and-credit -järjestelmässä käydään kauppaa päästöjen vähentämisestä saatavista hyvityksistä. Hyvityksiä syntyy, kun päästöjä saadaan vähennettyä perusuraan verrattuna. EU:n päästökauppajärjestelmä on tyypiltään cap-and-trade -järjestelmä kiintein päästötavoittein. Järjestelmä kattaa ainoastaan suurimmat hiilidioksidipäästöjen tuottajat. Kansainvälinen päästökauppa on kolmas Kioton pöytäkirjan joustomekanismeista. Päästökaupassa teollisuusmaat voivat käydä keskinäistä kauppaa osapuolten sallitun päästömäärän päästöyksiköillä (AAU, Assigned Amount Units). Päästökauppa alkaa ensimmäisellä Kioton pöytäkirjan tavoitekaudella 2008-2012. Kansainvälistä päästökauppaa käyvät pääsääntöisesti valtiot, mutta EU:n yritysten kesken käytävä päästökauppa on toisenlainen yhteisötason politiikkatoimi kasvihuonekaasujen vähentämiseksi. (KTM 2004, 15-16.)

Suomen rajoitussitoumuksena on päästöjen vakauttaminen vuoden 1990 tasolle vuosien 2008-2012 aikana. Päästösitoumukset pyritään saavuttamaan useiden rinnakkaisten keinojen avulla. Tavoitteena on edistää teknologista muutosta ja talouden rakenteellista muutosta vähemmän päästöjä tuottavaan suuntaan. Suomen ilmastostrategiassa (KTM 2005 d) oletetaan talouden kasvun olevan voimakkainta informaatioteknologiassa ja suhteellisen hidasta energiaintensiivisessä teollisuudessa. Strategiassa painotetaan uusiutuvan energian osuuden lisäämistä, energian käytön

tehokkuuden parantamista sekä hiililauhdesähkön korvaamista maakaasulla tai ydinvoimalla. EU:n hiilidioksidipäästökauppa on osa Suomen strategiaa. Päästöjen rajoitustoimia edistetään kaikilla sektoreilla energian tuotannosta teollisuuteen, lämmitykseen, kotitalouksiin, palveluihin ja liikenteeseen. Myös jätehuollon metaanipäästöjä ja maatalouden päästöjä pyritään vähentämään. (Energia Suomessa 2004, 148-149.) Suomen uuden ilmastostrategian aikajänne on suhteellisen lyhyt, koska Kioton ensimmäisen tavoitekauden jälkeistä aikaa tai siihen liittyvää strategiaa ei selonteossa käsitellä. Energiasektorin eri toimijoiden kannalta pitkäjänteinen ja ennakoitavissa oleva ohjaus olisi kuitenkin ensisijaista.

Uusiutuvien energialähteiden käyttöä koskevassa tiedonannossa Euroopan komissio (1997) asetti tavoitteeksi kaksinkertaistaa uusiutuvien energialähteiden osuuden kokonaisenergiankulutuksesta vuoden 1995 alle kuudesta prosentista 12 prosenttiin vuoteen 2010 mennessä. Lisäyksestä valtaosan komissio arveli perustuvan bioenergiaan, jonka käyttö kolminkertaistuisi vuoden 1995 tasosta. Komissio tarkasteli tiedonannossaan lähinnä primäärienergiaa, mutta loppukulutusenergian näkökulmasta myös muut uusiutuvat energialähteet kuten tuuli- ja aurinkoenergia ovat merkittäviä (vrt. Lampinen 2001, 6). Euroopan parlamentti ja neuvosto antoivat vuonna 2001 direktiivin (2001/77/EY), jonka tavoitteena on edistää uusiutuvista energialähteistä tuotetun sähkön asemaa sisämarkkinoilla. Direktiivin mukaan Suomessa uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön osuus vuonna 1997 oli 24,7 % kokonaisbruttokulutuksesta, ja Suomen ohjeelliseksi tavoitteeksi asetettiin osuuden nostaminen 31,5 prosenttiin vuoteen 2010 mennessä.

Kauppa- ja teollisuusministeriö on laatinut Suomelle uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman (1999), jonka tavoitteeksi asetettiin puun, tuulivoiman, kierrätyspolttoaineen, pienvesivoiman, peltobiomassan, aurinkoenergian ja maalämmön hyödyntämisen merkittävä lisääminen energiantuotannossa. Ohjelman taustalla oli mm. vuonna 1997 hyväksytty Suomen energiastrategia sekä edellä mainittu Euroopan komission tiedonanto. Tavoitteeksi asetettiin myös Kioton sopimuksen tavoitteiden tukeminen eli Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vakiinnuttaminen vuoden 1990 tasolle velvoitekauden 2008-2012 aikana. Tarkennetussa uusiutuvan energian edistämishjelmassa (2003) kauppa- ja teollisuusministeriön asettama työryhmä asetti tavoitteeksi uusiutuvien energialähteiden käytön lisäämisen 30 % vuoden 2001 tasosta vuoteen 2010 mennessä. Tarkennetun ohjelman aikajänne ulottuu vuoteen 2025, johon mennessä uusiutuvien energialähteiden käyttö lisääntyisi 60 % vuoden 2001 tasosta. Tällöin uusiutuvien energialähteiden kokonaiskulutus olisi noin 12 Mtoe, mikä kattaisi yli kolmanneksen energiastrategian mukaisesta kokonaisenergiankulutuksesta ja noin 40 % sähkönkulutuksesta.

5.2 Tukimuodot Suomessa ja EU:ssa

Teknologian siirto ja sen kehitystyö on yleisesti ottaen ensisijaisesti yritysten harteilla. Samalla se on kuitenkin ollut yhä enemmän myös poliittisten päättäjien huomion kohteena. Energiateknologian osalta valtio on Suomessa toiminut pitkälti taustavaikuttajan roolissa. Energia- ja teknologiapolitiikan keinoin on lähinnä tuettu markkinavoimien viitoittamaa tietä. Panostamalla energiategnologian tutkimus- ja kehitystoimintaan yhdessä yksityisen sektorin kanssa on saatu aikaan hyviä tuloksia. Valtion energiayhtiöt ovat kehittäneet energiategnologista osaamista merkittävässä määrin sekä omilla T&K –panoksillaan että välillisesti käyttäessään laitetoimittajina kotimaisia

alihankkijoita. Valtiolla on alan yksityisen sektorin toiminnalle tärkeä merkitys ennen kaikkea suotuisten olosuhteiden luojana. (Hieta 1995, 110.) Suomessa olisi kuitenkin edelleen akuutti tarve riskirahoitukselle, koska sen puute jarruttaa usein tuotekehityshankkeiden etenemistä. Rahoitustarvetta olisi erityisesti pitkille tutkimushankkeille, joiden puitteissa voitaisiin toteuttaa demostrointihankkeita (kuten demovoimaloita). Kun riskirahoitustahoa ei ole, eikä julkisen vallan tuki kilpailulainsäädäntöön perustuen saa ylittää 50 prosentin osuutta, on hankkeiden toteuttaminen usein vaikeaa. Esimerkiksi Yhdysvalloissa hankkeissa on mukana yksityisiä tahoja riskirahoittajina. Tällaisia ei Suomesta juurikaan löydy.

Hiilidioksidipäästöjä voidaan ohjata lähinnä rakenteellisilla muutoksilla energian tuotannossa tai hyvin laajoille alueille jakautuneilla teknisillä parannuksilla sekä energian tuotannossa että kulutuksessa. Tämän vuoksi taloudellisia ohjauskeinoja pidetään erityisen sopivina hiilidioksidipäästöjen rajoittamiseen. Verojen tavoitteena on parantaa sellaisten energiantuotantomuotojen kilpailukykyä, joista aiheutuu vain vähän tai ei ollenkaan hiilidioksidipäästöjä. Suomessa otettiin käyttöön energiantuotannon hiilidioksidipäästöihin perustuva verotus jo vuonna 1990. Veron taso on kuitenkin ollut alhainen, joten sen vaikutus on jäänyt lähinnä ohjaavaksi. Lisäksi verotusta on jouduttu muuttamaan mm. kilpailukyvyn säilyttämisen takia pohjoismaisen sähkökaupan vapaututtua. (Energia Suomessa 2004, 147.) Euroopan Unionissa verotuksen kehittämisessä on edetty melko hitaasti, koska EU ei ole järjestelmällisesti pyrkinyt yhteiseen CO₂-verotuskäytäntöön. Energiaverotusdirektiivin minimitasot on määritelty niin alhaisiksi, että käytännössä ne ovat ainoastaan nimellisiä. Esimerkiksi polttoaineiden valmisteverosta on säädetty erikseen, mutta valmistevero on EU-valtioista löytynyt jo valmiiksi.

Kasvihuonekaasujen päästöjen vähennystä voidaan edistää myös teknisillä normeilla lähinnä energiatehokkuuteen liittyen. Teollisuuden ja kaupallisen sektorin energiakatselmuksilla voidaan tehostaa energiankäyttöä. Energiansäästösopimukset (KTM 2005 e) ovat vapaaehtoisuuteen perustuva menettely, jonka puitteissa kauppa- ja teollisuusministeriö ja toimialajärjestöt ovat sopineet energiankäytön tehostamisesta ja uusiutuvien energialähteiden käytön edistämisestä. Vuonna 1997 käynnistynyt sopimusmenettely kattaa lähes 60 % Suomen energiankäytöstä. Kauppa- ja teollisuusministeriön päävastuulla ovat sopimussektoreista energia-ala, kiinteistö- ja rakennusala, kunnat ja kuntayhtymät sekä teollisuus. Syksyllä 2002 solmitusta asuinkiinteistöalan sopimuksesta päävastuu on ympäristöministeriöllä ja liikenteen säästösopimuksista päävastuu on liikenne- ja viestintäministeriöllä. Teollisuuden sopimus on erittäin kattava, sillä se kattaa yli 80 % Suomen teollisuuden energiankäytöstä. Siinä teollisuus on sitoutunut vapaaehtoisilla energiansäästösopimuksilla vähentämään ominaisenergiankulutusta 10-15 % vuoteen 2010 mennessä. (Energia Suomessa 2004, 147.)

