



# UUSIUTUVAT ENERGIALÄHTEET VUOTEEN 2030 SUOMESSA

EDUSKUNNAN KANSLIAN JULKAISU 6 / 2002

---

# UUSIUTUVAT ENERGIALÄHTEET VUOTEEN 2030 SUOMESSA

## **Teknologian arviointi tulevaisuusvaliokunnassa**

Esiselvitys kasviteknologiasta (Tulevaisuusvaliokunnan teknologiajaosto, Teknologian arviointeja 1: Ahti Salo ja Veli Kauppinen, Eduskunnan kanslian julkaisu 3/1997)

Tieto- ja viestintäteknikka opetuksessa ja oppimisessa, Osaamisen haasteet ja tietotekniikan mahdollisuudet, väliraportti (Tulevaisuusvaliokunnan teknologiajaosto, Teknologian arviointeja 2, Eduskunnan kanslian julkaisu 2/1998)

Loppuraportti kasviteknologiasta, Kasviteknikka ravinnon tuotannossa (Tulevaisuusvaliokunnan Teknologiajaosto, Teknologian arviointeja 3: Ahti Salo, Veli Kauppinen ja Mikko Rask, Eduskunnan kanslian julkaisu 4/1998)

Tieto- ja viestintäteknikka opetuksessa ja oppimisessa - tulokset ja toteutus (Tulevaisuusvaliokunnan teknologiajaosto, Teknologian arviointeja 4, Eduskunnan kanslian julkaisu 5/1998)

Esiselvitys gerontechnologiasta - ikääntyvä väestö ja teknologian mahdollisuudet (Tulevaisuusvaliokunnan teknologiajaosto, Teknologian arviointeja 5: Juha Kaakinen, Sinikka Törmä, Eduskunnan kanslian julkaisu 2/1999)

Avauksia tietämyksen hallintaan (Tulevaisuusvaliokunta, Teknologian arviointeja 6: Riitta Suurla, Eduskunnan kanslian julkaisu 1/2001)

Ikääntyneiden itsenäistä suoriutumista tukevan teknologian arviointi käyttäjänäkökulmasta, Turvahälytysjärjestelmät, Gerontechnologia-arvioinnin osaraportti (Tulevaisuusvaliokunta, Teknologian arviointeja 7: Sinikka Törmä, Jarmo Nieminen, Merja Hietikko/Sosiaalikehitys Oy, Eduskunnan kanslian julkaisu 4/2001)

Ikääntyneiden itsenäistä suoriutumista tukeva teknologia, Internet-pohjaisten omahoidon tukijärjestelmien arviointi, Gerontechnologia-arvioinnin osaraportti (Tulevaisuusvaliokunta, Teknologian arviointeja 8: Annele Eerola, Sirkku Kivisaari, Riikka Eela, Mikko Rask/VTT Teknologian tutkimuksen ryhmä, Eduskunnan kanslian julkaisu 5/2001)

Ikääntyneiden itsenäistä selviytymistä tukeva tulevaisuuspolitiikka ja gerontechnologia, Gerontechnologia-arvioinnin loppuraportti (Tulevaisuusvaliokunta, Teknologian arviointeja 9: Osmo Kuusi, Eduskunnan kanslian julkaisu 7/2001)

Energia 2010 -teknologian arviointi, Delfoi-paneelitutkimus tulevaisuuden energiavalinnoista (Tulevaisuusvaliokunta, Teknologian arviointeja 10, Eduskunnan kanslian julkaisu 8/2001)

Sosiaalinen pääoma ja tieto- ja viestintäteknikan kehitys, esiselvitys (Tulevaisuusvaliokunta, Teknologian arviointeja 11: Osmo Pekonen ja Lea Pulkkinen, Eduskunnan kanslian julkaisu 5/2002)

TULEVAISUUSVALIOKUNTA  
TEKNOLOGIAN ARVIOINTEJA 12

## UUSIUTUVAT ENERGIALÄHTEET VUOTEEN 2030 SUOMESSA

Satu Helynen, Kai Sipilä, Esa Peltola ja Hannele Holttinen,  
VTT Prosessit



EDUSKUNNAN KANSLIAN JULKAISU 6/2002

Uusiutuvat energialähteet -teknologian arvioinnin ohjausryhmä:  
Kansanedustajat Martti Tiuri (pj.), Christina Gestrin (vpj.), Eero Akaan-Penttilä,  
Reijo Kallio, Erkki Kanerva, Riitta Korhonen, Gunnar Jansson, Esa Lahtela,  
Markku Laukkanen, Pekka Nousiainen, Margareta Pietikäinen, Mauri Salo,  
Timo Seppälä, Pia Viitanen ja Pekka Vilkuna.

Lisätietoja:

Tutkija Ulrica Gabrielsson  
Tulevaisuusvaliokunta, 00102 Eduskunta  
Puhelin: (09) 432 2183, Faksi: (09) 432 2140  
Sähköposti: [ulrica.gabrielsson@eduskunta.fi](mailto:ulrica.gabrielsson@eduskunta.fi)

Tutkimusprofessori Kai Sipilä  
VTT Prosessit, PL 1601, 02044 VTT  
Puhelin: (09) 456 5440, Faksi: (09) 460 493  
Sähköposti: [kai.sipila@vtt.fi](mailto:kai.sipila@vtt.fi)

Tuotepäällikkö Esa Peltola  
VTT Prosessit, PL 1606, 02044 VTT  
Puhelin: (09) 456 5790, Faksi: (09) 456 6538  
Sähköposti: [esa.peltola@vtt.fi](mailto:esa.peltola@vtt.fi)

ISBN 951-53-2427-0 (nid.)

ISBN 951-53-2428-9 (PDF)

ISSN 1239-1638

EDITA OYJ, HELSINKI 2002

## *Alkusanat*

Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan teknologian yhteiskunnallisten vaikutusten arviointihankkeessa Energia 2010 -teknologian arviointi (Eduskunnan kanslian julkaisu 8/2001) käsiteltiin energiantuotannon terveyshaittoja. Tulevaisuusvaliokunta päätti syksyllä 2001 jatkaa energia-asioiden arviointia teettämällä teknologian arviointihankkeen esiselvityksen uusiutuvista energialähteistä. Esiselvityksellä Uusiutuvat energialähteet vuoteen 2030 Suomessa on pyritty saamaan kansanedustajien käyttöön ajanmukaista tietoa uusiutuvista energialähteistä ydinvoimahakemuksen käsittelyn avuksi.

Esiselvityksessä on keskitytty kotimaisten polttoaineiden erityisesti puun energiakäyttöön ja tuulisähkön käyttöön sekä niiden lisäysmahdollisuuksiin Suomessa. Suomi on puunenergiakäytön johtavia maita. Vuonna 2000 Suomen koko energiasta 20 % ja sähköstä 11 % saatiin puusta. Puuta käytettiin energiaksi kaikkiaan 38 miljoonaa kuutiometriä. Valtaosa, 80 % siitä, oli peräisin kemiallisen ja mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteista (mustasta lipeästä, kuorista, sahanpurusta ja metsähakkeesta). Lähes 20 % oli puun pienkäyttöä.

Esiselvityksessä on tarkasteltu puun käytön lisäämistä suurkäyttökohteissa sähkön ja lämmön yhteistuotannossa sekä siten saavutettavissa olevaa hiilidioksidipäästöjen vähenemistä. Samaten on tarkasteltu pienkäytön lisäämistä lämmityksessä. Todellinen lisäys riippuu taloudellisuudesta. Selvityksessä on tarkasteltu lisäystä nykytekniikalla, kun biopolttoaineiden kilpailukyky säilyy nykytasolla fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna sekä tapauksessa, jossa biopolttoaineet ovat kilpailukykyisiä vielä 50 - 100 % korkeammilla tuotantokustannuksilla. Perustapauksessa lisäysmahdollisuudet olisivat noin 5 miljoonaa kuutiometriä, maksimitapauksessa ekologiset rajoitukset huomioonottaen noin 15 miljoonaa kuutiometriä.

Tuulisähkön lisäysmahdollisuuksia on tarkasteltu ottaen huomioon edulliset tuulialueet ja ympäristöseikat. Vuonna 2001 tuulisähkön huipputeho oli vain 50 MW. Lisäysmahdollisuudet maalla olisivat noin 500 MW ja merellä 500 - 3000 MW. Vastaava sähköntuotanto olisi 2,5 - 8 TWh.

Esiselvityksessä on tarkasteltu myös bioenergian ja tuulisähkön kustannuksia sekä teknologian kehityskohteita. Edelleen on selvitetty alan liiketoimintamahdollisuuksia.

Uusiutuvien energialähteiden arviointihanketta on ohjannut viidentoista kansanedustajan ohjausryhmä. Ryhmän puheenjohtajana on toiminut Martti Tiuri ja jäseninä Christina Gestrin (vpj.), Eero Akaan-Penttilä, Reijo Kallio, Erkki Kanerva, Riitta Korhonen, Gunnar Jansson, Esa Lahtela, Markku Laukkanen, Pekka Nousiainen, Margareta Pietikäinen, Mauri Salo, Timo Seppälä, Pia Viitanen ja Pekka Vilkuna.

Arviointi on tehty VTT:ssä tutkimusprofessori Kai Sipilän johdolla. Bioenergiaosuuden ovat kirjoittaneet tutkuspäällikkö Satu Helynen ja Kai Sipilä. Tuulienergiaosuus on tuotepäällikkö Esa Peltolan ja tutkija Hannele Holttisen kirjoittama.

Kiitän ohjausryhmän jäseniä aktiivisesta osallistumisesta arviointihankkeen kehittämiseen ja VTT:n tutkijoita arviointihankkeen toteuttamisesta ohjausryhmän toivomukset huomioonottaen.

*Helsingissä 6.5.2002*

*Martti Tiuri*

Ohjausryhmän puheenjohtaja

Tulevaisuusvaliokunnan puheenjohtaja

## UUSIUTUVAT ENERGIALÄHTEET VUOTEEN 2030 SUOMESSA

Käsillä oleva raportti on tehty Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan tilauksesta. Tavoitteena on ollut laatia kansanedustajien tarpeisiin lyhyt yhteenveto Uusiutuvien energialähteiden mahdollisuuksista ja kehitystarpeista Suomessa vuoteen 2030 mennessä. Raportti keskittyy toimeksiannon mukaisesti bioenergian ja tuulienergian mahdollisuuksien käsittelyyn.

### Tiivistelmä

Raportissa esitetään yhteenveto uusiutuvien energialähteiden tuotantomahdollisuuksista Suomessa vuoteen 2030 mennessä. Esitys rajoittuu bioenergiiaan, ml. kierrätyspolttoaineet, ja tuulienergiiaan. Biopolttoaineiden käyttöä olisi olemassaolevien varojen perusteella mahdollista lisätä vuoteen 2025 mennessä 17 - 38 TWh<sup>1</sup>. Tästä puupolttoaineiden lisäkäytön osuus on noin 12 - 26 TWh, kierrätyspolttoaineiden osuus 5 - 10 TWh ja pelto-biomassojen osuus 0 - 2 TWh. Vaihteluväli arviossa kuvaa polttoaineiden kahta eri hintatasoa. Lisäyksestä valtaosan on arvioitu voivan toteutua jo vuoteen 2010 mennessä.

Tuulivoiman tuotantomahdollisuuksiksi on arvioitu aikavälillä 2020 - 2030 noin 10 TWh sähköä vastaten runsaan 3000 MW asennettua kapasiteettia. Tästä valtaosa sijaitsisi merialueilla. Tuulivoiman tuotantomahdollisuuksia eivät rajoita tuuliresurssit eikä rakentamiseen teknisessä mielessä tarvittava pinta-ala vaan tuulivoiman tuotantokustannusten kehittyminen verrattuna muun sähkön tuotannon kustannuksiin sekä muiden maan käytön tarpeiden kannalta sopivien rakentamis-alueiden löytäminen. Tuulivoiman rakentamistavoite kansallisessa ilmasto-ohjelmassa vuoteen 2010 mennessä on 500 MW, joka vastaa 1,1 TWh sähkön tuotantoa.

Sähköntuotannossa uusiutuvat energiamuodot vähentävät hiilidioksidipäästöjä 700 000 tCO<sub>2</sub>/TWh. Biopolttoaineilla voidaan lisäksi vähentää hiilidioksidipäästöjä korvaamalla kevyen ja raskaan polttoöljyn käyttöä lämmityksessä.

---

<sup>1</sup> 1 = lämpö

Arviointien tekeminen bioenergia-alan markkinoista Suomen ulkopuolella on epävarmaa, koska biopolttoaineiden suurkanne on monessa maassa vasta käynnistymässä muissa sovellutuksissa kuin metsäteollisuudessa ja yhdyskuntien jäteiden poltossa. Suomea erityisesti kiinnostavia uusia markkinoita perinteisten vientituotteiden (leiju-, sooda- ja arinakattilat, sähkötekniset tuotteet) lisäksi ovat esimerkiksi kiinteistöjen lämmityslaitteet (arvio markkinoista aivan lähivuosina 1 mrd. EUR/v) CHP-laitokset (0,5 mrd. EUR/v) ja metsähakkeen tuotantoketjut (0,15 mrd. EUR/v). Suomalaisten bioenergia-alan tuotteiden lisävientipotentiaali on useita miljardeja euroja vuodessa.

Tuulivoimateknologian vienti olisi mahdollista kymmenkertaistaa nykyisestä noin 200 milj. EUR/v tasolta vuoteen 2010 mennessä. Ilman teknologiapanosta viennin arvo voisi kasvaa runsaaseen 1 mrd. EUR/v. Nykyisiä tuotteita aktiivisesti kehittämällä vientimahdollisuuksia voidaan komponenttipuolella kasvattaa tästä arviolta noin 50 %. Käynnistymässä olevan kotimaisen voimalaitosvalmistuksen ja sen maailmanlaajuisen markkinaosuuden vaihtelusta riippuen viennin arvo v. 2010 voisi olla 2,0 - 4,5 mrd. EUR. Kumulatiivinen tuulivoimateknologian vienti vv. 2002 - 2010 ylittäisi samoilla oletuksilla 8 - 14 mrd. EUR. Uusien tuotteiden kehittämisvaiheessa kotimarkkinat ja kotimaiset demonstraatiot ovat tärkeitä.

## RENEWABLE ENERGY SOURCES IN FINLAND BY 2030

This report was commissioned by the Committee FOR THE FUTURE of the Parliament of Finland to create a brief summary for Members of Parliament about the opportunities and development needs for renewable energy sources by 2030. As requested, the report focuses on developing the potential of bioenergy and wind energy.

### Summary

The report presents a summary of the production possibilities of renewable energy sources in Finland by 2030. Its scope is restricted to bioenergy, including recycled fuels, and wind energy. Based on existing resources, the use of biofuels could be increased by 17–38 TWh<sup>2</sup> by the year 2025. Of this figure, the additional use of wood fuels accounts for approximately 12–26 TWh, recycled fuels for 5–10 TWh, and agricultural biomasses for 0–2 TWh. The range provided in the estimate reflects two different possible fuel price levels. It is estimated that a majority of the additional production could be in place by 2010.

The estimated production potential of wind power in 2020–2030 is approximately 10 TWh of electricity, which corresponds to an installed capacity of more than 3,000 MW. A majority of this would be located in coastal areas. The production potential of wind power is limited not so much by wind resources or the area technically required for construction, but by the costs of development of wind power compared to other electricity production costs and by the amount of suitable land for power plants in the light of other land use needs. The national climate programme sets the goal for building wind power at 500 MW by 2010, corresponding to 1.1 TWh of electricity production.

Using renewable energy sources in electricity production reduces carbon dioxide emissions by 700,000 tCO<sub>2</sub>/TWh. In addition, carbon dioxide emissions can be reduced through substituting biofuels for the light and heavy oils used in heating.

---

<sup>2</sup> 1 = heat

Estimating bioenergy markets outside of Finland is uncertain, as extensive use of biofuels in many countries is only beginning to gain a foothold in applications other than the forest industry and the burning of municipal waste. In addition to traditional export products (fluidised bed boilers, recovery boilers, and electro-technical products), markets of particular interest to Finland include heating systems (with an estimated market in the near future of EUR 1 billion/year), CHP plants (EUR 0.5 billion/year), and wood chip production systems (EUR 0.15 billion/year). The additional export potential of Finnish bioenergy products is several billion euros a year.

The export of wind power technology could be increased tenfold from the current EUR 200 million/year by 2010. Without technology investments, the export value could grow to more than EUR 1 billion/year. Through active development of existing products, the export potential in the component business can be increased by an estimated 50 per cent of this. Depending on the fluctuations in the domestic construction of power plants – which is just being started – and their global market share, the export value in 2010 could be EUR 2.0–4.5 billion. Using these assumptions, the cumulative export of wind power technology in 2002–2010 would be EUR 8–14 billion. The domestic market and domestic product demonstrations are important when developing new products.

---

## FÖRNYBARA ENERGIKÄLLOR FRAM TILL ÅR 2030 I FINLAND

Föreliggande rapport har utarbetats på uppdrag av Riksdagens framtidsutskott. Syftet har varit att för riksdagsledamöterna presentera ett kort sammandrag av rapporten Möjligheter av använda förnybara energikällor i Finland samt utvecklingsbehov fram till 2030. I enlighet med uppdraget redogör rapporten för möjligheterna att utnyttja bioenergi och vindkraft.

### Sammanfattning

I rapporten presenteras ett sammandrag av möjligheterna att utvinna energi ur förnybara energikällor i Finland fram till år 2030. Rapporten begränsar sig till bioenergi, inklusive returbränslen, och vindkraft. Med beaktande av befintliga resurser bör användningen av biobränslen kunna ökas fram till år 2025 med 17–38 TWh värme. Av detta utgör ökad användning av träbränsle ca 12–26 TWh värme, medan återvinningsbränslen skulle stå för 5–10 TWh värme och energigrödor för 0–2 TWh värme. Variationerna i beräkningen anger två olika prisnivåer för bränslena. Största delen av ökningen beräknas kunna realiseras redan före år 2010.

Produktionsmöjligheterna under tidsperioden 2020–2030 har för vindkraftens del beräknats vara ca 10 TWh elkraft, vilket motsvarar drygt 3000 MW installerad kapacitet. Största delen av vindkraftverken skulle förläggas till havsområden. Möjligheterna att utvinna energi ur vindkraft begränsas inte av vindresurserna eller av den areal som tekniskt krävs för utbyggnaden utan av hur kostnaderna för vindkraften utvecklas i jämförelse med produktionskostnaderna för annan elkraft samt i vilken mån det finns områden som ur markanvändningssynpunkt är lämpliga för utbyggnad. Målet för utbyggnaden av vindkraften i det nationella klimatprogrammet är 500 MW fram till år 2010, vilket motsvarar 1,1 TWh elproduktion.

