

Jukka-Pekka Bergman, Tero Karhumäki,
Tommi Keikko, Risto Komulainen, Tuomo
Kässi, Mika Lankila, Hannu Lehtinen, Jarmo
Partanen, Pasi Poikonen, Petja Rinne, Seppo
Valkealahti, Olli Ventä, Björn Wahlström

**Teknologiaohjelma DENSY - Hajautetun
energiantuotannon tulevaisuuskenaariot ja
vaikutukset liiketoimintamalleihin**



Technology Business Research Center
Research Report 9
Tutkimusraportti 9

**Teknologiaohjelma DENSY – Hajautetun energiantuotannon
tulevaisuusskenaariot ja vaikutukset liiketoimintamalleihin**

Jukka-Pekka Bergman, Tero Karhumäki, Tommi Keikko, Risto Komulainen, Tuomo Käsi, Mika Lankila, Hannu Lehtinen, Jarmo Partanen, Pasi Poikonen, Petja Rinne, Seppo Valkealahti, Olli Ventä, Björn Wahlström

Kirjoittajat aakkosjärjestyksessä.

Technology Business Research Center Lappeenranta
Lappeenranta University of Technology
P.O.BOX 20, FIN-53851 LAPPEENRANTA, FINLAND
<http://www.lut.fi/TBRC/>

Lappeenranta 2006

ISBN 952-214-157-7
ISSN 1795-6102

ISBN 952-214-158-5 (URL: <http://www.lut.fi/tbrc>)

Digipaino, Lappeenranta, 2006

TIIVISTELMÄ

Tekijä(t): Jukka-Pekka Bergman, Tero Karhumäki, Tommi Keikko, Risto Komulainen, Tuomo Kässi, Mika Lankila, Hannu Lehtinen, Jarmo Partanen, Pasi Poikonen, Petja Rinne, Seppo Valkealahti, Olli Ventä, Björn Wahlström

Aihe: Teknologiaohjelma DENSY –Hajautetun energiantuotannon tulevaisuusskenaariot ja vaikutukset liiketoimintamalleihin

Osasto: Technology Business Research Center

Vuosi: 2006

Paikka: Lappeenranta

Tutkimusraportti. Lappeenrannan teknillinen yliopisto

139 sivua, 56 kuvaa, 16 taulukkoa ja 5 liitettä

Hakusanat: hajautettu energiantuotanto, skenaario, liiketoimintamallit

Keywords: distributed energy generation, scenario, business models

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää miten hajautettu energiantuotanto ja siihen liittyvä liiketoiminta tulee muuttumaan tulevaisuudessa ja mitä mahdollisuuksia se voisi tarjota suomalaiselle osaamiselle. Työssä käydään läpi lyhyesti hajautetun energiantuotannon teknologian nykytilaa ja tehdään teknis-taloudellista vertailua eri tuotantoteknologioiden välillä. Tämän jälkeen on muodostettu asiantuntijoiden ja aktoreiden kanssa liiketoimintaympäristöskenaarioita, jotka kuvaavat tulevaisuuden muutossuuntia hajautetun energiantuotannon liiketoiminnassa.

Skenaarioistunnoissa löydettiin muutosta ajavat voimat ja pohdittiin niiden vaikutusta alan kehitykseen. Työn tuloksena määriteltiin skenaarioiden kehitystä vahvimmin ohjaaviksi tekijöiksi infrastruktuurin kehittyneisyys ja toisaalta myös yhteiskunnan ohjaustoimet. Niiden pohjalta luotiin lopulliset neljä skenaariota ja niille kaikille liiketoimintakuvaukset.

Skenaarioiden avulla suomalaisen toimijan näkökulmasta arvioitiin houkuttelevimmiksi markkina-alueiksi EU-15, Venäjä, Intia ja Kiina. Moninaisista liiketoimintaa estävistä tekijöistä huolimatta markkinoilta löytyi suuri potentiaali hajautetun energiantuotannon järjestelmille. Potentiaalisimmiksi teknologioiksi suomalaisten yritysten kannalta nähtiin puolestaan diesel- ja kaasumoottorit, tuulivoima, pienvesivoima sekä bioenergia. Yhdessä markkina- ja teknologiatutkimuksien sekä skenaariotyön avulla luotiin uusia liiketoimintakonseptikuvauksia tulevaisuuden hajautetun energiantuotannon markkinoille suomalaisen toimijan näkökulmasta.

ABSTRACT

Author(s): Jukka-Pekka Bergman, Tero Karhumäki, Tommi Keikko, Risto Komulainen, Tuomo Kässi, Mika Lankila, Hannu Lehtinen, Jarmo Partanen, Pasi Poikonen, Petja Rinne, Seppo Valkealahti, Olli Ventä, Björn Wahlström

Subject: Technology program DENSY -The scenarios of distributed energy generation and their impact on business models

Department: Technology Business Research Center

Year: 2006

Place: Lappeenranta

Research report. Lappeenranta University of Technology

139 pages, 56 figures, 16 tables and 5 appendices

Hakusanat: hajautettu energiantuotanto, skenaario, liiketoimintamallit

Keywords: distributed energy generation, scenario, business model

The objective of this study was to explore how the technology and the business of distributed energy generation industry will change in the future, and what opportunities it could offer to Finnish industry. After the examination of the current state of distributed energy generation and the cost-effectiveness analyses, the alternative scenarios were created by the experts and actors to reveal the most plausible future development paths of the DE business.

During the scenario sessions, the main driving forces of the future development were identified. The most impacting drivers were determined: state of the infrastructure and the level of the regulation in business. After this, four different scenarios were developed to describe the future business environment of the global business environment of the industry.

With the help of scenarios and technology analysis, new business concept descriptions were created for future market in the field of distributed energy systems. EU-15, Russia, India and China were seen as the most potential markets. In spite of found factors that are barriers for business, great potential from the market was found for distributed energy systems. From the Finnish companies' point of view, diesel- and gas reciprocating engines, wind power, small hydro power, and bio energy were considered as the most potential technologies to generate new business.

ESIPUHE

Raportti on tehty Lappeenrannan teknillisen yliopiston ohessa toimivassa TBRC (Technology Business Research Center) – nimisessä tutkimuslaitoksessa vuosien 2004 ja 2005 aikana. Raportti on osa DENSY -teknologiaohjelmaa ja se on toteutettu yhteistyössä Technology Business Research Centerin (TBRC), Tampereen Teknillisen Yliopiston (TTY) sekä Valtion Teknillisen Tutkimuskeskuksen (VTT) kanssa. Tämä tutkimus selvittää hajautettujen energiajärjestelmien tulevaisuuden liiketoimintamahdollisuuksia ja -malleja suomalaisten yritysten näkökulmasta skenaariotutkimuksen sekä teknis-taloudellisen tutkimuksen avulla. Työssä luodut skenaariot tehtiin Tampereen teknillisen yliopiston (TTY), Lappeenrannan teknillisen yliopiston (LTY) ja Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen (VTT) tutkijoiden kanssa. Lisäksi skenaarioita tehtiin DENSY-teknologiaohjelman johtoryhmän kanssa.

Tutkimusprojektin johtoryhmään kuuluvat joko varsinaisina jäseninä tai varajäseninä: projektin vastuullinen johtaja professori Tuomo Kässi, LTY, johtava teknologiaasiantuntija Martti Korhikoski, Tekes, teknologiaohjelma DENSY:n ohjelmapäällikkö Jonas Wolff, Oy Merinova Ab, professori Jarmo Partanen, LTY, professori Seppo Valkealahti, TTY, professori Pertti Järventausta, TTY, johtava tutkija Olli Ventä, VTT ja erikoistutkija Hannu Lehtinen, VTT.

Edellä mainittujen henkilöiden lisäksi asiantuntijoina skenaarioprojektiin osallistuivat seuraavat henkilöt: tutkimusjohtaja Markku Niemelä LTY, professori Lasse Koskelainen LTY, tutkijaopettaja Lasse Laurila LTY, professori Satu Viljainen LTY, vanhempi tutkija Tommi Keikko, TTY, tutkija Sami Repo, TTY, tutkimusprofessori Björn Wahlström, VTT, ryhmäpäällikkö Risto Komulainen, VTT sekä DENSY:n johtoryhmästä toimitusjohtaja Juha Vanhanen, Gaia Group Oy, manager Jukka Heiskanen, Gas and Resales-yksikkö, Fortum Power & Heat Oy, toimitusjohtaja Juhani Pylkkänen, T2O Consulting oy, vice president, business and competence development Jukka Hakola, Power Plants-yksikkö, Wärtsilä Oyj, toimitusjohtaja Lauri Luopajarvi, PVO-Innopower Oy, partner Jarmo Saaranen, VNT Management Oy, liiketoimintajohtaja Heikki Sundquist, Sitra.

Kiitämme lämpimästi Teknologian kehittämiskeskusta tutkimustyön mahdollistamisesta sekä kaikkia tutkijoita ja asiantuntijoita rakentavasta yhteistyöstä.

Lappeenrannassa helmikuussa 2006.

Tuomo Kässi

EXECUTIVE SUMMARY

TEKESin hajautettujen energiajärjestelmien teknologiaohjelmassa DENSY tutkitaan paikallisia pienen teholuokan energian muunto-, tuotanto- ja varastointijärjestelmiä sekä niihin liittyviä palveluja. Tässä raportissa käsiteltävä kaksivuotinen tutkimus on osa DENSY -teknologiaohjelmaa ja toteutettu yhteistyössä Technology Business Research Centerin (TBRC), Tampereen Teknillisen Yliopiston (TTY) sekä Valtion Teknillisen Tutkimuskeskuksen (VTT) kanssa. Tutkimuksen tavoitteena on ollut selvittää hajautettujen energiajärjestelmien tulevaisuuden liiketoimintamahdollisuuksia ja -malleja suomalaisten yritysten näkökulmasta skenaariotutkimuksen sekä teknis-taloudellisen tutkimuksen avulla.

Energiamarkkinoiden avautuminen Pohjoismaissa ja muualla Euroopassa on luonut monipuolisia liiketoimintamahdollisuuksia uusille toimijoille energiaketjun eri vaiheissa. Suurten energiantuotantohankkeiden ohella tarve pienimuotoisen ja paikallisten ratkaisuiden kehittämiseen lisääntyy voimakkaasti eri puolilla maailmaa. Energian kasvava kysyntä, paikallisten energiavarojen hyödyntämispotentiaali, sähkön ja lämmön yhteistuotannon kannattavuus sekä uusiutuvien energiantuotantotekniikoiden kehitys edesauttavat hajautetun energiantuotannon lisääntymistä.

Liiketoiminnan kehittämisessä tulee ottaa erityisesti huomioon se, mihin suuntaan kysyntä ja markkinat muuttuvat tulevaisuudessa. Toimialan tulevaisuuden merkittävimpiä trendejä ovat perushyvinvoinnin turvaaminen, ympäristöarvojen kasvu, energiamarkkinoiden vapautuminen, teknologian kehitys, fossiilisten energialähteiden hupeneminen sekä uusiutuvan energiateknologian ja yhteistuotannon kysynnän kasvu. Tämä tarve johtanee tulevaisuudessa hajautettujen energiajärjestelmien voimakkaasti kasvavaan kysyntään, josta on olemassa markkinoilla jo selviä viitteitä. Hajautettujen energiajärjestelmien markkinat kasvavatkin tällä hetkellä esimerkiksi Euroopassa keskimäärin 15 prosentin vuosivauhtia ja erityisesti kehittymättömillä markkinoilla vielä monin verroin nopeammin.

Raportissa on käsitelty hajautettua energiantuotantoa ja erityisesti hajautettua sähköntuotantoa teknologian kehitysmahdollisuuksien ja kustannustehokkuuden analysoinnin sekä tulevaisuuden liiketoiminnan kehityksen perusteella. Tutkimusten perusteella hajautetun energiantuotannon toimialalle on määritelty neljä vaihtoehtoista skenaariota sekä potentiaalisia palveluliiketoimintaideoita. Lisäksi raportissa esitetään uusia liiketoimintakonseptikuvauksia suomalaisille yrityksille hajautettujen energiajärjestelmien tulevaisuuden markkinoille.

Teknologiaselvityksen perusteella suomalaisen toimijan näkökulmasta houkuttelevimmiksi teknologioiksi nähtiin tuulivoima, pienvesivoima, diesel- ja kaasumoottorit sekä bioenergia. Houkuttelevimmiksi markkina-alueiksi katsottiin puolestaan EU-15, Venäjä, Intia ja Kiina. Muodostetuissa toimialakohtaisissa liiketoimintakonsepteissa esiintyi liiketoimintamahdollisuuksia sekä järjestelmätoimittajille että komponenttitoimittajille. Luotujen skenaarioiden ja markkina-analyysien perusteella tulevaisuuden markkinoilta löytyi myös

mahdollisuuksia uusille palveluinnovaatioideoille, jotka tulisi kyetä implementoimaan osaksi hajautettujen energiajärjestelmien liiketoimintamalleja.

Hajautetun energiantuotannon järjestelmien liiketoiminnan toteutuminen edellyttää kuitenkin yrityksiltä halua investoida liiketoiminnan kehittämiseen ja aloittamiseen toimialalla. Yritysten olisikin tärkeää ymmärtää markkinoilla piilevän potentiaalın suuruus voidakseen arvioida investointien kannattavuutta. Tämä tarkoittaa strategista valintaa riskinotto-kyvyn mukaan offensiiviseen tai defensiiviseen suuntaan niin teknologian kuin liiketoiminnan tutkimuksessa ja kehittämisessä.

Hajautettujen energiajärjestelmien helppo ja turvallinen sähköverkkoon kytkentä on keskeinen tekijä markkinoiden kehittymiselle. Siirtyminen perinteisestä säteittäisestä ja yksisuuntaisesta tehonsiirrosta tilanteeseen, jossa siirtyvän sähkötehon suunta voi vaihdella ja vikatilanteissa vian taakse voi jäädä tuotantoa, on huomattava haaste nykyisellä suojauslogiikalle ja – automaatiolle. Tutkimusta ja tuotekehitystä tarvitaan aina suojausfilosofian tasolta käytännön ratkaisujen kehittämiseen ja testaamiseen.

Hajautetun energiatuotannon kasvavat markkinat tarjoavat jo yleisesti tiedostettujen tekniikoiden, kuten tuulivoima, lisäksi merkittäviä liiketoimintamahdollisuuksia hyvinkin perinteisille energiatekniikan aloille, kuten biomassan polttotekniikat ja pienvesivoima. Polttotekniikkaan liittyvää suomalaista osaamista tulisi tukea ja pyrkiä muuntamaan se liiketoiminnaksi entistä paremmin. Myös pienvesivoima voisi tarjota liiketoimintamahdollisuuksia suomalaisille toimijoille, vaikka liiketoiminta tällä hetkellä onkin vähäistä. Perinteisten tekniikoiden lisäksi tulee harkita panostamista myös tulevaisuuden tekniikoihin, joista aurinkokennot näyttävät lupaavimmilta.

Yritysten liiketoiminnan kehittämisen kannalta HE -järjestelmien liiketoiminnan jatkotutkimus voisi puolestaan keskittyä esimerkiksi selvittämään, kuinka muodostaa tahokkaita arvoverkkoja, jotka mahdollistavat järjestelmien ja niihin liittyvien palveluiden kustannustehokkaat toimitukset globaaleille markkinoille. Lisäksi toimialakohtaisen liiketoiminnan mallintamisen myötä voisi seuraava askel olla uusien yrityskohtaisten liiketoimintamallien muodostaminen. Näiden toteuttaminen vaatii syvää ymmärrystä toimialan muutoksista ja erityisesti toimialojen keskinäisistä linkityksistä, toisin sanoen konvergenssista sekä yritysten sisäisten analyysien tekemistä sekä yritysten strategisten resurssien tunnistamista.

Tulevaisuuden tutkimus hajautetun energiatuotannon alalla vaatiikin jatkossa voimakkaampaa yritys-panostusta erityisesti liiketoimintatutkimukseen. Sen vuoksi olisi ensiarvoisen tärkeää, että yritykset tekisivät yhdessä tutkimuslaitosten kanssa uusia ja jopa radikaalejakin tutkimusavauksia esimerkiksi pilottiprojektien kehityshankkeita aivan uusille markkinoille uusilla sovelluksilla. Lisäksi viranomaisten olisi pohdittava omaa rooliaan liiketoiminnan edistämässä. Toisin sanoen onko heidän roolinsa tukea HE -liiketoimintaa

kannustimien ja määräysten kautta vai antaako markkinoiden itse määrätä HE -
liiketoiminnan tulevaisuus.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO.....	1
1.1. DENSY -teknologiaohjelman taustalla olevat muutokset.....	1
1.2. Tavoitteet ja rajaukset	2
1.2.1. Tutkimuksen toteutus	2
1.2.2. Raportin rakenne	3
2. HAJAUTETUN ENERGIATUOTANNON NYKYTILA	4
2.1. Primääriset energialähteet	4
2.2. Uusiutumaton energia	5
2.2.1. Öljy.....	6
2.2.2. Hiili.....	6
2.2.3. Maakaasu.....	6
2.2.4. Uraani	7
2.2.5. Turve	7
2.3. Uusiutuva energia.....	8
2.3.1. Biomassa	8
2.3.2. Jätteet.....	9
2.3.3. Vesivoima.....	9
2.3.4. Vuorovesi	10
2.3.5. Aaltoenergia	10
2.3.6. Tuulivoima	11
2.3.7. Aurinkoenergia.....	11
2.3.8. Geoterminen energia	12
2.4. Primääristen energialähteiden riittävyys	12
2.5. Sähkön käyttö ja tuotanto	16
2.5.1. Sähkön käyttö ja tuotanto maailmassa	17
2.5.2. Sähkön käyttö ja tuotanto Euroopassa	20
2.5.3. Sähkön käyttö ja tuotanto Suomessa.....	23
3. HAJAUTETUN SÄHKÖNTUOTANNON TEKNIIKAT	25
3.1. Tuulivoima	27
3.2. Biomassan poltto ja kaasutus	29
3.3. Polttokennot	32
3.4. Aurinkosähkö ja -lämpö	37
3.5. Pien- ja minivesivesivoima	40
3.6. Stirling-moottori.....	41
3.7. Tuotantotekniikoiden vertailu	44
4. HAJAUTETUN ENERGIANTUOTANNON GLOBAALIT SKENAARIOT	50
4.1. Vaihtoehtoiset skenaariot	50
4.1.1. Skenaarioiden arviointi	52
4.2. Toimintavaihtoehdot tulevaisuuden liiketoimintaan	53

5. SKENAARIOIHIN PERUSTUVAT LIIKETOIMINTAMALLIT	55
5.1. Skenaarioiden hyödyntäminen liiketoimintamallien kuvaamisessa.....	55
5.2. Palveluinnovaatioideat	56
5.3. Liiketoimintamallien teoria	57
6. MARKKINOIDEN JA TARKASTELUN FOKUSOINTI SUOMALAISEN ENERGIATEKNIIKAN NÄKÖKULMASTA.....	61
6.1. Venäjän markkinat	62
6.1.1. Potentiaaliset teknologiat ja asiakassegmentit	64
6.1.2. Liiketoimintaa edistävät ja haittaavat tekijät.....	64
6.2. EU-15 markkinat	65
6.2.1. Potentiaaliset teknologiat ja asiakassegmentit	66
6.2.2. Liiketoimintaa edistävät ja haittaavat tekijät.....	67
6.3. Intian markkinat	67
6.3.1. Potentiaaliset teknologiat ja asiakassegmentit	68
6.3.2. Liiketoimintaa edistävät ja haittaavat tekijät.....	69
6.4. Kiinan markkinat.....	69
6.4.1. Potentiaaliset teknologiat ja asiakassegmentit	70
6.4.2. Liiketoimintaa edistävät ja haittaavat tekijät.....	71
7. NYKYISTEN LIIKETOIMINTAMALLIEN KUVAUS	72
7.1. Liiketoimintamallien tyypit.....	72
7.2. Esimerkkejä nykyisistä liiketoimintamalleista.....	73
7.2.1. Caterpillar.....	73
7.2.2. Wärtsilä	75
7.2.3. Capstone	77
7.3. Yhteenveto nykyisistä liiketoimintamalleista	79
8. HAJAUTETUN SÄHKÖNTUOTANNON TEKNIS-TALOUDELLINEN TEHOKKUUS	81
8.1. Tuulivoima	82
8.2. Pienvesivoima	84
8.3. Biomassan poltto	86
8.4. Diesel- ja kaasumoottorivoimalat.....	89
8.5. Aurinkosähkökennot	91
8.6. Yhteenveto tuotantokustannuksista.....	93
8.7. Sähköenergian tuotantokapasiteetin ennustettu kehitys.....	94
8.8. Tuotantokustannusten ennustettu pieneneminen.....	100
9. LIIKETOIMINTAKONSEPTEJA HAJAUTETUN ENERGIANTUOTANNON KANSAINVÄLISILLE MARKKINOILLE.....	105
9.1. HE-järjestelmien nykyisiä liiketoimintatrendejä.....	105
9.2. Markkinoiden ja skenaarioiden valinta liiketoimintakonseptien muodostamista varten.....	107
9.3. Liiketoimintakonseptikuvaus Venäjän markkinoille	108
9.3.1. Komponenttitoimittajan liiketoimintamahdollisuudet	110

9.3.2. Järjestelmätoimittajan liiketoimintamahdollisuudet	110
9.4. Liiketoimintakonseptikuvaus EU-15 markkinoille	111
9.4.1. Komponenttitoimittajan liiketoimintamahdollisuudet	113
9.4.2. Järjestelmätoimittajan liiketoimintamahdollisuudet	113
9.5. Liiketoimintakonseptikuvaus Intian markkinoille	114
9.5.1. Komponenttitoimittajan liiketoimintamahdollisuudet	116
9.5.2. Järjestelmätoimittajan liiketoimintamahdollisuudet	117
9.6. Liiketoimintakonseptikuvaus Kiinan markkinoille	118
9.6.1. Komponenttitoimittajan liiketoimintamahdollisuudet	119
9.6.2. Järjestelmätoimittajan liiketoimintamahdollisuudet	119
10. YHTEENVETO JA KESKUSTELU	121
10.1. TULEVAISUUDEN LIIKETOIMINNAN AVAINTEKIJÄT	121
10.1.1. Toimialan menestystekijät.....	123
10.1.2. Erilaistumistekijät.....	124
10.2. Riskit ja menetelmän soveltuvuus.....	126
11. EHDOTUKSIA YRITYKSILLE	128
11.1. Markkinapotentiaalin tunnistaminen.....	128
11.2. Markkinoille pääsemisen eri vaihtoehdot	128
11.3. Jatkotutkimus	130
12. LÄHDELUETTELO	132
LIITTEET	

1. JOHDANTO

Energiamarkkinoiden avautuminen avaa monipuolisia liiketoimintamahdollisuuksia uusille toimijoille energiaketjun eri vaiheissa. Suurten energiantuotantohankkeiden ohella tarve pieni-
muotoisten ja paikallisten ratkaisuiden kehittämiseen lisääntyy voimakkaasti eri puolilla maailmaa. Energian kasvava kysyntä, paikallisten energiavarojen hyödyntämispotentiaali, sähkön ja lämmön yhteistuotannon kannattavuus sekä uusiutuvien energiantuotantotekniikoiden kehitys edesauttavat hajautetun energiantuotannon lisääntymistä. Hajautettujen energiajärjestelmien markkinat kasvavat tällä hetkellä Euroopassa keskimäärin 15 prosentin vuosivauhtia ja kehittymättömillä markkinoilla vielä monin verroin nopeammin.

Tekes käynnisti vuoden 2003 alussa viisivuotisen Hajautettujen energiajärjestelmien teknologiaohjelman DENSYN. Ohjelmassa kehitetään paikallisia pienen teholuokan energian muunto-, tuotanto- ja varastointijärjestelmiä sekä niihin liittyviä palveluja. Tämä raportti on osa DENSY-teknologiaohjelmaa ja se on toteutettu yhteistyössä Technology Business Research Centerin (TBRC), Tampereen Teknillisen Yliopiston (TTY) sekä Valtion Teknillisen Tutkimuskeskuksen (VTT) kanssa. Tämä tutkimus selvittää hajautettujen energiajärjestelmien tulevaisuuden liiketoimintamahdollisuuksia ja -malleja suomalaisten yritysten näkökulmasta skenaariotutkimuksen sekä teknis-taloudellisen tutkimuksen avulla.

1.1. DENSY -teknologiaohjelman taustalla olevat muutokset

Hajautetun energiantuotannon (myöhemmin HE) järjestelmien liiketoimintaa ja kiinnostavuutta lisäävät voimakkaasti globaalit trendit, joita ovat perushyvinvoinnin turvaaminen, ympäristöarvojen kasvu, energiamarkkinoiden vapautuminen, teknologian kehitys, fossiilisten energialähteiden hupeneminen sekä uusiutuvan energiateknologian ja yhteistuotannon kysynnän kasvu.

Fossiilisten polttoaineresurssien väheneminen ja siitä aiheutuva keskitetyn tuotannon kallistuminen yhdessä ympäristöarvojen kasvun myötä kannustavat hajautettujen energiajärjestelmien teknologian kehittämiseen. Liiketoiminnan kehittämistä tarvitaan puolestaan, jotta teknologioiden potentiaalinen kysyntä voitaisiin tavoittaa. Liiketoiminnan kehittämisessä tulee ottaa erityisesti huomioon se, mihin suuntaan kysyntä ja markkinat muuttuvat tulevaisuudessa. Toimialan tulevaisuuden merkittävimpiä trendejä ovat nopeasti kehittyvien ja vastateollistuneiden maiden alati kasvava energiantarve ja perushyvinvoinnin turvaaminen. Tämä tarve johtanee tulevaisuudessa hajautettujen energiajärjestelmien kasvavaan kysyntään, josta on olemassa markkinoilla jo viitteitä.

1.2. Tavoitteet ja rajaukset

Hajautettujen energiajärjestelmien toimintasektori koostuu paikallisista sähkön-, lämmön- ja kylmäntuotannon järjestelmäteknologioista ja niihin liittyvistä palveluista. Ala kattaa laajan valikoiman polttoaineita ja tuotantoteknologioita, joita yhdistää pieni kokoluokka ja läheinen sijainti kulutuspuolella. TEKESin Densy -teknologiaohjelmassa keskitytään kiinteistö-, kortteli- ja tehdasluokan laitteisiin ja niitä palveleviin järjestelmiin. Maksimikokoluokka vaihtelee 10-20 MW:n välillä.

Tämän raportin tavoitteena on selvittää hajautettujen energiajärjestelmien teknis-taloudellinen nykytilanne ja määrittää toimialan tulevaisuuden liiketoiminnan kehityssuunnat sekä löytää uusia liiketoimintamahdollisuuksia suomalaisille yrityksille vuoteen 2019 ulottuvalla aikajänteellä. Liiketoimintamahdollisuudet on tarkoitettu havainnollistamaan uusien liiketoimintakonseptien avulla. Lisäksi tässä raportissa pyritään arvioimaan hajautettujen energiajärjestelmien liiketoimintapotentiaalia erityisesti kehittyvien maiden markkinoilla, joilla ei ole vielä kehittyntä jakeluverkkojärjestelmää ja antamaan yrityksille ehdotuksia ja vihjeitä tämän potentiaalini hyödyntämiseksi.

1.2.1. Tutkimuksen toteutus

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa on perehdytty uusiutuvien energialähteiden ja niitä hyödyntävien teknologioiden potentiaaliin sekä laadittu nykytilasta lähteviä tiekarttoja aiheen kustakin kuudesta teemasta (Lehtinen & Wahlström, 2005). Niillä pyritään osoittamaan nykyisen kehityksen suunta teknologisesta näkökulmasta. Teknologiaselvityksen perusteella laadittu hajautetun sähkötuotannon teknis-taloudellinen selvitys tarkentaa eri energialähteitä hyödyntävien teknologioiden kustannuksia nykyolettamusten perusteella.

Teknologiaselvityksen lisäksi ensimmäisen vaiheen aikana laadittiin hajautetun energiantuotannon liiketoiminnan kehityksen vaihtoehtoiset skenaariot asiantuntijoiden ja aktoreiden näkökulmista. Näiden perusteella kehitettiin liiketoimintaimpeleitä uusiksi liiketoiminta-avauksiksi. Vaihtoehtoisten skenaarioiden ja teknologian tuomien mahdollisuuksien perusteella suomalaisten toimijoiden on mahdollista haastaa nykyisiä toimintatapoja ja kehittää uusia liiketoimintamalleja.

Tutkimuksen toisessa vaiheessa pyrittiin löytämään uusia lähestymistapoja tulevaisuuden liiketoimintaan liiketoimintakonseptien avulla. Uuden liiketoiminnan kehittämiseksi uusilla markkinoilla on tutkittu liiketoimintamallien teoriaa ja selvitetty niitä tekijöitä, joita on otettava huomioon uutta liiketoimintaa suunniteltaessa. Tämän perusteella on muodostettu konsepti, jonka avulla kuvataan uusia hajautettujen energiajärjestelmien liiketoimintakonsepteja. Samalla kon-

septillä voidaan arvioida myös alalla toimivien yritysten nykyisiä liiketoimintamalleja, jolloin saadaan tietoa nykyisen liiketoiminnan rakenteesta. Tätä tietoa voidaan edelleen hyödyntää muodostettaessa uusia liiketoimintakonsepteja ja tehtäessä johtopäätöksiä toimialan tilasta.

Liiketoiminnan ja teknologian kehittämiseksi on tunnettava ne markkinat ja niiden kehittyminen, joille liiketoiminta kohdistuu. Tämän vuoksi markkinoiden nykytila ja tulevaisuuden liiketoimintaympäristön kehittyminen on selvitetty muodostamalla markkinakatsauksia olemassa olevien markkinatutkimusten ja muiden tietolähteiden avulla. Lisäksi markkinoiden tuntemisen myötä voidaan havainnollistaa hajautetun energiajärjestelmien kysynnän suuruutta, mikä antaa yrityksille paremman mahdollisuuden tunnistaa markkinoilla piilevää liiketoimintapotentiaalia.