Nykyisen uusiutuvien energialähteiden edistämishojelman keskeiset toimenpidealueet ovat uuden teknologian kehittäminen ja kaupallistaminen sekä taloudelliset ohjauskeinot kuten verotus ja investointituet, hallinnollisten ja nykynormeihin sisältyvien esteiden poistaminen sekä tiedotus ja koulutus. Uuden tuotantoteknologian kehittäminen on keskeinen ilmastostrategian ohjauskeino. Ilmastostrategian linjaukset on viety Tekesin ja VTT:n tulostavoitteisiin. Aiempaa suurempaa huomiota tulisi kiinnittää erityisesti teknologian kaupallistamiseen ja käyttöönottoon siten, että jo kehitetty teknologia saadaan markkinoille. (Uusiutuvan energian edistämishojelma 2003, 38-39.)

Taloudellisen ohjauksen keinoista olennaisimpia ovat vero-ohjaus ja yritysten ja yhteisöjen ympäristömyönteisille, erityisesti uuden teknologian energiainvestoinneille myönnettävä tuki. Verotukea tuulivoimalle ja pienvesivoimalle on jatkettu vuoden 2002 alusta toistaiseksi. Hallitus on esittänyt vuoden 2003 talousarvioon liittyen verotuen ulottamista kierrätyspolttoaineille ja biokaasulle sekä lisäksi metsähakkeella tuotetulle sähkölle muuta puusähköä korkeampaa tukea. Mielenkiintoinen detalji lienee myös se, että uusiutuvilla energialähteillä tuotettavalle sähkölle maksettavaa hintatukea aletaan maksaa myös turpeelle. Investointituen avulla pyritään edistämään uuden teknologian kaupallistamista. Tuen myöntövaltuutta on lisätty 50 %:lla vuodesta 2000, mutta se ei ole vielä ilmastostrategiassa esitetyllä tasolla. Suurille uuden teknologian demonstraatiohankkeille kehitettävää uutta tukimuotoa ei toistaiseksi ole toteutettu. Uuden rahoitusinstrumentin kehittäminen nähdään tarpeellisena. Yksi mahdollisuus voisi olla tarjouskilpailujen järjestäminen uusiutuvan energian edistämiseksi. Tämä lisäisi uusiutuvan energian edistämisen näkyvyyttä ja tehostaisi toimintaa. (Uusiutuvan energian edistämishjelma 2003, 41-42.)

Liikenteen biopolttoaineiden kansalliset tukiratkaisut vaihtelevat EU:ssa, mikä on johtanut erilaisiin käyttöratkaisuihin. Erot johtuvat sekä poliittisista että markkinalähtöisistä syistä. Tärkeimpänä ajavana voimana on ollut maatalouden tukeminen sekä ympäristönäkökohdat. (Mäkinen et al. 2005, 7.) EU:n direktiivi (2003/30/EY) liikenteen biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä hyväksyttiin keväällä 2003. Direktiivissä esitetään ohjeelliset tavoitteet biopolttoaineiden hyödyntämiselle. Vuonna 2005 biopolttoaineiden markkinaosuus energiasisällön perusteella laskettuna olisi vähintään 2 % kaikesta jäsenmaiden markkinoilla tieliikennekäyttöön myydystä bensiinistä ja vuonna 2010 5,75 %. Jäsenvaltioiden on raportoitava vuosittain etenemisestä, mm. toteutetuista toimenpiteistä ja biopolttoaineiden myynnistä. Suomen tavoite liikenteen biopolttoaineille on 2 %:n osuus vuonna 2010. (Mäkinen et al. 2005, 35.) Syyskuussa 2005 Euroopan parlamentti äänesti voimakkaasti bioenergian puolesta hyväksyessään uusiutuvien polttoaineiden osuutta Euroopan unionissa koskevan raportin. Raportti kehottaa jäsenmaita lisääntyvään bioenergiälähteiden käyttöön asettamalla tavoitteeksi nostaa bioenergian osuutta energian käytössä vuoden 2001 6 %:n tasosta 20%:iin vuoteen 2020 mennessä. Raportin hyväksymisen myötä EU:ssa pyritään esimerkiksi edistämään verokevennyksiä bioenergian käytön edistämiseksi sekä luomaan oikeudenmukaisia markkinaolosuhteita bioenergiasta tuotetulle sähkölle. (Bioenergia Suomessa 2005.)

Tuulivoimavoitteen saavuttaminen edellyttää tuen voimakasta kasvattamista, mikä merkitsee määrärahojen merkittävää lisäämistä, koska samalla halutaan tukea myös bioenergiaa ja muiden uusiutuvien energialähteiden hankkeita. Valtion tuen kasvumahdollisuudet ovat rajalliset. Eräissä maissa käytössä olevia vaihtoehtoisia energiainvestointien rahoituskeinoja ovat esimerkiksi vihreät sertifikaatit, energiapalveluyritykset (ns. ESCO-konsepti) ja rahoituksen kerääminen energiamarkkinoilta ”ilmastomaksuna”. Peltoenergian ja liikenteen biopolttoaineiden markkinoille saattamiseksi tarvitaan EU:n ja kansallisia tukimuotoja. Peltoenergian laajempi kaupallinen hyödyntäminen edellyttää käytännön kokoluokan demonstraatiolaitosta. Palveluliiketoimintojen kehittämisen tukemisella voidaan turvata uusiutuvan energian käyttöön liittyvän huollon, käyttötoiminnan, polttoainehuollon ja muiden palvelujen saatavuus markkinoiden kasvuvaiheessa. (Uusiutuvan energian edistämishjelma 2003, 42-43.) Kauppa- ja teollisuusministeriö on toistaiseksi myöntänyt Suomessa toteutettuihin tuulivoimahankkeisiin investointiavustuksia 33 - 40 % kokonaiskustannuksista.

Energiatuella pyritään lisäämään uusiutuvien energialähteiden käyttöä, edistämään uuden energiateknologian käyttöönottoa sekä vähentämään energian tuotannon ja käytön ympäristöhaittoja. Energiatuki on harkinnanvarainen edistämismuoto, jota voivat saada yritykset ja yhteisöt kuten kunnat. Vuonna 2003 energiataukea myönnettiin yli 32,5 miljoonaa euroa, josta noin 1,3 miljoonaa euroa oli Euroopan aluekehitysrahaston tukea. Työvoima- ja elinkeinokeskusten kautta tukea myönnettiin 6,5 miljoonaa euroa ja kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosaston kautta 26 miljoonaa euroa. Tukea myönnettiin suunnilleen saman verran kuin vuonna 2002. Vuotta 2003 hallitsivat entiseen tapaan puupolttoaineisiin liittyvät investoinnit kuten pienvoimalaitokset, lämpölaitokset ja puupolttoaineiden tuotantohankkeet pois lukien pellettitehtaat. Tuulivoimahankkeita tuettiin 4,8 miljoonalla eurolla. Energiantuotannon ohella tärkeä kokonaisuus on energiansäästö- ja tehokkuustoiminnan tukeminen. Katselmuspäätöksiä ja muita energiansäästöön liittyviä päätöksiä tehtiin 136. Muihin uusiutuviin energialähteisiin kuten biokaasuun, maalämpöön, pienvesivoimaan ja kierrätyspolttoaineisiin liittyvien hankkeiden tukemiseen käytettiin runsaat 2,5 miljoonaa euroa, josta suurin osa (1,9 miljoonaa) biokaasuhankkeisiin. (Anttonen 2004, 13-16.)

Taloudellisiin ohjauskeinoihin kuuluvat myös kaupattavat päästöoikeudet. Julkinen valta jakaa markkinoille päästöoikeuksia sen määrän, kuin se haluaa päästöjä enimmillään syntyvän. Tällöin päästöjen rajoituksen saavutetaan mahdollisimman tehokkaasti. Muita halvemmalla päästöjä vähentävät voivat myydä ylimääräiset päästöoikeudet tahoille, joille oikeuksien ostaminen tulee päästövähennyksiä edullisemmaksi. Euroopan unionin hiilidioksidin päästökauppa käynnistyy vuoden 2005 aikana. (Energia Suomessa 2004, 147.)