Förnybara energikällor i elproduktionen minskar koldioxidutsläppen med 700 000 tCO<sub>2</sub>/TWh. Dessutom kan koldioxidutsläppen minskas genom att man byter ut uppvärmning med lätt och tung brännolja mot biobränsleeldning.

Uppskattningar av bioenergimarknaden utanför Finland är osäkra, eftersom många länder först är på väg att börja använda biobränslen i större skala i andra tillämpningar än inom skogsindustrin och den kommunala avfallsförbränningen. Nya attraktiva marknader för Finland är förutom marknaden för de traditionella exportprodukterna (pannor med fluidiserad bädd, soda- och rostpannor, eltekniska produkter) till exempel värmeanläggningar för fastigheter (marknadspotential under de närmaste åren 1 mrd EUR/år) kraftvärmeverk (0,5 mrd EUR/år) och produktionskedjor för skogsflis (0,15 mrd EUR/år). Potentialen för att öka exporten av finska bioenergianläggningar är flera miljarder euro per år.

Det skulle vara möjligt att tiodubbla exporten av vindkraftsteknologi från den nuvarande nivån på ca 200 milj. EUR/år till år 2010. Utan särskild satsning på teknologin skulle exportvärdet kunna växa till drygt 1 mrd EUR/år. Om man målmedvetet utvecklar dagens produkter kan exportmöjligheterna på komponentsidan öka ytterligare med uppskattningsvis 50 %. Beroende på variationer i den begynnande inhemska kraftverksproduktionens volym och dess globala marknadsandelar skulle exportvärdet år 2010 kunna vara 2,0–4,5 mrd EUR. Den kumulativa exporten av vindkraftsteknologi åren 2002–2010 skulle enligt samma antagande överstiga 8–14 mrd EUR. Vid utvecklingen av nya produkter är hemmamarknaden och inhemska teknikdemonstrationer viktiga.

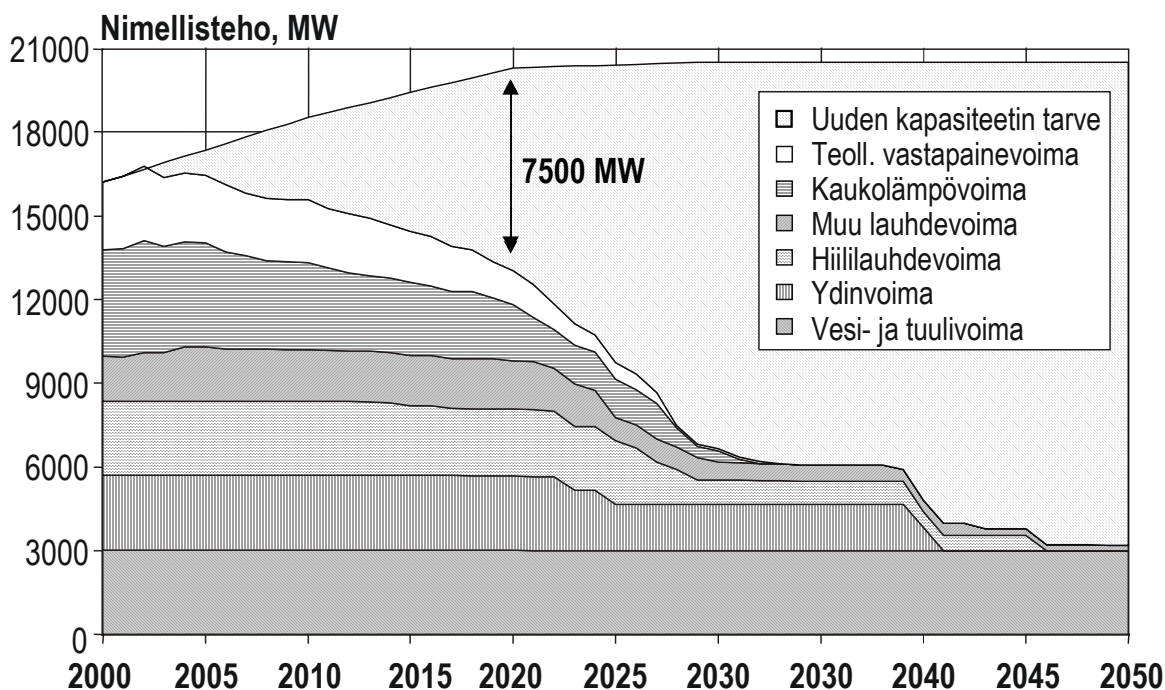
## Sisällysluettelo

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. JOHDANTO .....                                                                                                             | 10 |
| 2. BIOENERGIA .....                                                                                                           | 12 |
| 2.1 Biopolttoaineiden nykyinen käyttö .....                                                                                   | 12 |
| 2.2 Kansalliset tavoitteet bioenergian käytön lisäämisessä .....                                                              | 14 |
| 2.3 Biopolttoaineiden tuotannon lisäysmahdollisuudet .....                                                                    | 15 |
| 2.3.1 Puupolttoaineet .....                                                                                                   | 15 |
| 2.3.2 Jätteiden energiakäyttö .....                                                                                           | 17 |
| 2.3.3 Peltobiomassat .....                                                                                                    | 18 |
| 2.3.4 Yhteenveto kotimaisten kiinteiden polttoaineiden<br>tuotantomahdollisuuksista .....                                     | 19 |
| 2.4 Biopolttoaineiden käyttökohteet .....                                                                                     | 20 |
| 2.4.1 Biopolttoaineiden suurkanäyttö sähkön ja lämmön tuotantoon .....                                                        | 20 |
| 2.5 Puun pienkäyttö lämmitykseen .....                                                                                        | 22 |
| 2.5.1 Biomassoista tehdyt jalosteet .....                                                                                     | 23 |
| 2.5.2 Yhteenveto biopolttoaineiden lisäkäyttömahdollisuuksista ja<br>hiilidioksidipäästöjen vähentämismahdollisuuksista ..... | 24 |
| 2.6 Tekniikan kehitystarpeet ja liiketoimintamahdollisuudet .....                                                             | 25 |
| 2.7 Lähdekirjallisuutta .....                                                                                                 | 30 |
| 3. TUULIVOIMA .....                                                                                                           | 32 |
| 3.1 Tuotantomahdollisuudet ja -kustannukset Suomessa .....                                                                    | 32 |
| 3.1.1 Tuotantomahdollisuudet .....                                                                                            | 32 |
| 3.1.2 Tuuliolot ja tuotantokustannukset .....                                                                                 | 34 |
| 3.2 Tuulivoima sähköntuotantojärjestelmässä .....                                                                             | 36 |
| 3.3 Tuulivoiman CO <sub>2</sub> -päästövaikutus .....                                                                         | 38 |
| 3.4 Teknisiä kehitystrendejä .....                                                                                            | 39 |
| 3.5 Tuulivoimateknologian valmistus ja vienti Suomessa .....                                                                  | 42 |
| 3.5.1 Tuotteet .....                                                                                                          | 42 |
| 3.5.2 Viennin volyymi .....                                                                                                   | 44 |
| 3.5.3 Viennin kehitysmahdollisuudet vuoteen 2010 .....                                                                        | 46 |
| 3.6 Yhteenveto .....                                                                                                          | 48 |
| 3.7 Kirjallisuutta .....                                                                                                      | 49 |

## 1. Johdanto

Kansallisia ja kansainvälisiä energia-alan haasteita ovat mm. energiankulutuksen kasvun hillitseminen, ympäristövaikutusten vähentäminen ja energiamarkkinoiden vapautuminen.

Taloudellinen kasvu ja energian käytön lisääntyminen ovat perinteisesti olleet sidoksissa toisiinsa. Suomessa talouden rakennemuutoksen johdosta talouskasvu ei ole enää viime vuosina merkinnyt yhtä nopeaa energian kulutuksen kasvua. Tästä huolimatta absoluuttisesti mitattuna etenkin sähkön tarve on kasvanut taiseisesti mutta kasvu tulee todennäköisesti tasaantumaan lähivuosina. Sähkön kulutuksen kasvusta sekä vanhojen voimalaitosten käytöstä poistosta seuraa merkittävä uuden tuotantokapasiteetin tarve Suomessa, arvioiden mukaan noin 7500 MW vuonna 2020 (kuva 1).



Kuva 1. Arvioitu vanhan voimalaitoskapasiteetin poistuminen ja uuden kapasiteetin tarve (Energy Visions 2030 for Finland).

Pitkällä aikavälillä energian tuotantoteknologiaa muovaavat kehitysmaiden kasvavien energiatarpeiden ratkaisu, kestävä kehitys tukevien ja ympäristörasitusta vähentävien tuotantoteknologioiden kehittyminen ja käyttöönotto ja energian riittävyys sekä siihen liittyvä öljy- ja maakaasuriippuvuuden vähentäminen enenevässä määrin muilla energialähteillä, kuten uusiutuvat energialähteet ja puhtaammilla fossiilisilla tuotantoteknologioilla.

Tässä esiselvityksessä arvioidaan uusien ja uusiutuvien energialähteiden mahdollisuuksia sähkön tuotannossa Suomessa noin vuoteen 2030 mennessä. Tarkastelun kohteeksi on rajattu työn alkuvaiheessa bioenergia ja tuulivoima, jotka on katsottu Suomen kannalta tällä aikavälillä merkittävimiksi uusiutuviksi energialähteiksi.

Tässä esiselvityksessä ei ole käsitelty polttokennoja, aurinkoenergiaa eikä uusia ydinvoimateknologioita.

## 2. Bioenergia

### 2.1 Biopolttoaineiden nykyinen käyttö

Vuonna 2000 puupolttoaineita käytettiin 76 TWh<sub>l</sub>, joka oli 20 % Suomen energiankulutuksesta (taulukko 1). Puulla tuotettiin noin 11 % Suomen sähkönkulutuksesta (8 TWh<sub>s</sub><sup>3</sup>), joka on suurin prosentuaalinen osuus maailmassa. Puusta suurin osa käytetään lämmön tuotantoon sekä erillisissä lämmöntuotantolaitoksissa että yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa (CHP). Nykyisellä tekniikalla CHP-laitoksilla puunkäytön kokonaishyötysuhde on korkea, noin 90 %, mutta sähköksi saadaan vain 20 - 30 % polttoaineesta. 1 TWh<sub>l</sub>:sta polttoainetta saadaan siis parhaimmillaan 0,3 TWh<sub>s</sub> sähköä (60 MW teholla) ja 0,6 TWh<sub>l</sub> (120 MW) lämpöä kaukolämpöverkkoon tai teollisuuteen.

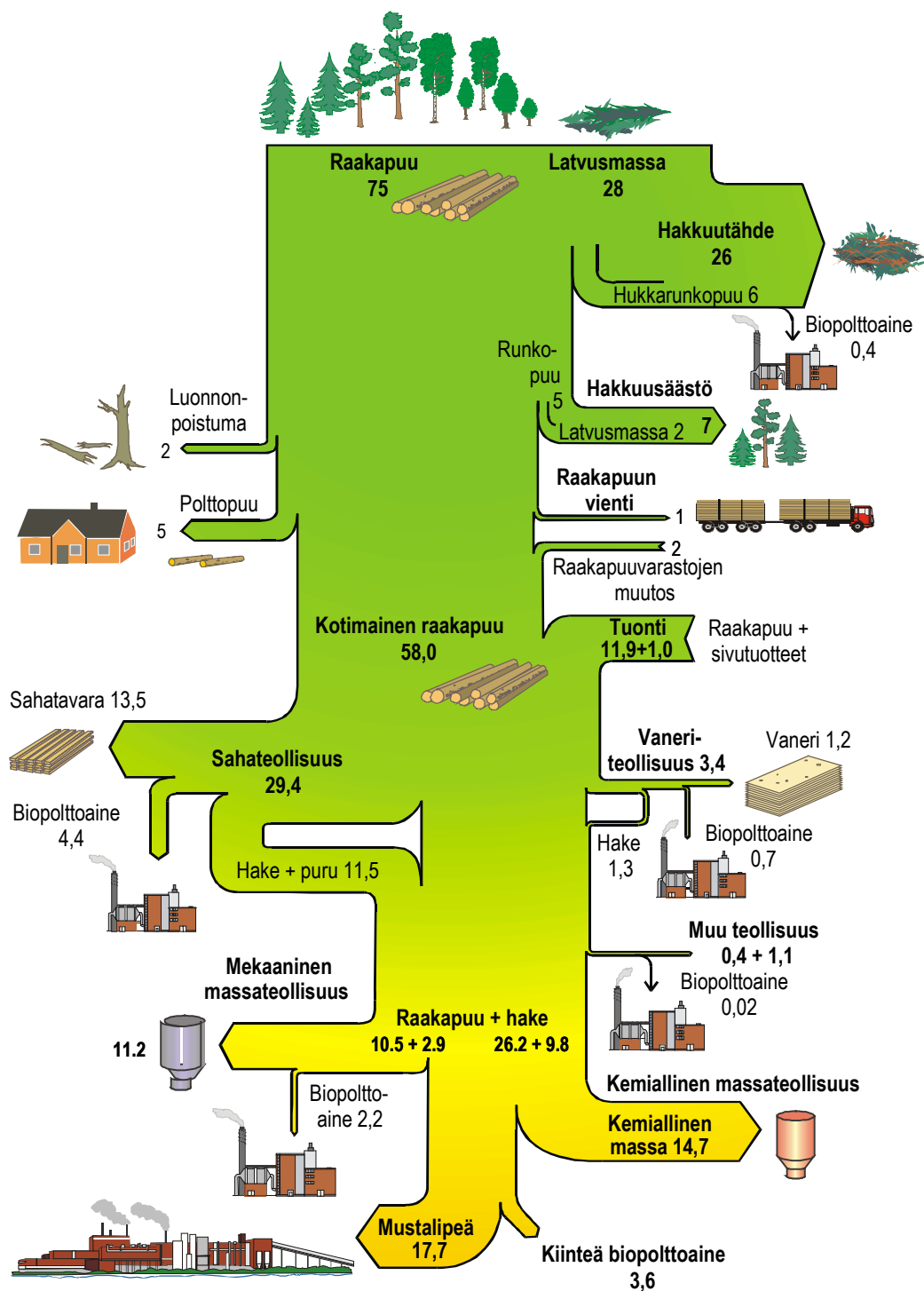
Muiden biomassojen käyttö puuhun verrattuna oli vielä vuonna 2000 energianäkökohdasta melko merkityksetön. Kierrätyspolttoaineiden käyttö oli 0,28 TWh<sub>l</sub> ja biokaasun käyttö 0,2 TWh<sub>l</sub>.

*Taulukko 1. Kotimaisten polttoaineiden energiakäyttö vuonna 2000.*

|                            | Mtoe       | TWh <sub>l</sub> | Milj. k-m <sup>3</sup> | PJ         | Osuus Suomen energiankulutuksesta, % |
|----------------------------|------------|------------------|------------------------|------------|--------------------------------------|
| Mustalipeä                 | 3,4        | 40               | 20                     | 144        | 11                                   |
| Kiinteät, joista           | 2,0        | 23               | 11,5                   | 83         | 6                                    |
| - kuori                    | 1,2        | 14               |                        | 50         |                                      |
| - sahanpuru ym.            | 0,4        | 5                |                        | 18         |                                      |
| - metsähake                | 0,1        | 1,5              |                        | 5          |                                      |
| Puun pienkäyttö            | 1,1        | 13               | 6,5                    | 47         | 3                                    |
| <b>PUU YHTEENSÄ</b>        | <b>6,5</b> | <b>76</b>        | <b>38</b>              | <b>274</b> | <b>20</b>                            |
| Kierrätyspolttoaineet      | 0,02       | 0,28             |                        | 1          |                                      |
| Biokaasu                   | 0,02       | 0,2              |                        | 0,7        |                                      |
| Turve                      | 1,4        | 16               | 17,4                   | 58         | 4                                    |
| <b>KOTIMAISET YHTEENSÄ</b> | <b>8,0</b> | <b>92,5</b>      |                        | <b>333</b> | <b>24</b>                            |

<sup>3</sup> s = sähkö

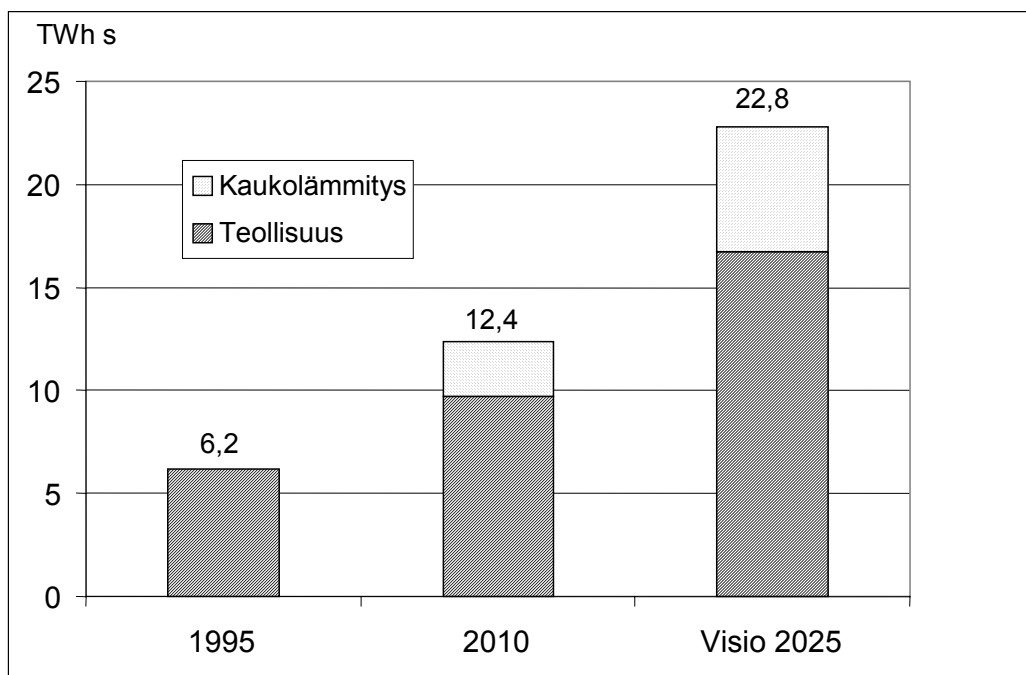
Puupolttoaineista oli vuonna 2000 lähes 80 % peräisin kemiallisen ja mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteista.