1.2.2. Raportin rakenne

Raportin alussa selvitetään hajautetun energiantuotannon nykytilaa ja esitetään hajautetun tuotannon eri muodot teknis-taloudellisesta näkökulmasta. Tuotantomuotojen teknis-taloudelliset ominaisuudet luovat pohjaa valintaprosessille, jossa valitaan suomalaisten yritysten kannalta houkuttelevimmat teknologiat ja markkinat tulevaisuuden liiketoimintaa varten. Kappaleessa neljä esitetään hajautetun energiantuotannon liiketoiminnan vaihtoehtoiset skenaariot, joita käytetään tulevaisuuden liiketoimintamahdollisuuksien kartoittamiseksi kappaleessa kuusi esitetyiltä markkinoilta.

Kappaleessa viisi esitellään liiketoimintamallien teoriapohdintoja ja -valintoja, joita hyödynnetään myöhemmin nykyisten liiketoimintamallien ja uusien liiketoimintakonseptien kuvaamisessa. Kappaleessa kahdeksan esitellään hajautetun energiantuotannon tehokkuutta ja pyritään arvioimaan tuotantokustannusten pienentymistä sekä kapasiteetin kehitystä tulevaisuudessa. Teknis-taloudellisten tietojen pohjalta muodostetaan uudet liiketoimintakonseptikuvaukset kappaleessa yhdeksän käyttäen hyväksi skenaarioiden ja markkinoiden antamaa tietoa liiketoiminnan mahdollisuuksista. Raportin lopuksi saadut tulokset ja johtopäätökset kootaan yhteen ja niiden perusteella annetaan ehdotuksia yrityksille liiketoiminnan kehittämistä varten.

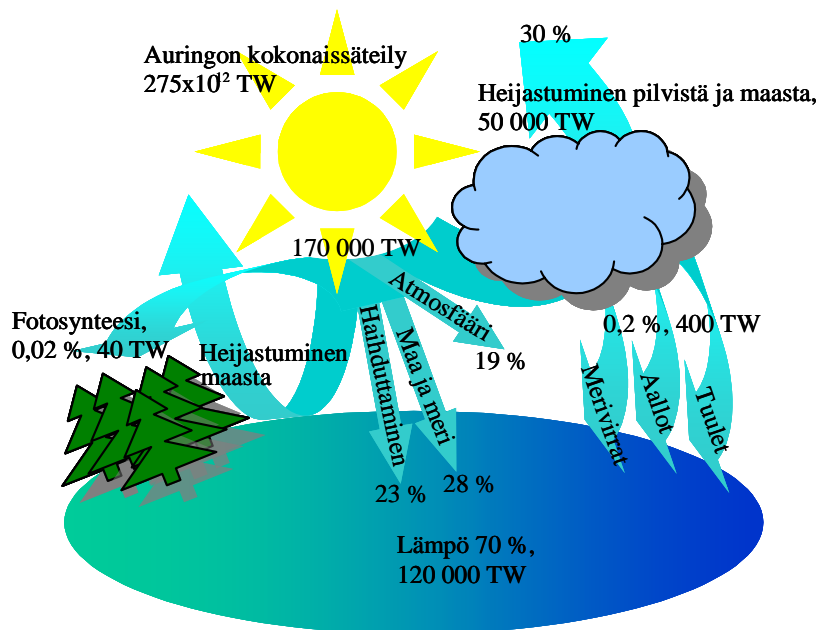
2. Hajautetun energiatuotannon nykytila

2.1. Primääriset energialähteet

Maapallon eri energialähteet ovat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta suorassa syy-seuraus-suhteessa aurinkoon. Uraani ja geoterminen lämpö ovat sellaisia energialähteitä, mitkä eivät ole syntyneet auringon säteilyn vaikutuksesta. Niiden muodostuminen on tapahtunut yhdessä maapallon ja aurinkokuntamme synnyn kanssa, eikä uusiutuminen siten tapahdu maan arvioituna elinaikana. Kolmannen poikkeuksen muodostaa kuun vetovoimasta peräisin oleva vuorovesienergia, tosin auringolla on tähänkin energian esiintymismuotoon oma vaikutuksensa. Fossiiliset polttoaineet ovat syntyneet auringon säteilyn mahdollistaman fotosynteesin tuloksena, satojen miljoonien vuosien aikana. Ne ovat siten periaatteessa myös uusiutuvia. Perinteisemmistä aurinkoenergian muodoista mainittakoon biomassa ja tuulivoima. Biomassa edustaa aurinkoenergian varastoa, kun tietty osa säteilyenergiasta varastoituu joka hetki kasvavaan biomassaan. Fotosynteesin kautta syntyvät auringon energiavarastot voivat olla joko lyhyt- tai pitkäaikaisia. Lyhytaikaista varastointia edustavat erilaiset kasvit ja puut. Fossiiliset polttoaineet ovat esimerkki aurinkoenergian pitkäaikaisesta varastosta. Tuulivoima sen sijaan on auringon lämpösäteilyn aiheuttamaa välittömästi hyödynnettävää energiaa, joka ei luonnostaan varastoidu. (Poikonen et al., 2005)

Maapallolla energiaa esiintyy monessa eri muodossa. Energian jalostusasteen ja energialähteen kiertokulun perusteella voidaan energian esiintymismuodot luokitella. Määritelmänä primäärienergia tarkoittaa jalostamatonta luonnon energiaa. Sitä ovat esimerkiksi vesivoima, tuuli, auringon säteily, uraani ja erilaiset polttoaineet kuten öljy, hiili, maakaasu, turve ja puu. Primäärienergia voidaan edelleen jakaa uusiutuvaan ja uusiutumattomaan energiaan. Sellaisenaan primäärienergiaa käytetään vain vähän. Useimmiten se jalostetaan loppukäyttöön soveltuvaksi sekundääriseksi energiaksi. Esimerkiksi vesivoiman potentiaalienergia ja kineettinen energia muunnetaan turbiiniin liitetyllä generaattorilla sähköksi eli sekundäärienergiaksi. Energiamuunnosten huonona puolena on, että niissä aina osa primäärienergiasta muuttuu erilaisten kitkahäviöiden ja resistiivisten häviöiden kautta lämmöksi, mitä ei useimmiten voida hyödyntää. (Finergy, 2004)

Maapalloon kohdistuvasta auringon säteilystä kukin primäärienergian lähde ottaa oman osuutensa. Säteilyn tehottiheyden ollessa ilmakehämme ulkopuolella 1367 W/m^2 , maapalloon kohdistuvaksi säteilytehoksi saadaan laskettua $172\,500 \text{ TW}$ (100 %). Maanpinnalle tämä ei kuitenkaan kokonaisuudessaan saavu. Kuvassa 1 on esitetty mistä asioista maahan saapuva säteilyteho on riippuvainen ja mihin luonto auringon säteilyä lopulta käyttää. Auringon energiasta suurin osa, noin 70 %, menee maanpinnalla merien ja ilmakehän lämmittämiseen. Fotosynteesin kautta varastoituvan energian osuus on hyvin pieni muihin energian esiintymismuotoihin verrattuna. (Siltanen, 1999)



Kuva 1. Auringon säteilytehon jakautuminen maapallolla (Mäki et al., 2003; Siltanen, 1999).

Auringon säteilystä heijastuu ilmakehän eri osista sekä maasta suoraan takaisin avaruuteen 52 000 TW (30 %). Pilvien kautta heijastuu noin 20 %, ilmakehästä 6 % ja maan pinnasta loput 4 %. Ilmakehässä oleviin kaasuihin ja partikkeleihin absorboituu 33 000 TW (19 %). Säteilyenergia muuttuu ilmakehän hiukkasissa lämmöksi, mikä yhdessä maaperän lämpenemisen kanssa synnyttää lopulta tuulia ja aaltoja. Vesistöjen ja maaperän lämmittämiseen käytetään maapallolle tulevasta säteilystä yhteensä noin 48 000 TW (28 %). Pelkästään veden höyrystämiseen menee säteilytehosta 40 000 TW, joka on maapallolle tulevasta kokonaissäteilytehosta 23 %. Ainoastaan noin 40 TW (0,02 %) auringon säteilystä käytetään maapallon biosfäärissä kasvien yhteyttämiseen ja uuden eloperäisen aineksen kasvamiseen. Fossiiliseksi polttoaineiksi tästä päätyy häviävän pieni osa. (NASA, 2004; Solis, 2002)

2.2. Uusiutumaton energia

Uusiutumattomana energiana pidetään yleisesti fossiilisia polttoaineita, esimerkiksi öljyä ja kivihiltä. Energialähde voidaan määritellä uusiutumattomaksi, kun sen muodostumiseen menee ihmisen elinikään verrattuna moninkertainen aika. Ajanjakson pituus voi olla useita satoja miljoonia vuosia tai, kuten uraanin tapauksessa, käytetty energiavara ei uusiudu lainkaan maapallon oletetun eliniän aikana. Turpeen kohdalla jako uusiutuvan ja uusiutumattoman energian välillä ei ole yhtä selvä. Suomessa turve määritellään hitaasti uusiutuvaksi biomassapolttoaineeksi, kun taas muualla EU:ssa ja maailmalla se määritellään fossiiliseksi polttoaineeksi. Suomen kantaa voi perustella turpeen kasvulla. Tämänhetkinen turpeen käyttö Suomessa on vielä pienempää kuin sen kokonaiskasvu maamme soilla.

2.2.1. Öljy

Öljy on ollut 1900-luvulla tärkein primäärinen energialähde, ja suunta näyttää säilyvän samana myös 2000-luvun alkupuolella. Öljyn osuus primäärienergian kokonaiskulutuksesta maailmalla vuonna 2001 oli noin 38 %. Kymmenen vuoden aikana (1993 – 2003) öljyn käytössä on tapahtunut noin 16 %:n lisäys. Voimakkainta kasvu on ollut Kiinassa, missä kulutuksessa tapahtui vastaavana ajanjaksona noin 96 %:n kasvu. Vuoden 2003 lopussa öljyvaroja oli tiedossa energiasisällöltään yhteensä 1 800 PWh (157 000 Mtoe). Suurimmat öljyvarat ovat Saudi-Arabiassa, kaikkiaan noin 23 % tunnetuista esiintymistä. Kun raakaöljyn kokonaiskulutus vuonna 2003 oli 42 PWh (3 600 Mtoe), niin tunnetut öljyvarat riittäisivät tällä kulutuksella noin 40 vuotta. Arvio on hieman harhaanjohtava. Sen mukaan öljyä käytettäisiin vakiokulutuksella koko ajan, kunnes jonain päivänä kaikki öljy olisi käytetty loppuun. Todellisuudessa öljyn käyttö kasvaa hieman koko ajan, kunnes riittävän korkea raakaöljyn hinta rupeaa hillitsemään kulutusta. (BP, 2004b; EIA, 2004)

2.2.2. Hiili

Hiilen osuus primäärienergian kokonaiskulutuksesta vuonna 2001 oli noin 24 %. Kulutus on kasvanut kymmenessä vuodessa lähes 19 % vuodesta 1993 lukien. Kiinassa hiilen käyttö kasvoi samalla aikavälillä noin 40 %. Maailmalla hiilen kulutus oli vuoden 2003 lopussa 30 PWh (2 600 Mtoe) ja hiilivaroja oli tiedossa energiamäärältään 6 900 PWh (590 000 Mtoe). Vuoden 2003 tunnetut hiilivarat riittävät nykykulutuksella yli 200 vuotta. Hiiltä on kaikkien arvioiden mukaan runsaasti maankuoressa. Hiilen etsintään ei ole vielä kohdistettu voimavaroja samassa suuruusluokassa kuin öljyn, joten suuriakin hiiliesiintymiä lienee löytämättä. Tunnetut varat ovat geologisen tietämyksen mukaan noin 10 % arvioiduista kokonaisvaroista. Suurimmat hiiliesiintymät sijaitsevat Yhdysvalloissa, joiden osuus kaikista tunnetuista esiintymistä on noin 25 %. Hiilen käytön voimakasta lisäämistä kuitenkin rajoittanevat sitä poltettaessa syntyvät suuret hiilidioksidipäästöt. Tuotettua energiayksikköä kohden hiilellä on perinteisistä fossiilisista polttoaineista korkein hiilidioksidin ominaispäästö, joka on 1,7-kertainen maakaasuun verrattuna. Toisaalta turpeella hiilidioksidin ominaispäästö on vielä aavistuksen verran hiiltäkin suurempi. (BP, 2004b; EIA, 2004)

2.2.3. Maakaasu

Maakaasun ennustetaan olevan lähitulevaisuudessa nopeimmin kasvava primäärienergian lähde. Maakaasun osuus primäärienergian kokonaiskulutuksesta oli maailmalla vuonna 2001 23 %. Vuosien 1993 – 2003 välisenä aikana maakaasun käyttö on kasvanut noin 25 %. Hiileen ja öljyyn verrattuna kasvu on ollut selvästi suurempaa. Vuoden 2003 tietojen perusteella maakaasuesiintymien energia oli kaikkiaan 1 760 PWh (151 000 Mtoe). Kokonaiskulutus samana vuonna oli 27 PWh (2 300 Mtoe). Näillä tiedoilla maakaasua riittäisi vielä noin 60 vuodeksi. Suurimmat maakaasuvarat, kaikkiaan noin 27 % tunnetuista varoista, sijaitsevat Venäjällä. Suurin yksittäinen kuluttaja on Yhdysvallat 24 %:n osuudella. (BP, 2004b; EIA, 2004)

2.2.4. Uraani

Uraani on maapallolla suhteellisen yleinen alkuaine. Maankuoressa sitä on keskimäärin 4 grammaa tonnissa ja merivedessäkin 3 milligrammaa. Pitoisuudeltaan uraani on huomattavasti yleisempi kuin nikkeli tai hopea. Luonnonuraani sisältää lähes yksinomaan isotooppia U^{238} . Spontaanisti halkeavaa isotooppia U^{235} luonnonuraanissa on vain noin 0,7 %. Perinteiset kevytvesireaktorit pystyvät hyödyntämään vain uraanin isotooppia U^{235} . Tunnettuja luonnonuraanivaroja on vuoden 2003 alun tietojen mukaan noin 4,6 miljoonaa tonnia. Geologisiin todisteisiin perustuvia tuntemattomia lisävaroja uskotaan olevan noin 9,8 miljoonaa tonnia. Uraanin kokonaisvarojen suuruus olisi tällöin 14,4 miljoonaa tonnia. Vuonna 2004 uraanin tarve on arviolta 67 000 tonnia, joten tunnetut uraanivarat riittävät nykykäytöllä noin 70 vuotta. Primäärienergian kokonaiskäytöstä perinteisen ydinvoiman osuus vuonna 2001 oli noin 7 %. (Finergy, 2002; Nuclear, 2004; Nuclear EA, 2004)

Uraanin isotooppia U^{238} käyttävän hyötöreaktorin polttoainevarat ovat luonnollisesti moninkertaiset perinteiseen kevytvesireaktoriin verrattuna. Hyötöreaktori pystyykin hyödyntämään luonnonuraania yli 60 kertaa tehokkaammin kuin termiset reaktorit. Hyötöreaktoreissa neutroneille pyritään saamaan mahdollisimman suuri liike-energia. Liike-energiansa turvin neutronit pystyvät muuttamaan uraanin isotoopit U^{238} hajoamiskelpoisiksi plutoniumin isotoopeiksi Pu^{239} ja Pu^{241} . Hajoamiskelpoisia isotooppeja syntyy reaktiossa enemmän kuin niitä ehditään kuluttaa reaktorissa varsinaisena polttoaineena. Hyötöreaktorissa on myös mahdollista käyttää thoriumia polttoaineena. Sen varat ovat lähes samaa luokaa uraanin tunnettujen varojen kanssa. (Nuclear, 2004; Nuclear EA, 2004) Tulevaisuudessa thoriumin käyttö saattaa avata uutta mahdollisuutta ydinvoiman lisäämiseen.

2.2.5. Turve

Maailman turvevarojen suuruudeksi on arvioitu noin 5 100 PWh (440 000 Mtoe). Mahdollisesta potentiaalista hyödynnetään vuosittain vain murto-osa. Vuotuinen energiaturpeen käyttö maailmalla vuonna 2002 oli noin 26 TWh (2,3 Mtoe) ja turpeen kokonaiskäyttö noin 62 TWh (5,3 Mtoe). Suomessa turpeen kokonaismääräksi on arvioitu noin $69 \cdot 10^9 \text{ m}^3$, eli noin 62 PWh (5 300 Mtoe). Arviossa on huomioitu suot, missä turpeen paksuus on yli 30 cm. Geologian tutkimuskeskuksen arvion mukaan poltto- ja kasvuturvetuotantoon soveltuvaa suota Suomessa on $1,2 \cdot 10^6$ hehtaaria. Turvetta näillä soilla on noin $30 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ ja siihen sitoutuneen energian määrä on 27 PWh (2 300 Mtoe). Kokonaismäärästä neljä viidesosaa, 22 PWh (1 850 Mtoe), voidaan hyödyntää energiantuotannossa. Tämän energiavarannon suuruus on lähes kymmenkertainen puuvarojemme energiamäärään verrattuna ja vain noin kolmanneksen pienempi kuin Norjan tunnetut öljyvarat. (Aarne et al., 2003; Jasinski, 2002; Turveteollisuus, 2004; U.S. Geological, 2004)

Suomen soiden kasvu on keskimäärin vuodessa noin 0,5 mm. Vaihtelua turpeen kasvussa on vuosien ja soiden kesken, parhaimmillaan kasvu on 4,0 mm vuodessa, kun taas huonoimmillaan 0,2 mm. Vuodessa energiatuotantoon soveltuvaa turvetta kasvaa 1,2 miljoonan hehtaarin alueella $6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, jonka energia on noin 5,3 TWh (0,46 Mtoe). Turpeen tuotanto ylittää jo tällä hetkellä tuotantoon soveltuvien soiden vuotuisen kasvun. Esimerkiksi vuonna 2002 ener-

giaturpeen tuotannon määrä 21 TWh (1,77 Mtoe) oli noin nelinkertainen turpeen uusiutumismuutettiin verrattuna. Suomen kaikkien soiden pinta-ala on $9,4 \cdot 10^6$ hehtaaria, joten vuodessa syntyneen turpeen energiasisältö 42 TWh (3,6 Mtoe) ylittää vielä kulutuksen. Viimeisen 20 vuoden aikana turpeen käyttö sähköntuotannossa on Suomessa lähes viisinkertaistunut. Kuitenkaan jatkossa ei odoteta samanlaista kasvua ja EU:n suhtautuminen asiaan voi kääntää kasvun jopa laskuun. (Alakangas, 2002; Turveteollisuus, 2004)

2.3. Uusiutuva energia

Uusiutuvaa energiaa ovat esimerkiksi tuulivoimalla, auringon säteilyllä, vesivoimalla ja biomassalla tuotettu energia. Jäte on pääsääntöisesti myös uusiutuvaa energiaa, mutta se voi sisältää uusiutumattomia energiavaroja. Yleisimmin ajateltuna uusiutuvaan energialähteeseen perustuva voimantuotanto ei kuluta rajallisia luonnonvaroja. Käytetty energia on joko heti tai viimeistään lyhyen ajanjakson päästä uudelleen käytettävissä samassa muodossa. Vuonna 2002 ainoastaan noin 8 % maapallon primäärienergian kokonaistarpeesta tuotettiin uusiutuvilla energialähteillä. Suomessa uusiutuvat energialähteet muodostavat 20 % osuuden energian kokonaiskäytöstä, mistä yksistään mustalipeän osuus on noin 10 %. (Alakangas, 2002; EIA, 2004)

2.3.1. Biomassa

Vuosittain fotosynteesin kautta kasveihin varastoituneen energian määrä on useita kertoja suurempi kuin energian kokonaiskulutus maailmassa. Maailmassa käytetyn ravinnon energiasisältö on arviolta yksi kahdessaosasosa kaikesta fotosynteesin välityksellä sitoutuneesta energiasta. Biomassan energiakäytön lisääminen ei siten näyttäisi suoranaisesti vaarantavan ainakaan ravinnon tuotantoa. Huomattava energiakäytön lisääminen saattaisi kuitenkin vaikuttaa maapallon ekosysteemiin. Suurin osa biomassasta, noin 90 %, on sitoutuneena puihin. Energiasisällöltään se on samaa suuruusluokkaa kaikkien tunnettujen fossiilisten polttoainevarojen kanssa. (WEC, 1994)

Joillakin alueilla maailmassa puun liiallisesta käytöstä on jo tullut vakava ongelma. Puun käytön ylittäessä vuotuisen kasvun metsäpinta-ala pienentyy ja samalla vuosittainen puuston kasvu jää edellisiä vuosia pienemmäksi. Eroosio kiihdyttää omalta osaltaan tätä oravanpyörää. Ongelma on erityisen vakava kehitysmaissa, missä puu muodostaa lähes 30 % primäärienergian tarpeesta. Joissakin Afrikan maissa puun osuus on jopa yli 80 % käytetystä energiasta. Aasia ja Afrikka yhdessä muodostavat yli 75 %:n osuuden maailman polttopuun käytöstä. Polttopuun tuotanto oli vuonna 2002 maailmassa noin $1,8 \cdot 10^9 \text{ m}^3$, mikä on energiasisällöltään 3,6 PWh (310 Mtoe). Maailman metsien puuston tilavuus on arviolta $386 \cdot 10^9 \text{ m}^3$, mikä energiasisällöltään vastaa noin 1 200 PWh (103 000 Mtoe). Jos puusto kasvaa vuosittain noin 4 %, niin energiaa olisi teoriassa saatavilla 48 PWh/a. Energiämäärä riittäisi tyydyttämään nykyisen sähköntuotannon energiatarpeen. (FAO, 2003; WEC, 2004)

Suomessa on kokeiltu peltobiomassojen kuten ruokohelven, energiapajun, järviruo'on ja erilaisten öljy- sekä viljakasvien viljelyä energiantuotantoon pienessä mittakaavassa. Kaikki energiakasvit soveltuvat poltettavaksi sellaisenaan tai seospolttoaineena jonkin muun korkeamman lämpöarvon omaavan polttoaineen kanssa. Öljykasveista, esimerkiksi rypsisistä ja rapsista, voi-

daan lisäksi valmistaa dieselöljyjä korvaavia polttonesteitä. Pyrolyysin avulla voidaan valmistaa poltettavia nesteitä ja kaasuja myös muusta biomassasta. Energiakasvien tuotantoon soveltuvia alueita vapautuu elintarvikkeiden tuottamiseen käytetystä peltoalasta sekä turvetuotannosta poistetuista soista. Energiakasvien nykyistä laajempaa käyttöä rajoittavat vielä muita polttoaineita korkeammat tuotanto- ja käyttökustannukset. EU:n alueella energiakasvien käyttöpotentiaaliksi on arvioitu 314 TWh (27 Mtoe) vuoteen 2010 mennessä. Peltoalana tuotanto vaatii 10 000 kg hehtaarisadolla 6,3 miljoonaa hehtaaria, joka on runsas 4 % EU maiden maatalousmaasta. (Alakangas, 2000; Euroopan komissio, 1997; Helynen et al., 2002)

2.3.2. Jätteet

Suomessa energiantuotantoon käytetään jätteitä vuodessa 300 000 – 400 000 tonnia. Energialtaan tämä vastaa noin 2,3 TWh (0,2 Mtoe). Metsäteollisuuden prosesseissa syntyvät sivutuotteet huomioonottaen hyödynnettävien jätteiden määrä nousee noin $6,5 \cdot 10^6$ tonniin. Euroopassa energiantuotannossa jätteitä hyödynnetään yhteensä noin $50 \cdot 10^6$ tonnia vuodessa. Suomessa vuoden aikana syntyvien jätteiden kokonaismäärä on noin $70 \cdot 10^6$ tonnia. Parhaiten energiantuotantoon soveltuvia jätteitä ovat teollisuuden ja kaupan paukkaus-, paperi- ja muovijätteet sekä rakennusjätteet. Energiakäyttöön sopivia yhdyskuntajätteitä syntyy noin $3 \cdot 10^6$ tonnia vuodessa. Lisäksi sama määrä syntyy teollisuusjätteitä. Energiasisällöltään nämä jätteet yhdessä ovat noin 35 TWh (3 Mtoe). Kauppa- ja teollisuusministeriön uusiutuvien energialähteiden edistämishjelmassa on asetettu yhdeksi tavoitteeksi jätteiden energiakäytön tuplaaminen vuoteen 2005 mennessä vuoden 2000 tasosta. Tavoitteen mukaan energiamarkkinoille olisi tulossa jätteiden energiakäyttöä tehostamalla vuosittain 5 TWh ”jäte-energiaa” tavoitevuodesta alkaen. (Alakangas, 2000; VTT, 1999b)

Biokaasu on koostumukseltaan pääosin metaania ja hiilidioksidia. Ominaisuuksiltaan se on siten verrattavissa maakaasuun. Biokaasua voidaan kerätä suoraan kaatopaikoilta tai tuottaa erillisillä reaktoreilla maatalouden ja yhdyskuntien biopohjaisista jätteistä. Suomessa biokaasua tuotettiin orgaanisista jätteistä ja lietteistä vuonna 2002 yhteensä $110 \cdot 10^6$ m³. Energialtaan se on noin 0,6 TWh. Merkittävä osa tästä poltetaan vielä sen paremmin hyödyntämättä. Ainoastaan noin 0,2 TWh käytetään suoraan energiantuotannossa polttoaineena. Suurin yksittäinen hyödyntämätön potentiaali on kaatopaikoilla, yhteensä noin 0,3 TWh. Suomen biokaasupotentiaali on kokonaisuudessaan 1,82 TWh, joten kovin suuriin energiantuotannon lisäyksiin ei ole mahdollisuuksia. (Electrowatt, 2003)

Biokaasun käyttämisellä on muitakin syitä kuin tarve energiantuotantoon. Biokaasu on pääosin metaania, joka on hiilidioksidiin verrattuna monikymmenkertaisesti haitallisempi kasvihuonekaasu. Jo tästä syystä biokaasu kannattaa kerätä ja käyttää hyödyksi. Maatilojen lietelannasta ja kaatopaikkojen jätteistä ympäristöön aiheutuvien hajuhaittojen pienentyminen on myös yksi tärkeä tekijä.

2.3.3. Vesivoima

Kokonaisvesivoimapotentialiksi maapallolla on arvioitu Eurelectric:n toimesta vuonna 1997 51 000 TWh vuodessa (Lehner, 2001). Taloudellinen potentiaali on saman arvion mukaan

13 100 TWh ja hyödynnettävissä oleva potentiaali 10 500 TWh. World Energy Council:n mukaan teknistä vesivoimapotentiaalia on 14 400 TWh/a ja taloudellista 8 000 TWh/a (WEC, 2004). Taloudellisesti järkevää potentiaalia on vielä rakentamatta, sillä vuonna 2002 maailmassa tuotettiin vesivoimalla sähköä yhteensä noin 2 740 TWh. (Canadian, 2000)

Suomessa teknisesti rakennettavissa olevaa lisäpotentiaalia on 7,5 TWh. Koskiensuojelulain huomioonottaminen ja rajajokien tuomat rajoitukset laskevat hyödynnettävissä olevan lisäpotentiaalin tasolle 0,5 TWh. Lisäpotentiaali olisi tällöin noin 4 % tämänhetkisestä vesivoimatuotannosta, joka on keskimäärin vuodessa noin 12,8 TWh. (Hellgren et al., 1999), (Pohjolan Voima, 2003)

2.3.4. Vuorovesi

Vuorovesi-ilmiö johtuu lähinnä kuun vetovoiman vaikutuksesta maahan, mutta myös auringolla on oma monimutkaisempi osuutensa tässä ilmiössä. Näiden kolmen taivaankappaleen suhteellinen liike toistensa suhteen saa aikaan meren pinnassa tapahtuvia nousuja ja laskuja. Auringon vetovoiman vaikutus on noin puolet kuun vastaavasta. Vedenpinnan korkeinta vaihetta kutsutaan vuokseksi ja matalinta luoteeksi.

Suurin osa vuorovesienergiasta esiintyy matalilla rannikoilla, missä vedenpinnan korkeuden vaihtelun taloudellinen hyödyntäminen on nykytekniikalla käytännössä mahdotonta. Matalissa vesissä vuorovesienergian kokonaisteho on arviolta 1,7 TW. Suotuisilla paikoilla keskimääräisen vuoksen ja luoteen ero voi sen sijaan olla yli 10 metriä. Taloudellisesti kannattavasti hyödynnettävää vuorovesivoimaa arvioidaan olevan vuosittain käytettävissä yhteensä 200 TWh. Tämä on noin 10 % kaikesta teknisesti hyödynnettävissä olevasta vuorovesipotentialista. Arvioon otetuissa kohteissa vedenpinnan vaihtelut ovat riittävän suuria ja maaston muoto suosii voimaloiden taloudellista rakentamista. (WEC, 1994, 2004)

2.3.5. Aaltoenergia

Aallot saavat energiansa tuulesta, sillä tuulen ja veden rajapinnan välinen kitka aiheuttaa aallon muodostumisen. Viime kädessä energian saanti on riippuvainen ainoastaan auringosta, joka lämmittäessään maata lämpötilaerojen kautta synnyttää tuulet. Myös kuun vaikutuksesta syntyvä vuorovesi aiheuttaa merillä liikkuvia aaltorintamia. Aaltoenergiaa on saatavilla lähes vuoden jokaisena tuntina. Suurien merien rannikoilla tyyni merenpinta on erittäin harvinainen ilmiö. (Sea Power Int., 2004)

Suotuisimmat alueet aaltoenergian hyödyntämisen kannalta sijaitsevat leveyspiirien 40° ja 60° välissä päiväntasaajan molemmin puolin. Näiden alueiden länsirannikoilla aaltojen energiatiheys on korkeimmillaan. Tehotiheys rantaviivametriä kohden on tyypillisesti 30 – 70 kW/m. Huippuarvona on Irlannin lounaisrannikolta mitattu 100 kW/m. Maailman sähköenergian tarpeesta voitaisiin tyydyttää noin 10 % pelkästään edellä mainittujen leveyspiirien aaltoenergiaa tehokkaasti hyödyntämällä. Kokonaisuudessaan maailman merien aaltojen teho on arviolta 2 – 3 TW. Euroopan osalta vuotuisiksi aaltoenergiaresursseiksi on arvioitu kaikkiaan 1 000 TWh ja

vastaavasti maailman 20 000 TWh. Tulevaisuudessa aaltojen energiasta olisi vuosittain taloudellisesti hyödynnettävissä arviolta 2 000 TWh. (WEC, 1994, 2004)

2.3.6. Tuulivoima

Tuuleen varastoitunut energia on kokonaisuudessaan moninkertainen maailman sähköenergian kokonaistarpeeseen verrattuna. Hyödyntämisen tekee ongelmalliseksi energian jakautuminen suurelle pinta-alalle sekä energialähteen epäsäännöllisyys ajan suhteen. Pelkästään maa-alueilla, asutus huomioonottaen, tuulivoimaa olisi periaatteessa vuosittain hyödynnettävissä noin 50 000 TWh (Grubb et al., 1993). Hyödynnettävissä olevasta energiasta käytetään kuitenkin vielä hyvin pieni osa. Vuonna 1999 tuulienergian tuotanto maailmalla oli noin 25 TWh. Vuonna 2003 asennettua tuulivoimatehoa maailmassa oli 39 360 MW ja energian tuotanto arviolta 67 TWh. Kasvua kapasiteetissa tapahtui edelliseen vuoteen verrattuna lähes 26 %. (BP, 2004c, EC, 2004b, IEA, 2003a,)

Erilaiset arviot tekniseksi tuulivoimapotentiaaliksi ovat täysin riippuvaisia käytetystä tuulen keskinopeudesta sekä hyödynnettävästä maa-alasta. Arviot tuulivoimapotentiaalista vaihtelevat eri lähteiden välillä hyvin paljon. World Energy Council arvioi vuosittain hyödynnettävissä olevaksi tuulienergiaksi maa-alueilla 20 000 TWh (käyttökerroin 100 %) (WEC, 2004). Asennettuna tehona tämä vastaa noin 2,3 TW. Laskennallisen tuulipotentialin arvioissa on käytetty tuulikarttoja, joista on päätelty 27 %:n maapallon pinta-alasta altistuvan vuosittain tuulelle, minkä keskinopeus kymmenen metrin korkeudessa on yli 5,1 m/s. Maankäytön rajoitukset huomioonottaen tuulivoiman tuotantoon voitaisiin ottaa vain 4 % edellä määritellystä maa-alasta. Kun käyttökertoimeksi oletetaan käytännössä usein esiintyvä 23 %, on esimerkiksi yhden megawatin voimalan vuosituotanto noin 2 000 MWh ja 2,3 TW:n kapasiteetin vuosituotanto noin 4 600 TWh. (WEC, 1994, 2004)

2.3.7. Aurinkoenergia

Auringon säteilyä voidaan hyödyntää sekä sähkön että lämmön tuottamiseen. Aurinkosähköpaneelilla näkyvän valon aallonpituusalueella olevaa auringonsäteilyä muunnetaan puolijohteista valmistetuissa kennoissa sähköksi. Aurinkolämpökeräimillä kerätään auringon emittoimaa säteilyä, millä voidaan lämmittää esimerkiksi käyttövettä tai tuottaa höyryä höyryturbiiniin.