KTM on raportissaan arvioinut päästökaupan vaikutuksia energiasektoriin (KTM 2004, 21-25). Nykyisin voimassa olevat toimenpiteet, polttoaineverot, veron alennukset ja puusähkön verotuki edistävät merkittävästi kotimaisten polttoaineiden ja maakaasun kilpailuasetelmia. Energiaverojen ja verotukien poistaminen johtaisi erittäin huomattaviin muutoksiin polttoaineiden käytössä jo alhaisillakin päästöoikeuksien hinnoilla. Hiilidioksidin päästöoikeuden hinnalla 5€/t kivihiilen käyttö kasvaisi perustapaukseen nähden noin 40 % ja turpeen kulutus alenisi kolmanneksella. Myös maakaasun kulutus kääntyisi laskuun ja puun energiakäyttö pysyisi likipitäen perustapauksen tasolla. Vasta hyvin korkeilla päästöoikeuden hinnoilla kivihiilen käyttö laskisi perustapauksen tason alapuolelle. Maakaasun käytön nousu edellyttäisi CO₂:n päästöoikeuden hinnan nousevan lähelle 20 €/t tasoa. Nykyisten energiaverojen ja verotukien säilyttäminen sähkön ja lämmön tuotannossa päästökaupan alkaessa johtaisi aivan erilaiseen polttoainetaseeseen kuin edellä kuvatussa vaihtoehdossa. Tämä käy ilmi taulukossa 8. Tässä vaihtoehdossa kivihiilen osuus vähenee sitä enemmän, mitä korkeampi päästöoikeuden hinta on. Osuuttaan kasvattavat selvästi jo alemmillakin hinnoilla puu ja maakaasu. Turpeen käyttö alenee, muttei siinä määrin kuin aiemmin tarkastellussa vaihtoehdossa. Energiaverot ja verotuet siis ohjaavat polttoainevalintoja energiapolitiikan tavoitteiden suuntaisesti myös päästökaupan oloissa. (KTM 2004, 24-25.)

Taulukko 8. Sähkön ja lämmön tuotannon polttoainekäyttö eri päästöoikeuden hinnoilla vuonna 2010, jos nykyiset verotuet ja energiaverot ovat voimassa. (KTM 2004, 25.)

	Perustapaus	Päästökauppa, päästöoikeuden hinta			
		5 €/tCO ₂	10 €/tCO ₂	20 €/tCO ₂	40 €/tCO ₂
Kivihiili	27,7	26,7	22,6	20,8	9,6
Maakaasu	38,9	39,5	43,0	44,8	53,8
Öljy	10,4	10,1	9,6	9,4	9,2
Turve	25,7	24,4	21,7	16,8	12,7
Puu	27,6	29,5	31,0	34,2	36,4

Päästökaupalla on arvioitu olevan merkittävä vaikutus myös sähkön hintaan avoimilla sähkömarkkinoilla, missä sähkön hinnan muodostuminen perustuu keskeisesti tuotannon rajakustannuksiin. Tehtyjen selvitysten perusteella hiililauhdevoiman tuotanto on useimmiten se tuotantomuoto, jonka perusteella sähkön pörssihinta pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla määräytyy. Selvitysten keskeisimpiä lähtökohtia oli, että päästöoikeuden hinta siirtyy kokonaisuudessaan sähkön hintaan. Electrowatt-Ekono Oy:n tekemässä selvityksessä päästöoikeuden hinta 5 €/t nostaisi sähkön hintaa päästökaupan vallitessa noin 4 €/MWh, 10 €/t noin 8 €/MWh ja 20 €/t noin 16 €/MWh. Vaikutus olisi siten suuri. VTT:n selvityksessä sähkön kulutusarvio Pohjoismaissa on alempi, minkä vuoksi sähkön hinnan nousu näyttää selvityksessä alhaisemmalta. VTT:n mukaan sähkön pörssihinta nousisi 5-7 €/kWh, jos CO₂:n päästöoikeuden hinta olisi 20 €/t. VTT:n arviot sähkön hinnan noususta ovat siten vain 30 - 40 % Electrowatt-Ekono Oy:n arvioista. Päästökaupan vaikutus kaukolämmön hintaan jäänee vähäiseksi, noin prosenttiin päästöoikeuden hinnan ollessa niinkin korkea kuin 20 €/t. (KTM 2004, 31-32.)

EU:n RES-E -direktiivin (2001/77/EY) tavoitteena on aktiivisesti tukea uusiutuvalla energialla tapahtuvaa sähköntuotantoa. Nykyisellään Euroopan energiatarpeesta tuodaan EU:n ulkopuolelta 50 %, mikä tekee Euroopan energiahuollosta melko haavoittuvan järjestelmän (Suomessa vastaava luku on 70 %). Jos mitään ei tehdä, niin riippuvuuden ennakoidaan hiilen ja ydinenergian hyväksyttävyyden laskun vuoksi kohoavan jopa 70 %:iin vuoteen 2030 mennessä. Eurooppa tuottaa 14 % maailman kasvihuonepäästöistä, ja sen tavoitteena on vähentää päästöjä 8 % vuoteen 2010 mennessä. Direktiivin tavoitteena on, että uusiutuvilla energialähteillä tuotettu sähkö kattaa 21 % Euroopan kokonaissähkökulutuksesta vuoteen 2010 mennessä. (European Commission 2004.)

Perustutkimuksen tehokas siirtäminen yksityissektorille innovaatioiden ja kaupallisten tuotteiden synnyttämiseksi riippuu valtion, yliopistojen ja teollisuuden yhteistyöstä. Tämä yhteistyö voi olla avainelementti innovaatiojärjestelmässä yhdessä oikeansuuntaisen tuen kanssa. Euroopassa yhteistyön taso vaihtelee jäsenmaiden välillä. Olisikin hyödyllistä soveltaa ja levittää joitakin hyväksi havaittuja käytäntöjä eri EU-maiden julkisten ja yksityisten tahojen yhteistyökokonaisuuksiin. (European Commission 2005, 16-17.) Lisäksi Euroopan alueella on synergian puute jäsenmaiden T&K -työssä. Kansalliset tutkimusohjelmat ovat usein päällekkäisiä muiden valtioiden kanssa, kun taas osaa tekijöistä ei tutkita missään. Euroopan komissiolla ei ole käsitystä läheskään kaikista kansallisista tai alueellisista tutkimusohjelmista ja niiden sisällöstä.

Euroopan ja sen kilpailijoiden tavoissa rahoittaa teollista tutkimus- ja kehitystyötä on merkittäviä eroja. Euroopan yhteisö ei saa rahoittaa kilpailukyistä T&K:ta, mutta esimerkiksi Yhdysvalloissa tällaista rajoitetta ei ole. Siellä julkista rahoitusta on mahdollista tarjota teollisuudelle myös tutkimus- ja kehitystyön tulosten esikaupallisessa ja jopa kaupallistuneessa vaiheessa. Esimerkiksi jotkut eurooppalaiset biomassateknologioihin erikoistuneet yritykset saavat enemmän tukea Japanista, missä ne voivat lisensoida teknologiansa ja minne ensimmäiset täyden mittakaavan demonstrointilaitokset rakennetaan. Näin asiantuntemusta ja osaamista vuotaa Euroopan ulkopuolelle, ja muut maat voivat ottaa uudessa teknologiassa johtavan aseman muutamassa vuodessa. Kun valtio tukee uuden teknologian kehittämistä ja samaan aikaan kannustaa sitä tukemalla markkinahintoja, strategia voi alkaa ruokkia itse itseään. Silloin soveltuva teknologia oikealla ajoituksella voi muodostua menestyksekkääksi vientituotteeksi. Näin kävi esimerkiksi Japanissa, missä hallitus aloitti kunnianhimoisen aurinkokennoteknologian edistämiprojektin. Nyt Japanin kotimarkkinat ovat maailman suurimmat ja maailmanmarkkinoistakin japanilaiset valmistajat kattavat 40 %. (European Commission 2005.)

6 ENERGIASEKTORIN TULEVAISUUS?

6.1 Olemassa olevien skenaarioiden tarkastelua

Energiatalouden tulevaisuuden kehitystä voidaan hahmotella erilaisten skenaarioiden avulla. Skenaariot voivat olla määrällisiin menetelmiin perustuvia arvioita esimerkiksi tiettyjen teknologioiden yleistymisestä, tai laadullisia kuvauksia erilaisista tulevaisuuskuvista. Tässä luvussa käydään läpi muutamia eri tahojen laatimia skenaarioita energiasektorin kehityksestä Suomessa ja Euroopassa. Skenaarioita tarkastellaan aina tiettyjen muutostekijöiden eli kehityksen reunaehtojen kautta. ILMES-hankkeessa vuoden 2006 aikana asiantuntijahaastatteluihin perustuvissa skenaarioissa tarkastellaan ilmastoliiketoiminnan kehittymismahdollisuuksia (teknologiat, palvelut ja niiden diffuusio). Tässä käydään tiivistetysti läpi kauppa- ja teollisuusministeriön, Climtech-ohjelman, Tulevaisuusvaliokunnan, VTT:n, EurEnDelin, EREC:n ja IEA:n puiteissa kaavailtuja tulevaisuusnäkyymiä.