Kuva 2. Puun käyttö vuonna 2000, miljoonaa kiintokuutiometriä.

## 2.2 Kansalliset tavoitteet bioenergian käytön lisäämisessä

KTM:n uusiutuvien energialähteiden edistämishojelman vuodelta 1999 (Uusiutuvien 1999) ja kansallisen ilmastostrategian (Kansallinen 2001) tavoitteena on lisätä biopolttoaineiden käyttöä vuosina 1995 - 2010 32 TWh<sub>i</sub>, josta 45 % toteutui vuoteen 2000 mennessä metsäteollisuuden tuotannon nopean kasvun ansiosta. Sähkön tuotannolle samalle ajalle asetettu tavoite on 6,2 TWh<sub>s</sub>, josta toteutui puolet vuoteen 2000 mennessä (kuva 3). Biopolttoaineiden käytön lisäys kattaa neljänneksen – tai jopa lähelle puolta – tarvittavasta kasvihuonepäästöjen vähennysmäärästä riippuen siitä, mitä polttoaineita biopolttoaineilla korvataan ja miten suuri on jätteiden energiakäyttö metaanipäästöjen vähentäjänä.



Kuva 3. Uusiutuvien edistämishojelman tavoitteet bioenergialla tuotetulle sähkölle.

Euroopan parlamentti hyväksyi direktiiviehdotuksen uusiutuvista energialähteistä tuotetun sähkön käytön edistämisestä sähkön sisämarkkinoilla 4.7.2001. Direktiiviehdotuksen tavoitteena on lisätä uusiutuvista energialähteistä tuotetun sähkön osuutta sähkön sisämarkkinoilla. Suomelle esitetty osuus uusiutuvilla energialähteillä tuotetuksi sähköksi on 31,5 %, josta vesi- ja tuulivoimalla uusiutuvien energialähteiden edistämishojelman mukaan tuotettaisiin 15 TWh<sub>s</sub> ja bioenergialla hieman yli 12 TWh<sub>s</sub> (Helynen 1999).

## 2.3 Biopolttoaineiden tuotannon lisäysmahdollisuudet

### 2.3.1 Puupolttoaineet

Puun energiakäyttöä on mahdollista lisätä merkittävästi ottamalla energiakäyttöön metsää hakatessa ja harvennettaessa normaalisti metsään jätettävät oksat, latvukset ja markkinakelvottomat rungot. Etenkin päätehakkuiden hakkuutähteidä energiakäyttö on nopeassa kasvussa. Vuonna 2000 metsähaketta koottiin jo 800 000 kiintokuutiometriä (1,5 TWh<sub>I</sub>). Hakkuutähteidä käyttöä olisi mahdollista moninkertaistaa (taulukko 2). Kansallisessa metsäohjelmassa on esitetty puun energiakäytön mahdolliseksi lisäykseksi 5 milj. k-m<sup>3</sup> eli 10 TWh<sub>I</sub> vuoteen 2010 mennessä.

Puupolttoainetta tuodaan pienehköjä määriä mm. Venäjältä, mutta puupolttoaineesta maksukyky lienee jatkossakin suurempi Ruotsissa ja Keski-Euroopassa kuin Suomessa. Ruotsi on tuonut suuria määriä puujätteitä Keski-Euroopasta, mikä on tyrehtyttänyt metsähakkeen tuotannon kasvun alle 10 TWh<sub>I</sub>:iin.

*Taulukko 2. Puupolttoainereservit.*

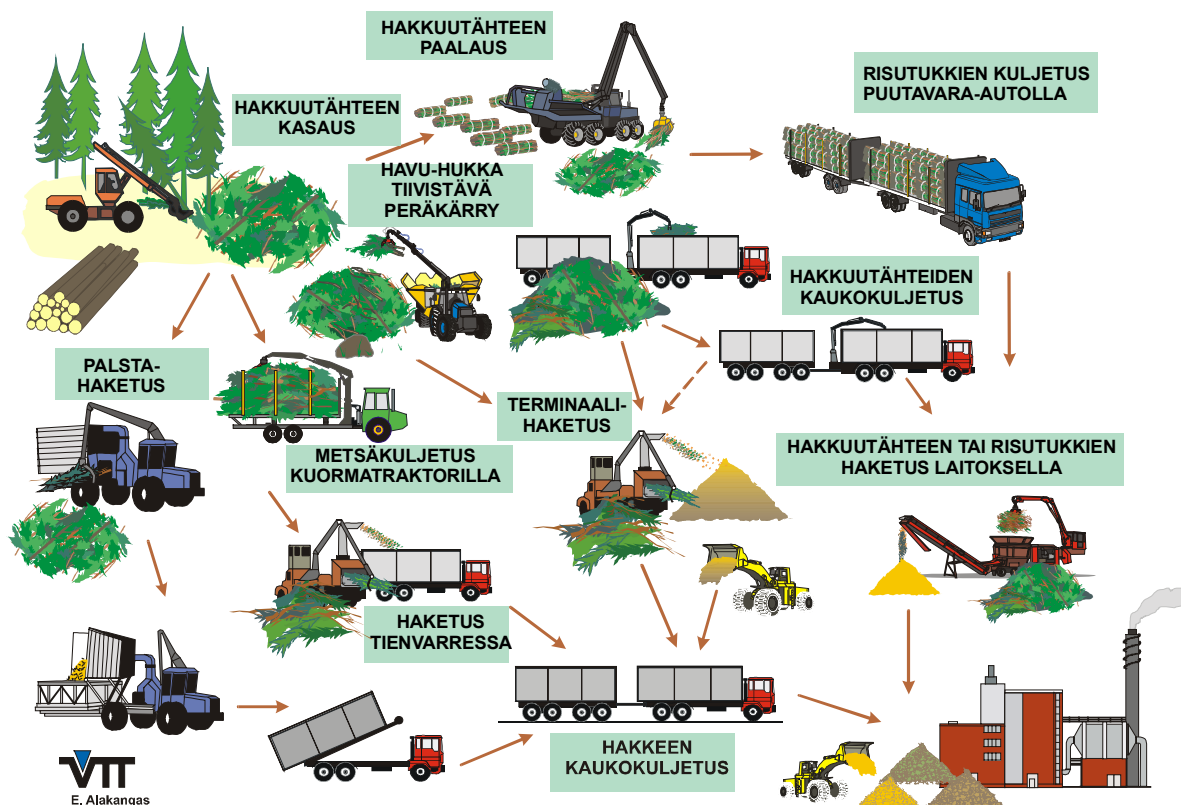
|                               | Potentiaali, TWh <sub>I</sub><br>(Hakkila 1996) | Mahdollista käyttää, TWh <sub>I</sub> |
|-------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Päätehakkuiden hakkuutähteet  | 18                                              | 5 - 10                                |
| Harvennukset ja taimikonhoito | 13,5                                            | 0 - 10                                |
| Tuonti/vienti                 | Suuri Venäjällä ja<br>Baltian maissa            |                                       |
| Kansallinen metsäohjelma      |                                                 | 10                                    |

Korjuukustannuksiltaan kalliimpia kohteita ovat harvennukset ja taimikonhoito, joista on mahdollista saada myöskin metsähaketta merkittävästi ja joista saadaan metsänhoidollista hyötyä. Lähivuosien metsähakkeen käytön määrään vaikuttaa oleellisesti, kuinka edulliseksi saadaan polttoaineiden tuotanto ja kuljetus kehitettyä. Meneillään on Teknologian kehittämiskeskuksen, Tekesin, Puuenergian teknologiaohjelma, jossa tekniikoita kehitetään (kuva 4).

Päätehakkuiden hakkuutähteitä voitaisiin käyttää polttoaineeksi siis jopa 10 TWh<sub>I</sub>/v, ja tuotantoketjujen kehittäminen on laskenut tuotantokustannukset alle 8,5 EUR/MWh<sub>I</sub>:iin edullisissa kohteissa, kun kuljetusetäisyys alle 50 kilometriin. Kustannukset perustuvat tilanteeseen, jossa metsänomistajille ei makseta

kantohintaa, vaan he hyötyvät parantuneista metsän uudistamisolosuhteista. Harvennuksista ja taimikonhoidosta voitaisiin tuottaa polttoainetta noin 10 TWh<sub>l</sub>/v, mutta tuotantokustannus nousee tyypillisesti välille 10 - 17 EUR/MWh<sub>l</sub>. Uudet tuotantoketjut ja metsänhoidolliset hyödyt laskevat kustannuksia, mutta lähivuosina puupolttoaineiden tuotanto harvennuksista ja taimikonhoidon kohteista ei ole kannattavaa vain energialähtökohdista, vaan kustannusten jaossa on huomioitava metsänhoidolliset hyödyt. Metsähakkeen tuotantoa tuetaan ensiharvennuksissa korjuu- ja haketustuilla.

Metsähakkeen korjuun ympäristövaikutuksia, kuten ravinteiden riittävyyttä, on tutkittu sekä Ruotsissa ja Suomessa. Hakkuutähteiden korjuulle uudistushakkuilta on olemassa suositus (Fredrikson 2000), jonka mukaan kolmannes hakkuutähteistä jätetään palstalle ja hakkuutähteitä ei korjata ravinneköyhiltä mailta. Vastaavaa suositusta ollaan laatimassa ensiharvennuksille ja muille metsän kunostuskohteille. Tuhkan palauttaminen metsään olisi suotuisaa eräillä metsätyypeillä, mutta siihen ei ole velvoitteita.



Kuva 4. Hakkuutähdekettejä uudistushakkuille.

Metsäteollisuuden puutähteiden energiasisältöä olisi mahdollista nostaa useita TWh<sub>1</sub>:a käyttämällä niiden kuivaamiseen hukkalämpöä.

### 2.3.2 Jätteiden energiakäyttö

Vuonna 1998 hyväksytyssä valtioneuvoston Jätesuunnitelmassa vuodelle 2005 on asetettu yhdyskuntajätteiden hyötykäyttötavoitteet, jolloin 70 % tavoitteen saavuttaminen edellyttää merkittävää energiakäyttöä kierrätyskelvottomalle jätteelle. Se edellyttää noin 1 milj. t/v energiahyötykäyttöä, energiamäärältään se edustaa 0,4 – 0,5 Mtoe/v (5 TWh/v). Suomessa se merkitsisi noin 20 voimalaitoksen rakentamista ja/tai muuttamista SFS-standardin mukaisten kierrätyspolttoaineiden käytölle huomioiden EU:n jätteenpolttodirektiivin päästövaatimukset. Yleisessä keskustelussa asetetaan usein materiaalikierrätys ja energiakäyttö toistensa vastakkaisiksi ja poissulkeviksi vaihtoehtoiksi. Parhaimman kustannustehokkuuden saavuttamiseksi ne tulee rakentaa toisiaan tukeviksi ja pyrkiä välttämään Keski-Euroopassa yleistä sekajätteiden massapolttota. Se on kallis järjestelmä eikä se tue materiaalikierrätyksen kohottamistavoitteita.

Nykyisin seospoltetaan teollisuuden ja kaupan kuivia pakkausjätteitä noin 300 000 t/v sekä ehkä 20 – 50 000 t/v kotitalouspohjaista REF III ja Turun jätteenpolttolaitoksella sekajätettä. Vallitsevat tekniikat ovat sekajätteen massapoltto, seospoltto leijukerroskattiloissa sekä rinnakkaiskaasutus, jossa tuotekaasu johdetaan pääkattilaan. Kun vanhoillekin kattiloille jätteenpolttodirektiivi tulee voimaan 2005, joudutaan tekemään puhdistinlaitteisiin lisäinvestointeja. On ilmeistä, että huomattava osa nykymuotoisesta ja –hintaista kierrätyspolttoaineiden energiakäytöstä loppuu. Energiatekniikan lisäksi Suomessa haasteena on saada noin 20 kaupungissa 0,6 – 1,5 Mt/v kierrätyspolttoainemäärä eli 4 – 8 TWh<sub>1</sub>/v mahtumaan nykyisin CHP-järjestelmiin häiritsemättä yhteistuotannon rakennetta ja kustannuksia. Yleisesti ottaen kaukolämpökuormia ei ole vapaina, tilaa uusinvestoinneille REF-kattiloihin syntyy luontevimmin korvattaessa vanhoja kattiloita. Tyypillinen voimalaitoksen elinikä on noin 30 - 40 vuotta.

Kierrätyspolttoaineet sisältävät pääasiassa paperia ja pahvia, muoveja sekä puuta, sen lisäksi palamattomina jakeina mm. lasia, metalleja, tölkkejä, kiviainesta. Suomessa kehitystyötä on tehty ns. suomalaisen mallin pohjalta, jossa kierrätyspolttoaineiden syntypaikkalajittelun ja valmistuksen yhteydessä REF-asemalla voitaisiin koneellisesti erotella arvokkaat materiaalit kierrätykseen, palavat jakeet laatuluokitelluksi polttoaineeksi sekä haitta-aineet kuten kivet jne. kaatopaikalle. Muutamia laitoksia on toiminnassa, mutta kehitystyö on kesken eikä tutkimus-

tuloksia ole vielä saatu demonstraatiolaitoksiin pitkäaikaiskokeisiin. Teknologiakehitykseen tulee edelleen panostaa kasvavasti. Kaupalliset investoinnit vuoden 2005 jätesuunnitelman tavoitteiden saavuttamiseksi tulisivat olemaan noin 300 – 400 MEUR. Teknologia pohjautuisi pääosin suomalaisiin toimittajiin. Heillä on myös huomattavat vientimarkkinat näille uusille yhdyskuntajätteen energia-käytön tekniikoille.

Kierrätyspolttoaineiden lisäkäyttö tukee kansallista ilmastostrategiaa vähentämällä kaatopaikkakaasujen syntyä sekä korvaamalla fossiilista kivihiiltä rannikolla ja jonkin verran turvetta sisämaan kattiloissa. Kierrätyspolttoaineissa on biomassaosus noin 70 – 80 %, jolloin se lisää myös uusiutuvien energialähteiden käyttöä niin sähkön kuin lämmön tuotannossa, pitkällä aikajänteellä myös liikenteessä eri EU:n direktiivien mukaisesti. Kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää v.1990 – 2010 tarkastelujaksolla noin 1,5 – 3,6 Mt CO<sub>2</sub> ekv/v valitusta skenaariosta riippuen. Jätteen energiakäytön osuus on 0,6 – 1,3 Mt CO<sub>2</sub> ekv/v skenaariosta riippuen. Se sisältää sekä kaatopaikkakaasun eli metaanin talteenoton tehostamisen että kierrätyspolttoaineilla fossiilisten energialähteiden korvaamisen.

Jätteen energiakäyttö on keskeisesti jätehuollon tavoitteista lähtevä tavoite, jolla saataisiin lopetettua orgaanisesti hajoavien jätteen kaatopaikkasijoitus. Yksityiset ja kunnalliset toimijat tulevat tekemään yhteistyössä energiasektorin kanssa tulevia investointeja. Niiden kannattavuus ja toteutusaikataulu tulee riippumaan selkeästi ympäristöviranomaisen toimista ja taloudellisesta ohjauksesta, ml. jätevero, joilla kaatopaikkasijoitukselle vaihtoehtoisten energiakäyttövaihtoehtojen etenemistä vauhditetaan tai hidastetaan. Kierrätyspolttoaineille on esitetty myös verotuskäytännön rinnastamista puuenergian verotuskäytäntöön.

### **2.3.3 Peltobiomassat**

Peltobiomassojen tuotantoa on tutkittu erillisissä tutkimus- ja demonstraatiohankkeissa, muun muassa ruokohelven viljelyä suopohjilla ja sekä ruokohelven käyttöä valutuskenttänä turvetuotantoalueiden vesille. Suomessa edullisimpia peltobiomassoja ovat olki ja ruokohelpi. Monivuotisen ruokohelvellä on edulliset viljely- ja korjuukustannukset sekä Suomen olosuhteissakin korkeat hehtaari-saannot, mutta polttoaineen hinta laitoksella nousee vielä metsähakkeita 2 - 3 EUR/MWh<sub>i</sub> korkeammaksi. Jos peltobiomassojen viljelyyn olisi käytössä muun peltoviljelyn saamat tuet, kustannustaso laskisi merkittävästi.

### 2.3.4 Yhteenveto kotimaisten kiinteiden polttoaineiden tuotantomahdollisuuksista

Biopolttoaineiden käyttöä olisi olemassaolevien varojen perusteella mahdollista lisätä vuoteen 2010 mennessä 15 - 35 TWh<sub>i</sub>. Vaihteluväli arviossa kuvaa polttoaineiden kahta eri hintatasoa, joista suurempi olisi noin 50 % korkeampi kuin alempi perustaso. Biopolttoaineiden saatavuusarviot vuoteen 2025 on koottu seuraavaan taulukkoon 3. Mukana ei ole arviota mustalipeästä, jonka käytön määrä on riippuvainen metsäteollisuuden tuotantomäärien vuosivaihteluista ja pitemmällä aikavälillä tuotannon painottumisesta joko mekaanisen tai kemiallisen massan tuotantoon (VTT 2001).

*Taulukko 3. Biopolttoaineiden tuotannon lisäysmahdollisuudet.*

| TWh <sub>i</sub> /v                          | Nykykäyttö  | 2005           | 2010           | 2025           |
|----------------------------------------------|-------------|----------------|----------------|----------------|
| Mustalipeä                                   | 40          |                |                |                |
| Teollisuuden sivutuotteet                    | 19          | 19 - 20        | 21 - 24        | 23 - 27        |
| Kuusikoiden päätehakkuut                     | 0,7         | 5 - 7          | 5 - 7          | 5 - 7          |
| Männiköiden päätehakkuut                     | Pieni       | 3              | 3              | 3              |
| Ensiharvennukset ja taimikonhoito            | 0,3         | 1 - 9          | 1 - 9          | 1 - 9          |
| Puun pienkäyttö                              | 13          |                |                |                |
| <b>LISÄKÄYTTÖMAHDOLLISUUS</b>                | <b>(73)</b> | <b>8 - 19</b>  | <b>10 - 23</b> | <b>12 - 26</b> |
| Kierrätyspolttoaineet                        | 0,3         | 5 - 10         | 5 - 10         | 5 - 10         |
| Peltobiomassat                               | 0           | 0 - 2          | 0 - 2          | 0 - 2          |
| <b>BIOPOLTTOAINEIDEN LISÄKÄYTTÖ YHTEENSÄ</b> | <b>(74)</b> | <b>13 - 31</b> | <b>15 - 35</b> | <b>17 - 38</b> |

Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelmassa, joka sisältyy Kansalliseen ilmasto-ohjelmaan, tavoitteena on biopolttoaineiden lisäys 16 TWh<sub>i</sub>:lla nykytasosta vuoteen 2010 mennessä.