Auringon maahan kohdistama säteilyteho on yli 10 000-kertainen verrattuna energian kokonaiskäyttöön maailmassa. Kuten luvun alussa primäärisiä energialähteitä käsiteltäessä havaittiin, auringon energiasta noin 50 % (88 000 TW) olisi periaatteessa käytettävissä energiana. Potentiaalia olisi ainakin teoria tasolla riittävästi hyödynnettävissä. Auringon säteilyenergian laajamittaista hyödyntämistä maanpinnan tasolla vaikeuttaa säteilyn pieni teho tiheys sekä säteilytehon vaihtelu ajan ja paikan suhteen. Merenpinnan tasolla säteilytehon tiheys on parhaimmillaan noin 1 000 W/m². Vuonna 2001 auringon säteilyenergian avulla tuotettiin sähköä maailmassa International Energy Agency:n mukaan noin 1 TWh. Samana vuonna vesipohjaisilla aurinkolämpökeräimillä kerättiin IEA:n tilastoimissa 26 maassa energiaa 42 TWh. Näissä

maissa on arviolta 85 – 90 % asennetusta keräysalasta. Koko maailmassa aurinkolämpökeräimillä kerätään energiaa arviolta 48 TWh. (IEA, 2000; NASA, 2004; WEC, 1994)

2.3.8. Geoterminen energia

Geoterminen lämpö syntyy maan sisällä radioaktiivisten aineiden hajotessa ja ei siten periaatteessa ole uusiutuvaa energiaa. Energialähdettä voidaan kuitenkin pitää uusiutuvana, kunhan lämmön käyttö ei ylitä lämmön johtumisnopeutta, eli hyödynnettävän lämpövaraston lämpötila ei laske. Lämpöä voidaan hyödyntää kuten uusiutuvaa energiaa. Energialähde on riippumaton säätilasta ja vuorokauden ajasta, mikä ei ole itsestään selvyyttä kaikilla uusiutuville energialähteillä. (WEC, 1994)

Maan sisältä kohti pintaa johtuvan lämmön määrä on suuri. Yhden vuoden aikana johtuvan lämmön määräksi on arvioitu yli 100 PWh. Lämpötila maapallon ytimessä on luokkaa 4 000 °C ja purkautuvassa laavassa 1 200 °C. Kuumat lähteet (geysirit) voivat saavuttaa maanpinnalle purkautuessaan jopa 350 °C lämpötilan. Energiavarana geoterminen lämpö on yksi suurimmista olemassa olevista resursseista. Prosentin hyödyntäminen tästä energiavarastosta riittäisi ihmiskunnan energiatarpeen tyydyttämiseen useiksi sadoiksi vuosiksi. Hyödyntämisestä tekee hankalan lämpöenergian leviäminen maantieteellisesti laajalle alueelle. Tehotiheys on myös usein varsin pieni lukuun ottamatta tiettyjä mannerlaattojen törmäysalueita. Vuonna 1999 geotermisellä energialla tuotettiin 52 TWh sähköä ja 47 TWh lämpöä. (WEC, 1994)

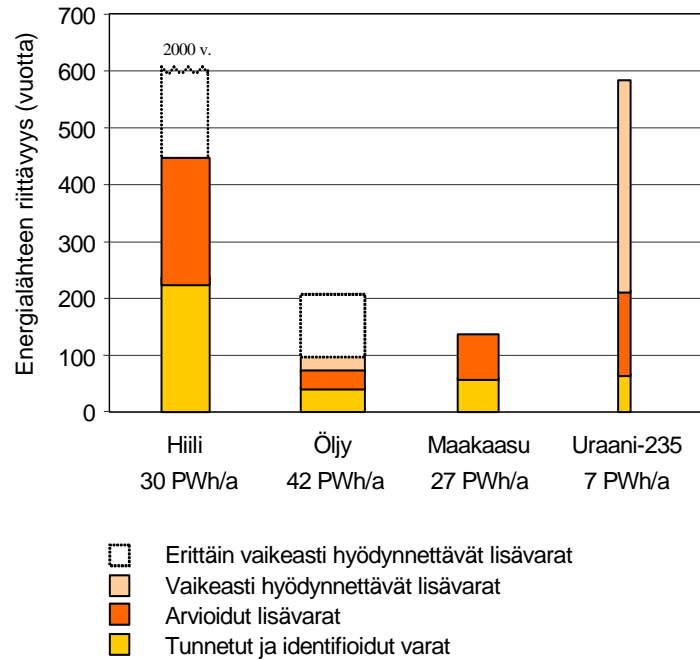
2.4. Primääristen energialähteiden riittävyys

Auringon suoran säteilyenergian hyödyntämisen lisäksi esimerkiksi tuulivoima on energiamuoto, minkä yhteydessä ei ole mielekäästä määrittellä energialähteen riittävyttä vuosissa. Biomassa ja muut auringon energian varastot sitä vastoin on liiallisella käytöllä mahdollista kuluttaa loppuun, minkä jälkeen uusiutuminen on kyseenalaista tai ainakin hyvin hidasta. Havainnollisin tapa uusiutuvien energialähteiden vertailussa on käyttää vuosittain hyödynnettävissä olevan energian käsitettä. Sen avulla voidaan määrittää energian käytölle konkreettinen yläraja. Lähes kaikille uusiutuvien energialähteiden vuosittainen hyödynnettävälle energialle on olemassa ainakin karkea kokonaisarvio eli teoreettinen yläraja.

Fossiilisten polttoainevarojen käytetään yleisesti käsitteitä tunnetut varat ja arvioidut lisävarat. Ero näiden kahden energiareservin välillä voi olla jopa useita kertaluokkia. Tunnetuista varoista on usein olemassa jonkinlaista mittauksiin perustuvaa tietoa, joten arviota reservin suuruudesta voi siltä osin pitää suhteellisen luotettavana. Toisaalta tilastojen julkaisijoilla voi olla poliittisia ja taloudellisia tarkoituksia. Yleiseen geologiseen tietämykseen perustuvat arviot lisävaroista ovat tunnettuja varoja vieläkin epämääräisempiä. Arvioituja lisävaroja ei ole maantieteellisesti paikallistettu, mutta niiden uskotaan sijaitsevan samantyyppisissä maankuoren rakenteissa, mistä nykyiset tunnetut esiintymät ovat löytyneet.

Kuvassa 2 on esitetty maailmassa käytetyimpien fossiilisten energialähteiden vuonna 2003 tunnetut ja arvioidut varat suhteutettuna sen hetkiseen kokonaiskulutukseen. Palkin leveys kuvaa kyseisen energialähteen vuosikäyttöä, joka on lukuarvona ilmoitettu energialähteen nimen

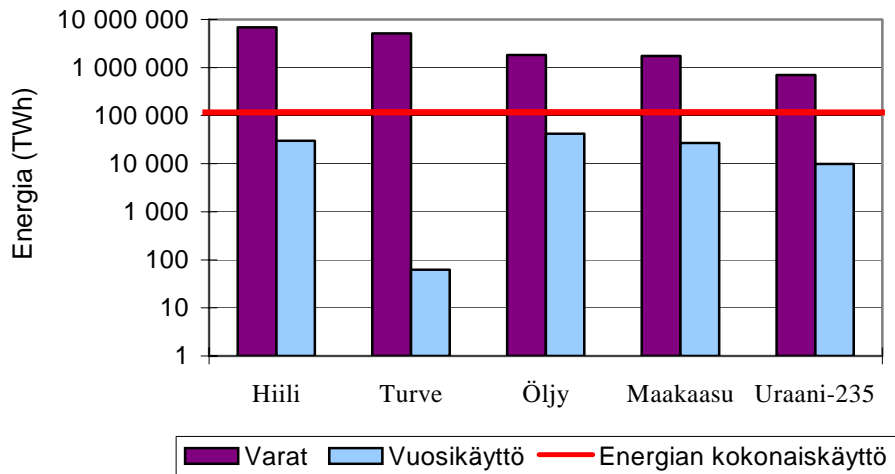
alapuolella. Uraanin kulutus on laskettu olettamalla ydinvoimaloiden hyötysuhteeksi 38 %, ja päätelty siitä, kuinka suuri lämpöenergia tilastoissa ilmoitetun sähköenergian tuottamiseen on tarvittu. Kuvassa 2 esitetty kulutus poikkeaa hieman kuvassa 3 esiintyvistä uraanin kulutuksesta. Poikkeama johtuu erilaisista lähtötiedoista ja hieman erilaisesta laskentatavasta.



Kuva 2. Tunnettujen ja arvioidujen fossiilisten polttoainevarojen riittävyys vuoden 2003 kulutuksella. Vuosikulutuksen suuruutta kuvaavat pylväiden leveydet ovat energialähteiden kesken verrannollisia. Hiili sisältää kivihiilen, ruskohiilen ja bitumihiilen varat. (BP, 2004b; Nuclear EA, 2004; VTT, 1999a)

Nykyisellä kulutuksella ensimmäisenä fossiilisista polttoaineista loppunee öljy ja hyvin pian sen jälkeen myös maakaasu. Maakaasun osalta käyttö on viime vuosikymmenellä lisääntynyt öljyyn verrattuna selvästi nopeammin, ja arviot riittävydestä saattavatkin muuttua hyvin pian. Hiilen saatavuus ei lähitulevaisuudessa muodostune ongelmaksi. Tunnetut varat riittävät satoja vuosia ja lisävaroja uskotaan löytyvän moninkertaisesti verrattuna nykyisiin tunnettuihin varoihin. (VTT, 1999a)

Energiavarojen tunnettuja määriä on verrattu kuvassa 3 energian kokonaiskäyttöön maailmassa, joka vuonna 2002 oli noin 121 000 TWh. Jos tämä energian tarve tyydytettäisiin pelkästään hiilellä, sen tunnetut varat loppuisivat vajaassa 60 vuodessa. Öljyä ei riittäisi tähän kuin 15 vuodeksi. Tunnetut perinteiset fossiiliset energiavarat yhdessä riittävät noin 90 vuodeksi ja turve mukaan lukien noin 130 vuodeksi. (EIA, 2002)



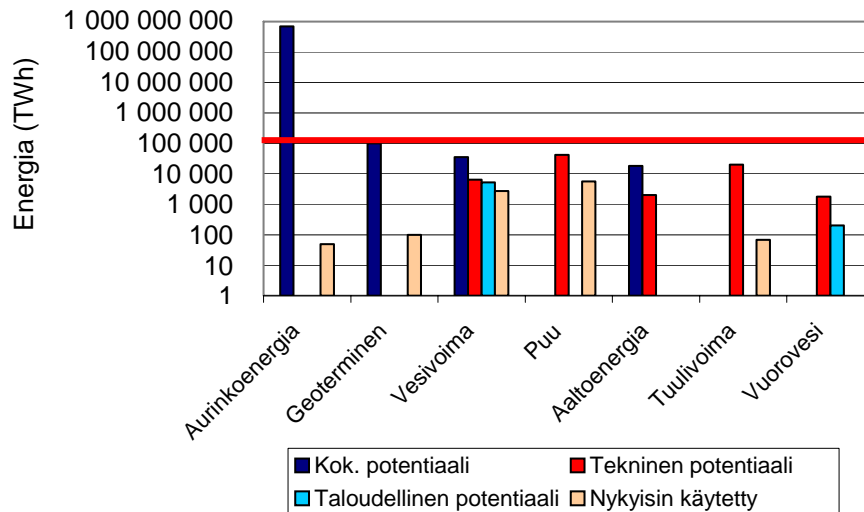
Kuva 3. Fossiilisten polttoaineiden tunnetut varat ja vuosikäyttö logaritmisella asteikolla. Energiavarojen tiedot ovat vuodelta 2003 paitsi turpeen vuodelta 2002. Energian kokonaiskäyttö maailmassa vuonna 2002 on esitetty kuvassa vaakaviivana. (BP, 2004b; EIA, 2002; Nuclear EA, 2004)

Hiiltä on suhteellisen tasaisesti löydettävissä maapallolta. Kaikilla mantereilla on vähintään kohtuulliset tai hyvät esiintymät. Tilanne on täysin päinvastainen öljyyn verrattuna, sillä yli 60 % tunnetuista öljyvaroista sijaitsee hyvin pienellä alueella Lähi-idässä. Uraanin kohdalla energiavarojen riittävyteen vaikuttaisi huomattavasti hyötöreaktoreiden käyttö. Niiden huomioonottaminen ei tässä yhteydessä ole kuitenkaan mielekäästä, sillä reaktoreita ei varsinaisesti ole kaupallisessa käytössä, eivätkä ne siten edusta tämän päivän energiantuotantoa polttoainevaroineen. Uraanin U^{235} energiavarat ja käyttö on laskettu tunnettujen esiintymien ja Olkiluodon reaktorin uraanin hyödyntämiskyvyn mukaan. Kuvassa 3 esitetty ydinenergian käyttö kertoo, kuinka paljon käytetyllä ydinpolttoaineella on tuotettu lämpöä ydinvoimalaitoksissa. Se ei kerro todellista ydinpolttoaineen ja U^{235} :n kulutusta. Käytetty ydinpolttoainehan sisältää vielä hajoamiskykyistä U^{235} -isotooppia, eikä sitä esimerkiksi Suomessa jälleenkäsitellä.

Turpeen tunnetut varat ovat periaatteessa lähes hiilen veroiset. Energia-arvoltaan turvetta voidaan verrata kivihiilen esiasteeseen ruskohiileen. Arvio turpeen energiavaroista on hyvin teoreettinen, sillä kuvassa 3 esitettyihin varoihin sisältyvät kaikki mahdolliset turve-esiintymät maailmassa. Arvio onkin lähinnä suuntaa antava, sillä turpeen tarkkaa määrää on lähes mahdoton määrittää. Turvelajien luokittelu tuo myös omat ongelmansa, kaikki turve ei nimittäin ole energiantuotantoon soveltuvaa. Energiaturvetta kaikesta turpeesta on ehkä noin 10 %, jolloin turvetta ei olisi enää kuin neljäsosa öljyn energiamäärästä. Käytännössä turpeen hyödyntämisen lisäämistä muiden fossiilisten polttoaineiden tasolle estävät ympäristölliset ja korjuutekniset rajoitukset. Nykyinen käyttö sinänsä on niin pientä, ettei se ole esteenä käytön lisäämiselle.

Kuvan 4 perusteella voidaan todeta puun olevan käytetyin uusiutuvan energian muoto. Monissa kehitysmaissa polttopuu onkin lähes ainoa energian lähde. Suurin osa polttopuusta käytetään ruuanvalmistuksessa ja lämmityksessä. Sähköntuotanto puuta hyödyntämällä on muutamia Pohjois-Euroopan maita lukuun ottamatta vähäistä. Puun energiakäyttöä on teoriassa mahdol-

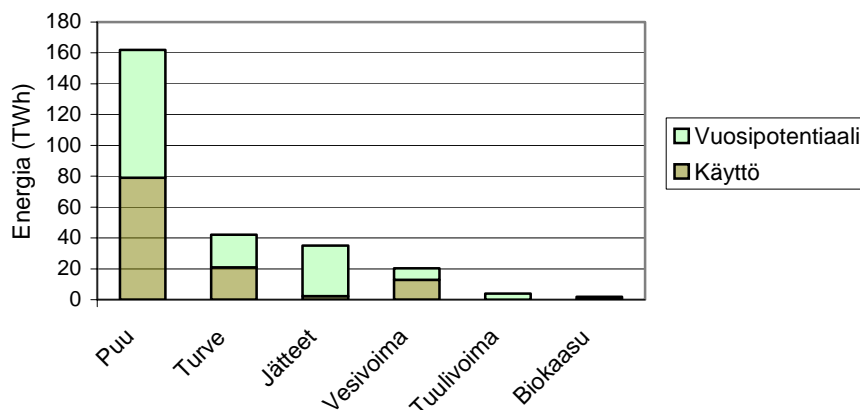
lista lisätä moninkertaiseksi. Sen käytön lisäämistä rajoittaa lähinnä puun käyttö muihin tarkoituksiin, ei puuston vuotuinen kasvu.



Kuva 4. Uusiutuvien energiavarojen olemassa olevat potentiaalit ja tämänhetkinen hyödyntäminen (logaritmisella asteikolla). Energian kokonaiskäyttö maailmassa vuonna 2002 on piirretty katkoviivalla. Geotermisen energian käyttötiedot ovat vuodelta 1999 ja aurinkoenergian vuodelta 2001. Vesivoiman sekä puun käyttötiedot perustuvat vuoteen 2002. Tuulivoiman käyttö on vuodelta 2003 (ei sisällä offshore -potentiaalia). (Aarne et al., 2003; Canadian, EC, 2004b ja 2000; FAO, 2003; Lehner, 2001; WEC, 1994 ja 2004)

Aurinkoenergian teoreettinen kokonaispotentiaali on uusiutuvista energialähteistä luonnollisesti kaikkein suurin. Lähes kaikki energialähteet pystyisivät periaatteessa yksin tyydyttämään maailman sähköenergian tarpeen, minkä suuruus vuonna 2002 oli 14 300 TWh (EIA, 2002). Potentiaalın hyödyntäminen kokonaisuudessaan on kuitenkin käytännössä esimerkiksi tuuli- ja geotermisellä energialla teknisestikin valtava haaste. Auringon säteilyenergiakin on jakautunut niin laajalle alueelle, että sen hyödyntäminen laajamittaisesti on mahdotonta. Toisaalta osa auringon säteilystä on päästettävä lämmittämään maata ja meriä sekä höyryttämään vettä. Ilman auringon säteilyvaikutusta ei ole muita uusiutuvia energialähteitä.

Suomen energiavarat ovat lähes kauttaaltaan uusiutuvia turvetta lukuun ottamatta. Suomen maaperässä on tietyillä alueilla myös pieniä määriä uraania. Puuperäiset polttoaineet ja vesivoima kattavat lähes yksinomaan uusiutuvien energialähteiden käytön Suomessa. Puu on selkeästi merkittävin uusiutuvan energian lähde. Vesivoima muodostaa käytön osalta kolmanneksi merkittävimmän osuuden. Kuvassa 5 on esitetty kunkin energialähteen vuotuinen hyödynnettävissä oleva potentiaali ja nykyinen hyödyntämistäaste energiantuotannossa.



Kuva 5. Kotimaisten energialähteiden vuosipotentiali ja nykykäyttö. Puun, vesi- ja tuulivoiman käyttötiedot ovat vuodelta 2003. Turpeen ja biokaasun käyttö on vuodelta 2002 ja jätteiden vuodelta 2000. (Aarne et al., 2003; Alakangas, 2000; Elektrowatt, 2003; Hellgren et al., 1999; Nordel, 2004; Pohjolan Voima, 2003; Tilastokeskus, 2003; Turveteollisuus, 2004; VTT, 1999a)

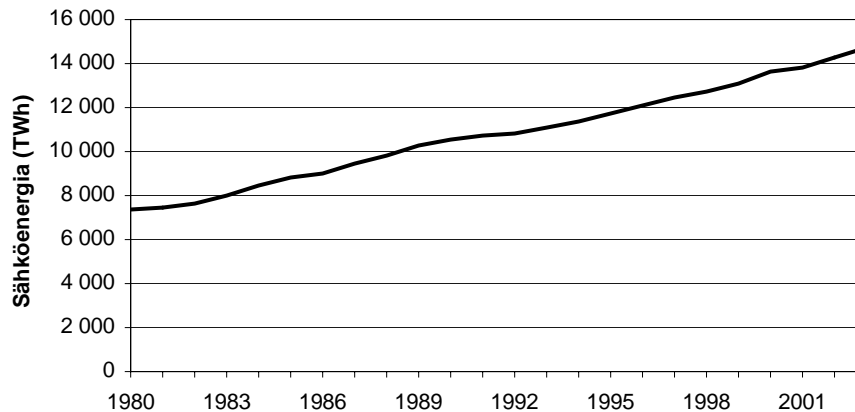
Turpeen vuosipotentiali on määritetty kaikkien Suomen soiden turpeen laskennallisen vuosikasvun mukaan. Turvetta voidaan käyttää korkeintaan yhtä paljon kuin turve kasvaa soilla paksuutta, jos turve halutaan luokitella uusiutuvaksi. Puun käytössä ei ole mukana energiantuotannon ulkopuolista puunjalostusteollisuudessa käytettävää raaka-aine puuta. Puun käytön sijaan sisältää puunjalostusteollisuuden jäteliemet, muut sivutuotteet, sekä metsäpolttoaineet ja puun pienkäytön kiinteistöjen lämmityksessä. Metsäteollisuuden sivutuotteet eivät siten ole mukana jätteiden käytössä. Energiantuotannossa puuta käytettiin sekä vuonna 2002 että 2003 noin 79 TWh. Kaiken kaikkiaan puuta käytetään energia-arvoltaan noin 138 TWh vuodessa. Puun osalta vuosipotentiali on laskettu ainoastaan runkopuun mukaan, hakkuutähteitä ei ole tässä otettu huomioon. Tuulivoiman kohdalla vuosipotentiali sisältää vain rannikoilla hyödynnettävissä olevan tuulienergian. Merialueilla potentiaalia on periaatteessa moninkertaisesti, esimerkiksi 1 000 km² alueella voidaan tuottaa noin 10 TWh sähköä. (Tilastokeskus, 2003)

2.5. Sähkön käyttö ja tuotanto

Sähkön käytön uskotaan kasvavan maailmassa nykyiseltä tasolta lähes kaksinkertaiseksi seuraavien 20 vuoden aikana. Kasvun odotetaan tulevan lähinnä kehitysmaista, missä pyrkimys elinolojen parantamiseen ja vaurastumiseen on voimakasta. Monissa näistä maista energia-sektorin yksityistäminen onkin käynnissä, millä pyritään houkuttelemaan ulkomaisia sijoittajia. Kehitysmaiden osuus sähkön käytöstä on tällä hetkellä vain noin kolmannes, vaikka näissä maissa asuu yli 75 % maailman väestöstä. Sähkön käyttö kasvaa kehitysmaissa arviolta 3,5 % vuodessa, kun teollisuusmaissa kasvu on vastaavasti 1,6 %. Länsi-Euroopan ja Japanin päättävissä elimissä on tehty periaatepäätöksiä sähkön käytön hillitsemiseksi. Käyttö pyritään pitämään nykyisellä tasolla tai ainakin hillitsemään kasvuvauhtia. Laitteiden yleisesti parantunut hyötysuhde sekä hidas väestönkasvu mahdollistavat tämän suuntaisen kehityksen. Sähkön tuo-

tannossa pyritään yhä enemmän uusiutuvien energialähteiden käyttöön. EU:n alueella on tavoitteena nostaa uusiutuvien energialähteiden osuus sähköntuotannossa 22 %:iin vuoteen 2010 mennessä. (EIA, 2004)

Sähkön käyttö on kasvanut tasaisesti maailmassa kuvassa 6 esitetyllä tavalla. Kasvua on tapahtunut 20 vuoden aikana yli 90 %. Sähköä käytettiin vuonna 2002 noin 14 300 TWh, kun tuotantoyksiköiden omakäyttö ja siirrosta aiheutuneet häviöt vähennetään tuotannosta. Sähköä käytetään maailmassa eniten asumiseen, maatalouteen ja palveluihin. Näiden suhteellinen osuus vuonna 2001 oli 56 %. Teollisuuden osuus oli 42 %, ja liikenne käytti loput 2 %. (EIA, 2002; IEA, 2001)

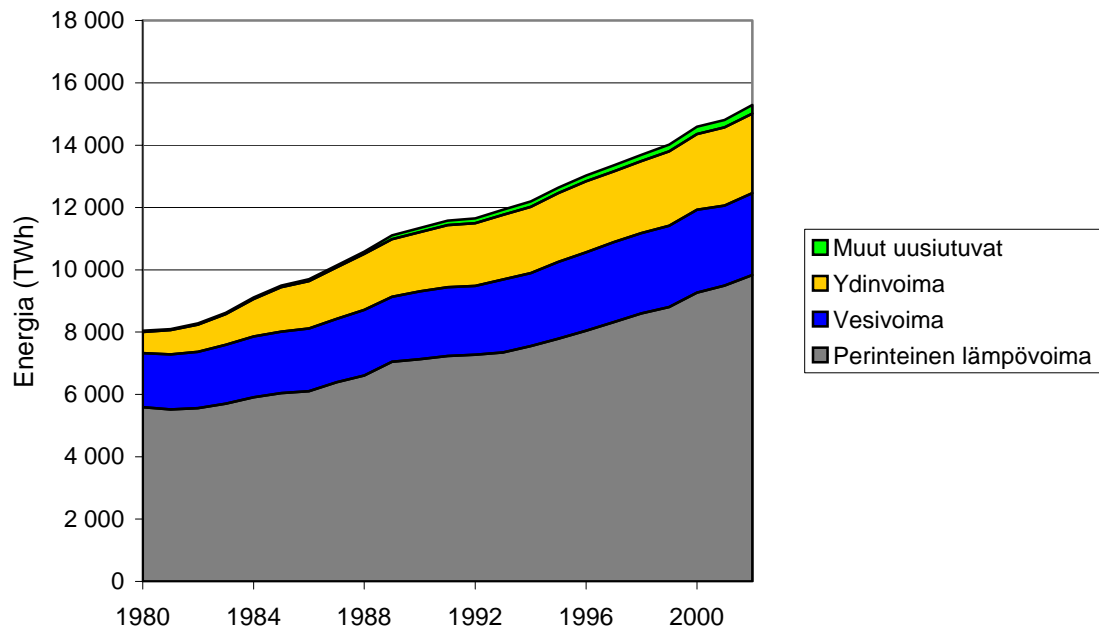


Kuva 6. Sähkön nettokäyttö maailmassa aikavälillä 1980 – 2003. Nettokäyttö ei sisällä tuotantoyksiköiden omakäyttöä eikä sähkön siirrosta aiheutuneita häviöitä (EIA, 2002).

Sähkön osuus energian kokonaiskäytöstä vuonna 2003 oli noin 13 %. Primäärienergian suhteellinen osuus energian loppukäytöstä on jatkuvasti pienentynyt, ja sekundääriseen energian, eli sähkön, osuus on kasvanut. Vuonna 1980 sähkön osuus oli noin 10 %:n luokkaa. Suurin yksittäinen sähkön käyttäjä vuonna 2002 oli Yhdysvallat 3 660 TWh:lla ja 26 %:n osuudella. Eniten sähkön käyttö on kuitenkin kasvanut Aasian talousalueella. Lähivuosina tämä alue ohittanee tilastoissa Pohjois-Amerikan, sillä ero vuonna 2002 oli ainoastaan muutamia satoja terawattitunteja. Aasian kohonnut sähkön käyttö johtuu lähinnä Kiinan talouskasvusta, missä sähkön käyttö on kasvanut keskimäärin 7 % vuodessa. Vuosien 1993 ja 2002 välillä Kiina on kaksinkertaistanut sähkön käyttönsä ja on nyt maailmassa toisena 10 %:n osuudella. (EIA, 2002)

2.5.1. Sähkön käyttö ja tuotanto maailmassa

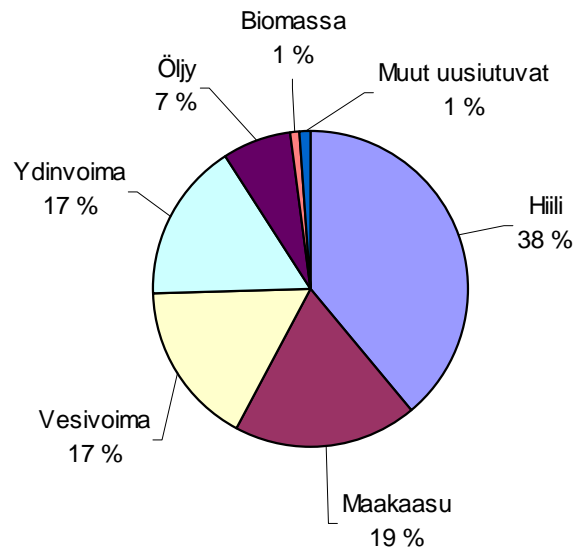
Sähköntuotantoon käytettyjen polttoaineiden osuudet maailmassa ovat viimeisten 30 vuoden aikana muuttuneet joiltain osin oleellisesti. Käyttöasteen on lähinnä määrännyt tieto energialähteen saatavuudesta, mikä on useimmiten määrännyt myös hintatason. Vuonna 2002 sähköä tuotettiin maailmassa noin 15 300 TWh. Sähköntuotanto on perustunut pääosin fossiilisiin polttoaineisiin ja perinteiseen lämpövoimatekniikkaan kuvassa 7 esitetyllä tavalla.