Kauppa- ja teollisuusministeriön laatimissa skenaarioissa (KTM 2001) perusura-skenaarion (BAU) mukaan energian- ja sähkönkulutus kasvavat, vaikkakin aiempaa hitaammin. Myös kasvihuonepäästöt kasvavat ja vuosien 2008-2012 tilanteessa päästöt ylittävät selvästi Suomelle Kioton pöytäkirjassa ja EU:n taakanjaossa tavoitteeksi asetetun vuoden 1990 päästötason 76,5 miljoonaa tonnia CO₂ ekvivalentteina ilmaistuna. BAU-skenaarion mukaan päästöylitys olisi noin 14 miljoonaa tonnia. BAU-skenaariossa öljyn, vesivoiman ja ydinvoiman käyttö energialähteenä pysyvät määrältään lähes nykyisen suuruisina. Merkittävimmin kasvavat kivihiilen, maakaasun ja puuperäisten polttoaineiden käyttö. Kivihiilen käyttö kasvaa erityisesti lauhdevoiman tuotannossa ja terästeollisuudessa. Turpeen kulutus ja sähkön tuonti alenevat määrällisesti. Skenaariota koskevat herkkyystarkastelut kuitenkin osoittavat, että CO₂-päästöt voivat vaihdella varsin laajoissa rajoissa tulevina parina vuosikymmenenä. Mikäli energiavaltaisten toimialojen kasvu jää vaatimattomaksi ja oman sähkön tuotannon kilpailukyky riittämättömäksi tuonnin suhteen, jäisivät päästöt selvästi BAU-skenaariota pienemmiksi. Jos muut kasvihuonekaasut kehittyisivät BAU:ssa lasketulla tavalla, kasvihuonekaasut ylittäisivät kokonaisuudessaan tavoitetason vuonna 2010 ja kasvaisivat edelleen vuoteen 2020 saakka. CO₂-päästöt ja kasvihuonekaasut kokonaisuudessaan ylittävät erityisen selvästi vuosien 2008-2012 tavoitetason, jos energiavaltaisten toimialojen tuotanto kasvaisi oletettua nopeammin ja sähköntuotanto perustuisi oletettua enemmän fossiilisten polttoaineiden käyttöön. BAU-skenaarion keskeisimpänä tuloksena voidaan pitää sitä, että nykyiset poliittiset toimenpiteet ovat riittämättömiä Suomen ilmastotavoitteen saavuttamiseksi.

KTM:n (2001) laatimissa KIO1- ja KIO2-skenaarioissa energian kysyntä on BAU-skenaariota pienempi tehostettujen energiansäästötoimenpiteiden johdosta. Tärkeimmät ohjauskeinot ovat energiaverotus, investointituet ja normiohjaus. Energiaverotuksessa oletetaan saavutettavan vähintään EU:n laajuinen harmonisoitu verotus ennen vuotta 2008. Molemmissa skenaarioissa panostetaan tuulivoiman ja muiden uusiutuvien energialähteiden lisäämiseen investointi- ja käyttötuilla. Myös teknologian kehittämiseen ja käyttöönottoon tarkoitettujen tukien lisääminen on keskeisellä sijalla. KIO-skenaariot eroavat toisistaan sähkönhankinnan rakenteen osalta. KIO1-skenaariossa kivihiiltä korvattaisiin sähköntuotannossa maakaasulla ja KIO2-skenaariossa ydinvoimalla uusiutuvien energialähteiden lisäksi. KIO-skenaarioiden toimenpidevalinnat käsittävät energiatehokkuuden

parantamisen, uusiutuvien energialähteiden edistämisen, jätehuollon kehittämisen ja sähköntuotannon rakenteen muuttamisen vähemmän hiilipitoiseksi.

Climtech-ohjelman tulosten mukaan merkittäviä uusia polttoaineiden tuotantoteknologioita vuoteen 2030 mennessä olisivat puunhankintaan ja metsänhoitoon kytketty metsähakkeen tuotanto, biopellettien ja pyrolyysiöljyn valmistus, kierrätyspolttoaineiden valmistus. Optimistisissa arvioissa on mukana myös liikennepolttoaineen valmistus maakaasusta tai biomassasta. Avomerelle ja rannikolle rakennettava tuulivoima korostuisi sähköntuotannossa. Kaukolämpövoiman tuotannossa biopolttoaineen käyttö lisääntyisi mm. laitoksissa, joissa on pienehkö leijukeroskattila ja höyryturbiini tai joissa on biomassan kaasutusta ja kaasun käyttöä rinnakkaispolttoaineena kaasuturbiinissa tai höyryturbiinivoimalaitoksessa. Kaukolämpölaitoksissa bioöljyjen käyttö ja biomassan kaasutuspoltto lisääntyisivät. Teollisuuden yhteistuotannossa sekä suuren että pienen mittakaavan laitoksissa biopolttoaineen käyttö kasvaisi. Soodakattiloiden hyötysuhde sähköntuotannossa kasvaisi ja kaasutuskombilaitokset tulisivat käyttöön. (Savolainen et al. 2003, 47.)

Tekesin *Climtech* -ohjelmassa laadituissa skenaarioissa käytettiin pohjana useita yhteisiä oletuksia. Suomessa asuvan väestön oletettiin kasvavan erittäin hitaasti ja kansantalouden kehittyvät tuoreimpien arvioiden mukaisesti eli keskimäärin 2,6 % vuodessa vuoteen 2010 saakka ja 2,1 % vuodessa aikavälillä 2011-2030. Teollisuuden kasvun arvioitiin olevan aluksi hieman yleistä talouskasvua nopeampaa, kun taas vuoden 2010 jälkeen palvelujen kasvu on keskimääräistä suurempaa. Myös fossiilisten polttoaineiden verottomien hintojen oletettiin nousevan vuoteen 2030 mennessä huomattavasti (maakaasu voimakkaimmin, n. 50 %, kivihiili 20 %). Ydinvoimakapasiteetin oletettiin pysyvän samansuuruisena vuodesta 2010 vuoteen 2030. (Savolainen et al. 2003, 170.)

Climtech -ohjelman eri projekteihin perustuvan raportin skenaarioissa A-skenaarioilla analysoitiin teknologian kustannustehokkuutta päästöjen rajoittamisen kannalta. Kasvihuonekaasujen päästöjen kokonaismäärää on skenaarioissa rajoitettava 20 % vuoden 1990 päästöjä pienemmäksi. Ensimmäisessä skenaariossa ilmastonmuutoksen hillintätoimet etenevät hitaasti 20 %:n vähennystavoitteesta huolimatta. Päästöjä vähentävää teknologiaa ei kehitetä maailmassa merkittävästi nykyistä enempää. Puhtaampia teknologioita otetaan Suomessa käyttöön melko hitaasti, eivätkä suomalaisten teknologioiden vientimahdollisuudet juuri parane nykyiseen verrattuna. Toisessa optimistisemmässä skenaariossa ilmastonmuutoksen hillintätoimet vauhdittuvat jo paljon ennen vuotta 2030. Päästöjä vähentävien teknologioiden kehittäminen on vauhdissa ja niiden suoritus- ja kilpailukyky kehittyvät nopeasti. Maailmanlaajuiset puhtaan teknologian markkinat ja vientimahdollisuudet kasvavat nopeasti. Suomessa otetaan yhä enemmän käyttöön puhtaampaa teknologiaa, ja toisaalta Suomesta tulee myös globaalisti merkittävä puhtaan teknologian toimittaja. Ns. B-skenaariossa oletetaan, että nykyinen energiaverotus- ja tukijärjestelmä on edelleen olemassa vuonna 2030, ja verotusta korotetaan Kioton päästötavoitteen saavuttamiseksi. Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi ei synny Kioton jälkeen uusia sopimuksia, eikä päästöjä vähentävää teknologiaa kehitetä maailmassa merkittävästi nykyistä enempää. (Savolainen et al. 2003, 171.)

Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan esiselvityksessä Uusiutuvat energialähteet vuoteen 2030 Suomessa (Helynen et al. 2002) keskityttiin kotimaisten polttoaineiden, erityisesti puun energiakäyttöön ja tuulisähkön käyttöön sekä niiden lisäysmahdollisuuksiin Suomessa. Merkittävimpiä tulevaisuuden kehitystrendejä kyseisen raportin mukaan ovat yksikkökokojen kasvu, projektikokojen kasvu sekä laa-

jamittaisen merituulivoiman rakentamisen käynnistyminen. Suomalaisen teknologiaviennin kannalta yksikkökokojen kasvu merkitsee sitä, että tuulivoimaloiden komponentit muuttuvat entistä enemmän erikoisosaamista sisältäviksi. Komponenttien kehittämisessä, suunnittelussa ja optimoinnissa joudutaan alusta pitäen ottamaan huomioon laitosvalmistajien konseptivalinnasta johtuvat ratkaisut. Tämän johdosta eri laitevalmistajille toimitettavat tuotteet eriytyvät, mikä lisää kehityskustannuksia ja tarvetta pilot -laitoksiin. Projektikoon ja yksikkökoon kasvu merkitsevät yksittäisiin projekteihin liittyvien komponenttitoimitusten arvon kasvamista. Tällöin myös uusiin teknisiin ratkaisuihin liittyvät riskit kasvavat, mikäli ne joudutaan ottamaan ensikäyttöön kaukana Suomesta. Laitosteknologian yleistrendinä ovat säädön ja älyn lisääntyminen. (Helynen et al. 2002, 39-40.)

VTT:n laatimissa vuoteen 2030 saakka ulottuvissa skenaarioissa (Energia Suomessa 2004, luku 8.3) kehitysarvioiden (2) keskeinen ero on oletus uuden teknologian kehittymisen nopeudesta. Ensimmäisessä kehityspolussa oletetaan teknologian kehittyvän tavanomaisella vauhdilla kuten menneinä vuosikymmeninä keskimäärin. Toisessa teknologian kehityksen arvioidaan huomattavasti nopeutuvan voimakkaampien kehityspanosten ansiosta. Nopeamman kehityksen kehitysarviot sopivat sellaiseen tulevaisuuskuvaan, jossa ilmastonmuutoksen hillitsemisestä syntyy kansainvälinen konsensus ja sitovista päästötavoitteista päästään laajaan sopimukseen. Tehokkaamman ja puhtaamman teknologian markkinat alkavat tällöin nopeasti kasvaa, ja tekniikan kehittämiseen ja käyttöönottoon kannattaa suunnata runsaammin voimavaroja. Tulevaisuudessa tarvittavaa energiantuotantoa arvioidessa peruslähtökohtana on energiapalvelujen ja niin sanotun hyötyenergian kysynnän arvioitu kehitys kansantalouden eri sektoreilla. On arvioitava muutoksia eri teollisuussektoreiden tuotannossa ja otettava huomioon eri alojen tuoterakenteen ja tuotantoprosessien mahdolliset muutokset. Taulukossa 9 on käyty läpi keskeisimmät tyypilliset piirteet VTT:n laatimille eri skenaarioille.¹⁸ Taulukon Kioto-skenaario on vanhentunut ydinvoimalan rakennuspäätöksen vuoksi. (Kara et al 2001.)