## **2.4 Biopolttoaineiden käyttökohteet**

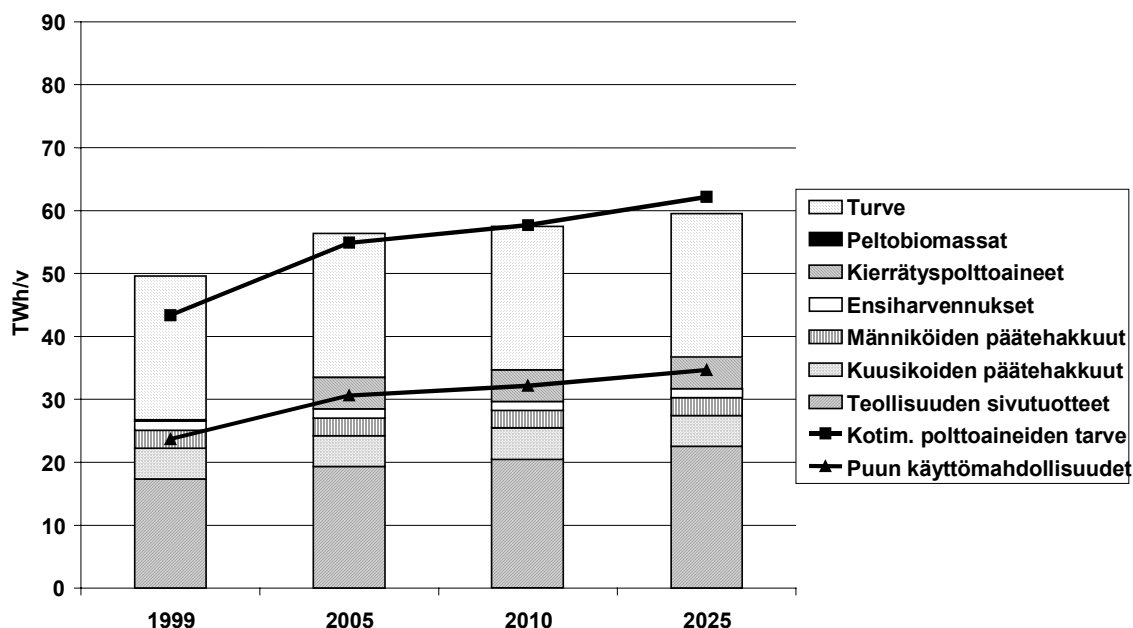
### **2.4.1 Biopolttoaineiden suurkäyttö sähkön ja lämmön tuotantoon**

VTT:n tekemien laskelmien mukaan (VTT 2001) vuoteen 2010 mennessä nykyisissä sekä rakenteilla ja suunnitteilla olevissa lämpökeskuksissa ja voimalaitoksissa voitaisiin käyttää kiinteitä biopolttoaineita 10 - 25 TWh<sub>i</sub> enemmän kuin vuonna 2000. Vaihtelu riippuu sekä turpeen käytön määrästä että korvattavan hiilen ja öljyn määrästä, eli biopolttoaineiden kilpailukyvyistä. Sähkön tuotanto nykytekniikalla lisääntyisi vuodesta 1999 vuoteen 2010 3 – 5,5 TWh<sub>s</sub>.

Useimmissa nykyisissä voimalaitoskattiloissa tarvitaan puupolttoaineen ohella turvetta kattilan häiriöttömän käytön ja korroosiovaurioiden välttämiseksi, etenkin jos puupolttoaineena käytetään neulasia sisältävää metsähaketta. Tarvittava turpeen määrä on laitoskohtainen, tyypillisesti 30 - 50 %.

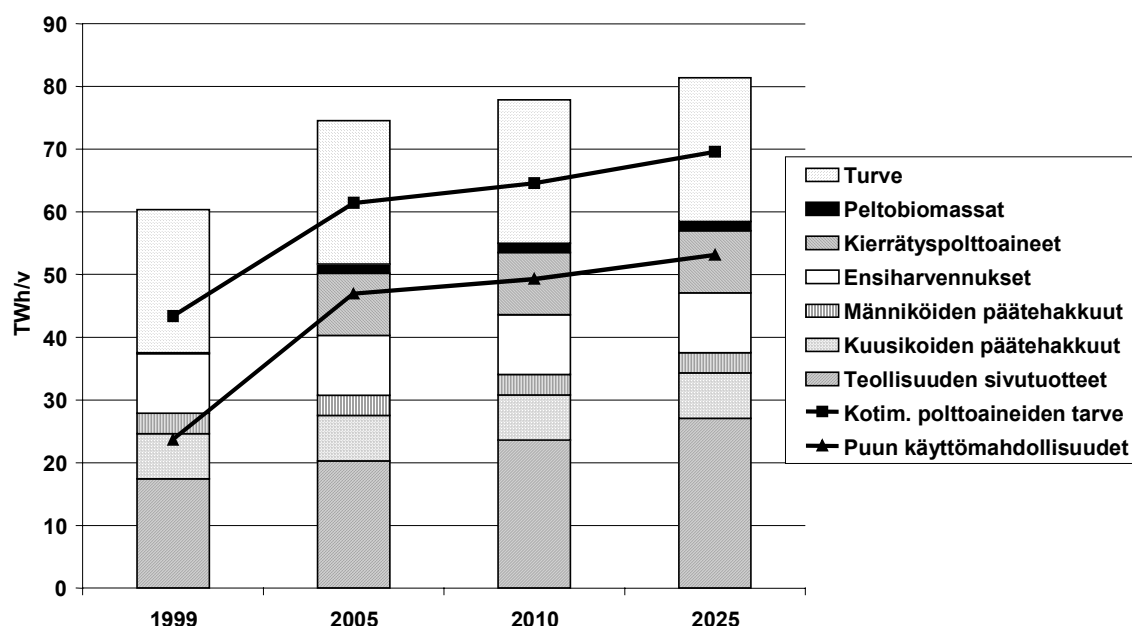
Kuvassa 5 esitetyssä perusvaihtoehdossa on esitetty edullisimmat polttoainelähteet pylväinä ja arvioitu puun käyttömahdollisuus nykyisissä ja suunnitteilla olevissa laitoksissa polttoaineiden hinta- ja käyttösuhteiden pysyessä nykyisellään. Eräissä käyttökohteissa puulle ovat vaihtoehtoisia polttoaineita kierrätyspolttoaineet tai peltobiomassat.

Jos puupolttoaineen käyttö halutaan maksimoida nykyisissä ja suunnitteilla olevissa laitoksissa, ja käyttöön otetaan myös entistä kalliimpia polttoaineita, puun käyttö kasvaa huomattavasti (kuva 6).



Kuva 5. Kotimaisten kiinteiden polttoaineiden tarjonta (pylväät) ja arvioitu käyttö nykytekniikalla suuryhteisökohteissa (alempi viiva kuvaa puun ja muiden biopolttoaineiden käyttömahdollisuuksia ja ylempi kotimaisten polttoaineiden kokonaistarvetta, jossa mukana tarvittava turpeen käyttö) lasketussa perusvaihtoehdossa, jossa biopolttoaineiden kilpailukyky säilyy nykytasolla fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna.

Jätteiden energiakäytössä vallitsevat tekniikat ovat sekajätteen massapoltto, seospoltto leijukerroskattiloissa sekä rinnakkaiskaasutus, jossa tuotekaasu johdetaan pääkattilaan. Kun vanhoillekin kattiloille jätteenpolttodirektiivi tulee voimaan 2005, joudutaan tekemään puhdistinlaitteisiin lisäinvestointeja. On ilmeistä, että huomattava osa nykymuotoisesta ja -hintaista kierrätyspolttoaineiden energiakäytöstä loppuu. Energiatekniikan lisäksi Suomessa haasteena on saada noin 20 kaupungissa 0,6 – 1,5 Mt/v kierrätyspolttainemäärä eli 4 – 8 TWh<sub>l</sub>/v mahtumaan nykyisin CHP-järjestelmiin häiritsemättä yhteistuotannon rakennetta ja kustannuksia. Yleisesti ottaen kaukolämpökuormia ei ole vapaina, tilaa uusinvestoinneille REF-kattiloihin syntyy luontevimmin korvattaessa vanhoja kattiloita.

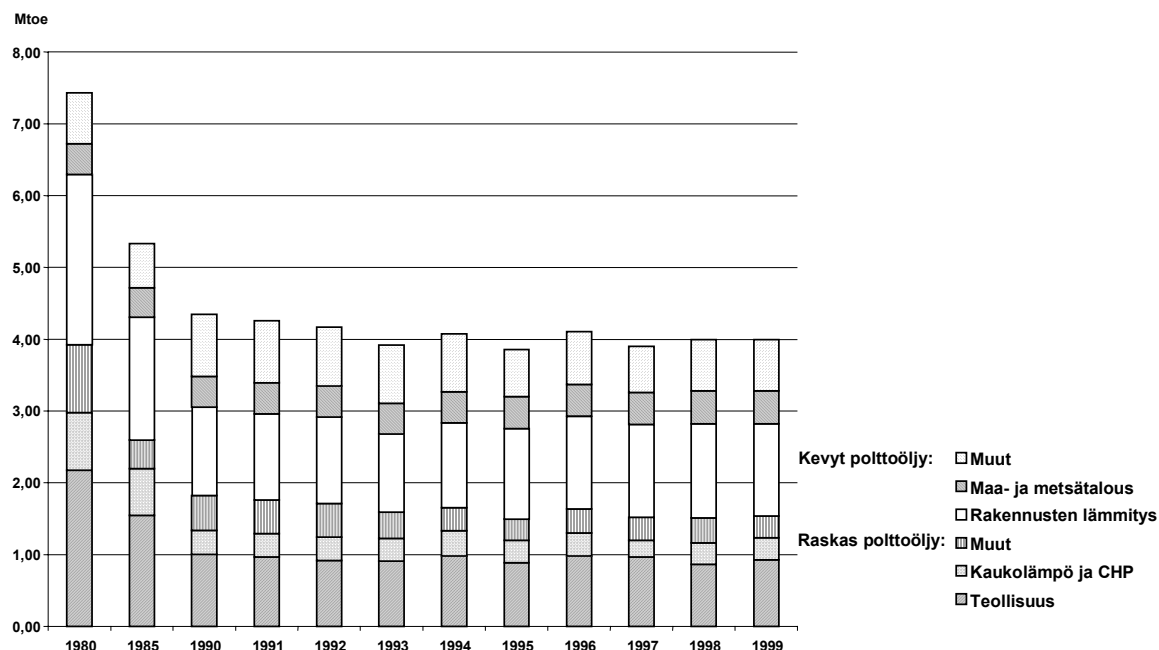


Kuva 6. Kotimaisten kiinteiden polttoaineiden tarjonta (pylväät) ja arvioitu käyttö nykytekniikalla suursäilytyskohteissa (alempi viiva kuvaa puun ja muiden biopoltto-aineiden käyttömahdollisuuksia ja ylempi kotimaisten polttoaineiden kokonaistarvetta, jossa mukana tarvittava turpeen käyttö) lasketussa maksimivaihtoehdossa, jossa biopolttoaineet kilpailukykyisiä vielä 50 - 100 % korkeammilla tuotantokustannuksilla kuin perustapauksessa.

## 2.5 Puun pienkäyttö lämmitykseen

Puun pienkäyttöä on myös mahdollista lisätä merkittävästi korvattaessa polttoöljyn käyttöä kiinteistöjen lämmityksessä. Kevyttä ja raskasta polttoöljyä käytettiin energian tuotannossa ja teollisuudessa vuonna 1999 yhteensä 47 TWh<sub>1</sub> (kuva 7). Kiinteistöjen lämmityksessä on arvioitu voitavan korvata 9 TWh<sub>1</sub> öljyä hakkeella (50 %) ja pääosin mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteista valmistettavilla kiinteillä ja nestemäisillä jalosteilla, joita ovat muun muassa pelletit ja pyrolyysiöljy.

Suuremmissa kiinteistöissä ja taajamien ulkopuolella tulee kysymykseen hakkeen käyttö. Puusta tehtävät jalosteet, kuten pelletit ja bioöljyt, helpottavat käyttöä ja polttoaineen varastointia, joten puun käyttömahdollisuudet lisääntyvät. Pellettejä ja niiden käyttöön tarkoitettuja laitteistoja on markkinoilla, mutta puusta tehtävän bioöljyn kehitystyö on parhaillaan käynnissä.



Kuva 7. Kevyen ja raskaan polttoöljyn käyttömäärien kehitys, 1 Mtoe = 11,63 TWh<sub>t</sub>.

Lämpöyrittäjä, jossa yrittäjät ovat vastuussa polttoaineen hankinnasta yksittäisille rakennuksille tai kaukolämpöverkostojen lämpölaitoksille ja myyvät lämpöä, on lisännyt puupolttoaineiden käyttöä. Kesäkuussa 2000 oli jo käytössä 100 lämpöyrittäjien hoidossa olevaa lämpölaitosta. Työtehoseura ry:n mukaan vuoteen 2005 löytyisi noin 1000 kohdetta, joissa konsepti olisi mahdollinen. Näiden puupolttoaineen käyttö olisi yhteensä 0,6 milj. k-m<sup>3</sup> (Solmio 2001).

### 2.5.1 Biomassoista tehdyt jalosteet

Biopolttoaineita voidaan jalostaa helppokäyttöisempään muotoon tai korvaamaan fossiilisia nestemäisiä tai kaasumaisia polttoaineita. Jaloste on myös energiatiheydeltään alkuperäistä polttoainetta parempi tuote. Kiinteitä jalosteita ovat esimerkiksi puupöly, puuhiili, pelletit ja brikitit ja nestemäisiä jalosteita pyrolyysiöljy, etanoli, metanoli, rypsidiesel ja bensiinin lisäaineet. Bioperäisillä kaasuilla voidaan korvata maakaasua eri käyttökohteissa.

Kiinteistä raaka-aineista kuten hiilestä, turpeesta ja biomassasta voidaan valmistaa nestemäisiä polttoaineita lukuisin tavoin. Termokemiallisia menetelmiä ovat pyrolyysi, suora nesteytys ja epäsuora nesteytys kaasutuksen kautta. Biotekni-

sesti voidaan valmistaa biomassasta sokerien kautta bioalkoholeja liikennekäyttöön.

Synteettisiä polttonesteitä valmistetaan käyttökohteisiin, joissa ei voida käyttää muita kuin nestemäisiä polttoaineita. Ajavana voimana on ollut halu vähentää öljyriippuvuutta. Tällaisia käyttökohteita ovat esimerkiksi liikenteen energiantarve ja nykyiset öljykattilat. Jalostuksessa polttoaineen energiatiheys kasvaa, jolloin kuljetuskustannukset alenevat. Polttonesteet ovat myös helpommin käsiteltäviä ja varastoitavia. Tavoitteena voi olla myös päästöjen vähentäminen, sillä erityisesti pienessä kokoluokassa päästöjen hallinta on helpompaa käytettäessä polttonesteitä kuin käytettäessä kiinteitä polttoaineita. Valmistus uusiutuvista raaka-aineista voi olla perusteltua myös mm. siksi, että liikenteen hiilidioksidipäästöjä on vaikea muutoin rajoittaa tai että halutaan suunnata maatalouden ylituotantoa energiasektorille.

Synteettisten polttoaineiden tuotantokustannukset ovat yleensä korkeammat kuin kilpailevien kaupallisten vaihtoehtojen, öljyn tai maakaasun. Tuotanto ja käyttö onkin kilpailukykyistä vain erityisolosuhteissa ja edellyttää esimerkiksi verohelpotuksia. Kilpailukykyä parantaa tuotanto integrointi esimerkiksi sellutehtaaseen, sahaan, voimalaan tai elintarvikkeiden valmistukseen (Solantausta ym. 1997).

### **2.5.2 Yhteenveto biopolttoaineiden lisäkäyttömahdollisuuksista ja hiilidioksidipäästöjen vähentämismahdollisuuksista**

Kun biopolttoaineiden käyttömahdollisuudet kiinteistöjen lämmityksessä ja suurkäyttökohteissa yhdyskunnissa ja teollisuudessa lasketaan yhteen, päädytään tulokseen, että mahdollisia käyttökohteita on perustapauksessa hieman enemmän kuin tarjolla olevia biopolttoaineita (taulukko 4). Käyttökohteet ja polttoaineiden tuotantomahdollisuudet eivät ole myöskään jakaantuneet tasaisesti, mikä edelleen vähentää laitoksilla käytettävissä olevaa biopolttoainemäärää. Tulos osoittaa myös sen, että edullisimpia polttoaine-eriä ei ole tarjolla perustapauksen käyttöä vastaavasti. Perustapauksen käyttömäärä vastaa uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman mukaista käyttömäärää (KTM 1999). Taulukossa ei ole otettu huomioon biopolttoaineiden mahdollista tuontia tai vientiä.

Hiilidioksidipäästöjen vähentämismahdollisuus on laskettu biopolttoaineiden korvatesa kiinteistöjen lämmityksessä kevyttä polttoöljyä. Suurkäyttökohteissa vähentämismahdollisuus on laskettu sekä maakaasua että kivihiiltä korvattaessa. Käytettäessä kierrätyspolttoaineita kasvihuonekaasupäästöt vähenevät myös

kaatopaikkojen metaanipäästöjen vähenemisen ansiosta. Vähentämispotentiaali tätä kautta olisi 0,5 - 1,0 milj. tonnia CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia.