Kuva 7. Eri tuotantomuodoilla tuotettu sähköenergia maailmassa vuodesta 1980 alkaen. Perinteinen lämpövoima sisältää hiilellä, öljyllä ja maakaasulla tuotetun sähköenergian. Muihin uusiutuviin energiantuotantotapoihin kuuluvat geoterminen energia ja aurinkoenergia, tuulivoima, puu sekä jätteet. (EIA, 2002)

Uusiutuvien energialähteiden käyttö on ollut lähes ainoastaan vesivoimaa vielä 1980-luvulla, kuten kuvasta 7 nähdään. Viime vuosikymmeneltä lähtien on vesivoiman rinnalle ilmaantunut myös muita uusiutuvan energian muotoja. Aluksi eniten hyödynnettiin geotermistä ja bioenergiaa sähkön tuotannossa, mutta myöhemmin tuulivoiman käyttö on kasvanut nopeimmin. Eurooppa on tehnyt tuulivoimatekniikassa pioneerityötä ja toimii edelleen muulle maailmalle suunnannäyttäjänä. Vesivoimalla tuotetun sähkön osuus oli vuonna 2001 noin 90 % uusiutuvilla energialähteillä tuotetusta sähköstä.

Kuvassa 8 on esitetty sähköntuotantoon käytettyjen energialähteiden osuudet maailmassa vuoden 2001 tilanteen mukaisina. Energialähteiden osuudet voivat vaihdella hyvinkin paljon eri maiden välillä ja esimerkiksi Suomesta kuvan jakauma on hyvin erilainen. Oleellista on havaita uusiutumattomien energialähteiden hyvin suuri osuus, noin 80 %, josta pelkästään hiili muodostaa lähes puolet. Hiili onkin vuosien saatossa säilyttänyt asemansa tärkeimpänä polttoaineena sähköntuotannossa.



Kuva 8. Sähkön tuotantoon käytetyt energialähteet maailmassa 2002. (IEA, 2005a)

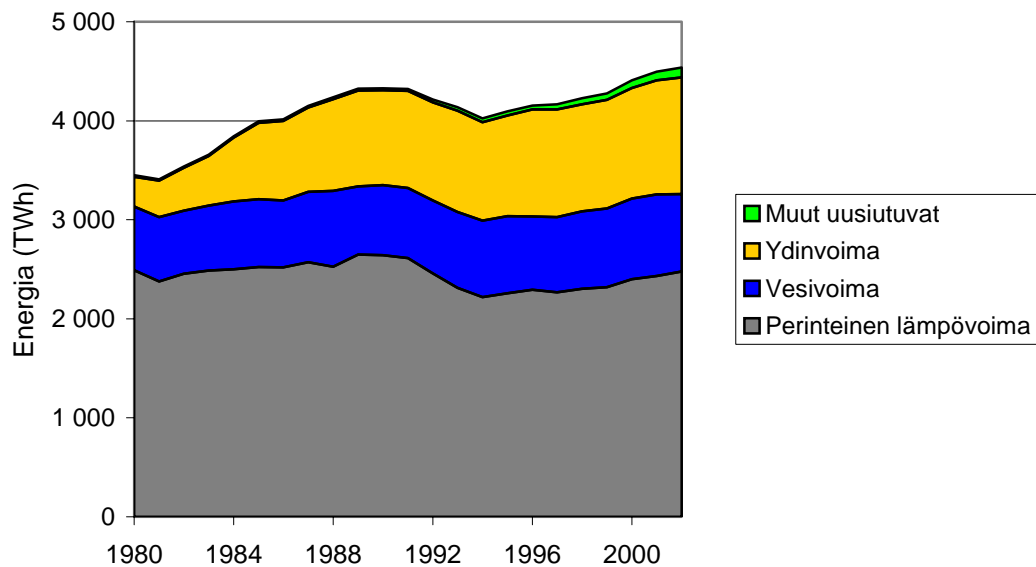
Seuraavien 20 vuoden aikana ei uskota tapahtuvan suuria muutoksia hiilen suhteellisessa osuudessa sähköntuotannossa. Erityisesti suuret hiiliesiintymät omaavilla mailla hiili on sähköntuotannon lähes ainoa tukijalka. Esimerkiksi Yhdysvallat tuottaa hiilellä puolet sähköenergian tarpeestaan. Kiinalla ja Intialla osuus on vielä tätäkin suurempi, noin 75 %. Ydinvoiman osuus sähköntuotannossa kasvoi voimakkaasti 1970-luvulta aina 1980-luvun loppuun asti. Tulevaisuudessa ydinvoiman osuus sähkön tuotannosta näillä näkymin pienentynee, kun nykyiset reaktorit saavuttavat elinkaarensa pään. Osuuden sähköntuotannosta arvioidaan pienevän 17 %:sta noin 12 %:iin vuoteen 2025 mennessä. Hiilidioksidipäästöjen rajoittamissopimukset voivat kuitenkin muuttaa arvioitua kehityksen kulkua. Yleinen huoli ydinvoimalaitosten turvallisuudesta, ydinjätteen loppusijoitukseen liittyvät uhkakuvat ja mahdollisuus ydinase materiaalin leviämiseen voivat painaa vaakakupissa ilmastoasioita enemmän. Uusia ydinvoimaloita on aiemmin uskottu rakennettavan pääasiassa kehitysmaihin. Tällä hetkellä uusia ydinvoimaloita rakentavat esimerkiksi Venäjä (6), Kiina (4), Intia (9) ja Japani (3). Vuoden 2004 heinäkuun lopussa maailmassa oli toiminnassa 437 ydinreaktoria sähkötehoaan yhteensä 363 GW. Rakenteilla oli 30 ja suunnitteilla 32 yksikköä. Suomessa on yhdeksän muun maan lisäksi ydinvoimala suunniteltuna ja rakennustyöt käynnissä. (EIA, 2004; Nuclear, 2004)

Yhtenä vaihtoehtona ydinvoiman vaihtoehdoksi ja lisääntyvän energiatarpeen tyydyttäjäksi on esitetty maakaasua. Siihen perustuva sähköntuotanto onkin kasvanut 1980-luvulta lähtien läpi koko 1990-luvun. Käytön uskotaan lähivuosina entisestään kiihtyvän ja rajoittavan myös hiilen käytön lisäämistä. Erityisesti Länsi-Euroopan mailla on pyrkimys siirtyä hiilestä maakaasuun sähköntuotannossa. Entisen Neuvostoliiton alueilla maakaasu on ollut tärkeä polttoaine sähköntuotannossa, ja sen osuuden arvioidaan kasvavan 50 %:iin seuraavien 20 vuoden aikana. Öljyä on sen sijaan käytetty sähköntuotantoon vuosi vuodelta yhä vähemmän 1970-luvun puolivälistä lähtien. Osaltaan huoli öljyn saatavuudesta ja hintatason suuret heilahtelut kannustavat luopumaan öljyn käytöstä ja etsimään muita korvaavia energialähteitä. (EIA, 2004)

Vesivoiman ja muiden uusiutuvien energialähteiden osuuden sähköntuotannossa uskotaan kasvavan vuoteen 2025 mennessä 57 % vuoden 2001 tilanteeseen verrattuna. Niiden osuus sähkön kokonaistuotannosta ei tällä aikavälillä kuitenkaan muuttune oleellisesti kuvassa 2.8 esitetystä tilanteesta. Suurimman osan lisäyksestä arvioidaan tulevan Aasian maiden suurista vesivoimahankkeista. Kolmen solan pato Kiinassa on valmistuttuaan vuonna 2009 suurin ja tehokkain vesivoimala maailmassa. Yli 2000 metriä pitkän ja 185 metriä korkean padon avulla saadaan turbiineilla ja generaattoreilla tuotetuksi sähköä 18 200 MW:n teholla. Voimalan rakentaminen lisää maailman vesivoimatuotantoa 1 – 2 %. Kiinalla on valmisteilla ja rakenteilla Keltaisen joen varrelle useita kymmeniä tuhansien megawattien tehoisia vesivoimahankkeita. Maailmanlaajuisesti vesivoiman suhteellinen osuus sähkön tuotannosta pysynee kuitenkin nykyisellä tasolla, vaikka paikallisesti vesivoiman osuus voi kasvaa merkittävästi. Tuulivoimatuotanto on kasvanut uusiutuvista energiamuodoista nopeimmin. Eriyisen ripeää kehitys on ollut Tanskassa ja Saksassa. Useimpien uusiutuvien energialähteiden ei kuitenkaan uskota olevan seuraavien vajaan 20 vuoden aikana taloudellisesti kilpailukykyisiä fossiilisiin polttoaineisiin perustuvan sähköntuotannon kanssa. Kasvihuonekaasupäästöjä rajaavien ohjelmien ontuessa uusiutuvien energialähteiden käytön huomattava lisääminen näyttää vaikealta. Valtioilta vaaditaankin verohelpotuksia tai muita tukitoimia uusiutuvien energiamuotojen käyttöönottamiseksi sähköntuotannossa. (EIA, 2004)

2.5.2. Sähkön käyttö ja tuotanto Euroopassa

Euroopan alueella tuotettiin sähköä vuonna 2002 yhteensä 4 500 TWh. Lukuun ei sisälly sähköntuotantolaitosten sähkön omakäyttöä. Kuvassa 9 on esitetty jakauma sähkön tuotantorakenteen kehityksestä Euroopassa vuodesta 1980 alkaen. Perinteinen lämpövoima käsittää fossiilisia polttoaineita hyödyntävillä tekniikoilla tuotetun sähköenergian. Muiden uusiutuvien osuus sisältää yhteenlaskettuna uusiutuvia energialähteitä hyödyntävien tuotantotekniikoiden sähköenergian tuotannon. (EIA, 2002)



Kuva 9. Sähkön tuotantorakenne Euroopassa 1980 – 2002 (49 maata). (EIA, 2002)

Sähköntuotannossa käytetyin menetelmä on ollut polttaa jotakin fossiilista polttoainetta ja hyödyntää siitä saatu lämpö sähköntuotantoprosessissa. Sähkön ja lämmön yhteistuotannolla on ollut merkittävä asema lähinnä Euroopan pohjoisosissa muita alueita suuremman lämmitystarpeen johdosta. Sähköntuotannossa käytetyin energialähde on ollut hiili, minkä osuus on noin 30 %. Ydinvoimalla tuotetun sähkön osuus on lähes yhtä suuri. Vuonna 2002 sen osuus oli noin 26 %. Uusiutumattomat energialähteet muodostavat yhdessä noin 80 % sähköntuotannossa käytetyistä energialähteistä. (EIA, 2002 ja 2004)

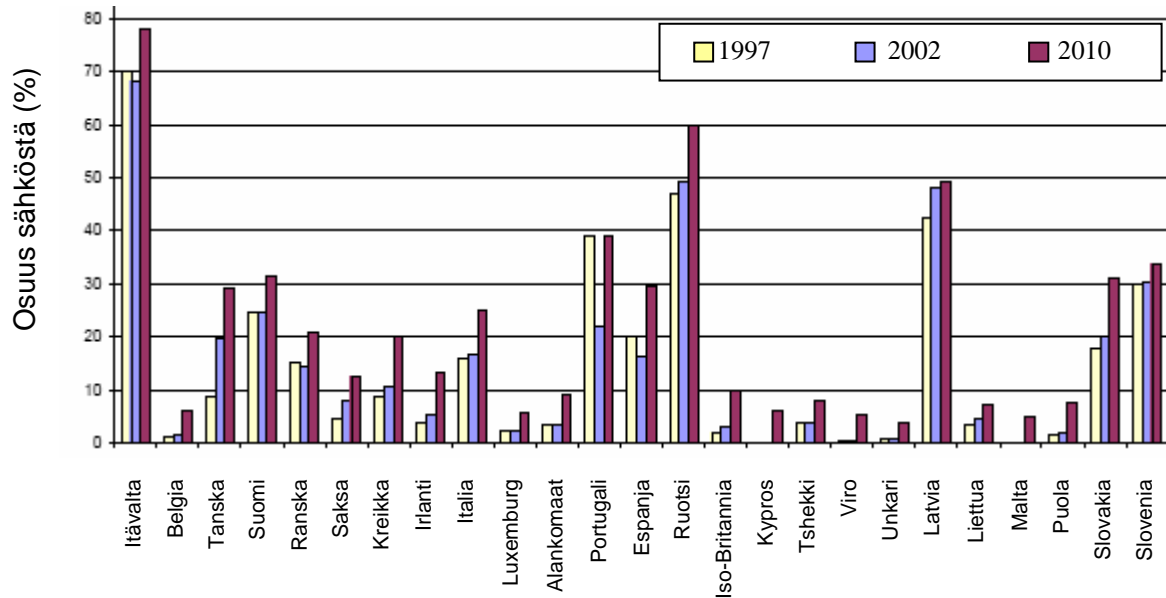
Uusiutuvien energialähteiden osuus on ollut vesivoimaa lukuun ottamatta varsin vähäistä. Vesivoiman käyttö sähköntuotannossa on ollut muun maailman kanssa samalla vajaan 20 % tasolla. Euroopassa eniten vesivoimaa tuottavat Venäjä sekä Norja. Viime vuosikymmenen alun jälkeen tuotantotapojen kehitys on suuntautunut vesivoiman lisäksi myös muihin uusiutuvan energian muotoihin, joista tuulivoima on ollut selvästi merkittävin. (EIA, 2002 ja 2004)

Lähivuosikymmeninä öljyn uskotaan menettävän osuuttaan Länsi-Euroopan sähköntuotannossa. Hiilen käytössä 1990-luvulla alkanut alamäki jatkunee arvioiden mukaan, kun maakaasu ympäristöystävällisempänä valtaa markkinoita. Ydinvoiman käyttö kasvaa vuoteen 2010 asti, minkä jälkeen vanhojen laitosten sulkeminen ylittää uusien rakentamisen ja ydinvoiman asennettu kapasiteetti lähtee laskuun. Uusiutuvien energialähteiden (suurvesivoima pois lukien) osuuden sähköntuotannossa uskotaan jatkavan kiivastahtista kasvua Länsi-Euroopan maissa. Kasvun edistäjänä on ollut valtioiden tällä hetkellä tarjoama tuki uusiutuviin sähköntuotantomuotoihin. Voimakkainta tuki on ollut tuulivoimalle, joka onkin kasvattanut tuotantokapasiteettiaan eniten. EU:n uusiutuvien energialähteiden ohjelman tavoitteen mukaan vuoden 2010 loppuun mennessä eniten tuotantoaan kasvattaisi tuulivoima. Biomassalla tuotetun sähkön uskotaan EU:n ohjelman mukaan kaksinkertaistuvan vertailuvuoden 2001 tilanteeseen verrattuna. (EC, 2004; EIA, 2004)

Itä-Euroopan alueella on käynnissä sähkömarkkinoiden uudelleen järjestäminen ja vapauttaminen EU:n sopimusten mukaisiksi. Tämän uskotaan muuttavan sähköntuotantoon käytettyjen energialähteiden osuuksia. Yksinkertaisimmillaan se tarkoittaa hiilen korvaamista maakaasulla, mutta muitakin muutoksia on tapahtumassa. EU:n painostus lakkauttaa tai ainakin aiheuttaa mittavia uudistuksia sellaisissa ydinvoimaloissa, jotka eivät täytä länsimaisia vaatimuksia. Hiilen osuuden sähköntuotannosta uskotaan putoavan vuoden 2001 lähes 60 %:sta noin 44 %:iin vuoteen 2010 mennessä ja edelleen 24 %:iin vuoteen 2025 mennessä. Maakaasu vastaavasti kasvattaa osuuttaan 10 %:sta noin 48 %:iin. Öljyn ja ydinvoiman osuuksien uskotaan pienentyvän tasaisesti. Uusiutuvat energialähteet kasvattavat hieman osuuttaan sähköntuotannossa. Vuonna 2001 uusiutuvien energialähteiden osuus sähköntuotannosta oli 13 % ja vuoteen 2025 mennessä sen uskotaan nousevan 14 %:iin. Itä-Euroopan maissa merkittävin uusiutuvan energian lähde lyhyellä tähtäimellä on vesivoima. Koko Euroopan sähkönkäytön mittakaavassa vesivoiman tuotannon lisäykset ovat lähes merkityksettömiä, mutta paikallisesti niillä voi olla suurikin merkitys. (EC, 2004; EIA, 2004)

EU-alueella Suomi on uusiutuvien energialähteiden käytössä jäsenmaiden kärkipäätä. Kuvasta 10 on nähtävissä, että Suomen edelle sijoittuvat vertailussa ainoastaan Itävalta, Ruotsi, Latvia ja Slovenia. Suomea suurempi uusiutuvien energialähteiden käyttö selittyy vesivoiman suurella osuudella, mikä tekee palkkien suhteista hieman harhaanjohtavia. (Nordel, 2004; Tilastokeskus, 2003)

Kuvassa 10 on uusiutuvilla energialähteillä tuotettu sähkö suhteutettu kunkin maan sähköenergian kokonaiskäyttöön. Uusiutuvien energiamuotojen aiemmasta käytöstä on esitetty tilanne vuosina 1997 ja 2002 sekä maiden asettamat omat tavoitteet vuodelle 2010.

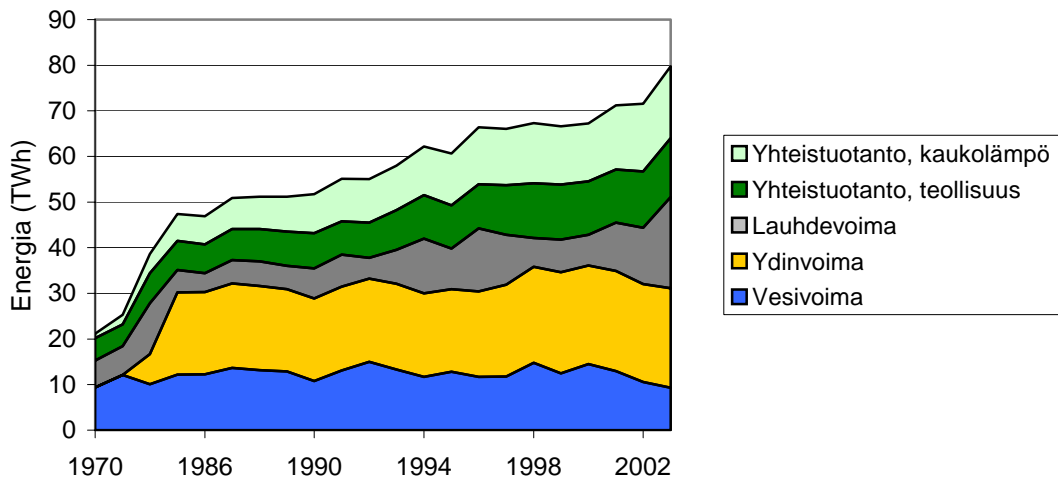


Kuva 10. Uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön osuus kunkin EU-maan sähkön kokonaiskäytöstä vuosina 1997 ja 2002 sekä ennuste vuodelle 2010 /34/.

Kuten kuvasta 10 voidaan havaita, monilla mailla on kunnianhimoisia tavoitteita lisätä merkittävästi uusiutuvien energialähteiden käyttöä vuoteen 2010 mennessä. Suomen tavoitteena on lisätä uusiutuvien energialähteiden osuus sähköntuotannosta 32 %:iin. (EC, 2004)

2.5.3. Sähkön käyttö ja tuotanto Suomessa

Suomessa oli asennettua sähköntuotantokapasiteettia vuoden 2003 lopussa kaikkiaan 16 893 MW. Lauhde- ja CHP-voimalat muodostavat tuotantokapasiteetista noin 66 %. Sähkön kokonaistuotanto Suomessa vuonna 2003 oli 79,9 TWh, josta perinteiseen lämpövoimaan perustuvan tuotannon osuus oli 61 %. Asennettu teho oli tästä päätellen lähes kokonaan käytössä. Kuvasta 11 nähdään miten lämpövoimaan perustuva tuotanto on kasvattanut osuuttaan sähkön tuotannossa tarkastelujaksolla. Lämpövoiman jälkeen seuraavaksi suurin asennettu kapasiteetti on vesivoimalla. Keskimääräistä huonomman vesivuoden johdosta vuonna 2003 tuotetun energian määrä tippui yli 10 % ja oli ainoastaan 12 % sähkön kokonaistuotannosta. Vesivoiman tuotanto on ollut viimeksi energialtaan yhtä alhainen 1970-luvulla. Alhaista vesivoimatuotantoa jouduttiin korvaamaan lisäämällä lähinnä kivihiilikäyttöistä lauhdevoimaa, sekä sähkön tuontia Venäjältä. Muista Pohjoismaista sähkön tuonti ei luonnollisesti ollut vesipulan takia mahdollista. Päästökaupan aikakaudella kivihiilen käyttö voi vähävetisenä vuonna tulla huomattavan kalliiksi. Todennäköistä kuitenkin on, että päästökauppa vaikuttaa kivihiilen käyttöön vasta toisella sopimuskaudella vuodesta 2008 eteenpäin. Tuontisähkön hintatasoon päästökauppa sen sijaan voi vaikuttaa hyvinkin nopeasti.



Kuva 11. Sähköntuotantoon käytetyt tuotantotavat Suomessa 1970 – 2003. (Nordel, 2004; Tilastokeskus, 2003)

Ydinvoiman kapasiteetti on lähes yhtä suuri vesivoiman kanssa, mutta korkeammasta käyttöasteesta johtuen sen tuotannon osuus oli noin 27 % Suomessa tuotetusta sähköstä. Vesivoimaa lukuun ottamatta kaikkien muiden tuotantomuotojen sähköntuotanto kasvoi vuonna 2003. Eniten kasvoi lauhdevoima, kaikkiaan 62 %. Tuulivoiman tuotanto vuonna 2003 kasvoi 47 % ja oli 86 GWh. Suuri tuotannon kasvu johtui kymmenestä uudesta tuulivoimalasta. Uusiutuvien energialähteiden osuus sähkön tuotannosta oli kaikkiaan noin 24 %, josta biopolttoaineiden osuus oli vähän yli puolet. (Nordel, 2004; Tilastokeskus, 2003)

Kotimaisten polttoaineiden osuus sähköntuotannosta oli noin 33 %. Pohjoismaisessa mittakaavassa Suomi sijoittuu kolmanneksi tarkasteltaessa uusiutuvien energialähteiden hyödyntämistä sähköntuotannossa. Suomessa tuotantorakenne on Ruotsiin ja Norjaan verrattuna monipuolinen, sillä tuotantotekniikoita ja energialähteitä on käytettävissä useita. Ruotsilla ja varsinkin Norjalla uusiutuva energiantuotanto tukeutuu käytännössä ainoastaan vesivoimaan, jolloin huonon vesivuoden osuessa kohdalle on turvauduttava tuontisähköön. (Nordel, 2004)

3. HAJAUTETUN SÄHKÖNTUOTANNON TEKNIIKAT

Yleisenä trendinä ja kiinnostuksen kohteena on viime vuosina ollut energiantuotannon hajauttaminen ja uusiutuvien energialähteiden käyttö. Kehityksen vauhdittajana ovat olleet niin ympäristöön kuin energian saannin turvaamiseen liittyvät tekijät ja uhkakuvat. Monella maalla onkin menossa pitkälle tulevaisuuteen ulottuvia kansallisia ja kansainvälisiä projekteja uusiutuvien energialähteiden käytön lisäämiseksi. Lähes aina tämä tarkoittaa myös hajautetun energiantuotannon lisäämistä. (Poikonen et al., 2005)

Mitä hajautettu energiantuotanto käsitteenä itse asiassa tarkoittaa? Hajautettu energiantuotanto määritellään usein teholtaan matalaksi. Ideana on periaatteessa se, että kuka tahansa voisi ostaa oman voimalan ”kaupasta”. Laitetta ei enää suunniteltaisi jokaiselle ostajalle erikseen alusta lähtien, vaan tuotteet olisivat pikemminkin massatuotantoa. Hajautettu tuotanto voi tarkoittaa niin sähkön, lämmön kuin kylmän tuottamista. Polttoaineen tai energialähteen suhteen on paljon valinnan varaa. Se voi olla myös uusiutuvaa tai uusiutumaton. Ominaista on myös tuotantoyksikön sijoittaminen lähelle energian lopullista käyttöpistettä. Liitäntä sähköverkkoon tapahtuu useimmiten jakeluverkon kautta. Tuotantoyksiköille on tavanomaista myös miehittämättömyys. Automatisointi on hoidettu niin pitkälle, ettei laitoksen toimintaan tarvitse puuttua normaalin käytön aikana. Tässä tarkastelussa hajautettu tuotanto on rajattu koskemaan tuotantoyksiköitä, joiden sähköteho on korkeintaan 10 MW. (Tekes, 2003)

Energiamarkkinoiden vapautuminen ja hajautetun sähköntuotannon lisääntyminen on luonut uusia vaatimuksia ja aiheuttanut muutoksia sähkönverkon hallinnassa käytettäville tietojärjestelmille ja suojaustekniikalle. Hajautetun tuotannon yhtenä lisäämistä edistävänä tekijänä on järjestelmien korkea automatisoinnin aste. Tuotantoyksiköiden on oltava miehittämättömiä ja selvittävä vikatilanteista itsenäisesti takaisin tuotantoon. Nykyisillä määräyksillä tämä ei kaikilta osin ole mahdollista, esimerkiksi kiinteää polttoainetta käyttävissä voimaloissa täysin miehittämätön käyttö on kiellettyä. Sähköverkossa tapahtuvan vian seurauksena samalla johtolähdöllä olevan hajautetun sähköntuotantoyksikön on pystyttävä irrottautumaan automaattisesti verkosta aiheuttamatta virhetilanteita verkon muuhun toimintaan. Vian seurauksena tapahtuneen tuotantoyksikön irtikytkennän jälkeen verkkoon takaisin kytkeytyminen on tapahduttava automaattisesti vikatilanteen mentyä ohitse. Esimerkiksi Tanskassa tuulivoimala voidaan kytkeä takaisin tuotantoon 5 – 10 minuutin kuluttua verkossa tapahtuneen vian selviämisestä. Tämä vaatii kehittyneitä tiedonsiirtoa tuotantoyksiköiden ja verkon muiden komponenttien välillä. Häiriötilanteessa automaation toiminta voi vaatia erillisen varavoimajärjestelmän ohjaustoimenpiteiden suorittamiseksi. (Eltra, 2004)

Hajautetussa sähköntuotannossa käytettyjen tuotantotapojen ja –muotojen kirjo on runsas. Esimerkiksi ilman liike-energia, veden potentiaali- ja kineettinen energia sekä auringon säteilyenergia niin suoran säteilyn muodossa kuin biomassaan varastoituneena voidaan muuttaa sähköenergiaksi. Teollistumisen alkuaikoina sähkön ja energian tuotanto on ollut paikallista omaan käyttötarpeeseen mitoitettua hajautettua tuotantoa. Koskia on valjastettu sähkön tuotantoon siellä, missä se on ollut mahdollista ja tarpeellista. Energiatarpeen kasvaessa tapahtui siirtyminen suuriin keskitettyihin tuotantolaitoksiin. Ihmiset muuttivat enenevässä määrin kaupunkiin, jolloin oli järkevää tuottaa sähköenergia keskitetysti. Suurissa voimaloissa sähköntuo-

tannon hyötysuhde saatiin korkeaksi ja tuotannon kokonaiskustannukset jäivät muita tuotantomuotoja alhaisemmiksi. Tuotantolaitokset siirrettiin pois kaupungeista, kun ilmansaasteet lisääntyivät ja tuli mahdolliseksi siirtää sähköä käyttökohteisiin yhä kauempaa.

Sähkön tarpeen edelleen kasvaessa etsitään uusia ratkaisuja energian tarpeen tyydyttämiseen paikallisista energialähteistä siellä, missä energiaa tarvitaan. Tavoitteena on hyödyntää niitä paikallisia energialähteitä, mitkä ovat jääneet aiemmin hyödyntämättä. Käyttöpaikan syrjäinen sijainti voi myös luoda tarvetta hajautetuille energiaratkaisuille. Yksinkertaisimmillaan hajautettu sähköntuotanto voidaan ymmärtää pienten aggregaattien käyttönä huolehtimassa afrikkalaisen kyläyhteisön sähköntuotannosta. Vapaa-ajan asuntoihin ja muihin sähköverkon ulottumattomissa oleviin kohteisiin, esimerkiksi majakoihin, on jo kauan asennettu aurinkopaneeleita. Metsäteollisuus on ollut myös pitkään energiansa suhteen osin omavarainen. Sähköntuotanto on tavallisesti tapahtunut sivutuotteena, kun varsinaista paperin tai puutavaran kuivausprosessia varten on tarvinnut kehittää lämpöä.