¹⁸ Skenaarioiden taustaoletukset liittyvät energiankulutuksen ja ympäristön välisiin tekijöihin. Ilmastonlämpenemisen oletetaan olevan todellista, ja ilmaston oletetaan Suomessa lämpenevän n. 2 astetta vuoteen 2030 mennessä. Oletuksena on myös Kioton sopimuksen voimassa oleminen. Yleiset oletukset demografisesta kehityksestä, talouskasvusta ja fossiilisten polttoaineiden hintakehityksestä ovat samat, kuin kansallisen ilmastostrategian oletuksissa.

Oletukset eri skenaarioissa:

Kyoto: Arviot perustuvat Kioton protokollan päästötavoitteisiin, eikä uutta ydinvoimaa rakenneta Suomeen. Massa- ja paperiteollisuus keskittyy mekaanisen massan tuotantoon (vanhentunut, ydinvoimaa ollaan rakentamassa).

Save: Kasvihuonepäästöjä vähennettävä 20 % 1990 tasosta vuoteen 2030. Energiankulutusta hillitseviä toimenpiteitä otetaan käyttöön laajalti. Massa- ja paperiteollisuus keskittyy hienopaperin tuotantoon.

Techno: Kasvihuonepäästöjä vähennettävä 20 % 1990 tasosta vuoteen 2030. Energiateknologioiden tutkimus- ja kehitystyö on intensiivistä ja tuottaa tuloksia. Massa- ja paperiteollisuus keskittyy mekaanisen massanvalmistuksen tuotteisiin.

Taulukko 9. Tyypilliset eri skenaarioiden elementit (Kara et al 2001).

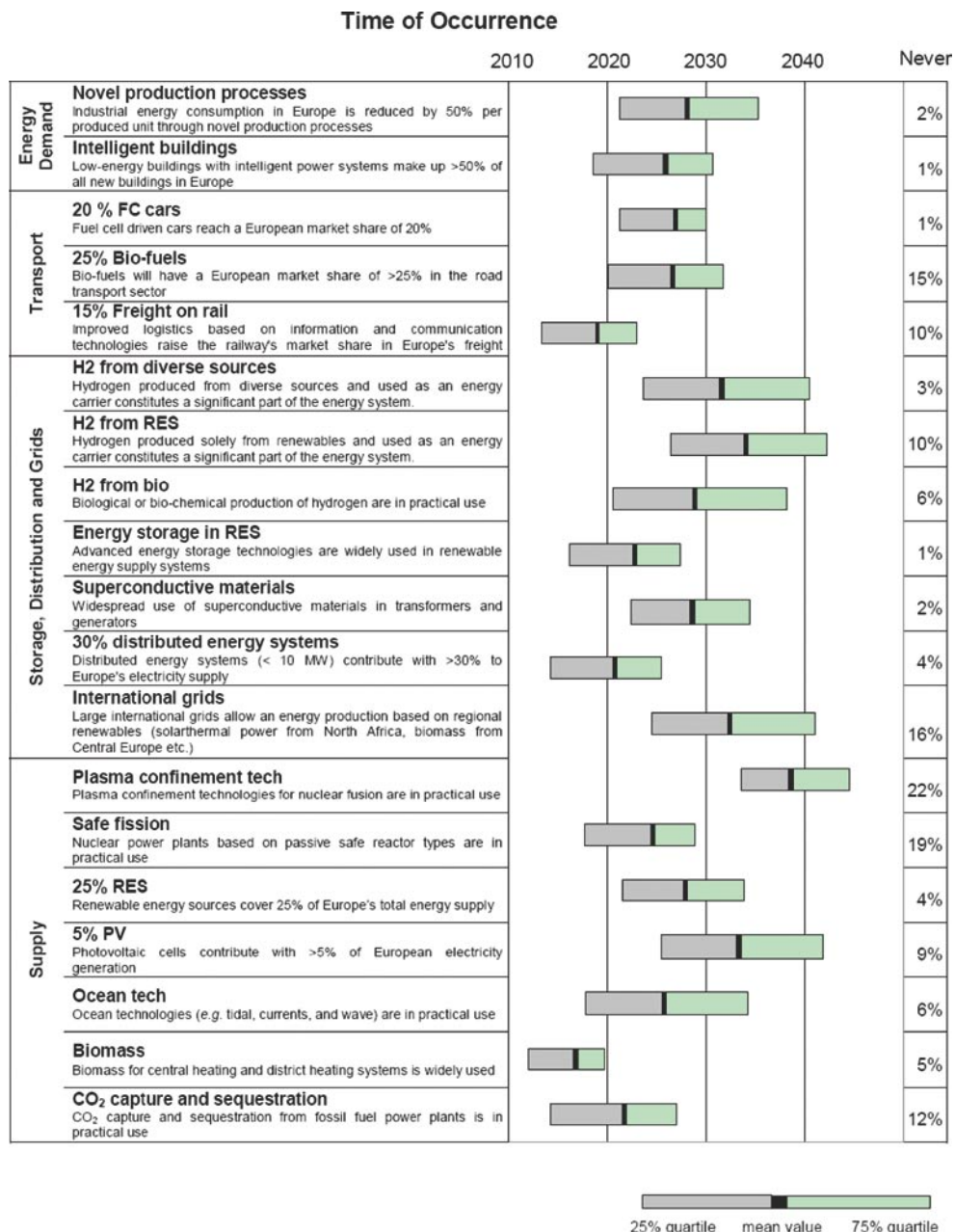
Characteristic	Kyoto	Save	Techno	Reference
Energy and CO ₂ taxation	Moderate increase	Large increase	Small increase	Present
Level of energy conservation measures	Moderate	High	Moderate	Low
Costs and potential of renewable energy supply	Base estimates	Base estimates	Boosted development	Conservative estimates
Costs and potential of new technologies	Base estimates	Base estimates	Boosted development	Conservative estimates
Amount of new nuclear capacity allowed	None	1 400 MW in 2015	3 000 MW by 2030	None
GHG emission reduction objective	The Kyoto target	-20 % from 1990 level	-20 % from 1990 level	None

Euroopan komissio on teettänyt ensimmäisen Euroopan laajuisen asiantuntijankemeyksiin perustuvan delfoi -tutkimuksen energiasektorin tulevaisuuden kehittymisestä. *EurEnDel* -hankkeen päätavoite oli priorisoida energiaan liittyviä tutkimus- ja kehitystoimia asiantuntijatietoon perustuen. Mukaan kutsuttiin 48 maasta yli 3400 energia-alan asiantuntijaa, joista 20 % osallistui hankkeeseen. Aikahorisontin asettaminen vuoteen 2030 mahdollisti käyttökelpoisten näkökulmien esille tuomisen koskien energiateknologioiden pitkän aikavälin kehitystä. Lisäksi eri energiateknologioita arvioitiin erilaisten sosiaalisten arvojen ja visioiden pohjalta. Vuoteen 2030 mennessä kokonaan uudetkin energiateknologiat voivat päästä markkinoille, ja niihin liittyvien innovaatioprosessien edellyttämä tutkimus- ja kehitystyö ehditään toteuttaa. Vuoteen 2030 mennessä Euroopan energiajärjestelmä muuttuu todennäköisesti merkittävästi nykyisestä. (*EurEnDel* 2004, 5-7.) Merkittävää on myös hankkeessa tehty havainto, että Euroopan energiajärjestelmälle ei ole nähtävissä selkeää ”business-as-usual” -skenaariota pitkällä aikavälillä. Suuria rakenteellisia muutoksia on jo käynnissä ja ne todennäköisesti lisääntyvät tulevina vuosikymmeninä. (*EurEnDel* 2004, 9.) Ennakoinnin merkitys siis kasvaa energiasektorin teknologiaa ja palveluja koskevan sekä erityisesti ilmastonmuutoksen hillitsemiseen liittyvän liiketoiminnan suuntaamisessa.

Euroopan tulevaisuus energiasektorilla jäsenyi *EurEnDel* -tutkimuksessa kolmeen skenaarioon. Ensimmäisessä skenaariossa Eurooppa muuttuu energiatehokkaammaksi talouden rakennemuutoksen, poliittisen toiminnan, teknologisen edistyksen ja ympäristönsuojelupaineiden vaikutuksesta. Toisessa skenaariossa fossiilisten polttoaineiden ehtyminen ja ilmastonmuutoksen tuomat paineet polttoaineiden käyttöoikeuksista aiheuttavat suuria kriisejä ja sotia. Kolmannessa skenaariossa Eurooppa yrittää edelleen tavoitella kestävä kehitystä, mutta ilmastonmuutoksen vaikutuksia ei voida estää. Eurooppa on edelleen välvaiheessa, jossa maakaasu on tärkeä energianlähde. *EurEnDelin* tuloksista voidaan päätellä, että energiatehokkuuden kannalta uusien teknologioiden investointiriskien madaltaminen olisi olennaista. Uusiutuvan energian ja energian säästämistä koskevan teknologian kehittämiseen tarvitaan tukea. Uusiutuvien energialähteiden osuus energiantuotannossa Euroopassa voi olla vuoteen 2030 mennessä 25 %.