*Taulukko 4. Biopolttoaineiden käytön lisäysmahdollisuudet suurkäyttökohteissa kaukolämmityksessä ja teollisuudessa.*

| Käyttökohte                           | Laskenta-<br>vaihtoehdot     | Arvioitu lisäys-<br>mahdollisuus vuodesta<br>1999 vuoteen 2010<br>TWh | Hiilidioksidipäästöjen<br>vähennys korvattaessa<br>fossiilisia polttoaineita<br>Milj.tonnia |
|---------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kiinteistölämmitys                    | Perustapaus<br>Maksimitapaus | 5,8<br>9,3                                                            | 1,4 (kevyt polttoöljy)<br>2,2 (kevyt polttoöljy)                                            |
| Suurkäyttökohteet                     | Perustapaus<br>Maksimitapaus | 8,5<br>25,6                                                           | 1,4 – 2,3 (maakaasu-kivihiili)<br>5,2 – 8,7 (maakaasu-kivihiili)                            |
| YHTEENSÄ                              | Perustapaus<br>Maksimitapaus | 14,3<br>34,9                                                          | 2,8 – 3,7 (maakaasu-kivihiili)<br>7,4 – 10,9 (maakaasu-<br>kivihiili)                       |
| Saatavilla oleva<br>lisäbiopolttoaine | Perustapaus<br>Maksimitapaus | 13<br>38                                                              |                                                                                             |

Biopolttoaineilla on mahdollista tuottaa vuonna 2010 edellä esitetyssä perustapauksessa 3 TWh<sub>s</sub> ja maksimitapauksissa 6 TWh<sub>s</sub> sähköä enemmän kuin vuonna 1999. Lisäsähköntuotantokapasiteettia, joka ei korvaa käytöstä poistettavaa kapasiteettia, arvioidaan otettavan käyttöön 2000 - 2010 alle 500 MW. Suurin osa sähköstä maksimivaihtoehdon lisäsähkön tuotannossa tuotetaan laitoksissa, joissa käytetään aiempaa suurempia osuuksia biopolttoaineita. Arvio sähkön tuotannosta perustuu nykytekniikan käyttöön (luku 3.3). Uusien tekniikoiden merkitys näkyy merkittävässä laajuudessa vasta pitemmällä ajanjaksolla, sillä monia uusille tekniikoille ehditään rakentaa vasta ensimmäiset demonstraatio-laitokset vuoteen 2010 mennessä.

## 2.6 Tekniikan kehitystarpeet ja liiketoimintamahdollisuudet

Biopolttoaineiden suurkäyttökohteissa kilpailukykyä voidaan parantaa

- pienentämällä investointikustannuksia: yksinkertainen rakenne, sarjavalmistus, tehdasvalmistus, muuttamalla nykyisiä laitoksia biopolttoaineiden käyttöön sopivaksi uusininvestointien sijaan

- nostamalla yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon (CHP) laitoksissa sähkön tuotannon osuutta (rakennusaste) uudella tekniikalla
- aloittamalla CHP-tuotanto entistä pienemmillä lämpökuormilla
- kehittämällä tekniikoita, joissa biopolttoaineilla korvataan nestemäisiä tai kaasumaisia fossiilisia polttoaineita
- pienentämällä käyttökustannuksia: hyötysuhteen parantaminen, automatisointi ja kaukokäyttö käyttöhenkilökunnan tarpeen vähentämiseksi

Lisätarpeita tekniikan kehitykseen asettavat päästömääräykset. Suurien laitosten päästöraajat on määritelty EU:n LCP-direktiivissä (2001/80/EY), jonka uusia laitoksia koskevat päästöraajat ovat jonkin verran tiukemmat kuin nykyisessä Suomen lainsäädännössä. Jätteiden poltolle on oma direktiivinsä, jonka vaatimukset ovat erityisen tiukat.

Seuraavaan taulukkoon 5 on koottu biopolttoaineiden käyttöön soveltuvia suuren kokoluokan voimalaitostekniikoita, joiden kehittämisessä ovat suomalaiset mukana. Uusi tekniikka mahdollistaa aiemman suuremman rakennusasteen, joten sähkön tuotantoa voidaan biopolttoaineilla merkittävästi lisätä. Vuoteen 2010 mennessä sähkön tuotannon lisäys uusilla tekniikoilla perus- ja maksimitapauksen nykytekniikan vaihtoehtoon verrattuna jäänee luokkaan 1 TWh<sub>s</sub>. Vuoteen 2025 mennessä ikääntyy paljon biopolttoaineita käyttäviä CHP-laitoksia ja niiden korvaaminen uuden tekniikan laitoksilla mahdollistaisi jopa sähkön tuotannon lisäämisen 10 TWh<sub>s</sub> vuoden 2010 tasoon verrattuna (Helynen et al 1999).

Tekniikoiden kaupallistumisaikataulu arvioidaan, samoin kuin arvioidaan, mitä toimenpiteitä tarvitaan tekniikoiden kaupallistamiseksi. Lisäksi on arvioitu, kuinka monta laitosta voitaisiin vuoteen 2010 mennessä rakentaa Suomessa ja EU:ssa. Pohjoismaiden ulkopuolella laitokset toimivat usein vain sähkön tuotannossa, koska tarpeeksi suuria lämpökuormia ei ole tarjolla, poikkeuksena ovat metsäteollisuuden yhteydessä toimivat laitokset.

Taulukko 5. Kehittämisohjelma tekniikoille suuren kokoluokan CHP-laitoksille.

| <b>Tekniikka, tyypillinen rakennusaste</b>                                                             | <b>Kaupallistumisaikataulu</b> | <b>Tarvittava kehitys- ja demonstrointipanostus</b>                                                  | <b>Liiketoiminnan laajuus Suomessa ja muualla vuoteen 2010</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Seospoltto pölypolttokattiloissa<br>0,5                                                                | Ennen 2005                     | 1 - 3 demonstraatiota,<br>inv. 2 - 10 milj. e/laitos                                                 | Suomi: 15<br>EU: satoja                                        |
| Uuden sukupolven leijukattilat<br>0,5                                                                  | Ennen 2010                     | 1 - 3 demonstraatiota,<br>inv. 0,12 mrd. e/500 MW <sub>l</sub><br>kattila                            | Suomi: 10<br>EU: kymmeniä                                      |
| Uuden sukupolven soodakattilat<br>0,35                                                                 | Ennen 2010                     | 1 - 3 demonstraatiota,<br>inv. 0,1 mrd. e/200 MW <sub>l</sub><br>kattila                             | Suomi: 5<br>Maailma: kymmeniä                                  |
| Biomassan kaasutus ja kaasun<br>puhdistus jätteitä käytettäessä<br>0,5                                 | Ennen 2010                     | 1 - 3 demonstraatiota,<br>inv. 30 milj. e/100 MW <sub>l</sub><br>kaasutin                            | Suomi: 10<br>EU: kymmeniä                                      |
| IGCC Integrated Gasification<br>Combined Cycle, Paineistettu<br>kaasutus kombikytkentänä.<br>0,7 - 1,0 | 2010                           | 1 - 3 demonstraatiota,<br>inv. 0,1 mrd. e/100 MW <sub>l</sub><br>polttoaineteho                      | Suomi: 1-3<br>EU: kymmeniä                                     |
| PFBC Pressurized Fluidized Bed<br>Combustion, Paineistettu leiju-<br>kerrospolttolaitos<br>0,7 - 1,0   | 2010                           | Tutkimus ja kehitys<br>Demonstrointi 2005,<br>inv. 0,12 mrd. e/200 MW <sub>l</sub><br>polttoaineteho | Suomi: 1-3<br>Maailma: kymmeniä                                |
| Mustalipeän kaasutus<br>0,7                                                                            | 2010 jälkeen                   | Tutkimus ja kehitys<br>Demonstrointi vaiheittain<br>2005 - 2010                                      |                                                                |

Taulukkoon 6 on koottu pienen kokoluokan CHP-tuotannon kehittämiskohteita, joista osa nykytekniikan edelleen kehittämistä ja osa uusia tekniikoita. Sähköverkkoon liittymisen tekniset ja hallinnolliset ratkaisut ovat yhteisiä kehittämiskohteita myös muille hajautetuille tuotantomuodoille, kuten tuulienergialle.

Taulukko 6. Kehittämisohjelma tekniikoille pienen kokoluokan CHP-tuotantoon.

| <b>Tekniikka, tyypillinen rakennusaste</b>                                | <b>Kaupallistumisaikataulu</b> | <b>Tarvittava kehitys- ja demonstroitipanostus</b>           | <b>Liiketoiminnan laajuus Suomessa ja muualla vuoteen 2010</b> |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Arinakattila ja höyrykone/turbiini, 0,15 -> 0,25                          | 2005                           | 1 – 3 demonstraatiota, inv. 4 milj. e/2,5MW <sub>e</sub>     | Suomi: kymmeniä<br>EU:satoja                                   |
| Leijukattila ja höyryturbiini 0,3 -> 0,4 - 0,5                            | 2005                           | 1 - 3 demonstraatiota, inv. 7 milj. e/5 MW <sub>e</sub>      | Suomi: 10<br>EU:satoja                                         |
| Kiinteäkerroskaasutus ja kaasun puhdistus polttomootoria varten 0,6 - 0,8 | 2005                           | 1 – 3 demonstraatiota, inv. 3 milj. e/ 2 MW <sub>e</sub>     | Suomi:kymmeniä<br>EU:satoja                                    |
| Pyrolyysiöljyn käyttö polttomootorissa 0,6 - 0,8                          | 2005                           | 1 – 3 demonstraatiota, inv. 3 milj. mk/ 2 MW <sub>e</sub>    | Suomi:kymmeniä<br>EU:satoja                                    |
| ORC (Organic Rankine Cycle) Stirling                                      | 2005                           | 1 – 3 demonstraatiota, inv. 0,3 milj. e/ 0,2 MW <sub>e</sub> | Suomi:kymmeniä<br>EU:satoja                                    |
| Polttokennot                                                              | 2005 - 2010                    | Tutkimus ja kehitys<br>Demonstrointi käyttökohteitten        | Käyttökohteista riippuen:<br>tuhansia - satoja<br>tuhansia     |
| Hajautettujen tuotantomuotojen verkkoonliittäminen                        | 2005 - 2010                    | Tutkimus ja kehitys<br>Demonstrointi kokoluokittain          | Käyttökohteista riippuen:<br>tuhansia - satoja<br>tuhansia     |

Sekä kiinteistöjen lämmityksessä että biopolttoaineiden tuotannossa (taulukot 7 ja 8) on paljon kehittämiskohteita, joissa tekniikan kehittämisen lisäksi tarvitaan liiketoimintakonseptien kehittämistä. Esimerkkinä tällaisesta on nopeasti yleistynyt lämpöyrittäjäyys, jossa kuluttajalle myydään lämpöä polttoainetoimituksen sijasta.

*Taulukko 7. Kehittämisohjelma tekniikoille kiinteistöjen lämmitykseen ja polttoainejalosteiden valmistukseen.*

| <b>Tekniikka</b>                                                              | <b>Kehityskohde</b>                            | <b>Tarvittava kehitys- ja demonstrointipanostus</b>                            | <b>Liiketoiminnan laajuus Suomessa ja muualla vuoteen 2010</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Tulisijat                                                                     | Päästöt, hyötysuhde, käyttömukavuus            | Uusien laitteiden kehittäminen                                                 | Suomi: tuhansia<br>EU:kymmeniä tuhansia                        |
| Automaattiset lämmitysjärjestelmät                                            | Päästöt, hyötysuhde, käyttömukavuus            | Uusien laitteiden kehittäminen                                                 | Suomi: tuhansia<br>EU: kymmeniä tuhansia                       |
| Pellettien valmistus                                                          | Laatu, raaka-aineet, kuivaus, energian kulutus | Demonstrointi 1 - 3 tehtaalla, inv. 2 – 4 milj. e/laitos                       | Suomi: kymmeniä<br>EU: satoja                                  |
| Pyrolyysiöljyn tuotanto                                                       | Tuotantoprosessi, laatu, jakelu, varastointi   | Tutkimus ja kehitys, 1 - 3 demonstraatiota, inv. 10 milj. e/20 MW <sub>1</sub> | Suomi: 0,6 Mtoe 10 laitoksessa<br>EU:kymmeniä                  |
| Muiden biopolttonesteiden valmistus, etenkin metsäteollisuuden sivutuotteista | Tuotantoprosessi, laatu, jakelu, varastointi   | Tutkimus ja kehitys demonstrointi                                              | Suomi: useita laitoksia<br>EU: kymmeniä                        |

*Taulukko 8. Kehittämisohjelma biopolttoaineiden tuotannon tekniikoille.*

| <b>Tekniikka</b>                             | <b>Kehityskohde</b>                                                                                              | <b>Tarvittava kehitys- ja demonstrointipanostus</b>                | <b>Liiketoiminnan laajuus Suomessa ja muualla vuoteen 2010</b> |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Metsähake päätehakkuilta                     | Tuotantoketjujen optimointi, laadun hallinta ja varastointi                                                      | Ketjujen ja laitteiden kehittäminen, inv. 0,5 milj. e/ketju        | Suomi: kymmeniä ketjuja<br>EU:satoja ketjuja                   |
| Metsähake harvennuksista ja taimikonhoidosta | Kevyiden korjuukoneiden kehittäminen, tuotantoketjun optimointi                                                  | Ketjujen ja laitteiden kehittäminen, inv. 0,1 – 0,5 milj. e/ketju  | Suomi: alle sata<br>EU:satoja ketjuja                          |
| Hake ja pilke pienkäyttöön                   | Hyvälaatuiset polttoaineet, varastointi, jakelu                                                                  | Ketjujen ja laitteiden kehittäminen, inv. 0,01 - 0,1 milj. e/ketju | Suomi: satoja ketjuja<br>EU:tuhansia ketjuja                   |
| Peltobiomassat                               | Korjuuketjujen kehittäminen<br>Integrointi kuidun tai muiden raaka-aineiden tuottamiseen sekä vesien käsittelyyn | Ketjujen ja laitteiden kehittäminen, inv. 0,2 – 0,3 milj. e/ketju  | Suomi: kymmeniä ketjuja<br>EU:tuhansia ketjuja                 |
| Teollisuuden sivutuotteet                    | Laadun parantaminen kuivauksella<br>Polttoainejalosteiden valmistus: pelletit, bioöljyt                          | Laitteiden kehittäminen, inv. 0,01 – 4 milj. e                     | Suomi: kymmeniä<br>EU: satoja                                  |

Edellä olevat taulukot 5 - 8 osoittavat, että bioenergian alueella tutkimus- ja kehitystyöllä sekä demonstroinnilla on mahdollista saada vuoteen 2010 mennessä lukuisia uusia tuotteita markkinoille, jotka ovat EU:ssa yli kymmenen miljardia euroja vuodessa uusiutuvien energialähteiden valkoisen kirjan mukaan (EY 1997). Bioenergian alueella suomalaiset ovat edelläkävijöitä, joten on todennäköisestä, että Suomessa toimivilla yrityksillä on mahdollisuus merkittävien markkinaosuuksien saamiseen. Esimerkiksi leijukattiloissa suomalaisten tuotteiden markkinaosuus maailmassa on yli 50 %.

Arviointien tekeminen bioenergia-alan markkinoista Suomen ulkopuolella on epävarmaa, koska biopolttoaineiden suurkanäyttö on monessa maassa vasta käynnistymässä muissa sovellutuksissa kuin metsäteollisuudessa ja yhdyskuntien jätteen poltossa. Suomea erityisesti kiinnostavia uusia markkinoita perinteisten vientituotteiden (leiju-, sooda- ja arinakattilat, sähkötekniset tuotteet) lisäksi ovat esimerkiksi kiinteistöjen lämmityslaitteet (arvio markkinoista aivan lähivuosina 1 mrd. EUR/v), CHP-laitokset (0,5 mrd. EUR/v) ja metsähakkeen tuotantoketjut (0,15 mrd. EUR/v). Suomalaisten bioenergia-alan tuotteiden lisävientipotentiaali on useita miljardeja euroja vuodessa.

## **2.7 Lähdekirjallisuutta**

1. Energy Visions 2030 for Finland. VTT Energy 2001. 237 s.
2. Hakkila, P., Fredriksson, T. Metsämme bioenergian lähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 613. Vantaa 1996. 92 s.
3. Helynen, S. et al. Uusiutuvien energialähteiden edistämishojelman taustaraportti. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 24/1999. 112 s.
4. Helynen, S. et al. Bioenergian mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Tekesin CLIMTECH-ohjelman raportti. Painossa.
5. Kansallinen ilmastostrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 27.3.2001. VNS 1/2001 vp. 96 s.
6. Solmio, H. Lämpöyrittämisen nykytila ja potentiaali. Työtehoseuran metsätiedote 3/2001 (631) 4 s.

7. Tuhkanen, S., Sipilä, K. & Turkulainen, T. Jätteiden merkitys kasvihuonekaasupäästöissä. Tekesin CLIMTECH-ohjelman raportti. Painossa.
8. Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelma. Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisuja 4/1999. 36.
9. Ylitalo, E. (toim.) Puupolttoaineen käyttö energiantuotannossa vuonna 2000. Metsätilastotiedot. SVT Maa-, metsä- ja kalatalous 2001:16. 4.5.2001. 7 s.

## **3. Tuulivoima**

### **3.1 Tuotantomahdollisuudet ja -kustannukset Suomessa**

#### **3.1.1 Tuotantomahdollisuudet**

Tuulivoiman tuotantomahdollisuuksia Suomessa on tutkittu 1980-luvun lopulta alkaen.