Hajautetun tuotannon liittäminen sähköverkkoon voi tuoda etuja järjestelmän toiminnan kannalta, mutta se varmasti asettaa myös uusia vaatimuksia. Uuden tuotantoyksikön sijoittaminen jakeluverkon varrelle mahdollisesti pienentää sähköverkon jännitteen alenemaa ja voi siirtää verkon vahvistustarvetta useilla vuosilla eteenpäin. Tuotannon sijoittaminen johto-osuuden päähän, kauaksi sähkön käyttäjästä, voi myös kääntää asian päinvastaiseksi ja verkko vaatiikin vahvistusta. Jakeluverkon alueella oleva hajautettu tuotanto pienentää häviöitä vain siinä tapauksessa, että tuotettua tehoa ei tarvitse siirtää verkon läpi, vaan energia käytetään tuotantopaikalla. Häiriötilanteen aikana, jolloin yhteys muuhun verkkoon on poikki, on mahdollista hajautetun tuotannon avulla syöttää energiaa jollekin tärkeälle yksittäiselle käyttäjälle. Tuotantoyksiköiden hajauttaminen mahdollistaa sähköverkon poikkeustilanteissa niin sanotun saarekekäytön. Tuotannon lisääminen jakelujärjestelmään voi kuormien irtoamistilanteessa muuttaa perinteistä tehon virtaussuuntaa sähköasemalta pois päin. Suojausteknisesti asiat monimutkaistuvat ja mahdollisuus virhetoimintoihin kasvaa. Suojaus voi suorittaa tarpeettomia laukaisuja tai suojauksen toiminta voi virheellisellä asettelulla estyä. Verkon suojausten tekemät jälleenkytkennät epäonnistuvat tilanteessa, missä esimerkiksi tuulivoimala ylläpitää valokaarta ”jännitteettömänä” aikana. (Repo et al., 2003)

Tuotantoyksikön pienestä koosta seuraa luonnollisesti taloudellisen riskin pienentyminen verrattuna perinteisiin suuriin voimaloihin. Toisaalta esimerkiksi pienvesivoiman kohdalla ei investointipäätöstä tehtäessä välttämättä osata huomioida laitoksen pitkää käyttöikää, jolloin rakennuttamispäätös voi jäädä tekemättä virheellisten kannattavuuslaskelmien johdosta. Sähkön ja energian käytön keskittyessä myöhemmin alueellisesti toiseen paikkaan, voidaan hajautettu tuotantolaitos siirtää tarvittaessa lähemmäksi uutta käyttöpistettä. Esimerkiksi kaasumoottori- tai mikroturbiinivoimala voidaan rakentaa konttiin mitä on helppo liikutella. Hajautettu tuotanto tarjoaa etuja energian myyjälle sekä sen ostajalle mahdollisesti parantuneena sähkön toimitusvarmuutena. Hajautetun tuotannon lisäämisellä on myös työllistävää vaikutusta erityisesti järjestelmien suunnittelun osalta. Laitosten käyttö ei välttämättä luo paljoakaan työpaikkoja, mutta niiden rakentaminen ja siihen liittyvät valmistelutyöt työllistävät paikallisella tasolla.

3.1. Tuulivoima

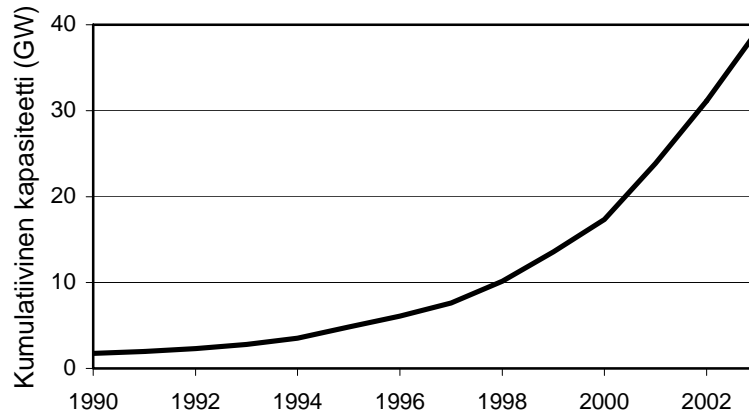
Tuulivoimala saa energiansa nimensä mukaisesti tuulesta. Ilman virratessa tuulivoimalan roottorin lapojen ohi syntyy lavan pintojen välille paine-ero. Lavan tuulen puoleisella pinnalla on suurempi ilmanpaine kuin vastakkaisella puolella, mikä saa aikaan turbiinin pyörivän liikkeen. Tuulen liike-energia muunnetaan tällä periaatteella tuuliturbiinin roottorissa mekaaniseksi pyörimisliikkeeksi. Pyörimisliikkeen energia johdetaan edelleen generaattoriin, joka tuottaa sähköverkkoon syötettävän sähkön. Nosteperiaatetta käyttävät turbiinit ovat tällä hetkellä käytetyin tuulivoimatekniikka. Toinen vaihtoehto olisi niin sanottua vastuseriaatetta käyttävä turbiini. Sähköntuotantoon sitä ei kuitenkaan käytetä sen heikompien ominaisuuksien takia, joten tässä selvityksessä tarkastellaan ainoastaan nostetta hyödyntäviä tuulivoimaloita. (Laaksonen et al., 2003; Lehtonen et al., 2003)

Ensimmäiset kaupalliset tuulivoimalat 1980-luvulla olivat teholtaan muutamia kymmeniä kilowatteja. 1990-luvun alussa suurimman saatavilla olevan tuulivoimalan teho oli 500 kW, kun nykyisin on ostettavissa jo 5 MW tehoisia yksiköitä. Tämänhetkisen teknisen tietämyksen nojalla näyttää taloudellisesti haasteelliselta kehittää tätä suurempia tuulivoimaloita, sillä roottoreiden kustannukset lisääntyvät halkaisijaa kasvatettaessa huomattavasti nopeammin kuin energian tuotanto. Teholtaan megawatin kokoisten tuulivoimaloiden roottoreiden halkaisijat ovat suurimmillaan yli 120 metriä. (EWEA, 2003; Peltola et al., 2001)

Tuulivoima on hyvin investointivaltainen sähköntuotantomuoto. Vuotuiset ylläpito- ja käyttökustannukset ovat vain noin 2 % laitoksen investointikustannuksista. Tuulivoima on tosin niin nuori tuotantomuoto, että todellisista huolto- ja käyttökustannuksista ei ole vielä pitkän aikavälin kokemusta. Investointikustannukset ovat suurempien ja kustannustehokkaampien laitosten tullessa markkinoille pienentyneet vuosi vuodelta. Tekninen kehitys ja erityisesti sarjatuotantoon siirtyminen ovat laskeneet tuulivoiman kustannuksia. Investointikustannukset ovat nykyään maalle rakennettavan tuulivoimalan osalta 750 – 1 100 €/kW ja offshore -tyyppisessä voimalassa 1 250 – 2 000 €/kW. Erityisesti offshore -voimaloiden kustannukset ovat olleet jyrkässä laskussa viime vuosina. Käyttö- ja ylläpitokustannuksissa on päästy suuren tuulivoimavoimavolymin omaavassa Saksassa 10 – 15 €/kW vuositasolle. Suomessa vastaavaksi luvuksi arvioidaan yleensä 25 €/kW. Tuotantokustannukseksi saadaan Suomessa 20 vuoden takaisinmaksuajalla ja 4 - 6 %:n reaalikorolla 3 - 5 snt/kWh, riippuen sijoituspaikasta ja sen tuuliolosuhteista. Isossa-Britanniassa keskimääräinen tuotantokustannus tuulivoimalla on noin 3,7 snt/kWh. Offshore -tyyppisillä voimaloilla tuotantokustannukset ovat vielä maalle rakennettavia kalliimpia. Modernin tuulivoimalan rakentamiseen, käyttöön ja purkamiseen käytettävän energian tuottamiseen menee tuulivoimalalla aikaa normaaleissa tuuliolosuhteissa kahdesta kolmeen kuukauteen. (DWIA, 2004; BWEA, 2004; Holttinen, 2004b; Tuulivoima, 2004)

Vuoden 2003 lopussa maailmassa oli asennettuna tuulivoimaa noin 39 000 MW, josta Euroopassa noin 73 %. Tuulivoiman hyödyntäminen on kasvanut nopeasti viime vuosina, kuten kuvasta 12 voidaan havaita. Voimakkainta kasvu on ollut 1990-luvun lopulta lähtien keskimääräisen kasvun ollessa noin 30 % vuodessa. Tuulivoiman kapasiteetista puhuttaessa unohdetaan usein mainita käyttökerroin. Tuulivoimalla tavanomainen käyttökerroin noin 30 % tarkoittaa sitä, että voimalat tuottavat ainoastaan kolmasosan ajastaan sähköenergiaa ja ovat muulloin py-

sähdyksissä. Tuulivoiman käyttökertoimeen vaikuttaa käytännössä ainoastaan tuuliolosuhteet, joihin ei asennuspaikan oikean valinnan lisäksi pystytä muuten vaikuttamaan. (IEA, 2003a)



Kuva 12. Tuulivoiman asennettu kapasiteetti maailmassa. (IEA, 2003a)

Euroopassa tuulivoiman hyödyntäminen on keskittynyt lähinnä Saksaan, Espanjaan ja Tanskaan. Nämä maat yhdessä omaavat 60 % maailman asennetusta tuulivoimakapasiteetista. Euroopan ulkopuolella muita merkittäviä tuulivoiman markkina-alueita ovat viime vuosina olleet Yhdysvallat ja Intia. Näiden viiden maan tuulivoimakapasiteetti on yhteensä noin 32 000 MW.

Tuulivoima poikkeaa perinteisistä sähkön tuotantotekniikoista lähinnä tuotannon ajallisen vaihtelun osalta. Tuulivoimaloita pyritään käyttämään maksimiteholla aina tuuliolojen sen salliessa. Sähköverkon tehotasapaino on hoidettava tuulivoimatuotannon vaihdellessa säädettävien lämpövoimalaitosten ja vesivoiman avulla. Suomessa olevien tuulipuistojen koot ovat tällä hetkellä vielä niin pieniä, ettei niillä ole vaikutusta häiriöreserveihin. Tuulivoiman vaikutus alkaa näkyä normaaleissa käyttöreserveissä, kun tuulivoimalla tuotetaan 5 – 10 % sähkön tarpeesta. Pienemmillä osuuksilla tuotannon vaihtelut hukkuvat sähkön normaaleihin käyttövaihteluihin. Tuulivoima voidaan ajatella tällöin negatiiviseksi kuormaksi. Lisääntötarpeen kustannus on luokkaa 2 €/MWh, kun tuulivoiman osuus on 10 % sähkön tuotannosta. (Holtinen, 2004a)

Tuulisuuden ja tuotannon ennustaminen tulee olemaan tuulivoimaloiden lisääntyessä yhä tärkeämpää. Tuuliatlaksilla saadaan tuulisuudesta karkea arvio, mutta varsinaiseen tuotannon ennustamiseen niistä ei ole. Asennuspaikalta mitatun säähavaintoaineiston sekä sääennusteiden avulla päästään huomattavasti tarkempaan tulokseen. Tuotannon ennustamiseen on kehitetty esimerkiksi neuroverkkoja hyödyntäviä malleja. Toiset menetelmät käyttävät ennustuksessa pelkästään tuulienopeuden aikasarjoja, kun taas pidemmälle, jopa kahden vuorokauden päähän, ulottuvissa ennusteissa käytetään jo meteorologista aineistoa. Sähkön tuotantoyhtiöissä tarkkojen ennustuksien käytöllä voidaan tehdä suuria säästöjä ja jopa voittoakin, kun viimehetken lisätuotantoa ei tarvitsekaan ostaa sähköpörssistä tai käynnistää kallista huippuvoimaitosta. (Holtinen, 2004a; Pohjolan Voima, 2001)

3.2. Biomassan poltto ja kaasutus

Biomassan polttaminen on ollut ensimmäisiä ja nykyisinkin käytetyimpiä tapoja hyödyntää biomassan sisältämää energiaa. Sähköntuotannossa käytetään yleensä ratkaisuja, joissa on yhdistettynä sähkön- ja lämmöntuotanto. Puhutaan niin sanotuista CHP -voimalaitoksista. Biomassaa polttamalla saadaan tuotettua lämpöä, joka edelleen lämmittää ja höyrystää vettä. Höyry johdetaan turbiiniin paisumaan, joka pyörittää generaattoria. Sähkön tuotanto on useassa tapauksessa prosessin sivutuote, sillä lämmön tarve esimerkiksi jossakin kuivausprosessissa voi olla tärkeintä. Höyryturbiinin sijasta voidaan generaattoria pyörittää myös höyrykoneella. Sähköteholtaan alle 1 MW sovelluksissa höyrykone on usein kustannusmielessä edullisempi vaihtoehto turbiiniin verrattuna. Höyrykoneen kilpailukykyinen tuotantoteho alkaa noin 20 kW_e:sta ylöspäin, joten se soveltuu hyvinkin pieniin sovellutuksiin. Hyötysuhde laskee monen lämpövoimakoneen tavoin teholuokan pienentyessä. (VTT, 1999a)

Polttotekniikoista arinapoltto edustaa perinteistä tekniikkaa ja on ollut käytetyin kiinteiden polttoaineiden polttomenetelmä pienissä ja keskisuurissa (alle 10 MW_{th}) voimaloissa. Polttoaineena käytetään tyypillisesti puuhaketta sekä metsäteollisuuden sivutuotteita. Itse arinapolttajärjestelmästä voidaan erottaa kolme eri osajärjestelmää. Tärkeimpänä on itse arina, missä polttoaine poltetaan. Arina voi olla rakenteeltaan kiinteä tasoarina tai kiinteä viistoarina. Mekaanisia viistoarinoita ja ketjuarinoita käytetään myös. Erikoisempaa arinaratkaisua edustaa pyörivä kekoarina, jossa vyöhykkeisiin jaettuja arinan osia voidaan pyörittää vuorotellen paremman palamisen aikaansaamiseksi. Erikoisemmat polttoainelaadut, kuten jätteet ja korsi-biomassat, vaativat käytännössä mekaanisen arinan. Arinan valinta tehdään kattilan koon ja polttoaineen laadun mukaan. Kiinteää arinaa käytetään yksinkertaisuuteensa takia pienimmissä kattiloissa ja hyvälaatuisen hakkeen poltossa. Arinan lisäksi toinen osakokonaisuus on polttoaineen syöttö. Arinalle polttoainetta syöttävän järjestelmän tehtävänä on levittää polttoaine koko arinan leveydelle tasaiseksi kerrokseksi. Polttoaineen syötössä käytetään painovoimaan perustuvia polttoaineen syöttöjärjestelmiä sekä arinan alapuolelta tapahtuvaa ruuvisyöttöä. Primäärinen palamisilma syötetään arinan alta, polttoaineen lävitse. Huono polttoaineen leviäminen arinalle aiheuttaa syötetyn palamisilman hallitsematonta karkailua. Palamisilman syöttöjärjestelmä on myös oma kokonaisuutensa. Arinapolton etuina voidaan pitää laitoksen pientä omakäyttötehoa. Polttoaineen ei tarvitse myöskään olla kovin pieneksi jauhettua. Savukaasun hiukkaspitoisuus on myös pieni, koska valtaosa tuhkasta poistuu arinan kautta. Yksinkertaisten syklonien käyttö savukaasukanavassa takaa tällöin riittävän puhdistusasteen, jolloin päästään taloudellisesti järkevään lopputulokseen. Heikkona puolena erityisesti kiinteää arinaa käytettäessä on automatisoinnin hankaluus ja tehon säädön hitaus. Arinakattilat säilyttänevät markkinoilla osuutensa käytetyimpänä kattilatyypinä alle 5 MW:n teholuokassa käytettäessä kotimaisia polttoaineita. (Helynen et al., 2002; Savon Voima, 2001)

Toinen polttotapa arinapolton lisäksi on leijukerros poltto. Leijupoltto voidaan toteuttaa joko kuplivassa leijukerroksessa (kerrosleiju) tai kiertoleijukerroksessa (kiertoleiju). Kerrosleijussa leijukerros hiukkaset pysyvät leijukerroksessa, kun taas kiertoleijussa kiintoainehiukkaset kulkevat leijutuskaasun mukana pois leijutustilasta, jonne ne on palautettava takaisin jatkuvuustilan aikaansaamiseksi. Kerrosleijua käytetään usein matalalämpöarvoisten polttoaineiden poltossa. Kiertoleijua on enimmäkseen käytetty korkeampilämpöarvoisten vaikeasti poltettavien polttoaineiden kanssa. Leijupoltossa leijukerroksen lämpötilan vaihteluväli on

750 - 900 °C. Lämpötilan ylärajan määrää käytetyn polttoaineen tuhkan sulamislämpötila. Tuhka tarttuu sulaessaan tehokkaasti esimerkiksi lämmönsiirtopintoihin ja toimii tällöin eristeenä. Kattilassa käytettävän leijumateriaalin tehtävänä on tehostaa polttoaineen sekoittumista ja lämmönsiirtoa. Samalla se tasaa suuren lämpökapasiteettinsa ansiosta polttoaineen laatuvarioitelmia. Leijumateriaalina käytetään useita eri hiekkalaatuja. Kerrosleijupoltossa polttoaine syötetään leijuvan hiekkapedin päälle mekaanisesti. Polttoainesiilon alapäästä polttoaine kuljetetaan kolakuljettimilla sulkusyöttimille, mistä polttoaine jaetaan tulipesän koko pohja-alalle pudotustorvien avulla. Hiekkapeti pidetään leijunnassa paineilman avulla, jolloin osa polttoilmasta tulee palotilaan alakautta. Suurempien leijutusnopeuksien ja hienojakoisemman leijutushiekan johdosta kierto-leijukattilasta ei ole erotettavissa selvää pedin yläpintaa, hiekkapedin tiheys vain pienentyy kattilan yläosia kohti. Kaasuvirtauksen mukana kulkeutuva petihiekka erotetaan syklonilla ja palautetaan takaisin tulipesään. Polttoaineen syötössä käytetyin tapa on sekoittaa se syklonista palautettavan petihiekan joukkoon. Molemmissa leijukattilatyypeissä tuhka ja muut hienojakoiset hiukkaset kulkeutuvat savukaasujen joukossa, josta ne puhdistetaan useimmiten sähkösuotimilla. (Helynen et al., 2002; Savon Voima, 2001)

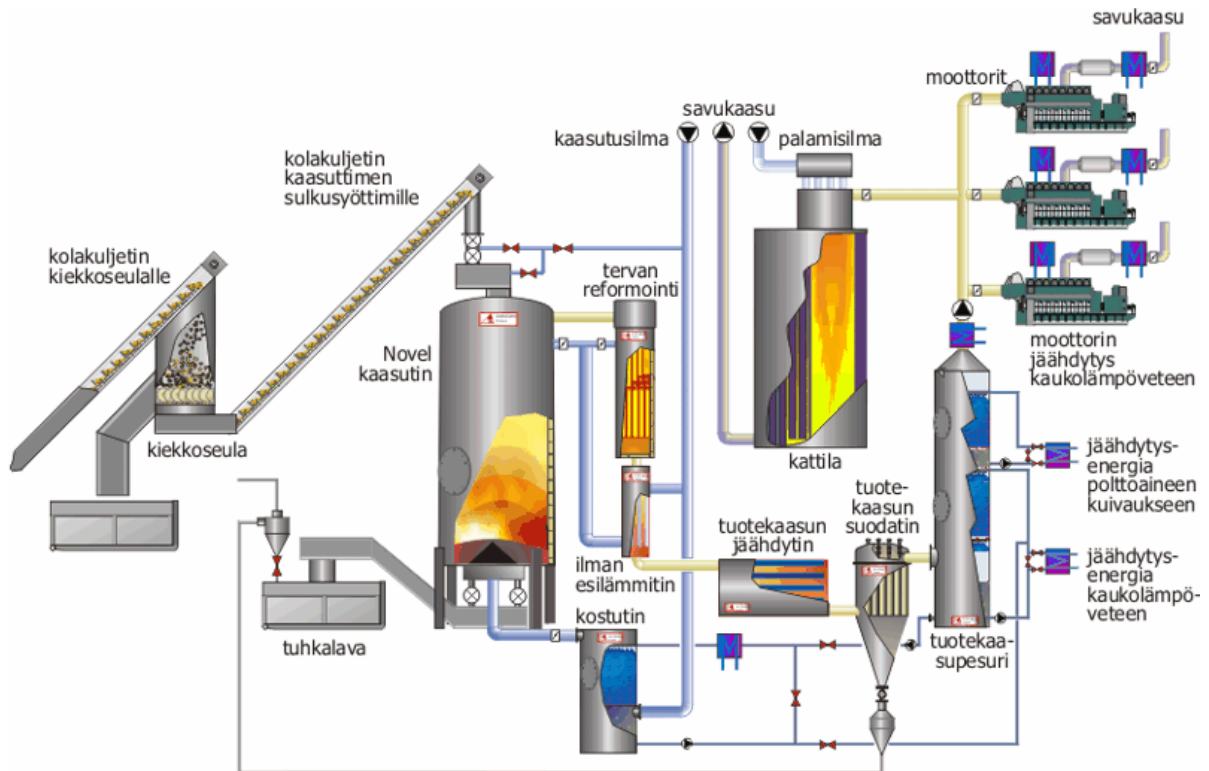
Biomassan suoran polttamisen lisäksi on olemassa energiatehokkaampiakin prosesseja tuottaa sähköenergiaa. Yksi tällainen vaihtoehto on biomassan kaasutus, johon perustuvia kaasutuslaitoksia on rakennettu muutama Suomeenkin. Polttoaineen kaasutuksella tarkoitetaan prosessia, missä kaasuttavan aineen (ilma, happi, vesihöyry) happi reagoi kiinteän tai nestemäisen polttoaineen kanssa. Korkeassa lämpötilassa ja stökiometristä pienemmällä ilmakertoimella muodostuu tuotekaasu, joka sisältää palavina komponentteina hiilimonoksidia, vetyä ja metaania. Kaasutusprosessi alkaa polttoaineen kuivumisella. Seuraavaksi polttoaineesta poistuvat haihtuvat aineet, jolloin tapahtuu niin sanottu pyrolysoituminen. Viimeisessä vaiheessa tapahtuvat varsinaiset kaasutusreaktiot. Kiinteän polttoaineen kaasutustavat voidaan jakaa prosessin lämmöntuontitavan perusteella kahteen ryhmään. Autotermisessä kaasutuksessa osa kaasutettavasta polttoaineesta reagoi (pala) kaasutusreaktioiden jälkeen kaasutusreaktoriin tuodun hapen kanssa ja vapauttaa lämpöä. Allotermisessä kaasutuksessa kaasutusreaktioiden tarvitsema energia tuodaan reaktoriin ulkopuolelta. Kaasutus ja muu siihen liittyvä prosessi voidaan toteuttaa normaali-ilmanpaineisena tai paineistettuna. Korkeamman paineen käyttö pienentää laitteiston fyysisiä mittoja, mutta monimutkaistaa järjestelmää. (Raiko, 2004; VTT, 1999a)

Pienessä teholuokassa käytetyimmät kaasutusprosessit perustuvat kiinteäkerroskaasutukseen, mikä voidaan edelleen jakaa vastavirta- ja myötävirtakaasutukseen. Vastavirtakaasuttimessa polttoaine syötetään reaktorin yläosaan ja kaasuttava aine alaosaan. Koska toiminta perustuu polttoainekerroksen hitaaseen valumiseen reaktorissa alaspäin ja kaasujen virtaukseen polttoainekerroksen läpi, polttoaineeksi soveltuu vain tasalaatuinen palamainen polttoaine. Partikkelikoon täytyy tällöin olla suuruudeltaan muutamia senttimetrejä. (VTT, 1999a)

Kaasutuskaasua voidaan käyttää dieselmoottorin polttoaineena, mikä mahdollistaa sähköntuotannon pienessä kokoluokassa korkeammalla hyötysuhteella kuin vastaavaa biomassaa käyttävässä leijupolttoon perustuvassa höyryvoimaprosessissa. Kannattavuutta heikentää kuitenkin järjestelmän monimutkaisuus, polttoaineen kuivaus ja tuotekaasun puhdistus. Kaasutuskaasua voidaan käyttää myös maakaasukäyttöisissä kaasuturbiinivoimalaitoksissa ja kombivoimaloissa joko yksistään tai tukipolttoaineena. Sähköntuotannon hyötysuhde on korkeimmillaan käytettä-

essä biomassan kaasutuskaasua kaasumoottorissa. Tuotekaasu voidaan polttaa myös höyrykattilassa, minkä yhteydessä on höyryturbiini tai -kone. (VTT, 1999a)

Kuvassa 13 on esitetty biopolttoaineen kaasutukseen perustuva Novel-voimalaitosprosessi. Sen sähköteho on voimalaitoksen koosta ja käyttötarkoituksesta riippuen 0 – 3 MW_e. Laitoksen sähköntuotannon hyötysuhde on polttoaineen alkukosteudesta riippuen 30 – 36 %. Märällä polttoaineella saavutetaan korkeampi hyötysuhde. Kaasutus tapahtuu vastavirtaperiaatteella arinan alle syötettävällä ilmalla. Polttoaine syötetään ruuvilla pyörivälle arinalle. Kaasu johdetaan kaasuttimelta tervan poiston sekä suodatuksen ja pesun jälkeen kaasumoottoreille poltettavaksi. Moottoreihin kytketyillä generaattoreilla tuotetaan sähköä. Haluttaessa lisätä lämmöntuottoa voidaan osa kaasusta polttaa myös moottoreiden rinnalle kytketyssä kattilassa. Lämmöntuotannossa hyödynnetään myös moottoreiden ja tuotekaasun puhdistuslaitteiston jäähdytysvesiä. (Condens, 2004)



Kuva 13. Kiinteän polttoaineen kaasutusprosessiin yhdistetty moottorivoimalaitos. (Condens, 2004)

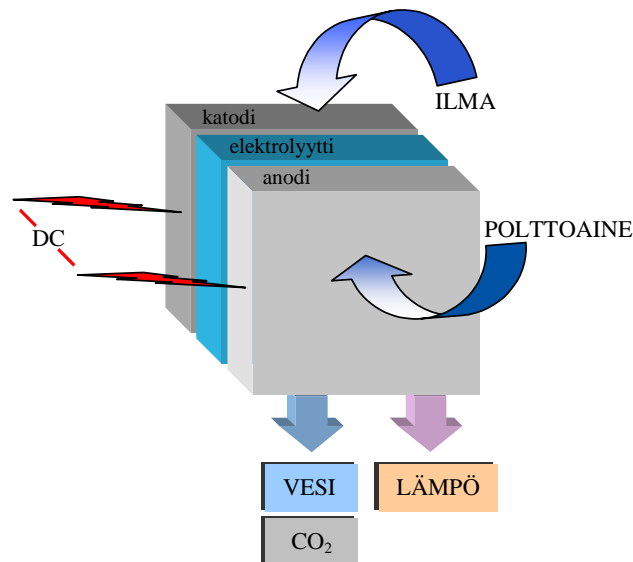
Kaasumoottori on tehokas ja hyvän hyötysuhteen omaava tapa tuottaa sähköä. Kaasumoottorissa voidaan polttoaineena käyttää kaasutuskaasun lisäksi kaatopaikkakaasuja sekä biokaasureaktorin tuottamaa metaanikaasua. Sähköntuotannon hyötysuhteessa päästään esimerkiksi Wärtsilän 6,06 MW_e tehoisessa moottorissa maakaasulla parhaimmillaan noin 46 %:iin. Hyötysuhteeltaan biokaasumoottorit vastaavat maakaasumoottoreita. Kaasumoottoreita on toimintaperiaatteeltaan kahdenlaisia, puristus- ja kipinäsytytteisiä. Puristusytytteisessä moottorissa kaasun ja ilman seos sytytetään ruiskuttamalla sylinteriin tai esikammioon puristusvai-

heen lopussa pieni määrä nestemäistä polttoainetta, joka syttyy ja sytyttää varsinaisen kaasun ja ilman seoksen. Moottori tarvitsee näin ollen jatkuvasti pienen määrän nestemäistä polttoainetta toimiakseen. Täydellä teholla ”sytytysnesteen” osuus on moottorityypistä riippuen 1 – 5 % moottoriin syötettävästä polttoainetehosta. Kipinäsytytteisessä moottorissa kaasun ja ilman seos sytytetään sytytystulpan kipinällä tavallisen ottomoottorin tavoin. Biokaasun käyttö on mahdollista myös kaasuturbiineissa. Korkeiden lämpötilojen ja savukaasujen suuren virtausnopeuden johdosta polttoaineelle asetetaan kuitenkin suuret puhtausvaatimukset. Biodieselin (kasviöljyestereiden) käyttö on myös yksi mahdollisuus kaasumoottoreissa. Biodiesel soveltuu sellaisenaan käytettäväksi myös useimmissa dieselmooottoreissa. Polttoainetta voidaan valmistaa esimerkiksi rypsiä tai muista öljykasveista. Valmistus tapahtuu esimerkiksi kylmäpuristamalla ensin raaka kasviöljy siemenistä. Öljy on esteröintiprosessin jälkeen käytettävää. Reaktiossa on kasviöljyn lisäksi mukana jotain alkoholia, tavallisesti metanolia. Lipeää käytetään myös yhtenä lisäkomponenttina halutun reaktion toteuttamiseksi. (Jalovaara et al., 2003; Liimetti, 2004; Motiva, 2004; Wärtsilä, 2004)

3.3. Polttokennot

Polttokennossa tai oikeammin sanottuna polttoainekennossa sisään syötetty polttoaine muunnetaan sähkökemiallisen reaktion kautta suoraan sähköksi ja lämmöksi. Polttoainevaihtoehtoja on useita. Polttokennon toimintaa verrataan usein paristoon tai akkuun, mutta toisin kuin akuissa, reaktion osapuolet tuodaan polttokennoon ulkopuolisista lähteistä. Polttoainetta ei myöskään polteta sanan varsinaisessa merkityksessä. Kun mikään ei pala, ei toimintaa rajoita myöskään lämpövoimakoneiden maksimihyötysuhteet. Teoreettinen maksimihyötysuhde vety-happi-polttokennolla on standardiolosuhteissa 82,5 %. Hyötysuhteen määritelmänä on hyödyksi saatavan Gibbsin energian ja polttoaineen sisältämän entalpian suhde. (HUT, 2004)

Polttokennon rakenne voidaan jakaa toiminnan kannalta kolmeen eri osaan; anodiin, katodiin ja elektrolyyttiin kuvassa 14 esitettävällä tavalla. Varsinainen polttokennojärjestelmä sisältää useita näistä komponenteista rakennettuja kennoja sähköisesti sarjaan kytkettynä halutun jännitetaso aikaansaamiseksi. Sarjaan kytkettyä polttokennopinoa kutsutaan usein termillä ”stack”. Rinnan kytkemällä saadaan taasen haluttu tehotaso järjestelmään. Järjestelmän negatiivisena elektrodina toimii anodi ja positiivisena katodi, mitkä yhdistetään toisiinsa elektrolyytillä. Polttoaine syötetään negatiiviselle anodille, missä se hapettuu. Vapautuvat elektronit johdetaan ulkoisen kuorman kautta katodille, jolloin katodille johdettu happi pelkistyy. Elektrodien tehtävä on tarjota alusta, missä kennon toiminnan kannalta tarvittavat reaktiot voivat tapahtua. Samalla niiden tehtävänä on reaktiokaasujen erottaminen elektrolyytistä sekä johtaa ioneja elektrolyytin lävitse. Elektrolyytin tehtävänä on sen sijaan erottaa anodin ja katodin ainevirrat toisistaan, sekä kuljettaa ioneja elektrodilta toiselle kennon oikean varaustasapainon säilyttämiseksi. (HUT, 2004)



Kuva 14. Polttokennon toimintaperiaate. (DoD Fuel Cell, 2004)

Polttokennon päästöinä on pelkästään vettä, jos polttoaineena käytetään puhdasta vetyä ja happea. Muilla polttoaineilla syntyy usein myös muita päästöjä kuten hiilidioksidia. Paremman hyötysuhteensa ansiosta päästöt tuotettua energiayksikköä kohden ovat kuitenkin tavanomaisia tuotantomuotoja pienemmät.