EurEnDel -tutkimuksen tuloksiin perustuva kuva 30 on esimerkki siitä, millä tavalla energiateknologian kehittymisarvioita voidaan kuvata. Kuvassa on käyty läpi erilaisia energian käyttöön,

liikenteeseen, energian varastointiin ja jakeluun sekä energian tuotantoon liittyviä teknologioita. Vastaajat ovat arvioineet teknologioiden kaupallista ilmaantumisaikankohtaa. Kuvassa 31 puolestaan on esitetty eri teknologioiden kehittymisen ja kaupallistumisen edellyttämien toimenpiteiden painotuksia, kuten perus- ja soveltavan tutkimuksen, taloudellisten ja lainsäädännöllisten toimenpiteiden ja toisaalta julkisen hyväksyttävyyden merkitystä. Lyhyemmän aikavälin teknologioille jälkimmäisillä toimenpiteillä on suuri merkitys, kun taas pidemmän aikavälin teknologioissa etenkin perus- ja soveltava tutkimus korostuvat.



Kuva 32. *EurEnDel*-hankkeen tuloksiin perustuvia eri teknologioiden ilmaantumisaikankohtia Euroopassa. Musta palkki edustaa keskiarvoa. Oikealla niiden vastaajien prosenttiosuus, jotka eivät usko kyseisen teknologian koskaan leviävän laajempaan käyttöön (*EurEnDel 2004*).

"Safe- bet"	Basic R&D	Applied R&D	Fiscal measures	Regulations	Public acceptance	When will it happen
★		Biomass for heating widely used				Mid term 2011-2020
			15% freight on rail			
★		Novel and more efficient processes in industry (50% of demand reduction)				Long term 2021-2030
★		Reduction of energy demand in the housing sector (intelligent systems 50% of buildings)				
★		25% of RES in primary energy				
		Ocean technologies in practical use				
★		30% of distributed energy generation				
★	20% of fuel cells for transport					
	25% of biofuels for transport					
★	Energy storage for intermittent RES widely used					
		Passive safe reactors (nuclear fission) in practical use				
		Superconductive materials are widely used in power systems				
		CO ₂ capture and sequestration in practical use				Very long term, after 2030
		Practical use of international grids for RES				
	5% of Photovoltaics					
	Nuclear fusion in practical use					
	High market penetration of H ₂ from RES					
	High market penetration of H ₂ from diverse sources					
	Biological production of H ₂ in practical use					

Kuva 31. Eri teknologioiden edistämisen edellyttämiä toimenpiteitä EurEnDel -hankkeen tulosten perusteella sekä aikavälitarkastelu (EurEnDel 2004).

IEA (2003) on laatinut ns. normatiivisen skenaarion vuoteen 2050 saakka. Eri muutostekijöistä voidaan valita pareja, kuten teknologinen muutos ja asenteet globaaliympäristöä kohtaan. Näiden kahden tekijän väliseen vaihteluun mahtuu esimerkiksi kolmenlaisia skenaarioita:

- Clean but not sparkling: hitaan teknologisen muutoksen maailma, suuri huoli maailman ympäristöstä
- Dynamic and careless: nopea teknologinen muutos, alhainen ympäristöhuoli
- Bright skies: nopea teknologinen muutos, suuri ympäristöhuoli

Työn lähtökohtana oli toivottavan vision laatiminen. Skenaariotyöskentelyn tulos on, että on mahdollista saavuttaa energiaturvallisuuteen, ilmastonmuutoksen hillitsemiseen ja energian saatavuuteen liittyvät tavoitteet. Poliittiset työkalut ovat jo saatavilla, mutta niitä on sovellettava kaikilla

tasoilla nykyistä voimakkaammin. Suurin osa tarvittavista teknologioista on jo esikaupallisella asteella. (IEA 2003.)

EREC (European Renewable Energy Council) on laatinut kaksi skenaariota uusiutuvan energian roolin kehityksestä vuoteen 2040 mennessä, joiden mukaan uusiutuvan energian maailmanlaajuinen 50 %:n osuus energiankulutuksesta on mahdollinen kyseisellä aikavälillä. Kehittyneen kansainvälisen politiikan skenaario (AIP) perustuu kunnianhimoisiin uusiutuvan energian lähteiden kasvuodotuksiin, jotka tarvitsevat lisätukea, jotta ne voidaan saavuttaa. Skenaariossa oletetaan vanhemman energiantuotannon hintojen nousevan voimakkaasti, ja vähemmän kehittyneiden alueiden ottavan uusiutuvaa energiateknologiaa käyttöön ilman välivaiheita. Skenaariossa tarvitaan voimakkaita kansainvälisiä toimenpiteitä ja vahvaa yhteistyötä tavoitteiden saavuttamiseksi. Kokonaisenergiankulutusta koskevat oletukset perustuvat IIASA:n (International Institute for Applied Systems Analysis) skenaarioon. Tässä skenaariossa ydinvoima on siirtymävaiheen teknologiaa, joka hitaasti lopetetaan 2000-luvun loppuun mennessä. Taulukossa 10 esitetään eri uusiutuvien energialähteiden osuuksien kehittymistä AIP -skenaariossa. Sen mukaisella kehityksellä olisi mahdollista saavuttaa lähes 50 % uusiutuvan energian osuus vuoteen 2040 mennessä.

Taulukko 10. AIP –skenaariossa arvioitu maailman uusiutuvan energian kulutus energialähteittäin vuodesta 2001 vuoteen 2040 (EREC.)

	2001	2010	2020	2030	2040
Total consumption in Mtoe (IIASA)	10 038,3	10 549,0	11 425,0	12 352,0	13 310,0
Biomass	1 080,0	1 313,0	1 791,0	2 483,0	3 271,0
Large hydro	222,7	266,0	309,0	341,0	358,0
Small hydro	9,5	19,0	49,0	106,0	189,0
Wind	4,7	44,0	266,0	542,0	688,0
PV	0,2	2,0	24,0	221,0	784,0
Solar thermal	4,1	15,0	66,0	244,0	480,0
Solar thermal electricity	0,1	0,4	3,0	16,0	68,0
Geothermal	43,2	86,0	186,0	333,0	493,0
Marine (tidal/wave/ocean)	0,05	0,1	0,4	3,0	20,0
Total RES	1 364,5	1 745,5	2 694,4	4 289,0	6 351,0
RES contribution	13,6 %	16,6 %	23,6 %	34,7 %	47,7 %

Dynaamisten nykytoimenpiteiden skenaario (DCP) olettaa kansainvälisen yhteistyön olevan vähäisempää, mutta kansallisten toimenpiteiden sitäkin voimakkaampia. Siinä oletetaan, että muutkin alueet alkavat omaksua edistyksellisiltä uusituvan energiateknologian edistäjiltä niiden käyttämiä toimintatapoja. Taulukossa 11 tarkastellaan maailman uusiutuvan energian kulutusta energialähteittäin DCP -skenaariossa, jonka mukaan uusiutuvien osuus vuonna 2040 olisi 27,4 %.

Taulukko 11. DCP -skenaariossa arvioitu maailman uusiutuvan energian kulutus energialähteittäin vuodesta 2001 vuoteen 2040 (EREC.)

	2001	2010	2020	2030	2040
Total consumption in Mtoe (II ASA)	10 038,3	11 752,0	13 553,0	15 547,0	17 690,0
Biomass	1 080,0	1 291,0	1 653,0	2 221,0	2 843,0
Large hydro	222,7	255,0	281,0	296,0	308,0
Small hydro	9,5	16,0	34,0	62,0	91,0
Wind	4,7	35,0	167,0	395,0	584,0
PV	0,2	1,0	15,0	110,0	445,0
Solar thermal	4,1	11,0	41,0	127,0	274,0
Solar thermal electricity	0,1	0,4	2,0	9,0	29,0
Geothermal	43,2	73,0	131,0	194,0	261,0
Marine (tidal/wave/ocean)	0,05	0,1	0,4	3,0	9,0
Total RES	1 364,5	1 682,5	2 324,4	3 416,0	4 844,0
RES contribution	13,6 %	14,3 %	17,10 %	22,0 %	27,4 %

6.2 Päätelmiä eri skenaarioista

Kaikkien tahojen tekemissä aikavälille 2020-2050 ulottuvissa skenaarioissa voidaan havaita elementtejä siitä, että tulevana vuosikymmeninä uuden ja puhtaamman energiateknologian asema voi olla voimakkaasti nykyistä vahvempi tietyin edellytyksin. Pääosin skenaariot jakautuvat hillitympiin, niin sanottuihin Business as Usual (BAU) -skenaarioihin sekä positiivisempiin kehitysskenaarioihin. BAU -skenaarioille tyypillisiä elementtejä ovat energian ja sähkönkulutuksen kasvu, Kioton päästötavoitteiden ylittyminen ja teknologisen kehityksen ja käyttöönoton hitaus. Näissä skenaarioissa fossiilisilla polttoaineilla ja mm. ydinvoimalla on edelleen keskeinen asema energiantuotannossa. Varsinaisia uhkakuvia skenaarioissa oli suhteellisen vähän. EurEnDel -skenaarioista yhdessä nähtiin fossiilisten energiavarojen ehtymisen aiheuttavan kriisejä ja sotia ja muissa negatiivisemmissä skenaarioissa ilmastonmuutoksen nähtiin kehittyvän edelleen huolestuttavampaan suuntaan teknologisen kehityksen hitauden vuoksi.