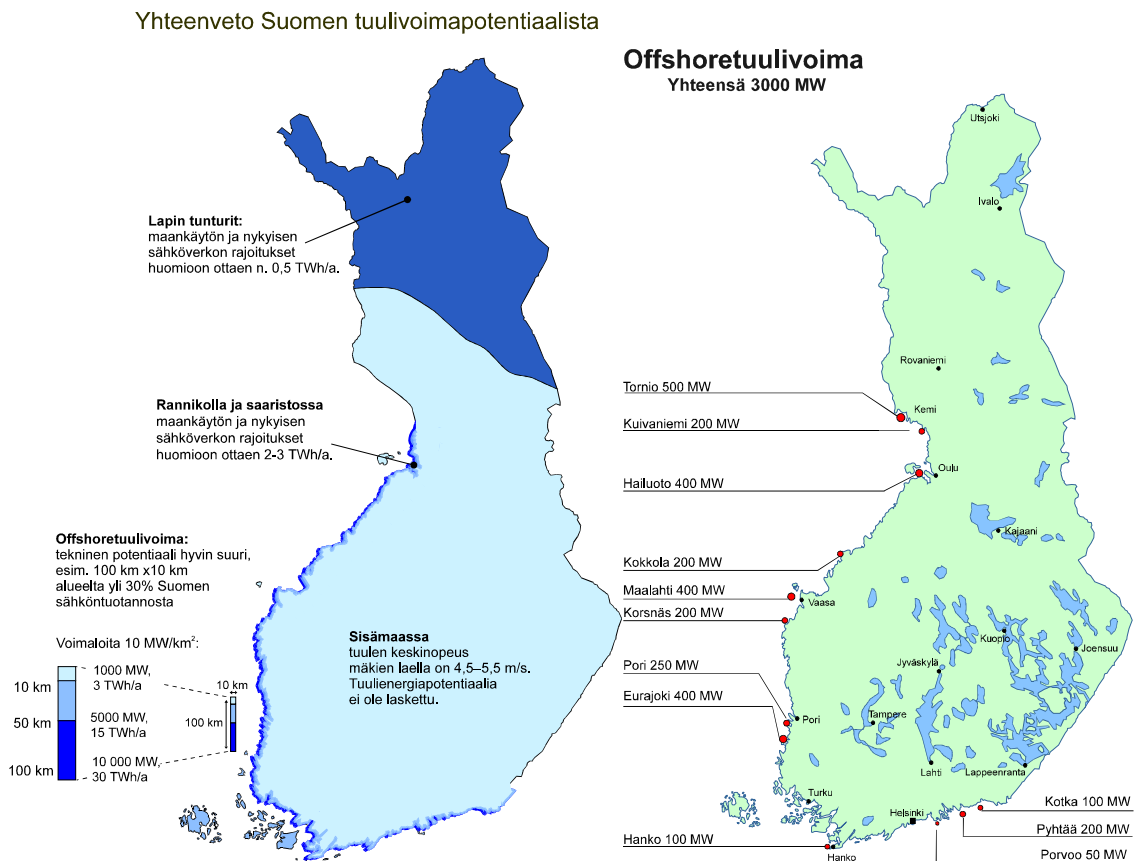
Maalle rakennettavan tuulivoiman potentiaalia lyhyellä ja keskipitkällä tähtäimellä on perusteellisimmin arvioitu alueellisissa kartoituksissa, joita on pääasias-  
sa Electrowatt-Ekono Oy:n toimesta laadittu yhteistyössä alueellisten maankäyt-  
töviranomaisten ja sähköyhtiöiden kanssa vuosina 1993 – 2000 lähes kaikille  
rannikkoalueille ja Lappiin /10, 11, 12, 13, 14, 15/. Vuoteen 2010 mennessä to-  
teutuskelpoiseksi ja kustannustasoltaan järkeväksi potentiaaliksi on rannikko-  
alueilla ja tuntureilla arvioitu yhteensä noin 500 MW. Arvioissa on otettu huomi-  
oon luonnonsuojelun ja muun nykyisen ja suunnitellun maankäytön asettamat  
rajoitukset. Laitoskokoluokaksi on oletettu 500 – 1000 kW. Laitoskoon kasvu  
lisää yleensä tuotantopotentiaalia.

Laajamittainen tuulivoiman tuotantopotentiaali sijaitsee Suomessa merellä. Ma-  
talian merialueiden toteutuskelpoista potentiaalia ei ole kattavasti arvioitu. Perä-  
meren alueelle (Vaasa-Tornio) laaditussa kartoituksessa vuonna 1998 VTT Ener-  
gia ja Electrowatt-Ekono Oy arvioivat teknisesti toteutuskelpoiseksi tuotantopo-  
tentiaaliksi 40 TWh. Koska alueiden käytön ja ympäristökysymysten asettamia  
rajoituksia ei tarkasteltu, jää toteutuskelpoinen potentiaali luonnollisesti huo-  
mattavasti alhaisemmaksi. Alustavasti raportissa arvioitiin, että teknisestä poten-  
tiaalista 5 – 10 % olisi toteutettavissa. Tämä vastaa noin 1000 – 1500 MW asen-  
nettua kapasiteettia Vaasan ja Tornion välisellä merialueella /15/.

VTT Energian tuoreessa selvityksessä /17/ Suomen merialueilta otettiin tekni-  
sesti soveltuvia ja suojelualueiden ulkopuolelle jääviä sijoituspaikkoja yhteensä  
3000 MW:lle tuulivoimaa 12 kohteessa, suurimpien tuulipuistojen ollessa tehol-  
taan 400 MW. Tuulipuistojen yhteenlasketuksi vuosituotannoksi saatiin 8 TWh.

Kuvassa 8 on yhteenvedoa eri alueille tehdyistä tuulivoimatuotannon potentiaali-  
arvioista. Tuotantomahdollisuudet vuonna 2030 riippuvat tuulivoiman tuotanto-  
kustannusten kehittymisestä suhteessa muun sähköntuotannon kustannuksiin.

Tuuliolosuhteiden ja käytettävissä olevien, vesisyvyydeltään, jääolosuhteiltaan ja pohjaolosuhteiltaan sopivien merialueiden tekniset tuotantomahdollisuudet näytävät olevan hyvin suuret.



Kuva 8. Tuulivoiman tuotantomahdollisuudet Suomessa. Vasemman puoleisessa kuvassa on yhteenvetoa eri alueille tehdyistä tuotantoarvioista. Merituulivoiman tuotantopotentiaalia on siinä havainnollistettu kartan mittakaavaan Porin edustalle sijoitetulla pylväällä. Pylvään suurennoksen (kuvan vasemmassa reunassa) on merkitty ko. alueella tuotettavissa oleva energiamäärä. Oikeanpuoleisessa kuvassa on esimerkki noin 3000 MW tuulivoimakapasiteetin sijoittamisesta Suomen merialueille.

Yksityiskohtaisempia merituulivoiman sijoittamiselvityksiä on tehty mm. Pohjan Voima Oy:n toimesta Kokkolan edustalla /18/, Porin edustalla /19/ sekä Merikarvia, Korsnäs-Närpiön ja Oulun ja Kemin väliseltä alueelta.

Yhteenvetona voidaan alustavasti arvioida, että teknisesti ja ympäristöllisesti toteutuskelpoisia sijoituskohteita, jotka ainakin periaatteessa voitaisiin toteuttaa ennen vuotta 2010, on Suomessa kuivalla maalla noin 500 MW:lle ja merialueilla

500 – 3000 MW:lle tuulivoimaa. Käytännössä merituulivoiman rakentaminen ajoittuneen pääasiassa vuoden 2010 jälkeiseen aikaan.

### **3.1.2 Tuuliolot ja tuotantokustannukset**

Suomessa tuuliolot eivät ole yhtä suotuisat kuin esim. Brittein saarilla tai Pohjanmeren rannikolla. Suomen rannikoilla, saaristossa ja tuntureilla on kuitenkin kohteita, joissa tuotanto on keskimäärin 28 - 34 % nimellistehosta /20/. Tuulioloiltaan näin edullisia kohteita, joissa myös muut toteutusedellytykset (tekniset ja ympäristölliset) olisivat olemassa, on kuitenkin suhteellisen vähän, eri selvitysten valossa yhteensä arviolta 100 – 300 MW luokkaa. Suurin osa tuulivoimalaitosten potentiaalisista sijoituskohteista kuivalla maalla tuotannon keskiteho on 21 – 25 % nimellistehosta.

Tuulivoiman rakentamiseen teknisesti soveltuvilla merialueilla voidaan alustavien arvioiden perusteella päästä parhaimmillaan 36 – 40 % keskitehoon /19/, mutta 31 – 34 % on useimmissa tapauksissa todennäköisin tuotantotasot /16, 17, 21/.

Tuulivoiman rakentamiskustannukset ovat Suomessa olleet toistaiseksi jonkin verran korkeammat kuin Keski-Euroopassa tai USA:ssa. Tämä johtuu seuraavista tekijöistä:

- markkinoiden ja projektien pienuus
- pitkät kuljetusetäisyydet
- kylmien toimintalämpötilojen vaatimat tekniset modifikaatiot

Edullisimmillaan on tuulivoimaa rakennettu Suomeen hintaan 5000 mk/kW, keskimäärin investointikustannukset ovat kuitenkin olleet 6000 mk/kW tasoa. Uusimpien 2 – 2,5 MW laitosten rakennuskustannukset tulevat käytettävissä olevien tietojen perusteella olemaan samaa tasoa tai hieman edullisemmat kuin 1 MW laitostekokoa käytettäessä. Suurimmat potentiaaliset kustannussäästöt ovat edelleenkin saavutettavissa projektikokojen ja markkinoiden kasvun kautta. Nykytilanteessa, jossa markkinoita ei käytännössä ole, ei laitostoimittajien kesken myöskään ole todellista kilpailutilannetta. Suuria projekteja olisi Suomessa todennäköisesti mahdollista toteuttaa lähivuosina 5000 – 5500 mk/kW kustannustasolla.

Myös toteutuneet käyttö- ja ylläpitokustannukset ovat olleet Suomessa jonkin verran kansainvälisen kustannustason yläpuolella, jälleen ennen kaikkea pienistä

markkinoista ja pitkistä etäisyyksistä johtuen. Myös kylmät ja jäätävät sääolosuhteet ovat aiheuttaneet jossain määrin ylimääräistä huolto- ja korjaustarvetta /20/. Tuulivoimaloiden käyttö- ja ylläpitokustannusten arvioidaan Suomessa olevan yleensä tasoa 2,5 % investoinneista vuodessa. Todellisia käyttökustannuksia koskeva tieto lisääntyy koko ajan ja sitä kootaan osana VTT:n tuotanto- ja vika-tilastointia. Projektikokoja kasvattamalla olisi todennäköisesti mahdollista päästä 1,5 – 2 % tasolle, mikä on toteutunut kustannustaso niissä Euroopan maissa joissa tuulivoimaa on rakennettu paljon.

Edullisessa rannikkokohteessa (investointikustannukset 5500 mk/kW, huipunkäyttöaika 2500 – 3000 h/a) voidaan Suomessa tuottaa tuulivoimaa noin 20 p/kWh kustannustasolla ilman subventioita. Suurimmassa osassa potentiaalisia merenranta-kohteita kustannustason ei lähivuosina voida olettaa laskevan alle 25 p/kWh tasolle. Mikäli kansainväliset ennusteet tuulivoiman kustannustason voimakkaasta laskusta lähivuosina /24, 25/ toteutuisivat myös Suomessa, voisi rannikolle rakennetun tuulivoiman kustannustaso asettua haarukkaan 17 – 22 p/kWh noin viiden vuoden tähtäimellä. Koska suuri osa kustannustason odotettavissa olevasta laskusta on kuitenkin sidottu markkinoiden odotettuun kasvuun, on kustannustason alentuminen Suomessa epävarmaa.

Merituulivoiman kustannustason kehityksen arviointi on huomattavasti epävarmimmalla pohjalla. 2 – 2,5 MW laituskoolla arvioidaan investointikustannusten nyt olevan 7000 – 9000 mk/kW ja tuotantokustannusten ilman tukia 25 – 30 p/kWh /26, 27/. Näin ollen merituulivoiman rakentaminen ei ilman erityisiä demonstraatiotukia todennäköisesti Suomessa käynnisty vielä tällä laitoskukolpovella, koska edullisempia maalla sijaitsevia kohteita on vielä suhteellisen runsaasti hyödyntämättä.

Koska odotettavissa oleva tuotanto on merellä 10 – 30 % parempi kuin rannikolla, on mahdollista että suurissa merituulipuistoissa voitaisiin Suomessa vuosien 2005 ja 2010 välillä päästä tuotantokustannuksissa tasolle 17 – 20 p/kWh. Arviointiin liittyy kuitenkin merkittäviä epävarmuuksia, kuten jääkuormien hallinnasta aiheutuvat ylimääräiset perustuskustannukset, suurten laitosten tekninen luotettavuus ja seisokeista aiheutuvat tuotannonmenetykset, sekä huoltokäyntien kustannukset avomeriolosuhteissa. Toisaalta on syytä todeta, että merituulivoiman kehityksessä on vielä runsaasti hyödyntämätöntä innovaatiopotentiaalia em. tekijöiden suhteen, ja jo nyt on näköpiirissä teknisiä ratkaisuja jotka niin kotimaan olosuhteissa kuin kansainvälisestikin vaikuttavat erittäin lupaavilta.

Kuvassa 9 on yhteenvetona VTT Energian visiokirjassa /26/ esitetty arvio tuuli-voiman tuotantokustannusten kehittymisestä Suomessa.

|                                             | Nykytilanne |         | Arvio 2020-2030              |                    |
|---------------------------------------------|-------------|---------|------------------------------|--------------------|
|                                             | Maalla      | Merellä | Maalla                       | Merellä            |
| Keskiteho , % nimellistehosta               | 21          | 34      | 21                           | 34                 |
| Investointikustannus, euro/kW <sup>1)</sup> | 1000        | 1450    | 680                          | 1000               |
| Käyttö- ja ylläpitokustannus, euro/kWh      | 0.010       | 0.020   | 0.0050                       | 0.010              |
| Tuotantokustannus yhteensä, euro/kWh        | 0.048       | 0.060   | 0.030                        | 0.037              |
| Kapasiteetti, MW                            | 39          | 0       | 500 rannikko<br>250 tunturit | Useita<br>tuhansia |

<sup>1)</sup> Oletukset: korkokanta 5 %, käyttöaika 20 v., kokonaisvolyymi 1000 MW

Kuva 9. Tuulivoiman tuotantokustannustaso Suomessa /26/.

## 3.2 Tuulivoima sähköntuotantojärjestelmässä

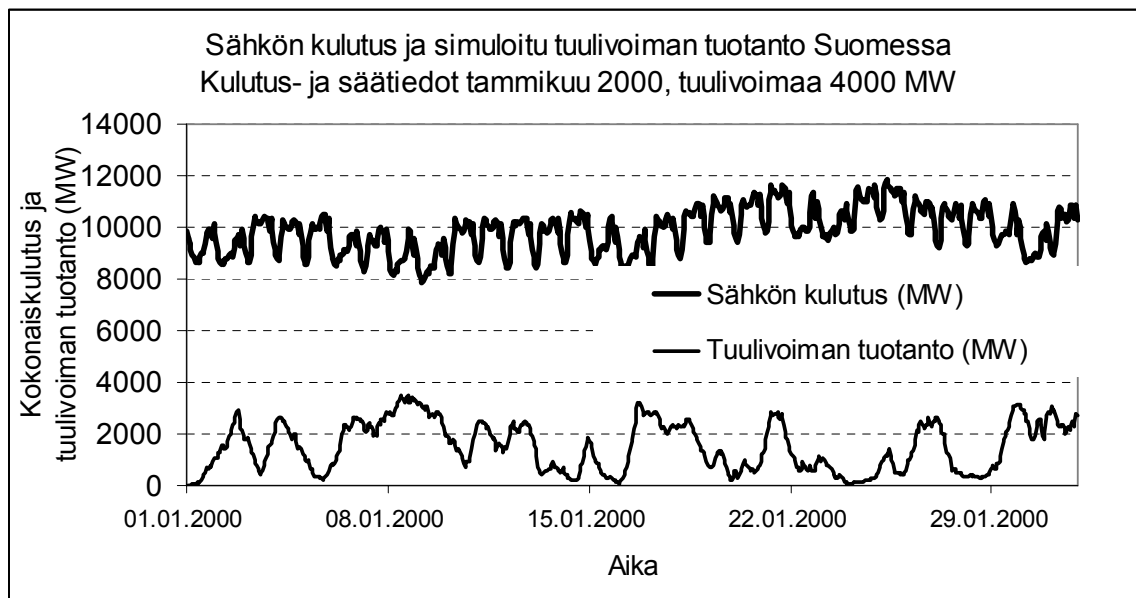
Tuulivoiman laajamittaisen käytön esteenä on usein nähty tuotannon ennustamattomuus, nopeat tehonvaihtelut sekä suuri varatehon tarve.

Tuulivoimatuotannon tehon muutokset tasoittuvat jo yksittäisen tuulipuiston alueella. Yksittäisellä 1 MW tuulivoimalalla yli 900 kW suuruisia tehon muutoksia 10 minuutissa esiintyy tehtyjen seurantamittausten perusteella noin 5 kertaa vuodessa. Kahdeksasta 1 MW yksiköstä muodostuvan tuulipuiston kokonaistehossa suurimmat muutokset ovat noin 50 % nimellistehosta eli 4 MW tunnin aikana /28/. 10 minuutin vaihtelut ovat tätä pienemmät.

Suuret äkilliset tehonmuutokset ovat periaatteessa mahdollisia myrskyrintaman saapuessa tuulipuiston alueelle: tuulivoimalat pysähtyvät tuulen nopeuden pysyessä riittävän pitkään tietyn raja-arvon (tyypillisesti 25 m/s) yläpuolella. Kukin tuulivoimala toimii oman ohjausjärjestelmänsä ohjaamana. Suuren tuulipuiston alueella eivät tuuliolot ole koskaan täysin samanlaiset. Näin ollen suuri tuulipuisto kytkeytyy myrskyllä pois verkosta ja takaisin verkkoon myrskyn laantuesssa todennäköisemmin joidenkin tuntien kuin 10 - 15 minuutin kuluessa. Tämä on

käytännössä havaittu esimerkiksi Porin 8 MW tuulipuiston seurantamittauksissa /28/.

Vaihtelut tasaantuvat edelleen, kun tuulipuistoja rakennetaan eri puolille Suomea. Todennäköisyys, että yksittäinen tuulivoimala ei tietyssä ajanhetkenä tuota mitään, on sijoituspaikan tuulioloista riippuen 10 – 25 %. Kuitenkin on epätodennäköistä, että kaikki Suomen kokoiselle alueelle sijoitetut tuulivoimalat olisivat samanaikaisesti tyynessä /30/. Kuvassa 10 esitetään esimerkkinä tästä tasoittumisesta sähkön kulutuksen ja tuulivoimatuotannon vaihtelu huippukulutuksen aikana, kun asennettu tuulivoimateho on 4000 MW. Sähkön kulutustiedot ovat vuodelta 2000 ja tuulivoimatuotanto on simuloitu saman vuoden säätietojen ja toteutuneiden tuulivoiman tuotantotietojen avulla.



Kuva 10. Sähkön kulutuksen todellinen ja tuulivoimatuotannon säätietojen perusteella simuloitu vaihtelu Suomessa.

Kulutukseen verrattuna tuulivoimatuotannon vaihtelut ovat keskimäärin hitaampia mutta epäsäännöllisiä. Jo yli 10 % erot peräkkäisten tuntien keskitehossa ovat erittäin harvinaisia. Suurin tuotantotehon muutos on alle 20 % nimellistehosta eli kuvan tapauksessa alle 800 MW tunnin aikana. Tuulivoimatuotannon tasoittuminen näkyy myös siinä, että suurin tuntiteho on 3600 MW eli 90 % asennetusta nimellistehosta.

Saman kaltaisia tutkimustuloksia on saatu muuallakin. Vuoden 1998 Pohjois-Saksan Preussen Elektran ja VEW/RWE:n alueiden tuulivoimaloiden perusteella

suurin 15 minuutin tehonvaihtelu on  $\pm 10\%$  nimelliskapasiteetista, tuntitehojen vaihtelu  $+25\ldots-30\%$ . Tanskassa on arvioitu, että 3500 – 5500 MW tuulivoimakapasiteetti aiheuttaisi 6 kertaa kuukaudessa yli  $10\%$  suuruisen tehonmuutoksen 15 minuutissa /29/.