Polttokennoja on monenlaisia ja ne voidaan luokitella eri ominaisuuksien perusteella. Polttokennotyypit eroavat toisistaan lähinnä käytetyn elektrolyytin, toimintalämpötilan ja polttoaineen mukaan. Toimintalämpötila ja polttoaine määräävät usein myös lopullisen sovelluskohteen. Matalan toimintalämpötilan polttokennot käyttävät polttoaineenaan tyypillisesti puhdasta vetyä. Korkean lämpötilan polttokennoissa voidaan käyttää polttoaineena vedyn lisäksi myös muita kaasuja. Käytetyin ja yleisin menetelmä polttokennojen luokitteluun on elektrolyytin mukaan tapahtuva jaottelu. Näin luokiteltuina yleisimmät viisi polttokennoteknologiaa ovat polymeerielektrolyyttipolttokenno (PEMFC), alkalipolttokenno (AFC), fosforihappopolttokenno (PAFC), sulakarbonaattipolttokenno (MCFC) ja kiinteäoksidipolttokenno (SOFC). Näistä MCFC ja SOFC ovat korkean lämpötilan kennoja ja muut matalan lämpötilan kennoja. Tavallisimpia polttokennotekniikoita ja niiden tärkeimpiä ominaisuuksia on koottu taulukkoon 1.

Polttokennon kaupallistumisvuosi taulukossa 1 ei ole yksikäsitteinen. Polttokennotekniikoiden kohdalla esiintyvät vuosiluvut ovat vuosia, jolloin kyseistä tekniikkaa on tullut markkinoille ja sitä on ollut mahdollista hankkia. Taloudellisesti kilpailukykyisiä ne eivät ole, muutamia erikoissovelluksia lukuun ottamatta.

Taulukko 1. Polttokennotekniikoiden ominaisuuksia. (DoD Fuel Cell, 2004; IEA, 2004b, WBDG, 2004)

Ominaisuus	PEMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC
Elektrolyytti	kiinteä polymeeri	kaliumhydroksidi matriisiin kiinnitettynä	nestemäinen fosforihappo matriisissa	litium-kalium- tai litium-natrium-karbo-naatti imeytettynä matriisiin	kiinteä zirkoniu-um-oksidi
Lämpötila (°C)	60 – 100	90 – 100	175 – 200	600 – 1000	600 – 1000
Hyötysuhde (%)	40 – 50	50 – 70	40 – 50	50 – 60	40 – 50
Varauksen kul-jettaja	H ⁺	OH ⁻	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ²⁻
Polttoaine	H ₂	H ₂	H ₂	H ₂ , CO	H ₂ , CO, CH ₄
Teholuokka (kW)	1 – 250	25 – 100	50 – 1 000	250 – 10 000	1 – 10 000
Tehotiheys (kW/m ²)	3,8 – 13,5	0,7 – 8,1	0,8 – 1,9	0,1 – 1,5	1,5 – 5,0
Käynnistysaika (h)	0,01 – 0,1	< 0,1	1 – 4	5 – 10	5 – 10
Reformointi	ulkoinen	ulkoinen	ulkoinen	sisäinen tai ul-koinen	sisäinen tai ul-koinen
Käyttökohde	liikenne, CHP, hajautettu ener-gian tuotanto	avaruuslennot, sukellusveneet, liikenne	CHP, hajautettu energian tuotan-to	CHP, hajautettu ja keskitetty energian tuotan-to	CHP, hajautettu ja keskitetty energian tuotan-to
Kaupallinen (vuosi)	2000	1960	1993	2003	2003

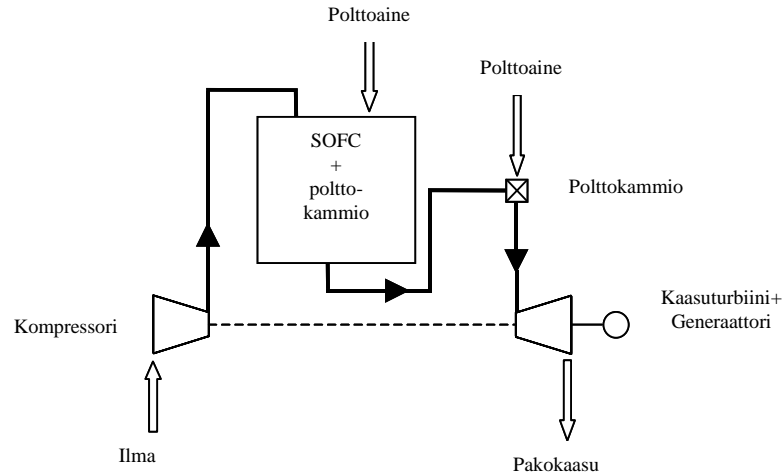
Polttokennojärjestelmillä on monia hyviä ominaisuuksia, mitkä tekevät niistä soveltuvia energian muuntoprosesseihin. Tärkein on sähköntuotannon suhteellisen korkea 45 – 55 %:n hyötysuhde. Käytettäessä niin sanottua yhdistettyä järjestelmää, missä polttokennon lämmöllä käytetään kaasuturbiinia päästään hyötysuhteessa yli 70 %:iin. Polttokennojärjestelmien hyviä puolia ovat myös ympäristöä rasittavien päästöjen vähäisyys sekä hiljainen toimintääni. Tässä kohtaa on hyvä kuitenkin huomioida se, että vedyn tuottaminen polttokennoihin voi aiheuttaa päästöjä kuten myös hiilivedytien käyttö polttoaineena. Kennotyypistä riippumatta polttoainevaihtoehtoja on useita, sillä kaikista hiilivedyistä voidaan valmistaa vetyä. Järjestelmän koolla ei ole juurikaan vaikutusta sähköntuotannon hyötysuhteeseen, joten pienitehoiset järjestelmät toimivat yhtä tehokkaasti kuin suuret usean megawatin tehoiset järjestelmät. Polttoaineen valmistusprosessi on kylläkin koosta riippuvainen, mikä laskee kokonaishyötysuhdetta pienillä järjestelmillä. (EG&G, 2000)

Polttokennojen hyvien ominaisuuksien vastapainoksi löytyy myös haittapuolia. Kaikille kennotyypeille yhteinen ominaisuus on suhteellinen lyhyt käyttöikä, joka on parhaimmillaankin vähän yli viisi vuotta. Tehon säätö on tiettyjen sovellusten kannalta hidasta ja kennosta otettavan tehon jatkuva vaihtelu lyhentää sen käyttöikää. Tietyillä kennotyypeillä polttoaineen puhtausvaatimukset ovat äärimmäisen tarkkoja. Polttoaine yleensäkin on ongelma, erityisesti sen valmistus kustannustehokkaasti ja ympäristöystävällisesti. Polttoaineen jakelu ja varastointi on sähköntuotantoa ajatellen myös ratkaisematon ongelma.

Soveltuvuutta hajautettuun sähköntuotantoon voidaan tarkastella kunkin kennotyyppin etujen ja haittojen avulla. Polymeeripolttokennon hyvänä puolena on alhaisesta toimintalämpötilasta johtuva nopea käynnistyminen, mutta syntyntä lämpöä ei voida hyödyntää sähköntuotannossa. Muihin kennoihin verrattuna korkeiden virrantiheyksien käyttö on mahdollista, mutta rajoittavana tekijänä ovat lämpötilan ja kosteuden hallinta. Alkalipolttokenno on alun perin kehitetty avaruuslentoja varten, missä suoritusarvoilla on suurin painoarvo. Täydellinen hiilidioksidin puhtausvaatimus ei avaruuslennoilla ole ongelma, mutta tavanomaisissa energiantuotantosovelluksissa puhdistusjärjestelmistä tulee kohtuuttoman kalliita. Sen sijaan fosforihappokennossa hiilidioksidi ei muodosta ongelmaa, joten PAFC olikin ensimmäisiä potentiaalisia polttokennoja käytettäväksi sähköntuotantoon. Polttoaineena kennossa käytetään vetyä, johon reformoimalla valmistettu vety soveltuu käytettäväksi sellaisenaan. Reformointi tapahtuu ulkoisesti ja hiilimonoksidin pitoisuus on oltava alle 5 %. CHP-käyttöä ajatellen poistolämpö on riittävän kuumaa mahdollistaen höyryn kehityksen. (EG&G, 2000)

Edellisten kennotyyppien ominaisuuksista jokin asia on ollut rajoittavana tekijänä laajamittaisempaa sähköntuotantoa ajateltaessa. Korkean lämpötilan kennoista sulakarbonaattipolttokennossa (MCFC) ei tarvitse käyttää kallista katalyyttia, ja reformointi tapahtuu sisäisesti kennossa. Pöistölämmöllä voidaan pyörittää kaasuturbiinia tai tuottaa korkeapaineista höyryä. Haittapuolena tällä kennolla on elektrolyytin voimakkaasti syövyttävä ominaisuus, jolloin rakenteissa on käytettävä ruostumatonta terästä. Kiinteäoksidipolttokennossa MCFC:n hyvien puolien lisäksi elektrolyytin kiinteä olomuoto antaa vapauksia rakenteen ja käytön suhteen. Polttoaineen puhtaudenkaan osalta vaatimukset eivät ole aivan yhtä kovat, sillä kenno sietää korkeampia rikkipitoisuuksia polttoaineessa. Hiilidioksidin kierrätystä anodilta katodille ei myöskään tarvita. Korkeammasta lämpötilasta johtuen materiaaleilta vaaditaan kuitenkin paljon, mikä aiheuttaa haasteita valmistustekniikkaan. Kennojännite on myös matalampi elektrolyytin suuremman resistiivisyyden takia. Näistä seikoista huolimatta SOFC nähdään potentiaalisimpana vaihtoehtona hajautetussa sähköntuotannossa. (EG&G, 2000; Little, 2000)

Polttokennon hyötysuhdetta on mahdollista entisestään parantaa ja samalla pienentää kustannuksia, kun polttokenno ja kaasuturbiini liitetään yhteen. Tätä yhdistelmää kutsutaan usein hybridiksi. Hyötysuhde nousee käytännössä korkeammaksi kuin kummallakaan tekniikalla on mahdollista erikseen saavuttaa. Saman tehoiseen polttokennoon verrattuna perustamiskustannukset ovat hybridillä noin 25 % pienemmät. Polttokennoina järjestelmissä käytetään sulakarbonaatti- ja kiinteäoksidikennoja niiden korkean toimintalämpötilan takia. Kuvassa 15 on esitetty periaatekaavio kiinteäoksidipolttokennon ympärille rakennetusta hybridijärjestelmästä. (EG&G, 2000)



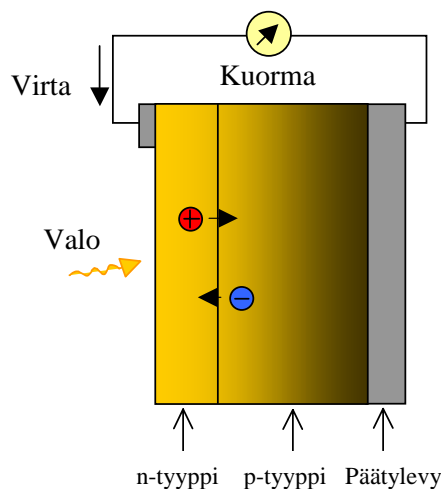
Kuva 15. Kiinteäoksidipolttokennon ja kaasuturbiinin muodostama hybridi (Little, 2000).

Yksinkertaisimmillaan hybridi voidaan toteuttaa korvaamalla kaasuturbiinikoneikossa polttokammio polttokennolla. Polttokennon ja kaasuturbiinin lisäksi tarvitaan vielä matalan painesuhteen omaava ilmakompressori. Polttokennon perään sijoitetaan tavallisesti kuvan 15 tapaan vielä polttokammio. Kammioon johdetulla lisäpolttoaineella voidaan kaasujen lämpötilaa nostaa ennen niiden johtamista turbiiniin. Polttokennon poistolämpö ohjataan siis pyörittämään kaasuturbiinia. Kaasuturbiinin jälkeen pakokaasuissa on vielä merkittävästi lämpöenergiaa jäljellä. Lämpö voidaan ottaa talteen lämmönvaihtimessa ja lämmittää sillä polttokennoon syötettävää ilmaa tai vaihtoehtoisesti kaukolämpövedtä. Polttokenno voidaan sijoittaa toimimaan joko ennen kaasuturbiinia, niin kuin kuvassa 15 on, tai sen jälkeen. Polttokennon lämpötilataso määrittää, kummalle puolelle kaasuturbiinia se kannattaa sijoittaa. Sulakarbonaattipolttokennon pienemmän lämpötilatason johdosta se tavallisesti sijoitetaan kaasuturbiinin jälkeen. Kiinteäoksidipolttokennolla on kaasuturbiinin toiminnan kannalta riittävän korkea lämpötila, joten se voidaan asentaa toimimaan ennen turbiinia. Ennen turbiinia asennettu polttokenno on niin sanottu ”topping” prosessi ja vastaavasti turbiinin jälkeen sijoitettuna se on nimeltään ”bottoming”. Polttokennosta saatava sähköteho on tyypillisesti turbiinia selvästi suurempi, noin 70 - 90 % sähkön kokonaistuotannosta. (EG&G, 2000; Little, 2000)

Polttokennojen käytön kannalta olennainen tekijä on käynnistykseen kuluva aika, joka vaihtelee polttokennotyypeittäin. Käynnistysaika kasvaa toimintalämpötilan kasvaessa ja hybridijärjestelmissä käytetyillä kennoilla se on pisimpiä. Käytön tulisikin olla suhteellisen yhtäjaksoista, joten hybridilaitos soveltuu parhaiten käytettäväksi peruskuormalaitoksen tavoin. Hajautettua energiajärjestelmää suunniteltaessa hybridivoimala tulisi sijoittaa sellaiseen verkon kohtaan, missä sähkön tarve on jatkuvaa ja tasaista. Pitkien käyttöaikojen puolesta puhuu myös tavanomaisia tuotantomuotoja korkeammat pääomakustannukset. Korkea hyötysuhde maksaa investointikustannuksia takaisin ainoastaan, jos hybridilaitos on käytössä. Varavoimajärjestelmäksi sen hankkiminen ei ole vielä nykyisin taloudellisesti järkevää. (Little, 2000)

3.4. Aurinkosähkö ja -lämpö

Aurinkokenno muuttaa auringon säteilyn suoraan sähköksi fotosähköisen ilmiön välityksellä. Auringon valon fotonien absorboituessa puolijohdemateriaaliin vapautuu elektroneja. Fotonien energia siirtyy positiivisille ja negatiivisille varauksenkuljettajille, mitkä pystyvät liikkumaan vapaasti materiaalissa. Kenno koostuu kahdesta erilaisesta puolijohdemateriaalista, mitkä on liitetty toisiinsa. Materiaalien erilaisuudesta johtuen liitospinnan molemmiin puolin on erilainen varausjakauma, joka synnyttää sähkökentän. Fotonien vapauttamat varauksenkuljettajat liikkuvat syntyneen sähkökentän vaikutuksesta eri suuntiin kennossa, mitä kuva 16 havainnollistaa. Varauksenkuljettajat kulkeutuvat lopulta kennon vastakkaisille puolille. Yhdistämällä nämä pinnat ulkoisen virtapiiriin kautta voidaan syntynyt tasavirta johtaa hyötykäyttöön. (HUT, 2004; Lehtonen et al., 2003)



Kuva 16. Aurinkokennon toimintaperiaate. (BP, 2004a)

Aurinkokennon antama jännite riippuu lähes yksinomaan kennon suunnittelusta ja siihen käytetyistä materiaaleista. Kennosta saatava virta on sen sijaan riippuvainen auringon säteilyn hetkellisestä voimakkuudesta ja kennon pinta-alasta. Suurin teho kennosta saadaan tyypillisesti keskipäivällä. Aurinkokennosta ei luonnollisesti saada tehoa ulos lainkaan, kun auringon säteily ei osu kennon pintaan. Lämpimästä ilmanalasta on sinällään pelkästään haittaa kennon toiminnan kannalta. Aurinkokenno toimii parhaimmalla hyötysuhteella ja teholla viileässä ilmassa, ei esimerkiksi Saharan kuumuudessa. Kennon hyötysuhde määritellään kennon antotehon ja kennon pintaan osuvan auringon säteilytehon suhteena. (European Commission, 2004b)

Yleinen harhakuva aurinkopaneelien valmistusta koskien on se, että energiaa käytetään paneelien valmistamiseen enemmän kuin ne elinaikanaan pystyvät tuottamaan. Tämä on ollut kehityksen alkuvaiheessa varmasti totta, mutta nykyisin tilanne on aivan toinen. Monikiteisen piikennon valmistamiseen käytetyn energian tuottamiseen menee samalla aurinkopaneelilla kolmesta neljään vuotta. Kolmenkymmenen vuoden oletetusta käyttöiästään aurinkokennolla tuotetaan siten noin 26 vuotta energiataseen kannalta ilmaista energiaa. Elinikää rajoittaa lähinnä kennomateriaalissa tapahtuva hajoaminen, joka pienentää kennon antotehoa vajaan prosentin

vuosivauhdilla. Energian takaisinmaksuaika on riippuvainen käytetystä kennotyypistä. Ohutkalvotekniikkaan perustuvilla kennoilla energian takaisinmaksuaika on jopa alle kolme vuotta ja kehitteillä olevilla kennoilla ainoastaan vuosi. (DOE, 2004; Solpros, 2001)

Aurinkokennomarkkinat ovat voimakkaasti kasvava ala. Vuoden 2002 lopussa maailmassa oli asennettuna aurinkopaneeleita yhteisteholtaan vähän yli 1 900 MW. Vuonna 2003 asennettua tehoa oli paneelien tuotantomäärien perusteella arvioituna noin 2 500 MW. Kehitys on ollut varsin nopeaa, sillä vuonna 1999 asennettujen aurinkokennojen teho oli ainoastaan 600 MW. Kärkitilaa asennetun kapasiteetin osalta pitää tällä hetkellä Japani, jota seuraavat Saksa ja Yhdysvallat. Maailman asennetusta aurinkopaneelikapasiteetista noin kaksi kolmasosaa on näissä kolmessa maassa. Vuosittain kennojen valmistus maailmassa kasvaa nimellistehon mukaan laskettuna keskimäärin noin 30 %. Vuoteen 1995 verrattuna vuosittainen paneelien tuotanto on kymmenkertaistunut. Tuotantomäärien kasvaessa valmistuskustannukset ovat myös pienentyneet ja kennojen hinnat ovat puolittuneet aina kymmenen vuoden välein. Tehtaalta ulosmyyntihinta yksi- ja monikiteisille piikennoille oli vuonna 2003 noin 2,6 – 3,1 €/W ja amorfiisille piikennoille noin 1,9 – 2,9 €/W. (Renewable, 2004)

Aurinkokennojärjestelmien sovellukset voidaan jaotella asennus- ja käyttötavan perusteella. Verkkoon kytkemätön kotitalousjärjestelmä tuottaa sähköä yksittäiselle taloudelle tai kylälle kohteissa, missä ei ole sähköverkkoa taloudellisesti järkevällä etäisyydellä. Taloudelliseksi vaihtoehto muuttuu, kun etäisyys sähköverkkoon on yhdestä kahteen kilometriä. Paneeleilla pystytään tuottamaan riittävä teho valaistuksen ja muun pienimuotoisen kuorman tarpeisiin. Kehitysmaiden syrjäseutujen sähköistämässä kyläyhteisöjen omat aurinkopaneelit ovat usein toimivin ratkaisu. Toinen sovelluskohde sähköverkon ulkopuolella on erilaisten kommunikaatiojärjestelmien, väylämerkkien ja tieteellisten mittalaitteiden energian tuottaminen eli sovellukset, missä sähkön tarve on pientä, mutta sitäkin tärkeämpää. Aurinkopaneelit kaupallistuivat ensimmäisenä juuri näissä sovelluksissa. (IEA, 2004a)

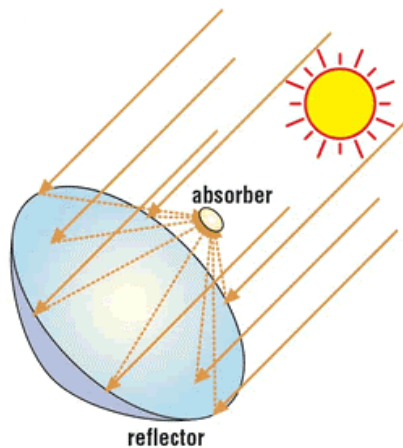
Aurinkoenergia mielletään usein pelkästään aurinkokennoilla tuotetuksi sähköksi, eikä termisiä aurinkovoimaloita huomioida juuri lainkaan. Termisissä voimaloissa käytetty tekniikka on kuitenkin ollut olemassa jo kauan ja kustannukset sähkön tuotannolle ovat olleet kohtuullisia yli 15 vuoden ajan. Terminen aurinkovoimalaitos toimii periaatteessa samalla tavalla muiden sähköntuotantoon tarkoitettujen höyryprosessien kanssa. Suurin yksittäinen ero liittyy lämmön lähteeseen. Kun muissa prosesseissa lämpö kehitetään polttamalla jotain polttoainetta, käytetään aurinkovoimalassa nimensä mukaisesti auringon lämpösäteilyä tarvittavan lämpötilan saavuttamiseksi. Auringon säteily kerätään erityisten heijastavien peilien avulla yhteen tai useampaan pisteeseen, missä auringon energia absorboituu työnesteeseen. Generaattoria pyöritetään normaalilla tavalla joko höyryturbiinilla tai –koneella. (EC, 2004b; Renewable, 2003)

Termisistä aurinkovoimaloista voidaan erottaa kolme päätyyppiä, joissa kaikissa suoran auringon valon saanti on välttämätöntä. Aurinkofarmit käyttävät parabolisia kouruheijastimia, mitkä keskittävät auringon säteet kourujen suuntaisiin putkiin, joissa virtaa lämmönsiirtoaine (kuva 4.9). Putkissa kiertää joko öljy tai vesi. Auringon vaikutuksesta lämmennyt neste ohjataan kootusti lämmönsiirtimien lävitse, jossa auringosta saatu energia luovutetaan höyryyn. Höyryn lämpötilataso on noin 350 – 400 °C. Höyryä voidaan haluttaessa vielä tästä tulistaa käyttämällä

esimerkiksi jotain polttoainetta. Laitosten teholuokka on tavallisesti 30 – 80 MW. (EC, 2004b; Renewable, 2003)

Aurinkotornivoimaloissa käytetään yhtä tornin huipulle asetettua keräintä. Tornia ympäröivät maassa kääntömoottorein varustetut peilit, mitkä seuraavat auringon liikettä ja heijastavat auringon säteilyn tornissa olevaan yhteiseen polttopisteeseen. Tornissa lämmönsiirtoaineena käytetään natriumia, vettä, suolaa tai ilmaa. Voimalassa saavutetaan 500 - 1 000 °C lämpötiloja. Energian varastointi voidaan järjestää sulan suolan avulla. Laitoskoot yltyvät muutamasta megawatista aina 200 MW:iin asti. Tornivoimala voidaan toteuttaa myös paineistettuna, jolloin höyryprosessi sisältää kaasuturbiinikoneiston. (EC, 2004b; Renewable, 2003)

Parabolisen ”lautasantennin” muotoisia heijastamia käyttävät aurinkovoimalat on kolmas voimalatyyppe. Kuvassa 17 on havainnollistettu tämän järjestelmän periaatteellista toimintaa. Peilin eteen sen polttopisteeseen on asennettu keräinyksikkö, mihin on tyypillisesti asennettu Stirling-moottori tai pieni kaasuturbiini. Järjestelmällä saavutetaan noin 600 – 1 200 °C lämpötilat. Hyvään hyötysuhteeseen pyrittäessä peilissä on oltava järjestelmä, joka pitää sen optimaalisessa kulmassa auringon suhteen. Yksi peili muodostaa aina oman kokonaisuutensa ja yhden tällaisen järjestelmän koko on tyypillisesti 10 – 50 kW. Pienestä teholuokasta johtuen tämä konsepti soveltuu parhaiten hajautettuun energian tuotantoon. (EC, 2004b; Renewable, 2003)



Kuva 17. Paraboloidiheijastinta käyttävä aurinkovoimala. Polttopisteessä olevan keruuyksikön paikalla voi olla esimerkiksi Stirling-moottori tai pieni kaasuturbiini. (Renewable, 2004)

Kaupallisessa energiantuotannossa näistä järjestelmistä ovat ainoastaan parabolisia kouruheijastimia käyttävät aurinkofarmit. Muut tekniikat ovat enemmän tai vähemmän tutkimus- ja demonstraatiohankkeita. Hyötysuhde aurinkofarmeilla on vuositasona noin 15 %, mihin eniten vaikuttaa höyryprosessin hyötysuhde. Tornivoimaloissa päästään korkeamman lämpötilatason ansiosta noin 20 % hyötysuhteeseen. Näiden kahden voimalatyyppin rakentaminen ja suunnittelu on keskittynyt lähinnä suuren mittakaavan voimaloihin monimutkaisen ja kalliin tekniikan johdosta. Taloudellisesti järkevä alaraja järjestelmän kooksi on noin 10 MW_e. Pienemmissä

teholuokissa asennus, käyttö- ja huoltokustannukset nousevat suhteettoman suuriksi. Hyötysuhde myös heikkenee teholuokkaa pienennettäessä. Parabolisia peilejä käyttävillä yksittäisjärjestelmillä saavutetaan yli 20 % hyötysuhde, mutta sähkön tuotantokustannukset ovat kaikista kolmesta järjestelmästä korkeimmat. Termisten aurinkovoimaloiden investointikustannukset ovat tyypillisesti 2 000 – 5 000 €/kW, riippuen voimalan koosta ja tyypistä. Sähkön tuotantokustannus on suotuisilla alueilla noin 15 snt/kWh. Tuotantokustannusten uskotaan alentuvan kolmasosan järjestelmien yleistymisen myötä. (Renewable, 2004)

Energian saatavuuden kannalta termisillä aurinkovoimaloilla on valtava potentiaali. Suotuisilla alueilla päästään neliökilometrin alueella 100 – 200 GWh vuosituotantoon. Teoriassa yksi prosentti Saharan autiomaan pinta-alasta riittäisi tyydyttämään koko maailman sähköntarpeen. Ajatus ei ehkä käytännössä ole mahdollinen tai taloudellisesti järkevää toteuttaa, mutta se antaa perspektiiviä teknologian mahdollisuuksista.

3.5. Pien- ja minivesivesivoima

Vesivoimalat voidaan jakaa nimellistehonsa perusteella suur-, pien- ja minivesivoimaloihin. Hajautetun tuotannon kannalta mielenkiintoisimpia ovat sähköteholtaan alle 10 MW pienvesivoimalat ja alle 1 MW minivesivoimalat. Tätä jaottelua käytetään yleisesti Suomessa. Yleisesti puhutaan usein pelkästään pienvesivoimasta, millä tarkoitetaan kaikkea alle 10 MW tehoista vesivoimaa. Haluttaessa eritellä tuotannon teholuokkia yksityiskohtaisemmin, voidaan minivesivoima jakaa vielä kahteen tai jopa kolmeen luokkaan. Mikrovesivoima on teholtaan alle 100 kW ja picovesivoima alle yhden kilowatin. Pienvesivoiman tehorajat vaihtelevat vielä maittain. Pienitehoiseksi tuotannoksi voidaan katsoa kuuluvan vielä 20 MW vesivoimalatkin. (Canadian, 2000; Vartiainen et al., 2002)

Pienimuotoinen vesivoimatuotanto on periaatteeltaan samankaltaista suurien vesivoimaloiden kanssa. Suurin ero tehotason lisäksi on se, ettei pienvesivoimaloissa välttämättä tarvita suuria patoja tai varastoaltaita tuotannon tasaamiseen. Osa joen virtauksesta voidaan ohjata ohituskanavalla tai -putkella turbiinille, jolloin vesireitti säilyy avoimena. Pienvesivoimalat eivät kuitenkaan ole muun tekniikan osalta samassa suhteessa yksinkertaistettuja. Voimalajärjestelmän hyötysuhde kannattaa mitoittaa taloudellisesti. Pienvesivoimalaa ei voi siten suunnitella pelkästään sillä ajatuksella, että tehdään suurvesivoimalasta pienoismalli. (MhyLab, 2004)

Veden virtaamaan ei yleensä voida vaikuttaa, joten ainoa keino tehon nostamiseksi on putouskorkeuden kasvattaminen. Putouskorkeuden ollessa alle 0,6 metriä ei voimalan rakentaminen ole käytännössä mahdollista. Vesivoimalasta saatavaan tehoon vaikuttaa luonnollisesti myös laitoksen hyötysuhde. Se onkin käytännössä ainoa asia, mihin voidaan vaikuttaa vesivoimalaa uudistettaessa. Moderneilla turbiineilla hyötysuhde on luokkaa 90 – 95 %. (DOE, 2001)

Turbiiniratkaisuja on olemassa useita erilaisia. Optimaalisimman turbiinin valinta riippuu asennuspaikan putouskorkeudesta ja veden virtaamasta. Turbiinien perusrakenne on periaatteessa kaikissa samanlainen. Virtaava vesi pyörittää roottoria ja siihen kiinnitetty akseli pyörittää generaattoria. Vesivoimaloissa käytettävät turbiinit voidaan jakaa impulssi- ja reaktiiturbiineihin. Impulssiturbiinissa suurella nopeudella virtaava vesi muodostaa vesisuihkun purkautu-

essaan putouskorkeutta vastaavassa hydrostaattisessa paineessa suuttimen lävitse. Suurinopeuksinen vesisuihku syöksyy roottorin kehällä olevia kupin muotoisia siipiä vasten alapuolella olevaan poistoputkeen. Virtaavan veden energiasta lähes kaikki pystytään keräämään talteen. Tunnettu impulssiturbiinityyppi on nimeltään Pelton. Reaktioturbiinissa vesi virtaa sellaisenaan laivan potkuria muistuttavan roottorin läpi. Tietyn tyyppistä reaktioturbiinia kutsutaankin potkuriturbiiniksi. Roottorin pyörimisliike perustuu siiven ylä- ja alavirran puoleisten sivujen paine-eroon kuten tuulivoimalassa. Reaktioturbiinityyppejä ovat Suomessakin yleisesti käytetyt Kaplan sekä Francis turbiinit.