Positiivisemmissä skenaarioissa nähdään uusiutuvien, Suomen mittakaavassa erityisesti biopolttoaineiden, tuulivoiman, kierrätyspolttoaineiden sekä uusien liikennepolttoaineiden kehittyvän voimakkaasti. Näissä skenaarioissa uuden energiateknologian kilpailukyky vahvistuu entisestään voimakkaasti, kasvattaen sekä suomalaista vientiosaamista että teknologian käyttöönottoa Suomessa. Tällaisiin näkemyksiin liittyy usein odotus kansainvälisen konsensuksen ja sitovien päästötavoitteiden syntymisestä sekä puhtaiden energiateknologioiden markkinoille pääsyn tukemisesta. Sekä EurEnDel -tutkimuksen (Euroopan mittakaava 2030) että EREC:in (globaali mittakaava 2040) laatimien skenaarioiden mukaan uusiutuvan energian osuus energiantuotannosta voisi aikavälillä 2030-2040 olla ainakin 25 %. Työkaluja uuden energiateknologian menestyksen luomiseen on jo nyt olemassa eri tasoilla, IEA:n mukaan niitä on vain sovellettava nykyistä voimakkaammin, jotta teknologioiden kaupallistaminen onnistuu. Esimerkiksi Tanskassa uusiutuvan energian osuus energiankulutuksesta

on noussut vuoden 1980 3,3 %:sta 13,2 %:iin vuonna 2003 (Hvelplund 2005, 85). Positiiviset skenaariot ovat kaikkien tahojen laatimissa tulevaisuuskuvissa realistisia, mikäli nykyhetkessä ja lähivuosina panostetaan oikeanlaisiin toimenpiteisiin sekä kansallisella että globaalilla tasolla.

LÄHTEET

- Aalto, A. & Saarinen, J. 2005. [verkkodokumentti] Turpeen energiakäytön asema Suomen energiajärjestelmässä. Asiantuntijaryhmän esitykset. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto. [viitattu 16.9.2005] <URL: http://www.turveteollisuusliitto.fi/user_files/files/Asiantuntijaesitysyhteenveto.pdf>.
- Alanen, R. & Koljonen, T. & Hukari, S. & Saari, P. 2003. Energian varastoinnin nykytila. VTT tiedotteita 2199.
- Anttonen, M. 2004. Energiatuen käyttö ja jakautuminen vuonna 2003. Energiakatsaus 1/2004. Kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosasto. Suomen graafiset palvelut Ltd, Kuopio.
- Asplund, D., Korppi-Tommola, J., Helynen, S. 2005. [verkkodokumentti] Uusiutuvan energian lisäysmahdollisuudet vuoteen 2015. [viitattu 16.12.2005] <URL: <http://www.finbioenergy.fi/GetItem.asp?item=download;Uusiutuvan%20energian%20lisaysmahdollisuudet%202015.pdf;156;456;attn>>.
- Bioenergia Suomessa. 2005. [verkkodokumentti] Tiedote uusiutuvien polttoaineiden osuutta Euroopan unionissa koskevan raportin hyväksymisestä Euroopan Parlamentissa 29.9.2005. [viitattu 18.10.2005] <URL: <http://www.finbioenergy.fi/default.asp?init=true&InitID=456;0>>.
- Bioenergia Suomessa. 2005 a. [verkkodokumentti] Biopolttoaineiden primäärikäyttö Suomessa 1970-1999e. [viitattu 1.12.2005] <URL: <http://www.finbioenergy.fi/default.asp?init=true&InitID=456;0>>.
- Biofuels barometer. 2005. Le Baromètre des biocarburants. EurObserv'ER.
- EK, Elinkeinoelämän Keskusliitto. 2005. [verkkodokumentti] Teollisuuden energiankäyttö. [viitattu 10.8.2005] <URL: http://www.ek.fi/ek_suomeksi/kilpailukyky/energia/energiankaytto/teollisuuden_energiankaytto.php>.
- Energia ja Suomen kilpailukyky. 2005. Energia-alan toimialaraportti Suomi maailmantaloudessa -selvitykseen. Helsinki 2005.
- Energia Suomessa. 2004. Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset. VTT-Prosessit. Edita Prima Oy, Helsinki.
- Energiatehokas koti. 2005 [verkkodokumentti] Energiatehokas koti – hankkeen tavoitteet. [viitattu 15.11.2005]. <URL: <http://www.energiatehokaskoti.fi/fi/energiatehokaskoti/hankkeentavoitteet/>>.
- Energiateollisuus. 2005. [verkkodokumentti] Vesivoima [viitattu 19.10.2005]. <URL: <http://www.energia.fi/page.asp?Section=4477>>.
- EREC. European Renewable Energy Council. Renewable Energy Scenario to 2040.
- EurEnDel. 2004. [verkkodokumentti] Technology and Social Visions for Europe's Energy Future –A Europe-wide Delphi Study. Summary Report [viitattu 19.1.2005]. <URL: http://www.izt.de/eurendel/survey_results/index.html>.
- EurLex, 2001. [verkkodokumentti] Neuvoston päätös, 4.4.2001. [viitattu 13.12.2005] <URL: http://europa.eu.int/eurlex/pri/fi/oj/dat/2001/l_134/l_13420010517f00400064.pdf>.
- Euroopan komissio (1997). Komission tiedonanto: Tulevaisuuden energia: uusiutuvat energialähteet. Yhteisön strategiaa ja toimintasuunnitelmaa koskeva valkoinen kirja. KOM(97) 599 lopull.
- European Commission 2003. Energy, technology and climate policy outlook, 2030. WETO.

- European Commission. 2004. Electricity from renewable energy sources. Encouraging green electricity in Europe. Directorate General for Energy and Transport.
- European Commission. 2005. Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats in Energy Research. Directorate-General for Research. Sustainable Energy Systems.
- European Commission 2005b. European Wind Energy at the dawn of the 21th century. Research funded under the Fifth Framework Programme.
- European Commission 2005 c. [verkkodokumentti] European Steel Technology Platform. Strategic Research Agenda. Executive Summary. [viitattu 1.12.2005] <URL: http://europa.eu.int/comm/research/industrial_technologies/pdf/sra_summary_en.pdf >.
- Eurelectric 2004. Union of the electricity industry. Electricity for more efficiency. Electric technologies and their energy saving potential. Summary for policymakers. <URL: <http://www.eurelectric.org>>.
- Faktaa tuulivoimasta-esite. 2005. [verkkodokumentti, viitattu 12.8.2005] <URL: http://www.tuulivoimayhdistys.fi/index_fi.htm>.
- Finergy. 2004. Arvio Suomen sähkön tarpeesta vuoteen 2020. Energia-alan keskusliitto Ry Finergy.
- Haapanen, Erkki. 2005. [verkkodokumentti] EU:n uusiutuvan energian tavoitteet vuodelle 2010. Lyhennelmä EU komission toimintasuunnitelman prioriteeteista v. 2005. [viitattu 12.8.2005] <URL: http://www.tuulivoimayhdistys.fi/index_fi.htm>.
- Hakola, P & Kinnunen, M. 2005. Pirkanmaan energiaklusterin ennakoiva analyysi 2010-2020. Pirkanmaan ennakointipalvelu. Pirkanmaan TE-keskus.
- Helynen, S. & Sipilä, K. & Peltola, E. & Holttinen, H. 2002. Uusiutuvat energialähteet vuoteen 2030 Suomessa. Tulevaisuusvaliokunta. Teknologian arviointeja 12. Eduskunnan kanslian julkaisu 6/2002.
- Hernesniemi, H. & Viitamo, E. 1999. Suomen energiaklusterin kilpailuetu. Elinkeinoelämän tutkimuslaitos. Yliopistopaino, Helsinki.
- Hieta, P. 1995. Energiateknologinen muutos Suomessa. IVO-yhtiöt, tutkimusraportteja. Vantaa.
- Hvelplund, F. 2005. Denmark. In Reiche, D. 2005. Handbook of Renewable Energies in the European Union. Europäischer Verlag der Wissenschaften. Germany.
- IEA. 2003. CO₂ emission from fuel combustion, 1960-2001. Paris, IEA Statistics
- IEA. 2003 b. Energy to 2050. Scenarios for a Sustainable Future. Paris.
- IEA. 2004. Trends in photovoltaic applications: survey report of selected IEA countries between 1992 and 2003. International Energy Agency (IEA).
- IEA. 2004a. World Energy Outlook 2004. International Energy Agency (IEA).
- IEA. 2005. BP Statistical Review. [verkkodokumentti, viitattu 11.4.2005] <URL: <http://www.oil-gas.fi/upload/Tilastot/tilastot.PDF>>.
- IEA. 2006. Sähköpostitiedonanto 17.1.2006.
- IPCC. 2001. Climate Change 2001: Mitigation, Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. UN/IPCC, Cambridge.
- Jauho, P. 2002. Globaalinen energiajärjestelmä ja sen ajallinen muuttuminen. ”Maapallon energian tulevaisuus kohti kestäväää kehitystä” -keskustelutilaisuus. Tutkijoiden ja kansanedustajien seura, TUTKAS. Loppukommenttipuheenvuoro.
- Jorgensen, B. H., 2005. Key Technologies for Europe. Energy. Final Draft. Riso National Laboratory.
- Kamppinen, M. & Kuusi, O. & Söderlund S. 2003. Tulevaisuudentutkimus. Tammerpaino Oy.