Vaikka tulokset ovat alustavia, on joka tapauksessa selvää että 15 minuutin tehonvaihtelut Suomen kokoiselle alueelle hajautettuja tuulipuistoja ovat maksimissaankin  $10\ldots 20\%$  asennetusta nimellistehosta, ja todennäköisesti lähempänä  $10\%$  kuin  $20\%$ .

Koska lisäksi kulutuksen ja tuulivoimatuotannon satunnaiset tehonvaihtelut kompensoivat osittain toisiaan, on tuulivoiman tuoma lisäsäätötarve ilmeisesti tätäkin pienempi. Esimerkkivuonna 1999 se olisi em. tuntiteholaskelmien mukaan ollut 200 - 300 MW eli korkeintaan noin  $10\%$  koko tuulivoimakapasiteetista.

Hitaampaa, varavoimatyypistä tuotantoa varten vaaditaan hyvä tuulivoimatuotannon ennustemenetelmä. Näitä ollaan kehittämässä Tanskassa ja Pohjois-Saksassa, jossa tuulivoiman osuus sähkönkulutuksesta on jo tällä hetkellä yli  $10\%$ .

Tuulivoiman tarvitseman ylimääräisen säätö- ja varatehon aiheuttama lisäkustannus rasittaisi VTT:n laskelman perusteella tuulivoimatuotannon kilpailukykyä 1,3 p/kWh.

Edellä sanotusta huolimatta on syytä todeta, että tuulivoima – laajasti hajasijoitetunakin – on edelleen voimakkaasti vaihtelevaa tuotantoa. Erot peräkkäisten päivien ja viikkojen tuotannoissa ovat suuria. Näin ollen tuulivoima ei yksinään täytä perusvoimatuotannon kriteerejä kuin osalla nimelliskapasiteetistaan. Energiaintensiiviselle teollisuudelle, jonka intresseissä ovat nimenomaan pitkäaikaiset sähkönhankintasopimukset suurella vakioteholla, ei tuulivoima yksinään edelleenkaan ole vartenotettava perusvoimavaihtoehto, vaan se tarvitsisi teollisuuden näkökulmasta rinnalleen muuta, täydentävää tuotantoa.

### **3.3 Tuulivoiman CO<sub>2</sub>-päästövaikutus**

Tuulivoimatuotanto ei tuota CO<sub>2</sub>-päästöjä. Tuulivoimalaitoksen rakentamiseen käytettyjen materiaalien energiasisältö saadaan takaisin 3...9 kk tuulivoimatuotannosta, joten laitos tuottaa CO<sub>2</sub>-vapaata sähköä käytännössä koko tuulivoiman

20 - 30 vuoden eliniän ajan. Kun tuulivoimaa lisätään sähköjärjestelmään, sähköntuotannon CO<sub>2</sub>-päästöt vähenevät. Se miten paljon päästöt vähenevät, riippuu siitä mitä tuotantoa tuulivoimatuotanto jokaisena hetkenä korvaa.

Sähköjärjestelmän tuotantolaitoksia ajetaan siinä järjestyksessä mitkä ovat laitosten käyttökustannukset - tämä pätee myös uusilla vapautuneilla sähkömarkkinoilla. Kun tuulivoima tulee mukaan kuvaan, se tuotantomuoto vähenee, jonka käyttökustannukset ovat sillä hetkellä suurimmat. Käytännössä tämä on yleensä vanhin hiililauhdelaitos. Tuulivoiman päästösäästöksi käytetäänkin usein arvoa 800 - 900 gCO<sub>2</sub>/kWh eli jokainen tuotettu kWh tuulivoimaa vähentää päästöjä sen verran kuin vanha hiililauhdevoiman tuottama kWh niitä tuottaisi.

Tämä pätee siis järjestelmälle jossa on hiililauhdevoimaa niin paljon, että sitä riittää korvattavaksi jokaisena ajanhetkenä suuremmallekin määrälle tuulivoimaa. Suomessa sähköjärjestelmässä on hiililauhdetta, mutta vain rajoitettu määrä. Lisäksi Suomi on osana Pohjoismaista sähköjärjestelmää, jossa vesivoiman osuus on huomattava. Tämän vuoksi on simuloitu järjestelmän toimintaa ilman tuulivoimaa ja tuulivoiman kanssa, jotta nähdään mitä tuotantoa tuulivoima korvaa.

Tuulivoima korvaa Suomen ja Pohjoismaiden energiajärjestelmässä suurimmaksi osaksi hiililauhdetta, ja jonkin verran myös öljyn ja kaasun käyttöä polttoaineena. Koska Ruotsissa ja Norjassa hiililauhteen määrä on pieni, maiden välinen sähkönsiirto kasvaa tuulivoiman vuoksi niin, että käytetään hyväksi siirtokapasiteettia jolloin tuotantoa korvataan lähinnä Suomessa, Tanskassa ja Keski-Euroopassa. Laskettaessa yhteen eri tuotantomuotojen korvaamisen vaikutus, tuulivoiman CO<sub>2</sub>-päästövähennys on noin 700 000 tCO<sub>2</sub>/TWh tuotettua tuulienergiaa kohti. Mikäli tuulivoimaa tuotetaan huomattavasti enemmän kuin vuoden 2010 tavoite (500 MW) CO<sub>2</sub>-päästövaikutus putoaa, ja on 7 TWh vuosituotannon kohdalla noin 650 000 tCO<sub>2</sub>/TWh. Sama tulos saadaan myös pelkästään Suomelle tehdyissä simuloinneissa.

Tulevaisuuden sähköntuotantojärjestelmässä, jossa kaasuvoima on korvannut hiililauhteen, päästösäästö on noin 300 000 tCO<sub>2</sub>/TWh.

### 3.4 Teknisiä kehitystrendejä

Merkittävimpiä lähivuosien kehitystrendejä ovat yksikkökojojen kasvu, projektikojojen kasvu, sekä laajamittaisen meritulivoiman rakentamisen käynnistymi-

nen. Monissa maissa tullaan enenevässä määrin hyödyntämään myös vuoristo-alueita tuulivoimaloiden ja –puistojen sijoituspaikkoina.

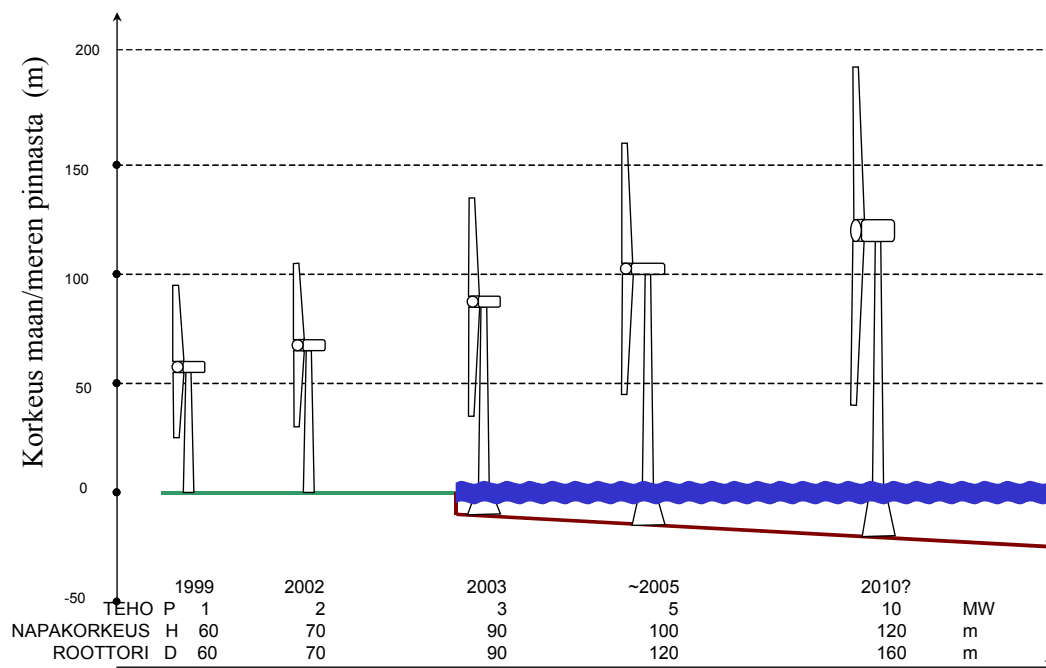
Suomalaisen teknologiaviennin kannalta yksikkökokojen kasvu merkitsee sitä, että tuulivoimaloiden komponentit muuttuvat entistä enemmän erikoisosaamista sisältäviksi. Komponenttien kehittämisessä, suunnittelussa ja optimoinnissa joudutaan alusta pitäen ottamaan huomioon laitosvalmistajan konseptivalinnasta johtuvat ratkaisut. Tämän johdosta eri laitosvalmistajille toimitettavat tuotteet eriytyvät, mikä lisää kehityskustannuksia ja tarvetta pilot-laitoksiin.

Projektikoon kasvu yhdessä yksikkökokoon kasvun kanssa merkitsee, että myös yksittäisiin projekteihin liittyvien komponenttitoimitusten arvo kasvaa. Tällöin myös uusiin teknisiin ratkaisuihin liittyvät riskit kasvavat, mikäli ne joudutaan ottamaan ensi kertaa käyttöön kaukana Suomesta.

Merituulivoimapuistojen rakentaminen ja käynnistyminen erityisesti Pohjois-Euroopassa selittää osittain sekä yksikkökokoon että projektikoon kasvua. Samalla projektien ja voimaloiden suunnitteluajat pitenevät. Merituulivoimapuistoissa voimaloiden tekniset vaatimukset kasvavat toisaalta vaativan ympäristön takia ja toisaalta sen johdosta, että voimaloiden teknisen luotettavuuden tulee olla korkea alentuneen luoksepääsyn takia. Samasta syystä myös huoltovälin pituus kasvaa ainakin kaksinkertaiseksi nykyisestä. Tämän johdosta tarve komponenttien ennalakoivaan kunnon valvontaan ja huoltoon, sekä kaukokäytön vaatimukset kasvavat.

Laitosteknologian yleisinä trendeinä ovat säädön ja älyn lisääntyminen, vaihteettomien tai osittaisten suoravetoratkaisuiden lisääntyminen sekä siirtyminen muuttuvaan pyörimisnopeuteen.

Tuulivoimaloiden yksikkökokoo on kasvanut nopeasti. Kuvassa 11 on eräs arvio tuulivoimaloiden kokoluokkien kehittymisestä. Se on laadittu yhdistämällä useista eri lähteistä peräisin olevia näkemyksiä ja tietoja käynnissä olevista kehityshankkeista.



Kuva 11. Tuulivoimaloiden koon kehittyminen lähivuosina.

Asennettavien voimaloiden nimellisteho vaihtelee tällä hetkellä välillä 0,6 – 2,5 MW. Nimellisteho on noin kymmenkertaistunut 10 vuodessa. Keskimääräinen asennettujen laitosten teho oli Saksassa n. 1,3 MW v. 2001. Suomeen ensimmäiset 1 ja 1,3 MW laitokset pystytettiin v. 1999 ja ensimmäiset 2 MW ja sitä suuremmat laitokset rakennettaneen v. 2002. Ensimmäinen suomalaisvalmisteen 1 MW laitos rakennettiin v. 2001 noin 2 - 3 vuotta MW-luokan laitosten kaupallistumisen jälkeen. Tuulivoimaloiden pystyttäminen maalle on mahdollista ainakin noin 2 - 2,5 MW tehoon saakka. Ensimmäiset isommat merituulipuistohankkeet, Kööpenhamina 20 x 2 MW v. 2001 ja Horns Rev 80 x 2 MW v. 2002, on toteutettu tämän kokoluokan laitoksilla.

3 MW:n tehoisia laitoksia ei ole vielä tarjolla sarjavalmisteinä, mutta on merkille pantavaa että suomalaisen tuulivoimalavalmistajan olisi mahdollista kuroa umpeen kilpailijoiden ajallista etumatkaa käynnistämällä uuden laitoksen kehitystyö nopeasti. 3 MW laitoksilla tähdätään jo selkeästi merituulipuistohankkeisiin. Kokonsa puolesta niitä voitaneen tarvittavasta nostotekniikasta riippuen käyttää myös maalla.

5 MW laitosten arvellaan kaupallistuvan noin v. 2005 tienoilla. Suuret laitokset tullaan selkeästi suunnittelemaan merisijoittamista silmällä pitäen. Merituulipuistosovellukset tulevat asettamaan uusia lähtökohtia ja reunaehtoja tuulivoimaloiden suunnittelulle ja toteutukselle. Erityisesti luotettavuus- ja elinikävaati-

mukset kasvavat. Todennäköisesti jo 5 MW kokoluokassa mutta varsinkin, jos koko siitä edelleen kasvaa, em. vaatimukset, komponenttien koon kasvu ja korjattavuus avaavat mahdollisuuksia uusille teknisille ratkaisuille vaikka tuulivoimalan peruskonsepti säilyneekin ennallaan. Periaatteellista teknistä estettä nimellisteholtaan noin 10 MW:n voimalan toteuttamiselle ei pitäisi olla.

### **3.5 Tuulivoimateknologian valmistus ja vienti Suomessa**

Tässä luvussa kuvataan suomalaisen teollisuuden tuulivoimaliiketoimintaa nyt sekä mahdollisuuksia tulevaisuudessa. Tiedot on koottu pääosin yrityshaastattelusta. /27/

#### **3.5.1 Tuotteet**

Suomen teollisuuden tuulivoimateknologian vienti koostuu pääasiassa pääkomponenteista vaihteistoista ja generaattoreista, sekä materiaaliennistä (tornien teräslevyt, lapamateriaalit). Lisäksi Suomessa tehdään suuria valuja (esim. naparakenne) sekä pääkomponenttien alihankintaa (esim. kestopagneetteja generaattoreihin). Vuonna 2001 pystytettiin kokonaan suomalaisen tuulivoimalan, WinWind Oy:n, ensimmäinen 1 MW pilot-laitos.

Kansainvälinen konserni ABB on markkinajohtaja tuulivoimageneraattoreiden valmistuksessa (markkinaosuus 20 - 30 %), ja erityisesti megawattiluokan laitoksilla markkinaosuus on ollut kasvussa v. 2001. Tuulivoimalaitosten generaattorit valmistaa Suomen ABB, lisäksi Suomessa valmistetaan taajuusmuuttajia. Vaasan (ent. ABB Motors) tehtailla tehdään generaattoreita 1 MW:n kokoon asti. Helsingin Pitäjänmäen (ent. ABB Industry) tehtailla valmistetaan yli 1 MW:n generaattoreita, sekä taajuusmuuttajia. Tuotevalikoimaan kuuluvat yksi- ja kaksinopeuksiset (kaksoiskäämitys) sekä ilma- että vesijäähdytteiset oikosulkukoneet, myös puolittain (kaksoissyötetyt) ja kokonaan taajuusmuuttajan kautta toimivat muuttuvanopeuksiset koneet. Lisäksi valmistetaan kestopagnetoituja suoraveto- generaattoreita. Helsingin tehtaalla tuulivoima-liiketoiminnan kasvu on tapahtunut parissa vuodessa tuulivoimalaitosten kokoluokan saavutettua yli 1 MW:n. Vaikka voimaloiden koko on kasvussa, riittää pienemmillekin generaattoreille kysyntää: 1 MW voimaloilla on jatkossakin markkinoita ja suurissa laitoksissa käytetään pienempiä moottoreita esim. konehuoneen ja lapojen kääntömoottoreina.

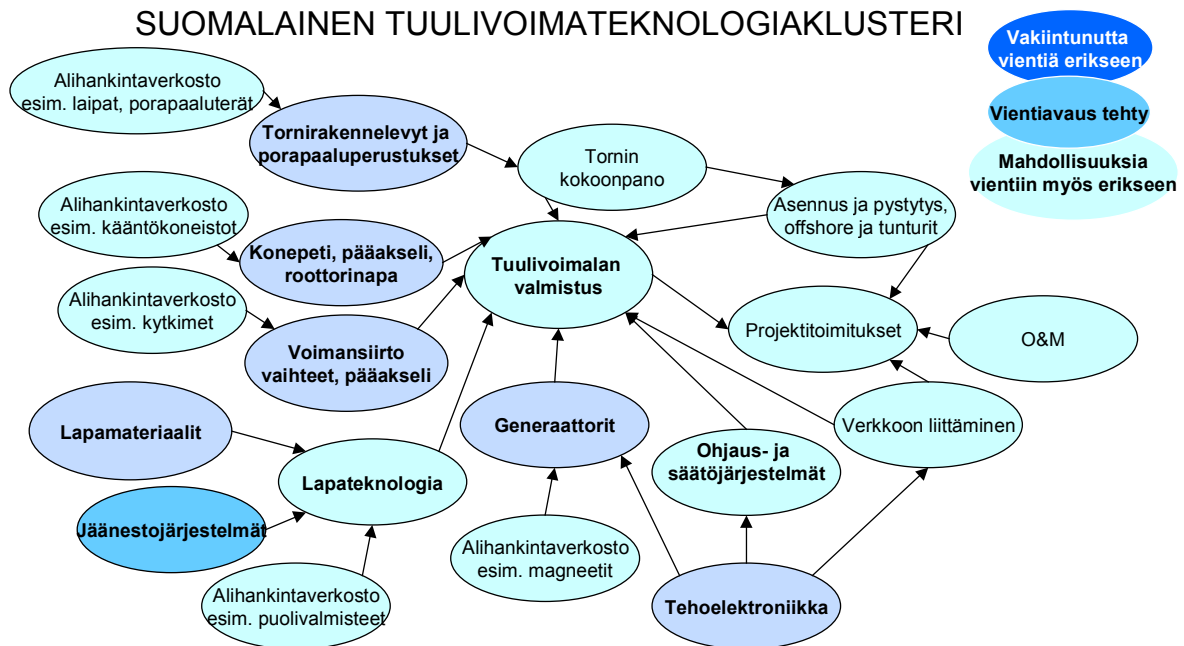
Suomalainen Metso konserni sisältää useita tuulivoimaliiketoimintoja: Tuulivoimalaitosten vaihteistoja valmistaa Metso Drives (ent. Santasalo ja Valmet), jolla on alalla 10-15 % markkinaosuus. Jyväskylän tehtaalla tuulivoimaliiketoiminta työllistää noin 200 henkilöä. Vuonna 2002 valmistuva uusi koestushalli on saanut kansainvälisessä tuulivoimalehdistössä hyvin palstatilaa. Metson Valimo on viime vuosina tehnyt kasvavassa määrin suuria valukappaleita, kuten konepetejä ja napoja. Metso Automation tarjoaa kunnonvalvontasovelluksia, ensimmäinen kehitystyö yhdessä Metso Drivesin kanssa liittyi älyvaihteeseen.