Roottorien lavat ovat minivesivoiman teholuokassa tavallisesti kiinteitä. Hyötysuhde on tällöin optimoitu vain tietylle kapealle tehoalueelle. Roottorin siipien erilaisuuden lisäksi eroja on myös voimansiirtoakselin sijoittelussa. Impulssiturbiinit ovat useimmiten vaaka-akselisia ja vesisuihku kohtaa siivet lähellä niiden alinta asemaa kohtisuoraan akseliin nähden. Tätä turbiinityyppiä käytetään suurilla jopa kilometrin putouskorkeuksilla. Reaktioturbiinit sen sijaan ovat useimmiten pystyakselisia. Vesi voidaan ohjata turbiiniin joko aksiaalisesti tai radiaalisesti turbiinin rakenteesta riippuen. Veden poisto tapahtuu akselin suuntaisesti. Pienen putouskorkeuden pienvesivoimaloissa käytetään reaktioturbiinista (Kaplan) kehitettyä potkuriturbiinia. Turbiini voidaan myös asentaa putkimaiseen virtauskanavaan, jolloin vesi virtaa turbiinin akselin suuntaisesti. Turbiinia kutsutaan tällöin putkiturbiiniksi. Generaattori on putkiturbiinin kanssa samalla akselilla sijoitettuna joko vesitiiviiseen tai suojakaasulla paineistettuun tilaan. Turbiinin ja generaattorin väliin ei välttämättä tarvita vaihteistoa lainkaan. Rakenteesta saadaan tällöin yksinkertainen ja pieneen tilaan mahtuva kompakti paketti. (Pienvesivoima, 2004; Piriä, 2003)

Vesivoimalan käyttö ei ole riippuvainen tuontipolttoaineen saatavuudesta tai hinnanvaihteluista. Sateilla on tietenkin vaikutuksensa käytettävyyteen. Käytön aikana ei synny myöskään melusaastetta eivätkä pienvesivoimalat ole visuaalisesti yhtä silmiinpistäviä kuin esimerkiksi tuulivoimalat. Toiminta voi olla hyvin pitkälle automatisoitua, jolloin voimalan ei tarvitse olla miehittettynä normaalin käytön aikana. Käyttö- ja huoltokustannukset ovat myös matalat. Pienvesivoiman rakentamiseen käytetyn energian tyypillinen takaisinmaksuaika on noin 9 kuukautta. Laitteet ovat pitkäikäisiä, sillä turbiinit kestävät 20 – 30 vuotta ja patorakennelmat jopa sata vuotta. Investoinnin takaisinmaksuaika on muutaman megawatin kokoisella vesivoimalalla 5 – 10 vuotta. (Penche, 1998; West Wales, 2004)

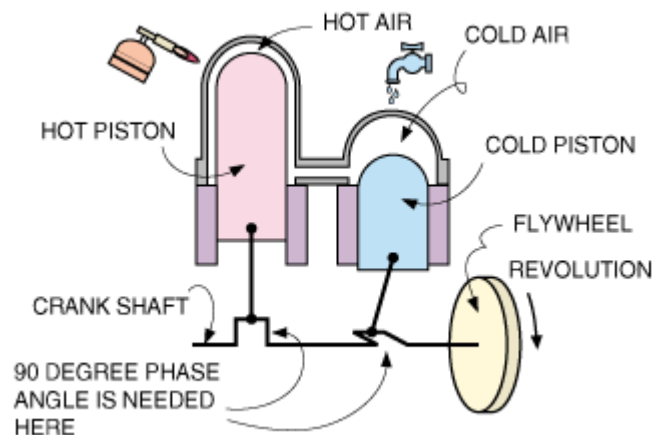
Mini- ja pienvesivoimaloiksi luokiteltavia laitoksia on Suomessa noin 200 kappaletta, joiden yhteenlaskettu vuosituotanto on noin 900 GWh. Alle 1 MW suuruisten minivesivoimaloiden uudisrakentamisen avulla saatavaksi lisäkapasiteetiksi on arvioitu noin 200 MW. Vuositasolla tämä vastaisi vajaata 1 000 GWh tuotantoa. Pienvesivoimaa olisi mahdollista lisätä kaikkiaan 250 MW. (Motiva, 2004)

3.6. Stirling-moottori

Stirling-moottori eroaa toiminnaltaan monin osin perinteisestä polttomoottorista, vaikka molemmat ovat lämpövoimakoneita. Polttomoottorissa palaminen tapahtuu räjähtämällä sylinterin sisällä ja syntyneet pakokaasut poistetaan laajenemistyön loputtua pakiventtiilin kautta ulos.

Stirling-moottorin sisällä ei tapahdu mitään palamista, koska siinä käytetään ulkopuolista lämmön tuontia. Lämmönlähteenä voi periaatteessa olla melkein mikä vain auringon säteilystä biokaasun polttamiseen. Menetelmällä, millä lämpö kehitetään, ei sinällään ole merkitystä moottorin toiminnan kannalta. Moottorissa käytetty työkaasu ei osallistu mitenkään palamiseen, eikä kaasu missään moottorin normaalissa käyntivaiheessa poistu sylintereistä. Stirling-moottoreita on olemassa useita erilaisia, mutta kaikkien periaatteena on vuoroin jäähdyttää ja vuoroin lämmittää suljetussa tilassa olevaa kaasua. Moottorissa on siis erikseen kylmä ja lämmin puoli. Moottorin toimiessa työkaasun paine muuttuu toimintaa kuvaavan Stirling-kierron aikana, mikä saa moottorin tekemään työtä. Työkaasua liikutetaan erityisen mekanismin avulla moottorin kylmältä puolelta kuumalle ja päinvastoin. Työkaasuna moottorissa voidaan käyttää esimerkiksi ilmaa, heliumia tai vetyä. (HowStuffWorks, 2004)

Käytön aikana Stirling-moottorin yhtä sylinteriä lämmitetään ja toista jäähdytetään. Sylinterien kaasutilat ovat yhteydessä toisiinsa. Sylintereissä olevat männät ovat mekaanisesti toisissaan kiinni, jolloin niiden liike on toistensa suhteen ennalta määriteltyä. Moottorin toiminnasta voidaan erottaa neljä vaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa kuvan 18 vasemman puoleista kuumaa sylinteriä lämmitetään, jolloin siellä olevan kaasun paine kasvaa. Kaasu työntää sylinterissä olevaa mäntää alaspäin, jolloin kaasun paine pienentyy ja moottori tekee työtä. Seuraavassa vaiheessa kuuman puolen mäntä liikkuu sylinterissä ylöspäin, mikä pakottaa vastaavasti kylmässä sylinterissä olevan männän painumaan alaspäin. Mäntien liikkeen seurauksena vasemman puoleisessa sylinterissä lämmennyt kaasu siirtyy oikeanpuoleiseen sylinteriin ja jäähtyy siellä nopeasti ulkoisen jäähdytyksen ansiosta. Kaasun paine pienentyy, jolloin sitä on seuraavassa vaiheessa helpompi puristaa kasaan. Kylmän puolen mäntä puristaa kaasua, jolloin sen paine ja lämpötila kasvavat. Kehittynyt lämpö poistetaan kaasusta sylinterin jäähdytyksellä. Puristustyö jatkuu kylmässä sylinterissä, jolloin kuuman puolen mäntä painuu alaspäin. Kaasu siirtyy kuumaan sylinteriin, missä sitä lämmitetään nopeasti ja sen paine kasvaa entisestään. Moottori tekee kaasun laajetessa jälleen työtä ja kierto alkaa uudelleen alusta. (HowStuffWorks, 2004)



Kuva 18. Stirling-moottorin toimintaperiaate (American SC, 2004)

Stirling-moottorin tehoa voidaan kasvattaa nostamalla työvaiheessa painetta kuumassa sylinterissä. Painetta saadaan suurennettua nostamalla kaasun lämpötilaa lämmittämällä sylinteriä ul-

kopuolelta aiempaa kuumemmaksi. Toinen vaihtoehto on ottaa lämpö talteen kaasusta, kun se siirtyy kuumasta sylinteristä kylmään sylinteriin jäähtymään. Sylinterien välille kaasuvirtaan asennettu regeneraattori varastoi lämpöä itseensä kaasun virratessa sen lävitse. Lämpö luovutetaan kuumaan sylinteriin palaavaan kaasuun, jolloin sillä on jo korkeampi alkulämpötila ennen varsinaista lämmittämistä. (HowStuffWorks, 2004)

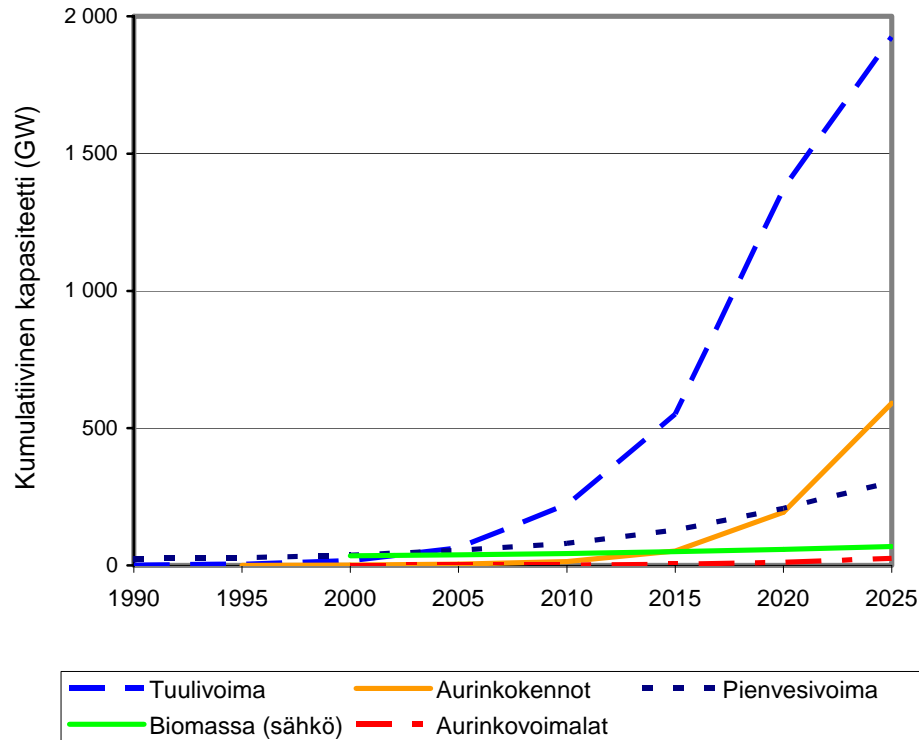
Stirling-moottorin hidas käynnistyminen ja huono säädettävyys hankaloittavat sen käyttöä tietyissä sovelluksissa. Ulkoinen lämmönlähde aiheuttaa järjestelmän käynnistykseen viiveen, sillä lämmön johtuminen sylinterin seinämän läpi työkaasuun vie aikaa ja lämpötilan muutokset ovat hitaita. Moottorin tehoa ei voi tästä johtuen muuttaa kovin nopeasti. Suhteellisen pieni kierrosnopeus rajoittaa myös Stirling-moottorin käyttöä. Sille täytyy myös järjestää hyvä jäähdytys. Moottori soveltuu siten stationäärisiin sovelluksiin, missä se on koko ajan käytössä, eivätkä kymmenien minuuttien käynnistys- ja sammutusajat muodostu ongelma. Muutaman kymmenen kilowatin teholuokassa 5 000 – 8 000 tunnin mittaiset huoltovälit ovat pidempiä kuin vastaavissa polttomoottoreissa. (SOLO, 2003)

Hajautettua sähköntuotanto ajatellen Stirling-moottori voisi auringon paistaessa ottaa tarvitsemansa lämpöenergian auringon säteilystä. Pilvisellä säällä ja pimeään aikaan moottori siirtyisi automaattisesti käyttämään esimerkiksi maakaasua, biodieseliä tai muuta saatavilla olevaa biopolttoainetta. Stirling-moottori soveltuu parhaiten käytettäväksi sovelluksissa, missä hiljainen käyntiääni ja mahdollisuus käyttää useita erilaisia polttoaineita on erityisen tärkeää. Stirling-moottoreiden polttomoottoreita pidemmät huoltovälit varsinkin muutaman kymmenen kilowatin teholuokassa on myös merkittävä etu. Yksi mahdollinen käyttökohde erityisesti matalan lämpötilan Stirling-moottoreille olisi hyödyntää alle 100 °C hukkalämpöjä. Teollisuudessa ja energiantuotannossa esiintyy paljon alle 100 °C lämpövirtoja, joita ei pystytä hyödyntämään. Stirling-moottorilla pystyttäisiin tuottamaan sähköä taloudellisesti, kun energia olisi ”ilmaista”. Haittapuolena pienen lämpötilaeron Stirling-moottoreissa on kuitenkin se, että niistä tulee suhteettoman suuria tuottamaansa tehoon nähden. (American SC, 2002)

Stirling-moottori soveltuu yhdistettyyn sähkön ja lämmöntuotantoon paremmin kuin pelkkään sähköntuotantoon. Kehitetyn lämmön määrä on usein selvästi suurempi kuin saatava sähköteho. Esimerkiksi biokaasua käyttävällä 55 kW_e tehoisella Stirling-moottorilla päästään 28 %:n sähköntuotannon hyötysuhteeseen. CHP-käyttöön optimoiduilla moottoreilla kokonaisyötysuhde voi olla parhaimmillaan yli 90 %. Stirling-moottorit ovat pienimuotoisessa noin 100 kW CHP-tuotannossa lähes ainoa vaihtoehto tietyillä polttoaineilla. Biomassaa käytettäessä perinteiset voimalakonseptit höyryprosesseineen eivät käytännössä sovellu näin pieneen teholuokkaan. Stirling-moottorissa voidaan polttaa kaasua- ja nestemäisiä biopolttoaineita suoralla liekkikosketuksella, jolloin prosessin hallinta on tarkempaa. Karkeampi polttoaine ja sen käytöstä mahdollisesti aiheutuva eroosio täytyy kuitenkin huomioida lämmönsiirtopintojen ja polttokammion suunnittelussa. Biomassan palaminen tapahtuu suhteellisen hitaasti ja sen poltosta syntyvä tuhka on pystyttävä poistamaan. Polttokammion täytyy olla myös riittävän suuri. Käytetyimpiä polttoaineita ovat maakaasu ja dieselöljy, biomassan käyttöön ollaan vasta siirtymässä. Kaasumaisia ja nestemäisiä biopolttoaineita käytettäessä polttokammio voidaankin korvata pelkällä polttimella, jolloin järjestelmän käyttö yksinkertaistuu. (SOLO, 2003)

3.7. Tuotantotekniikoiden vertailu

Kuvaan 19 on koottu yhteen aiemmin tässä luvussa esiteltyjen tekniikoiden toteutunut ja ennustettu kehitys maailmalla asennetun kapasiteetin osalta. Tärkeimmiksi tekniikoiksi nousevat tuulivoima ja aurinkosähkökennot. Kehityksen alkuvaiheessa tuulivoiman uskotaan hallitsevan markkinoita aina vuoden 2030 alkupuoliskolle asti. Aurinkokennot valtaavat markkinat tämän jälkeen ja jatkavat kasvuaan, kun taas tuulivoiman kapasiteetin kasvu hidastuu ja loppuu lähes kokonaan vuosikymmenen lopulla.

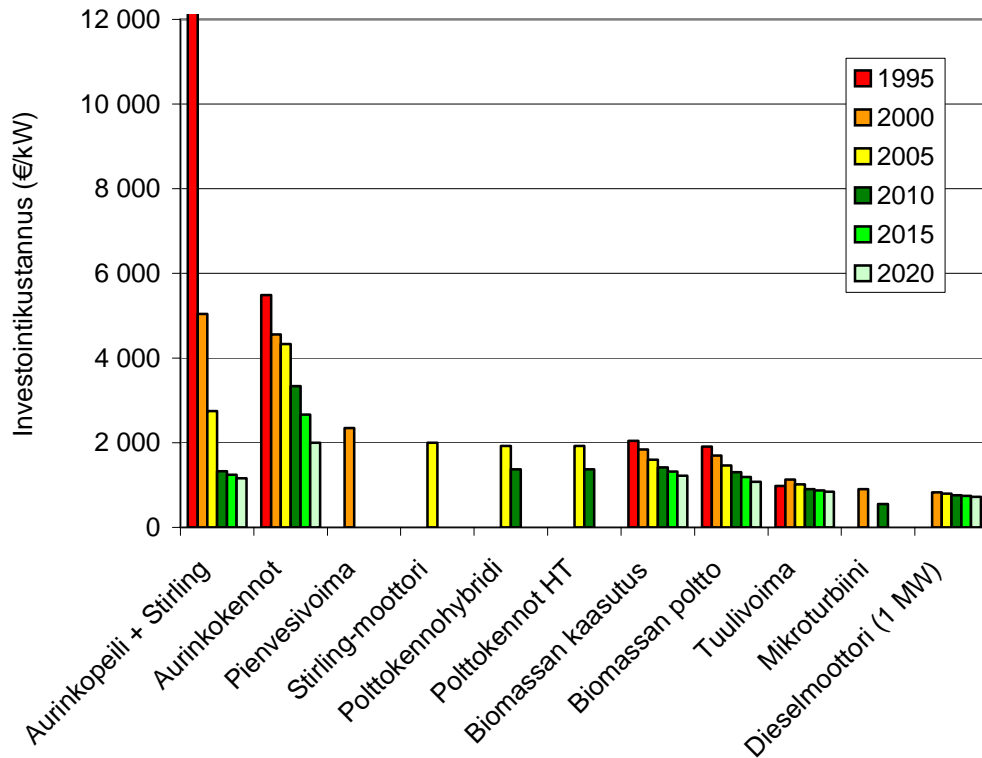


Kuva 19. Uusiutuvien hajautettujen energialähteiden ennustettu sähköenergian tuotantokapasiteetti maailmassa. Biomassan osalta kuvassa on vain verkkoon kytkettyjen sähköntuotantolaitosten yhteenlaskettu sähköteho. Biokaasua käyttävät voimalat eivät myöskään sisälly tähän lukuarvoon. (EREC, 2001 ja 2005; IEA, 2004a; WEC, 2004)

Tuulivoiman ja aurinkokennojen uskotaan olevan 20 vuoden kuluttua selvästi muita käytettympiä tekniikoita ja eron vain suurenevan vuosien kuluessa. Lähivuosina myös pienvesivoima on merkittävä hajautetun energian lähde, mutta pitkällä tähtäimellä se jää kapasiteetiltaan selvästi kahden muun jälkeen. Aurinkotermitiset voimalat saavuttavat vasta lähempänä vuotta 2030 tuulivoimaloiden nykyisen kapasiteettitason. Näiden voimaloiden yhteenlaskettu kapasiteetti kaksinkertaistuu arvion mukaan kerran viidessä vuodessa. Biomassaan perustuva sähköntuotanto jää vuoden 2033 jälkeen asennetulta teholtaan pienimmäksi tässä ryhmässä. Biomassan kokonaiskäyttö energiantuotannossa on huomattavasti esitettyä suurempaa ja tarkastellulla aikavälillä sen ennustetaan säilyttävän johtoasemansa energian tuotannossa.

Tekniikoita vertailtaessa on hyvä pitää mielessä niiden erilaiset käyttöasteet. Esimerkiksi tuuli-voiman kohdalla puhutaan usein pelkämästä asennetusta kapasiteetista, vaikka energian tuotannossa siitä pystytään hyödyntämään ainoastaan noin kolmasosa. Biomassaa käyttävissä voimaloissa käyttöaste voi hyvinkin olla kaksinkertainen eli noin 60 – 70 %. Aurinkokennoilla ja termisillä voimaloilla käyttöasteet ovat esitetyistä tekniikoista alhaisimpia, noin 20 %. Pienvesivoimalla voidaan päästä biovoimaloiden tavoin korkeisiin käyttöasteisiin. Asennuspaikka vaikuttaa siihen onko energiaa saatavilla tasaisesti läpi vuoden, vai ainoastaan kevään tulvahuippuna.

Hajautetusta tuotannosta aiheutuvia suoria kustannuksia ovat laitteiston hankinnasta aiheutuvat investointikustannukset (kuva 20), käytöstä aiheutuvat mahdolliset polttoainekustannukset sekä huolto- ja ylläpitokustannukset. Sähköverkkoon liittyessä verkon haltija tyypillisesti ottaa vielä liittymismaksun. Kustannuksia aiheutuu myös verkkoon liittämiseen tarvittavista laitteista, kuten erottimista, katkaisijoista ja suojusteista. Uusiutuviin energialähteisiin perustuvilla hajautetun energiantuotannon muodoilla investointikustannukset ovat yleisesti olleet kaikkein korkeimmat. Käyttökustannukset ovat taas usein selvästi halvimpia. Dieselmoottoreilla ja kaasuturbiineilla kustannusrakenne on sen sijaan päinvastainen. (U.S. Congress, 2003)



Kuva 20. Sähkön tuotantomuotojen investointikustannuksia vuosina 1995 ja 2000 sekä kustannusten ennustettu kehitys vuoden 2003 valuuttana. (Aabakken, 2003; Bauen 2004; IEA, 2003a; Little, 2000; MhyLab, 2004; Vartiainen et al., 2002)

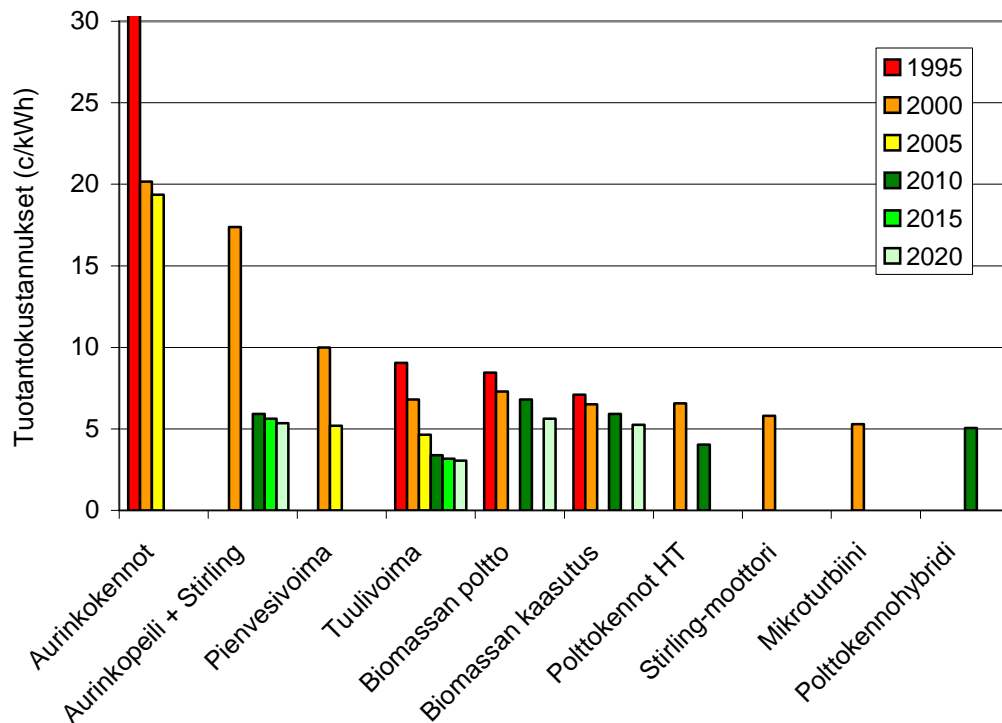
Kuvassa 20 on esitetty muutamien hajautettuun sähköntuotantoon soveltuvien tekniikoiden investointikustannuksia. Kustannukset eri vuosilta on muutettu vastaamaan arvoltaan vuoden

2003 valuuttaa. Esitetyt kustannukset ovat aina kunkin tekniikan tyypillisiä keskimääräisiä kustannuksia. Järjestelmän koon suurentaminen yleensä pienentää tuotantotehoa kohden muodostuvia kustannuksia ja päinvastoin. Kaupallistumisen alkuvaiheessa olevien tekniikoiden, kuten Stirling-moottoreiden ja korkean lämpötilan polttokennojen kustannuksista esitetyt lukuarvot ovat pikemminkin yksittäisten järjestelmien hintoja. Lähdemateriaalissa on erityisesti näiden kahden teknologian kohdalla erilaisia tulkintoja siitä, ovatko ne vieläkin varsinaisesti kaupallistuneet. Mielenpitoiset ja näkemykset vaikuttavat tällöin esitettyihin kustannusarvioihin.

Yleisesti ottaen eri tekniikoiden kustannukset ovat lähinnä suuntaa antavia. Investointikustannuksissa on saman teknologiankin sisällä lähteestä riippuen paljon hajontaa niin nykykustannuksissa kuin tulevaisuutta koskevissa arvioissa. Vakiintuneiden hajautetun tuotannon tekniikoiden esitetyt kustannukset ovat paremmin yhtenäisiä. Tekniikoiden välistä vertailua hankaloittaa vielä se, että kustannusarviot ovat useasta eri lähteestä kerättyjä ja yhdisteltyjä. Arvioiden tekemisessä on voitu käyttää myös eri oletuksia eri lähteissä. Joidenkin tekniikoiden kohdalla investointikustannusten kehityksestä on saatavilla useita arvioita, jolloin arvioiden luotettavuutta voi vertailla lähteiden kesken. Tulevaisuutta koskevat arviot sisältävät kuitenkin paljon epävarmuutta. Arviot perustuvat usein pelkästään historiassa tapahtuneen kehityksen peilaamiseen tulevaisuuteen.

Hajautetussa sähköntuotannossa käytettyjen tekniikoiden investointi- ja pääomakustannukset ovat yleensä laskeneet kaikkien tekniikoiden kohdalla vuosien kuluessa. Uusiutuviin energialähteisiin perustuvilla tekniikoilla lasku on ollut ehkä nopeinta. Esimerkiksi aurinkokennojen myyntihinta on kymmenessä vuodessa laskenut noin 80 %. Vielä voimakkaampaa lasku on ollut aurinkopeilin ja Stirling-moottorin yhdistelmällä. Tämä lasku ei tosin ole yhtä merkittävää aurinkokennojen kanssa, sillä tekniikalla ei vielä ole vastaavaa kaupallista merkitystä. Kustannusten lasku on usein nopeinta juuri kaupallistumisen alkuvaiheessa. Kehitysvaiheessa olevien yksittäisten järjestelmien hinnasta saadaan usein pudotettua pois kymmeniä prosentteja aiempaa suurempien valmistussarjojen myötä.

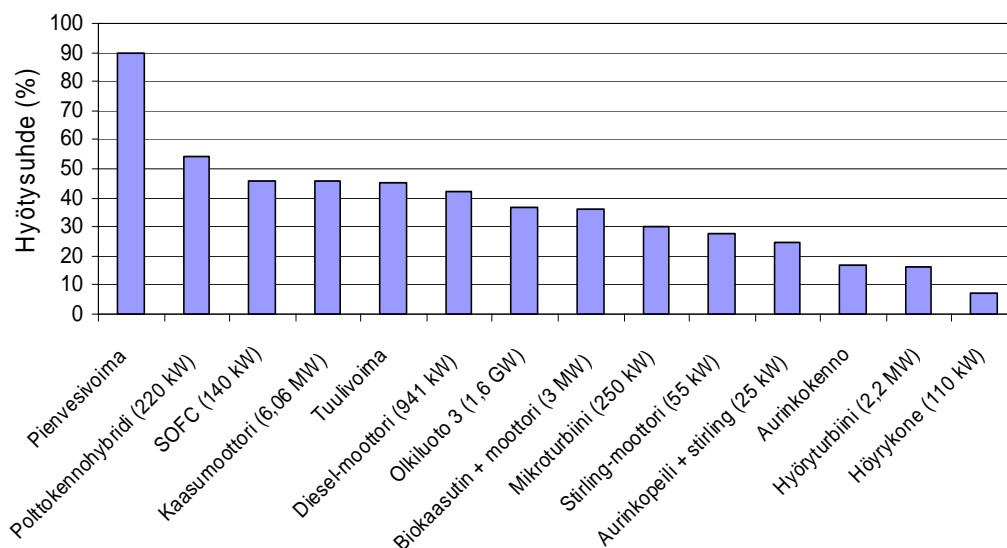
Investointikustannusten rinnalla ovat myös sähköenergian tuotantokustannukset pienentyneet. Kuvassa 21 on esitetty tekniikoiden nykyisiä tuotantokustannuksia, aiempaa kehitystä ja arviota tulevasta kustannustasosta. Kuten investointikustannuksista voitiin jo havaita, myös tuotantokustannuksien osalta teknisen kehityksen uskotaan vaikuttavan kustannuksia alentavasti. Tuotantokustannukset ovat investointikustannusten tavoin kirjallisuudessa esiintyviä tyypillisiä lukuarvoja. Kuvassa 21 esitetyt kustannukset ovat mahdollisuuksien mukaan useammasta eri tietolähteestä laskettuja keskiarvoja.