- Kara, M. & Hirvonen, R. & Mattila, L. & Viinikainen, S. & Tuhkanen, S. (toim.) 2001. Energy visions 2030 for Finland. VTT Energia.
- Kauppa- ja teollisuusministeriö. 2001. Kasvihuonekaasujen vähentämistarpeet ja –mahdollisuudet Suomessa. Kansallisen ilmastostrategian taustaselvitys. KTM julkaisu 4/2001. Oy Edita Ab.
- Kauppa- ja teollisuusministeriö. 2004. EU:n päästökaupan, energiaverotuksen ja energiantuotannon tukien yhteensovittaminen. Työryhmän mietintö. KTM julkaisu 35/2004. Energiaosasto.
- Kauppa- ja teollisuusministeriö. 2005. [verkkodokumentti] Uusiutuvien energiamuotojen ja turpeen osuus energian kokonaiskulutuksesta ja jakauma lähteittäin vuonna 2003. [viitattu 14.6.2005] <URL: http://www.ktm.fi/index.phtml?menu_id=179&lang=1>.
- Kauppa- ja teollisuusministeriö. 2005 b. Teknologiaa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Taustatyö kansallisen ilmastostrategian päivytystä varten. KTM julkaisu 1/2005. Energiaosasto.
- Kauppa- ja teollisuusministeriö. 2005 c. [verkkodokumentti] Liikenteen biopolttoainetyöryhmä asetettu. [viitattu 18.10.2005] <URL: <http://www.ktm.fi/index.phtml?c=www&i=1341&l=fi&s=222>>.
- Kauppa- ja teollisuusministeriö. 2005 d. [verkkodokumentti] Kansallinen ilmastostrategia. [viitattu 15.9.2005] <URL: <http://www.ktm.fi/index.phtml?l=fi&s=167>>.
- Kauppa- ja teollisuusministeriö. 2005 e. [verkkodokumentti] Energiansäästösopimukset. [viitattu 19.9.2005] <URL: <http://www.ktm.fi/index.phtml?c=www&l=fi&s=177>>.
- Kauppa- ja teollisuusministeriö. 2005 f. [verkkodokumentti] Lähiajan energia- ja ilmastopolitiikan linjauksia – Kansallinen strategia Kioton pöytäkirjan toimeenpanemiseksi. [viitattu 25.11.2005] <URL: <http://www.ktm.fi/index.phtml?c=www&l=fi&s=164>>.
- Keräysviesti 2005. Jätteenpolto on kuuma kysymys. Keräysviesti. Paperinkeräys-yhtiöiden lehti. 3/2005.
- Koljonen, T. & Kekkonen, V. & Lehtilä, A. & Hongisto, M. & Savolainen, I. 2004. Päästökaupan merkitys energiasektorille ja terästeollisuudelle Suomessa. VTT Prosessit.
- Kuittinen, V. & Huttunen, M. J. 2004. Suomen biokaasulaitosrekisteri VII. Tiedot vuodelta 2003. Joensuu.
- Kuusi, O. & Kamppinen, M. 2003. Tulevaisuuden tekeminen. Teoksessa Kamppinen, Kuusi & Söderlund (toim.). Tulevaisuudentutkimus -perusteet ja sovellukset. Suomalaisen kirjallisuuden seuran toimituksia 896, Tampere.
- Lampinen, A. 2000. Suomalaisen ilmastotalouden ilmiöitä – Miten energiansäästö ja muut win-win-mahdollisuudet tullaan ottamaan huomioon Suomen ilmastomuutoksen torjuntastrategiassa? Futura 3, 81-95 (päivitetty versio Eduskunnalle annettu muistio 2005).
- Lampinen, A. 2001. Jyväskylän yliopiston Uusiutuvan energian koulutus- ja tutkimusohjelma. Tausta ja toimintaympäristö. Jyväskylän yliopiston Bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 74. Jyväskylän yliopisto.
- Lampinen, A. 2004. Biokaasun tuotannon ja hyödyntämisen perusteet. Dimensio 3/2004.
- Lampinen, A. 2005. Uuden voimalaitoksen vaikutukset Jyväskylän ilmastostrategiaan – Selvitys Jyväskylän kaupungille. Bio- ja ympäristötieteiden laitos, Jyväskylän yliopisto, 29.8.
- Maailman tila, 2004. Assadourian, E., Flavin, C., French, H., Gardner, G., Halweil, B., Mastny, L., Nierenberg, D., Postel, S., Renner, M., Sarin, R., Sawin, J., Starke, L., Vickers, A. Worldwatch-instituutti. Teemana kulutus.
- Monni, S. & Soimakallio, S. & Ohlström, M. 2003. Arvioita energiateknologian markkinoista lähivuosisikymmeninä. VTT Prosessit, PRO4/P7501/03.

- Motiva. 2005. [verkkodokumentti] ESCO –palvelukonsepti. [viitattu 16.9.2005.]
<URL: <http://www.motiva.fi/fi/yjay/kiinteisto-jarakennusala/esco-palvelukonsepti/>>.
- Motiva 2005 b. [verkkodokumentti]. Rakennusten energiatehokkuuden laskenta. [viitattu 17.10.2005.] <URL: <http://www.motiva.fi/fi/yjay/kiinteisto-jarakennusala/ret/>>.
- Motiva 2005 c. [verkkodokumentti] Maalämpö [viitattu 14.11.2005] <URL: <http://www.motiva.fi/fi/kirjasto/uusiutuvatenergialahteetsuomessa/maalampo/>>.
- Mäkinen, T. & Sipilä, K. & Nylund, N.-O. 2005. Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Suomessa. Taustaselvitys. VTT tiedotteita 2288. Espoo.
- Peltola, E. 2005. Sähköpostitiedontanto 18.10.2005. VTT Prosessit.
- Poikonen, P. & Keikko, T. & Koskelainen, L. & Laurila, L. & Pyrhönen, J. & Repo, S. & Turunen, P. & Valkealahti, S. 2005. Hajautetun sähköntuotannon teknologian ja tekniikoiden nykytila sekä tulevaisuuden kehitysnäkymät. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkövoimatekniikan laitos. Tutkimusraportti 2005:1.
- Savolainen, I. & Ohlström, M. & Kärkkäinen, A. 2003. Ilmasto. Haaste teknologialle. Näkemyksiä ja tuloksia Climtech-ohjelmasta. Tekes. Edita Prima Oy, Helsinki.
- Solpros. 2001. Aurinkoenergian teknologia- ja markkinakatsaus. Tekes-projekti 594/480/00. Solpros Ay.
- Solpros b. 2001. Aurinkoenergia Suomen olosuhteissa ja sen potentiaali ilmastonmuutokset torjunnassa. Tekes-projekti 594/480/00. Solpros Ay.
- Solpros c. 2001. Solar Road Map –kansallinen aurinkoenergian toimenpideohjelma (luonnos). Solpros Ay.
- SULPU 2005. [verkkodokumentti] Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. [viitattu 10.11.2005] <URL: http://www.sulpu.fi/rakentajat_yleista.asp>.
- Tamminen, E. & Nousiainen, I. 1997. Bioenergian edistäminen ja sen tuloksellisuus Suomessa. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Oy Edita Ab.
- Tekniikka & Talous, 24.11.2005. Tuulisähkön tuotanto kasvaa reippaasti. Jukka Lukkari.
- Tilastokeskus. 2005. Energiaennakko 2004. Helsinki 15.3.2005.
- Tilastokeskus. 2005 b. [verkkodokumentti] Energiankulutus. [viitattu 22.8.2005.]
<URL: www.stat.fi/til/ekul/>.
- Tuhkanen, S. 2002. Jätehuollon merkitys Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Kaatopaikkojen metaanipäästöt ja niiden talteenotto. VTT Prosessit. Edita Oyj, Helsinki.
- Tulevaisuus on osaamisessa. 2002. Teknologiastrategia -näkemys valinnoista. Teknologian kehittämiskeskus, TEKES.
- Tuulienergia. 2005. [verkkodokumentti] Alternen TUULIENERGIA. [viitattu 12.8.2005]
<URL: http://www.tuulivoimayhdistys.fi/index_fi.htm>.
- Tuulivoimayhdistys. 2005. [verkkodokumentti, viitattu 11.8.2005]
<URL: http://www.tuulivoimayhdistys.fi/index_fi.htm>.
- TVO. 2005. [verkkodokumentti] Sähkön käyttö Suomessa. [viitattu 29.8.2005]
<URL: <http://www.tvo.fi/ytimekas/0105/kasvu.html>>.
- Uusi-Penttilä, P. 2004. Biokaasun liikennekäyttö Jyväskylän seudulla. Esiselvitys. Jyväskylä Science Park.
- Uusiutuvan energian edistämishjelma (1999). Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisuja 4/1999. Edita, Helsinki.
- Uusiutuvan energian edistämishjelma 2003-2006. Työryhmän ehdotus. Kauppa- ja teollisuusministeriön työryhmä- ja toimikuntaraportteja 5/2003. Edita, Helsinki.

- Vapaavuori, M.& von Bruun, S. (toim.) 2003. Miten tutkimme tulevaisuutta? Tulevaisuuden tutkimuksen seura Ry. Tammer-Paino Oy.
- VTT, 2002. Tuhkanen, S., Sipilä K., Turkulainen, T. Jätehuollon toimenpiteiden merkitys kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Projektin yhteenveto. CLIMTECH.
- VTT, 2005. [verkkodokumentti] Suomen tuulivoimatilastot. [viitattu 1.12.2005]
<URL: <http://www.vtt.fi/pro/pro2/tuulitilastot/tuulitilastot.htm>>.



Turun kauppariikokoulu
Tulevaisuuden tutkimuskeskus

www.tukkk.fi/tutu, tutu-info@tukkk.fi