Kolmas jo 1980-luvulta lähtien aktiivisesti tuulivoimamarkkinoilla toiminut yritys on ollut Ahlström Oy Kuitulasi. Se toimittaa lasikuitutuotteita lapavalmistajien tarpeisiin. Viennin arvo on vuositasolla ollut jopa samaa luokkaa generaattorimyyntin kanssa.

Viime vuosina Suomesta on alettu viedä kasvavassa määrin mm. tornimateriaaleja, kuten esivalmistellut levyt ja tornien laipat (Rautaruukki alihankkijoineen).

Lapojen jäänestöjärjestelmien kehitys on tapahtunut pääosin Suomessa ja ensimmäiset ulkomaan toimitukset tehtiin v. 1998.

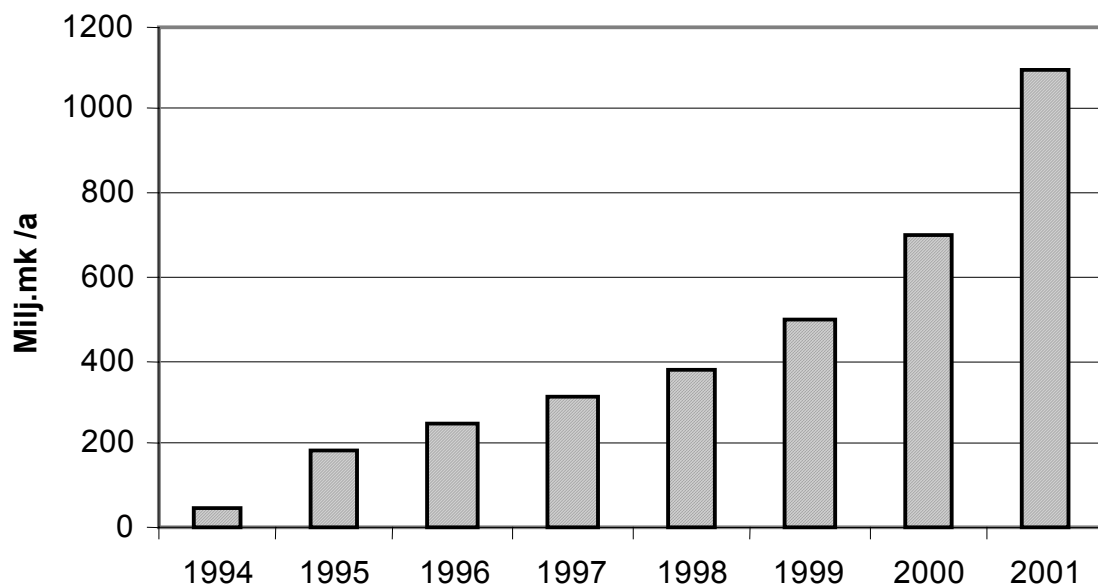
Alalle on muodostumassa pienimuotoinen teknologiaklusteri tai verkosto, jota on hahmoteltu kuvaan 12. Verkoston avulla suomalainen teollisuus voi lisätä edelleen vientimahdollisuuksiaan.



*Kuva 12. Tuulivoimateknologian verkottuminen: tuulivoimalaitoksen sekä laitojen rakentamisen ja käytön yhteydet alihankintoihin. Suomalaisilla yrityksillä on valmiuksia kaikkiin osateknologiatoimituksiin – teknologiaviennin kannalta jo nykyään näkyvät osuudet on tummennettu.*

### 3.5.2 Viennin volyymi

Suomalaisen tuulivoimateknologiaviennin volyymi v. 2001 oli tehtyjen haastattelujen perusteella yli 1 mrd mk. Tuulivoimateknologian vienti on kasvanut 90-luvulla voimakkaasti (kuva 13).



*Kuva 13. Tuulivoimaliiketoiminnan kehittyminen Suomessa (lähteet: Electrowatt-Ekono, yrityshaastattelut)*

Suomalaisten yritysten markkinaosuus eri komponenteissa on arvion mukaan tällä hetkellä

- vaihteet ~10-15 %
- generaattorit ~20-30 %
- lapamateriaalit ~30 %
- tornimateriaalit ~10 %,
- lapojen jäänestöjärjestelmät lähes 100 %

Lapojen jäänestöjärjestelmien osalta markkinaosuutta tuskin voidaan pitää pitkällä tähtäyksellä näin suurena ilman lavan valmistusta. Projektivientiä tuulivoimala-alalla ei vielä ole saatu käyntiin vaikka ponnisteluja on menossa.

Kokonaisuutena katsoen suomalaisten yritysten markkinaosuus tuulivoimaloiden maailmanmarkkinoista on alle 5 %.

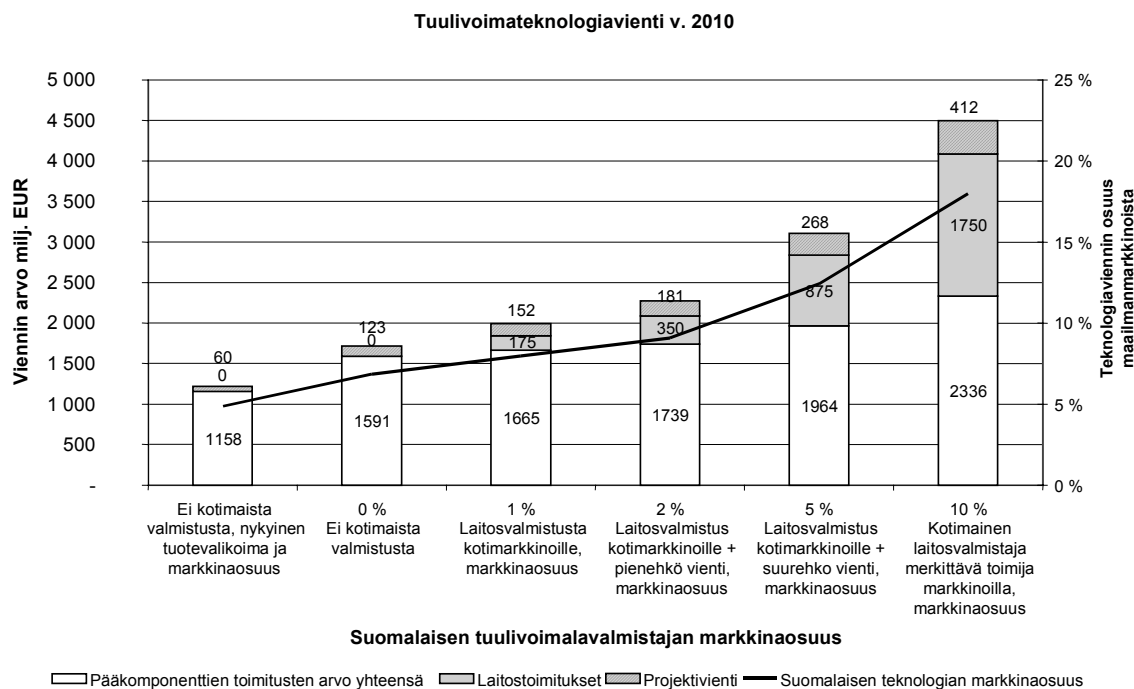
### 3.5.3 Viennin kehittymismahdollisuudet vuoteen 2010

Tuulivoimateknologiaviennin kehittymismahdollisuuksia v. 2010 on arvioitu tuulivoiman maailmanmarkkinoiden kehittymisen ja suomalaisen markkinaosuuden kehittymisen perusteella.

Kokonaismarkkinoiden koko on karkeasti arvioitu sillä perusteella, että tuulivoimaloiden kokonaisinvestointikustannukset asennettuna olisivat keskimäärin 1 milj EUR/MW. Tästä tuulivoimalan osuus olisi 0,7 milj. EUR/MW. Todellisuudessa asennetun kapasiteetin yksikkökustannus vaihtelee asennuspaikan mukaan. Se on korkeampi esimerkiksi merituulipuistoissa ja arktisissa sovelluksissa. Merituulipuistojen oletetaan edustavan 10 % osuutta tuulivoimaloiden maailmanmarkkinoista v. 2010.

Laskelmat on tehty olettaen kokonaismarkkinoiksi v. 2010 perustapauksessa BTM Consultin mukaan 25 000 MW ja konservatiivisemmän kasvuennusteen mukaisesti 15 000 MW v. 2010, joka vastaa 10 % keskimääräistä vuosikasvua vv. 2002 - 2010. Nämä luvut vastaavat 25 ja 15 mrd EUR markkinaa vuonna 2010.

Markkinaosuutta arvioitiin sen mukaan syntykö Suomeen kymmenen vuoden kuluessa merkittävää tuulivoimalan valmistusta. Kuva 14 vastaa tilannetta, jossa kotimainen tuulivoimala saavuttaa merkittävää jalansijaa markkinoilla. Siinä on laskettu arvio tuulivoima-tekniikan vientimahdollisuuksista v. 2010 ja sen jakaantuminen komponenttivientiin, voimalaitosvientiin ja projektivientiin. Näistä viimeksi mainitun volyymin arviointi on kaikkein epävarmin.



*Kuva 14. Arvio tuulivoimateknologiaviennin mahdollisuuksista v. 2010, asennettava teho 25 000 MW v. 2010.*

Nollavaihtoehtona kuvassa 14 esitetään tilanne, jossa ei haeta uusia tuotteita tai tuotekonsepteja ja nykyisillä tuotteilla pyritään pitämään nykyinen markkinaosuus (vasen pylväs). Viennin arvo tässä tilanteessa voisi olla hieman runsas 1,1 mrd EUR.

Nykyisiä tuotteita aktiivisesti kehittämällä vientimahdollisuuksia voidaan komponenttipuolella kasvattaa tästä arviolta noin 50 %. Tällöin kyseeseen voivat tulla esimerkiksi sellaiset älykkäät ratkaisut päävoimansiirrossa vaihteissa ja generaattoreissa, joilla näiden luotettavuutta parannetaan ja käyttö- ja huoltokustannuksia alennetaan.

Näiden konseptien kuten myös esimerkiksi kotimaisen lapavalmistuksen alulle saattaminen edellyttää kuitenkin nykyistä parempaa tuulivoimalakokonaisuuden hallintaa sekä läheistä yhteistyötä tuulivoimalavalmistajan tai –valmistajien kanssa. Kotimaisen tuulivoimalakonseptin edelleen kehittäminen loisi luontevan perustan kotimaisen osaamisen kehittämiseksi ja mahdollistaisi samalla sekä kasvavan komponenttiviennin että kotimaisen laitosten valmistuksen vähintäänkin kotimaisten rakentamistavoitteiden saavuttamiseksi ja samalla myös vientituotteeksi.

Kotimaisen voimalaitosvalmistuksen ja sen maailmanlaajuisen markkinaosuuden vaihtelusta riippuen viennin arvo v. 2010 voisi olla 2,0 – 4,5 mrd EUR. Kumulatiivinen vienti vv. 2002 - 2010 ylittäisi samoilla oletuksilla 8 - 14 mrd EUR

Tuulivoimamarkkinoiden kehittymiseen liittyy runsaasti epävarmuustekijöitä, mikä näkyy mm. kv. markkina-arvioiden suuressa vaihteluvälissä. Edellisen analyysin pohjana käytetty luku 25 000 MW uutta kapasiteettia v. 2010 edustaa arvioiden joukossa keskimääräistä lukua.

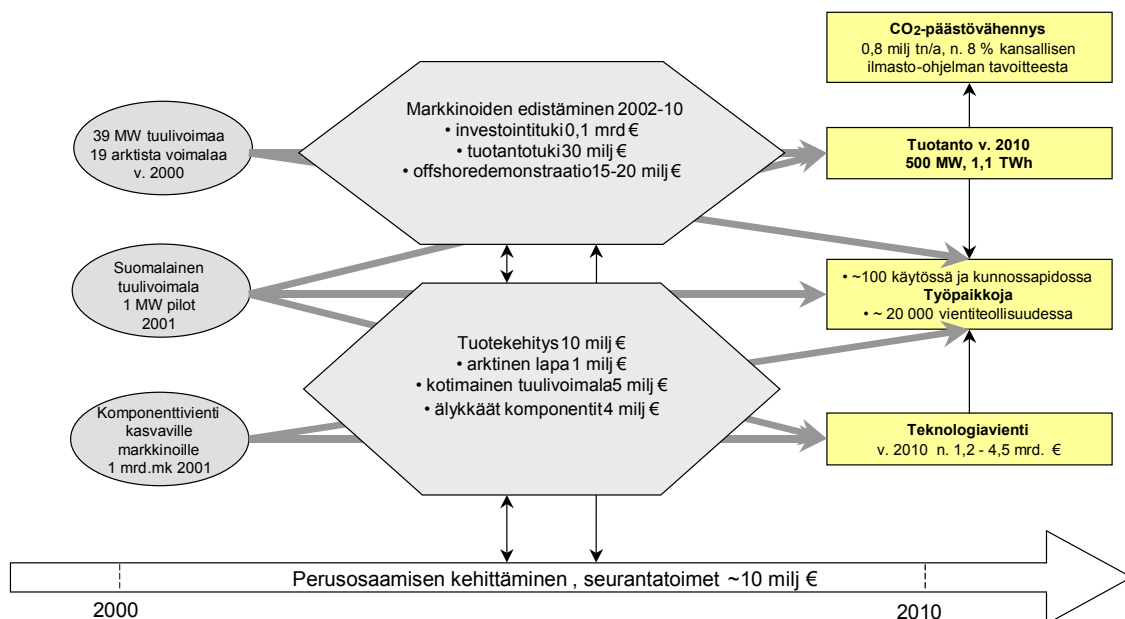
Herkkyystarkastelumielessä on tarkasteltu vaihtoehtoa, jossa markkinat kasvaisivat v. 2005 jälkeen selvästi BTM Consultin arviota hitaammin ja olisivat 15 000 MW v. 2010. Vientivolyymi olisi tässä vaihtoehdossa komponenttitekniikan ja kotimaisen laitosvalmistuksen kehittämistä ja kilpailukykyä riippuen 0,8 – 2,6 mrd EUR. Tässäkin tapauksessa tuulivoimateknologiaviennin 10-kertaistaminen v. 2001 tasosta on mahdollista. Kumulatiivinen vienti vv. 2002 - 2010 olisi näillä oletuksilla 6 - 10 mrd EUR.

### **3.6 Yhteenveto**

Tuulivoiman tuotantomahdollisuuksia ja vaikutuksia vuonna 2010 on koottu kuvaan 15 /27/.

Vuoteen 2030 mennessä arvioidaan tuulivoimatuotannon Suomessa kasvavan noin 3000 MW:iin. Tällöin tuulivoima

- tuottaisi vajaat 10 % sähköstä,
- lisätuotantomahdollisuuksia merellä olisi edelleen runsaasti.
- tuulivoiman vähentävä vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin kasvaisi mutta se riippuu muista sähköntuotantoratkaisuista
- tuotantoon ja käyttöön liittyviä työpaikkoja olisi 1000-1500 kpl niillä alueilla, mihin laitokset sijoittuisivat
- teknologiavientipotentiaali vuoden 2010 tilanteeseen verrattuna olisi moninkertainen, jos maailmanmarkkinoista esitetyt kehitysarviot pitävät paikkansa.



Kuva 15. Tuulivoiman tuotantomahdollisuudet, kasvihuonekaasujen vähentämismahdollisuudet, vientipotentiaali sekä työllisyysvaikutukset v.

### 3.7 Kirjallisuutta

10. Energia-Ekono Oy. Porin seudun alueellinen tuulivoimakartoitus, 1993.
11. Energia-Ekono Oy. Vaasan läänin alueellinen tuulivoimakartoitus, 1996.
12. Energia-Ekono Oy. Varsinais-Suomen alueellinen tuulivoimakartoitus, 1996.
13. Energia-Ekono Oy. Lapin läänin alueellinen tuulivoimakartoitus, 1997.
14. Energia-Ekono Oy. Pohjois-Pohjanmaan alueellinen tuulivoimakartoitus, 1998.
15. Energia-Ekono Oy. Länsi-Uudenmaan alueellinen tuulivoimakartoitus, 1998.
16. Holttinen, H., Liukkonen, S., Furustam, K-J., Määttänen, M., Haapanen, E., Holttinen, E. Offshore-tuulivoima Perämeren jääolosuhteissa, VTT Julkaisuja 828, 1998.

17. Holttinen, H. VTT Energia, Suuret tuulipuistot Suomen sähköjärjestelmässä, esitelmä Energia 2000-messuilla, 17.10.1999.
18. PVO, lehdistötiedote 1.3.2001.
19. Electrowatt-Ekono Oy. Porin Offshore-tuulipuiston esiselvitys, loppuraportti, 2000.
20. VTT Energia. Suomen Tuulivoimayhdistys, Tuulivoiman tuotantotilastot 1996 – 2000.
21. Electrowatt-Ekono Oy. Tuulivoimaloiden sijoituspaikkaselvitys Helsingin edustalla, loppuraportti, 2000.
22. Electrowatt-Ekono Oy. Porin tuulipuiston laajennus, tarjousvertailuraportti, 2001.
23. VTT Energia, Electrowatt-Ekono Oy. Porin 8 MW tuulipuiston seuranta-mittaukset, väliraportti, 2000.
24. BTM Consult. International Wind Energy Development, World Market Update 2000, Forecast 2001 – 2005.
25. EUREC Agency. The Future of Renewables – Prospects and Directions, 1997.
26. Energy Visions 2030 for Finland, VTT Energy, 2001.
27. Peltola, Esa, Holttinen, Hannele Tuulivoimamarkkinat suomalaisen teknologiaviennin kannalta. 2001. VTT Energia, Espoo. VTT Energian raportteja 45/2001. 40 s. + liitt. 1 s.
28. VTT Energia, Electrowatt-Ekono Oy. Porin 8 MW tuulipuiston seuranta-mittaukset, VTT Energian raportteja 42/2001.
29. European Wind Energy Conference, konferenssijulkaisu, 1999.
30. Tammelin, B. Ilmatieteen laitos, Maanlaajuinen tuulivoimatuotanto ja tuotannon ennustaminen, esitelmä Energia 2000-messuilla, 17.10.1999.

31. European Wind Energy Association Special Topic Conference, konferenssijulkaisu, 2000.