Kuva 21. Sähköntuotantomuotojen tuotantokustannukset vuosina 1995 ja 2000 sekä kustannusten ennustettu kehitys vuoden 2003 valuuttana. (Aabakken, 2003; Bauen et al., 2004; IEA, 2003a; Little, 2000; MhyLab, 2004; Solarbuzz, 2004; U.S. Congress, 2003; Vartiainen et al., 2002)

Tuotantokustannuksiin vaikuttaa rakentamisen ja ylläpidon lisäksi myös käytettävä energialähde, joka on usein jokin polttoaine. Uusiutuvia energialähteitä käyttävät tuulivoima, pienvesivoima ja aurinkoenergian sovellukset ovat siinä mielessä paremmassa asemassa, ettei niiden tuotantokustannuksiin vaikuta polttoaineiden hinnan muutokset. Kustannusennusteita voidaan tällöin pitää muita luotettavampina. Biomassaan perustuvissa tuotantomuodoissa polttoaineen hinta ja sen verotus voivat muuttua, joten polttoaine vaikuttaa tuotantokustannuksiin. Fossiilisia polttoaineita käyttävien moottorien ja turbiinien polttoaineen hinnoissa voi tapahtua rajuja muutoksia, ja suunta on varsinkin öljyn kohdalla ollut viime aikoina selvästi ylöspäin. Käytettävän tuotantotekniikan valinnassa onkin syytä kiinnittää erityistä huomiota käytettävien polttoaineiden monipuolisuuteen ja saatavuuteen. Vetyyn perustuvissa teknologioissa polttoaineen valmistus näyttelee myös merkittävää osaa tuotantokustannuksista. Tällä hetkellä vedyn valmistus perustuu suurelta osin fossiilisiin polttoaineisiin, mutta edullisempia ja ympäristöystävällisempiä ratkaisuja etsitään erityisesti aurinkoenergian eri sovelluksista. Vedyn tuottamiseen on myös kaavailtu korkean lämpötilan ydinreaktoreita.

Kuvassa 22 on vertailtu hajautettuun sähköntuotantoon soveltuvien tekniikoiden sähköntuotannon hyötysuhteita. Hyötysuhteet ovat Olkiluoto 3:a lukuun ottamatta esimerkkejä käytössä olevista voimaloista ja edustavat pidemmällä aikavälillä toteutuneita hyötysuhteita.



Kuva 22. Hajautetun sähköntuotannon tekniikoiden hyötysuhteiden vertailua. (Condens, 2004; EWEA, 2003; Hansen, 2003; Ingersoll, 2004; Localpower, 2003; Siemens, 2004; STM, 2004; Wärtsilä, 2004)

Uusiutuvia energialähteitä hyödyntävän tekniikan sähköntuotannon hyötysuhde ei välttämättä ole tärkein asia järjestelmää suunniteltaessa tai hankittaessa. Tuulivoiman ja aurinkoenergian tapauksessa, kun energialähde on ilmainen, tuotetun sähköenergian hinta on ehkä merkittävin tekijä. Hyötysuhde kaupallisissa voimaloissa on kuitenkin taloudellinen kompromissi. Voimaloiden hyötysuhdetta voitaisiin usein nostaa, mutta nykyisillä energian ja polttoaineen hinnoilla se ei ole taloudellisesti kannattavaa.

Pienvesivoimalla on kuvan 22 tekniikoista selvästi korkein hyötysuhde. Generaattoritekniikan parannuksilla voi hyötysuhde vielä nousta muutamalla prosenttiyksiköllä, millä on suuren huipunkäyttöajan myötä energiantuotannossa merkitystä. Sähköntuotannon hyötysuhteen osalta vesivoima on kuitenkin suhteellisen valmista tekniikkaa. Potentiaaliset kehittämiskohteet liittyvät tekniikan muihin osa-alueisiin. Polttokennoja hyödyntävät järjestelmät mahdollistavat esitetyistä tekniikoista tällä hetkellä seuraavaksi korkeimman hyötysuhteen. Hyötysuhteen kannalta erityisen kiinnostavia ovat polttokennohybridit, joiden uskotaan parantavan sähköntuotannon hyötysuhdettaan jopa 20 %. Tuulivoimaloissa voidaan hetkellisesti optimaalisissa tuulioloissa saavuttaa erittäin korkeita hyötysuhteita. Maksimi hyötysuhteen parantamista ei tuulivoiman kohdalla ole kuitenkaan pidetty erityisen tärkeänä. Kehitettävää riittää siinä, että tuulivoimala toimisi aiempaa laajemmalla tuulenopeusalueella yhtä hyvällä hyötysuhteella kuin nyt toimitaan vain hetkellisesti. Moottoritekniikassa parhaimmat hyötysuhteet ovat useiden megawattien tehoisilla maa- ja biokaasukäyttöisillä moottoreilla. Lähes yhtä korkeisiin hyötysuhteisiin päästää myös dieselmootoreilla. Kaasumootorissa käytettävän biokaasupolttoaineen kaasutusprosessin huomioiminen laskee hyötysuhdetta, mutta se on kuitenkin samaa luokkaa Olkiluotoon valmistuvan viidennen ydinvoimalan kanssa. Aurinkokennojen hyötysuhteet sen sijaan ovat vielä suhteellisen vaatimattomalla tasolla. Parhaimmissa piikennoissa auringon säteilyenergiasta pystytään muuttamaan sähköenergiaksi noin 20 %. Suurissa kymmenien kilowattien järjes-

telmissä niitä ei kennojen korkean hinnan takia käytetä. Tyypillinen hyötysuhde esimerkiksi 35 kW:n järjestelmällä on vähän yli 10 %. Kennojen hyötysuhteiden uskotaan vuonna 2010 saavuttavan 30 %. Aurinkokennojen hyötysuhteisiin ja uusiin materiaaleihin panostetaan aktiivisesti. Tässä vertailussa matalimmat hyötysuhteet ovat perinteisiä polttoprosesseja hyödyntävillä höyryturbiinilla ja –koneella. Höyrykoneen hyötysuhde on itse asiassa parempi kuin saman tehoisen höyryturbiinin alle megawatin teholuokassa. Pienessä teholuokassa höyryprosessien hyötysuhteet jäävät parhaimmillaankin vähän yli 20 %:iin, jolloin niiden käyttö pelkkään sähköntuotantoon ei ole kannattavaa.

Taulukkoon 2 on koottu tässä luvussa käsiteltyjen tekniikoiden tärkeimpiä ominaisuuksia. Sähköntuotannon hyötysuhde ja investointikustannus ovat usein ensimmäisenä kysytyjä tekniikan ominaisuuksia. Näiden kahden parametrin sekä käytettävän energialähteen ja muiden tuotantokustannusten perusteella pystytäänkin jo arvioimaan tekniikan sen hetkistä kannattavuutta. Järjestelmän käyttöikä vaikuttaa myös investoinnin kannattavuuteen. Käyttöikä on hyvin tapauskohtainen ja vaihtelee paljon samankin tekniikan sovelluksissa.

Taulukko 2. Tuotantotekniikoiden yhteenveto.

Ominaisuus	Tuulivoimala	Höyryturbiini / -kone	Stirling- moottori	Pienvesi- voimala	SOFC- Polttokenno
Polttoaine	-	useita	useita	-	H ₂ , CO, CH ₄
Teholuokka (kW)	1 – 5 000	20 – 10 000	1 – 100	1 – 10 000	1 – 10 000
Käyttöikä	20 – 30 a	15 – 50 a	70 000 h	30 – 100 a	75 000 h
Sähköntuotannon hyötysuhde (%)	20 – 45	7 – 25	10 – 35	50 – 90	35 – 50
Investointi- kustannus (€/kW)	800 – 1 500	1 500 – 3 000	1 500 – 5 000	1 250 – 3 500	2 500 – 4 500

4. HAJAUTETUN ENERGIAN TUOTANNON GLOBAALIT SKENAARIOT

Hajautetun energiantuotannon toimialan kehityssuunnan selvittämiseksi tutkittiin vaihtoehtoisia skenaarioita tulevaisuuden liiketoimintaympäristön kehittymisestä sekä pohdittiin uusia liiketoimintaideoita. Skenaariotutkimus on tekijöiden näkemys mahdollisista kehityksen suunnista toimialalla ja niiden tarkoitus on tuottaa uusia näkemyksiä intressiryhmälleen päätöksenteon pohjaksi.

4.1. Vaihtoehtoiset skenaariot

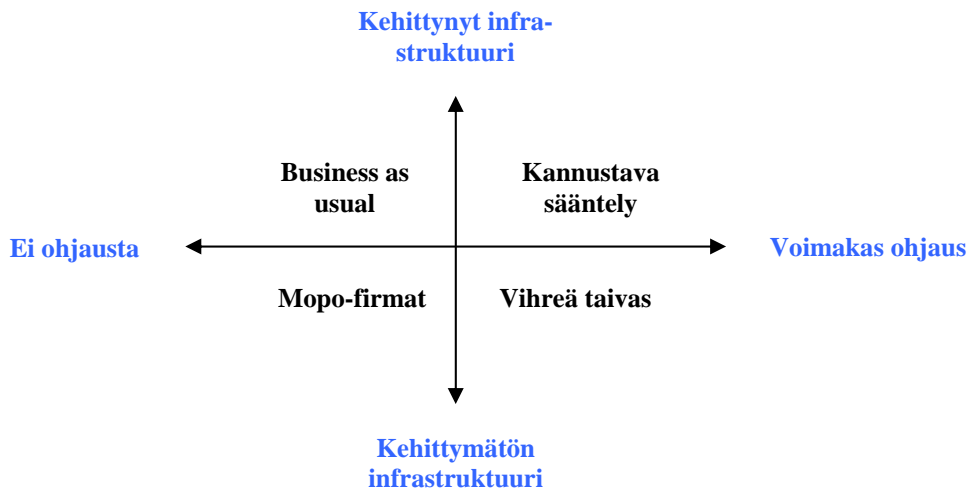
Tutkimuksessa rakennettiin neljä vaihtoehtoista skenaarioita kahdessa erillisessä ryhmässä, asiantuntijoiden ja aktoreiden työryhmissä (Bergman et al., 2005), joista asiantuntijoiden skenaarioita käytetään tässä raportissa liiketoimintaa arvioitaessa. Skenaarioiden relevanttisuutta ja objektiivisuutta testattiin laajemmassa asiantuntijakyselyssä. Skenaariotutkimus toi esille jo aiemmin todennettuja asioita, mutta myös uusia näkökulmia tulevaisuuden mahdollisuuksista hajautetun energiantuotannon liiketoiminnan kehittämiseksi.

Tehdyt skenaariot ovat siis ns. ympäristöskenaarioita, joiden tärkein tehtävä on havainnollistaa tulevaisuutta ja lisätä ymmärrystä siitä sekä haastaa olemassa olevia olettamuksia. Skenaarioissa seuraavat tekijät nähtiin tärkeiksi ja keskeisiksi hajautetun energiantuotannon kehittymisen kannalta:

- **Yhteiskunnan ohjaus**
- **Järjestelmäliiketoiminta**
- **Tuotantotekniikan kehitys**
- **Energian saatavuus**
- **Energiankulutuksen kasvu ja jakautuminen**
- **Infrastruktuurin kehitys**
- **Energian hinta**
- **Asiakastarve**
- **Nousevat talousalueet**

Näistä tekijöistä ("päädrivereista") pyrittiin löytämään kaksi merkittävintä, jotka määrittäisivät ja rajaisivat voimakkaimmin mahdollisia tulevaisuuden kehityskulkuja. Näihin tekijöihin liittyy samanaikaisesti *suuri vaikuttavuus ja suuri epävarmuus*. Yhteinen näkemys oli, että markkinaehtoisesti määräytyviä tekijöitä pystytään arvioimaan ja ennustamaan jonkin matkaa tulevaisuuteen, kun taas poliittisesti ohjautuvat tekijät voivat saada jopa hyvin vastakkaisia lopputuloksia täysin ennustamattomasti.

Poliittisesti ohjautuvien tekijöiden nähtiin saavan selkeästi suurimman muutosvoiman eri arvoja saadessaan, kun taas markkinaehtoiset tekijät useasti johtuvat juuri näistä ja saavat arvonsa näiden poliittisen päätöksenteon kautta ohjautuvien tekijöiden seurauksena. Skenaarioiden ulottuvuuksiksi valittiin *yhteiskunnan ohjaus* ja *infrastruktuurin kehittyneisyys*. Nämä kaksi tekijää siis määrittelevät skenaarioiden mahdollisten tulevaisuuksien rajat ja tulokseksi muodostavat neljä vuoteen 2019 ulottuvaa skenaariota. Nämä skenaariot voidaan esittää nelikentässä, jonka vaaka-akseli kuvaa sääntelyn ja hallitusten energiapoliittisten ohjaustoimien astetta ja pystysuora akseli energiainfrastruktuurin kehittyneisyyttä (kuva 23). Kuvan alla esitellään skenaariot lyhyesti ja liitteessä 1 kokonaisuudessaan.



Kuva 23. Hajautetun sähköntuotannon skenaariot vuoteen 2019 reunaehtoineen.

Skenaariotiivistelmät:

Business as usual – skenaariossa kehittynyt energiantuotantoinfrastruktuuri tekee investoinnit uusiin energiajärjestelmiin pääosin kannattamattomiksi eikä julkishallinto käytä erityisiä ohjaustoimenpiteitä, jotka ratkaisevasti voisivat muuttaa liiketoimintaa. Tilanne kehittyy nykyisenlaisena ja hajautetun sähköntuotannon markkinat ovat edelleen pienet.

Kannustava sääntely – skenaariossa kehittynyt infrastruktuuri ei myöskään kannusta uusiin suuriin investointeihin, mutta kansainväliset sopimukset ja kansallinen sääntelyn vahvasti ajamat ohjaus- ja tukikeinot muuttavat tilanteen ja kasvattavat panostusta hajautettuun energiantuotantoon ja markkinoihin.

Vihreä taivas – skenaariossa kv. sopimukset määräävät ja asettavat rajoja, mutta kansallisesti markkinat säätelevät toimintaa. Heikko tai neitseellinen infrastruktuuri mahdollistaa panostuk-

sen paikalliseen sähköntuotantoon ja hajautetun tuotannon kannalta optimaalisen infrastruktuurin rakentamisen. Hajautettua energiantuotantoa vaaditaan ja tuetaan julkishallinnon toimin samalla varmistuen sitä tukevan infrastruktuurin kehittyminen.

Mopo-firmat – skenaariossa julkishallinto ei tue eikä ohjaa toimillaan voimakkaasti hajautetun energiantuotannon lisäämiseen. Hajautettua energiantuotantoa käytetään suhteellisen yksinkertaisin ratkaisuin kehittymättömän infrastruktuurin alueilla. Sääntelyn ja keskitetyn panostuksen ajamana teollisuusmaissa syntyneet uudet teknologiat ovat siirrettävissä kehitysmaihin, missä tulevaisuuden suuret markkinatkin ovat.

4.1.1. Skenaarioiden arviointi

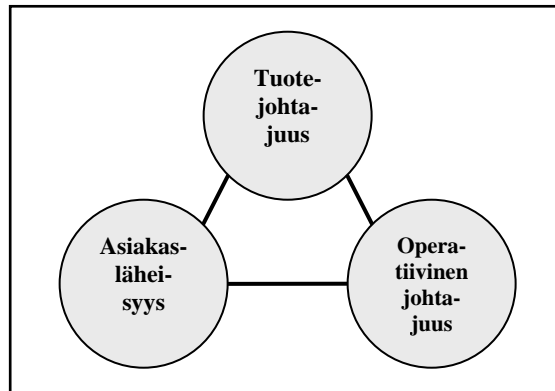
Vaikka skenaariot ovat aina tekijöidensä näkemyksiä tulevaisuuden kehityksestä, voidaan niitä silti testata laajemmalla asiantuntija joukolla. Skenaarioiden testaus tehtiin laajahkolla Webkyselyllä, jolla saatiin nopeasti ja kattavasti mielipiteitä laadituista skenaarioista (Bergman et al., 2005). Kyselyssä nähtiin, että kaikki skenaariot voivat olla mahdollisia ja voivat toteutua jopa yhtäaikaisesti eri painotuksilla eri alueilla. Haastavimmaksi ja haluttavimmaksi *koettiin "Kannustava ohjaus"* -skenaario, joka mahdollistaisi toimivat markkinat ja ympäristön huomiointiin ottamisen. Vastaajien mielestä skenaariot olivat yleisellä tasolla hyviä, mutta osittain teoreettisia ja liian ehkä pelkistettyjä. Tärkeimmät esille tulleet asiat vaativatkin vielä lisätutkimista ja skenaarioiden tarkentamista mm. markkina-alueitasolla ja teknologian kehittymisen arvioinnissa, jota onkin tehty tutkimuksen toisessa vaiheessa tämän raportin yhteydessä.

Teknologiaan liittyvät kysymykset osoittivat suomalaisten toimijoiden potentiaalinen integraatiopalveluiden ja järjestelmien toimittajina. Laitte- ja komponenttiosaaminen nähtiin edellytyksenä erilaisten järjestelmien ja palveluiden kehittämisessä. Teollisuudessa toimivat vastaajat näkivät itsensä nykyisen kaltaisissa olosuhteissa eli *"Business as usual"* -skenaariossa, osaamiseltaan kilpailukykyisiksi. Mutta toimialan muuttuessa havaittiin runsaasti puutteita erityisesti taloudellisissa ja organisaatioon liittyvissä kysymyksissä. Vastaajien mielestä menestyäkseen tulevaisuudessa suomalaisten toimijoiden tulisi tehdä pitkän aikavälin, yli strategiasuunnitteluhorisontin ulottuvia panostuksia T&K:hon erityisesti korkeaa osaamista vaativien kokonaisjärjestelmien ja palveluiden kehittämiseen. Kyselyn perusteella vastaajat näkivät myös erilaisten kannustinjärjestelmien luomisen niin kansallisella kuin globaalillakin tasolla tarpeelliseksi alan kehityksen edistämiseksi.

Luotujen skenaarioiden ja niiden testauksen perusteella voidaankin pohtia erilaisia lähestymistapoja tulevaisuuden liiketoimintaan ja liiketoimintamalleihin, joihin etsitäänkin tarkempia vastauksia seuraavissa kappaleissa.

4.2. Toimintavaihtoehdot tulevaisuuden liiketoimintaan

Yrityksillä ja organisaatioilla on erilainen historia ja toimintamalli, jotka vaikuttavat niiden tekemiin valintoihin. Teknologiat ja liiketoimintamallit ovat aina polkuriippuvia. Markkinoilla yritykset kilpailevat olemassa olevilla liiketoimintamalleillaan tai luomalla uusia toimialan pelisääntöjä muuttavia innovatiivisia malleja. Yritykset joutuvat usein tekemään strategisia valintoja kolmen päälinjan välillä miettiessään liiketoimintamalleja: tuotejohtajuus, operatiivinen erinomaisuus ja asiakasläheisyys (Kuva 24). Näitä samoja asioita tulisi pohtia myös hajautetun energiantuotannon toimialallakin.



Kuva 24. Strategiset valinnat liiketoimintasuunnittelussa (MET, 2003).

Hajautetun energiantuotannon alalla operoivan toimijan näkökulmasta skenaariot antavat tilaisuuden arvioida nykyisten strategioiden toimivuutta tulevaisuuden pelikentässä ja toisaalta mahdollisuuden tunnistaa mihin suuntaan omissa toimituksissa täytyy panostaa tulevaisuudessa. Toimija voi olla aktiivinen tai passiivinen tulevaisuuden suhteen. Meristö ja Kettunen (2003) jakavatkin osuvasti toimijat riskinotto kykynsä mukaan kuuteen eriryhmään suhteessaan tulevaisuuden päätöksentekoon.

- **Ennustaja** – luottaa todennäköiseen.
- **Riskinottaja** – valitsee ”parhaan” lopputuloksen
- **Riskinkarttaja** – muotoilee strategian, jolla selviää kaikissa vaihtoehdoissa
- **Realisti** – kehittää joustavuutta siltä varalta, että joku muu kuin valittu skenaario toteutuu
- **Tulevaisuuden tekijä** – vaikuttaa omilla teoillaan niin, että haluttu vaihtoehto toteutuu
- **Teuras** – odottaa ja toivoo.

Laadittujen skenaarioiden perusteella voidaan siis pohtia erilaisia lähestymistapoja tulevaisuuden haasteisiin ja mahdollisuuksiin. Jokaisessa skenaariossa on omat erikoispiirteensä, mutta niissä on myös joukko yhteisiä asioita eli avainmenestystekijöitä, jotka on aina otettava huomioon. Lähestymistavan skenaarioihin voi pelkistää kahteen ääripäähän: *Offensiiviseen eli aktiivisen vaikuttamisen polun* tai *Defensiiviseen eli odottava passiivisen sopeutumisen polun* -vaihtoehtoon, joiden välillä toimijoiden tulee tehdä strategiset valintansa riskinotto kykynsä ja -halunsa mukaisesti (Liite 3).

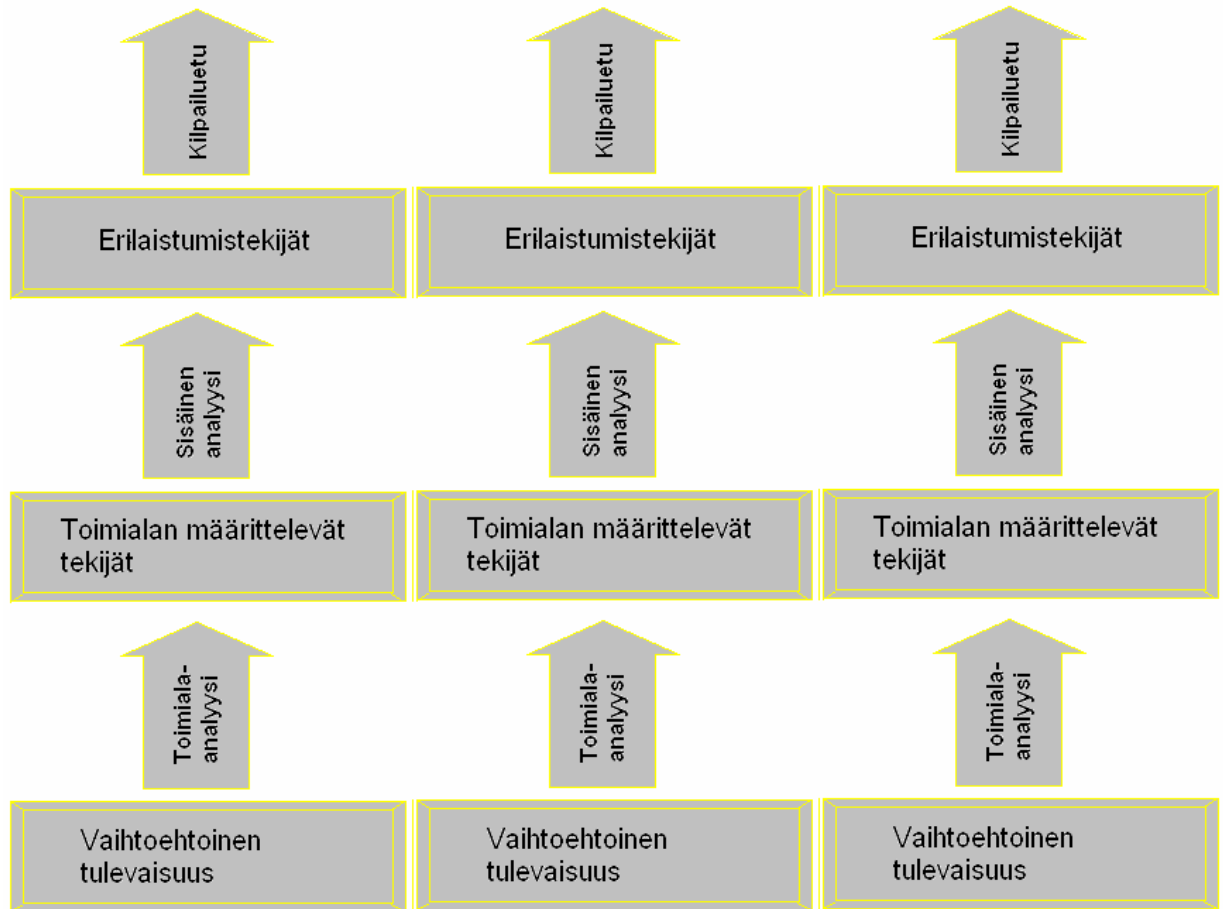
Hajautetun energiantuotannon liiketoiminnan kehittämisessä tärkeää on ymmärtää teknologioiden konvergenssi ja löytää uusia sovellusmahdollisuuksia olemassa oleville teknologioille kehittämällä uusia innovatiivisia liiketoimintoja. Liiketoimintaa täytyy suunnata yhä enemmän palveluiden suuntaan kehittämällä nykyisten tuotteiden oheen täydentäviä palveluja ja kehittämällä uusia kokonaan palveluun keskittyviä liiketoimintamalleja. Haasteena onkin saada keskittyihin ja suuriin energiantuotantojärjestelmiin keskittynyt toimiala suuntaamaan toimiaan hajautettuihin ympäristöystävällisempiin ja taloudellisempiin sekä pienempiin järjestelmiin.

5. SKENAARIOIHIN PERUSTUVAT LIKETOIMINTAMALLIT

5.1. Skenaarioiden hyödyntäminen liiketoimintamallien kuvaamisessa

Monet liiketoimintamalleja kuvaavat teoriat eivät ota huomioon ajan vaikutusta liiketoiminnan kannalta tärkeisiin tekijöihin. Uusia liiketoimintakonsepteja kehitettäessä tulisikin ottaa huomioon ajan myötä tapahtuva liiketoimintaolosuhteiden muutos etenkin, kun suunnitellaan liiketoimintakonsepteja toteutettavaksi pitkällä ja keskipitkällä aikavälillä. Koska tulevaisuutta koskevaa tietoa on vaikea saada ja se on usein epävarmaa, on myös tulevaisuuden liiketoimintakonseptien muodostaminen haastavaa. Skenaarioiden avulla voidaan kuitenkin muodostaa kuvauksia erilaisista tulevaisuuksista ja näitä kuvauksia voidaan hyödyntää myös liiketoimintakonseptien suunnittelussa.

Käytettäessä skenaarioita tulevaisuuden liiketoimintaan liittyvän päätöksenteon työkaluna on syytä muistaa, että skenaariot eivät ole tulevaisuuden ennusteita, vaan kuvauksia mahdollisista tulevaisuuksista. Skenaariot voivat jäädä toteutumatta tai ne voivat toteutua vain osittain. Lisäksi eri markkina-alueilla skenaariot voivat toteutua eri tavalla ja ne voivat toteutua myös päällekkäin. Tämän vuoksi jokaiselle toimialalle ja markkinalle tulisi tehdä oma skenaarioanalyysi sen sijaan, että päätöksentekoa tehtäisiin vain yhteen yleiseen tulevaisuuden kuvaukseen perustuen. Tätä ajatusta esittää kuva 25, jossa kullekin vaihtoehtoiselle tulevaisuudelle tehdään oma toimiala-analyysi. Kun selvillä ovat toimialan määrittelevät tekijät, tehdään yrityksen sisäinen analyysi, jonka jälkeen tunnetaan yritykseltä menestykseen vaadittavat avaintekijät. Näiden tekijöiden jälkeen voidaan implementoida ne erilaistumistekijät tai esimerkiksi uusi liiketoimintakonsepti, joiden avulla yritys voi saavuttaa kilpailuetua. (Meyer 2001; Schoemaker, 1992).



Kuva 25. Liiketoiminnan suunnittelu vaihtoehtoihin tulevaisuuksiin perustuen (Meyer, 2001)

Tässä raportissa uusien liiketoimintakonseptien kuvauksien muodostamisessa painopiste on toimialan analysoinnissa. Sisäiseen analyysiin liittyvät yrityskohtaiset tekijät ovat sen sijaan jätetty pienemmälle huomiolle, koska liiketoimintakonseptit ovat toimialakohtaisia, eivät yrityskohtaisia. Joka tapauksessa kullekin markkina-alueelle, jolle liiketoimintakonseptit on suunnattu, on määritelty myös omat skenaarioperusteiset toimialan avaintekijät. Tätä kautta on pyritty löytämään tulevaisuuden liiketoimintapotentiaalit suomalaisille yrityksille, joita voitaisiin käyttää yritysten sisäisen analyysin lähtökohtana.

5.2. Palveluinnovaatioideat

Uusien liiketoimintakonseptien tulisi olla innovatiivisia, jotta ne voisivat haastaa jo olemassa olevat liiketoimintamallit. (Hamel, 2002) Tämän vuoksi liiketoimintakonseptien suunnittelussa olisi tärkeää muodostaa uusia liiketoimintaideoita, jotka ovat hyödynnettävissä ja pystyvät tuottamaan kilpailuetua. Liiketoimintakonsepteissa käytettyjen innovaatioideoiden tuottamisessa

on hyödynnetty Lappeenrannan teknillisen yliopiston Tuotantotalouden osaston GDSS-laboratoriota. Laboratoriota on käytetty useissa tutkimus- ja yrityshankkeissa mm. päätöksenteon, tarvekartoituksen ja ideoinnin tukena. Innovaatioideoiden tuottamisessa LTY:n GDSS-laboratoriota on käytetty jo 90-luvun lopulta alkaen ja viime vuosina yhä enenevässä määrin sen osoittaman hyödyllisyytensä ja tehokkuutensa ansioista. Hajautetun energiantuotannon tutkimusprojektissa laboratoriota käytettiin palveluliiketoimintaideoiden tuottamiseen skenaarioprosessin ja teknologiaselvityksen aikana kertyneen tiedon pohjalta. Ideoiden tehtävänä on konkretisoida tutkimustietoa ja käynnistää uusia innovaatioprosesseja niillä teknologian osa-alueilla, joilla nykyistä liiketoimintaa voisi kehittää ja jopa synnyttää aivan uutta liiketoimintaa uusien innovaatioiden kautta. Ideoista kuusi mielenkiintoisinta ja lupaavinta on valittu uusien liiketoimintakonseptien muodostamiseen. Syntyneet palveluinnovaatioideat ovat seuraavanlaiset:

- Pienten 1-10 kW tuulivoimayksikköjen standardoitujen pakettien toimitus.
- Kokonaisliiketoiminnan kehittäminen sähkön ja lämmön tuottamiseksi kiinteistössä palvelumuotona, joka sisältää laitteistot, käytön ja ohjauksen.
- Järjestelmätöimittajan integraattoripalvelut heikossa infrastruktuurissa.
- Päätöksenteon tuki pienkuluttajille ja pientuottajille.
- Pienten vesivoimayksiköiden kokonaistoimitukset
- Tuotantoyksikön toimitus leasing-periaatteella.

Palveluinnovaatioideat on sulautettu osaksi myöhemmin esiteltyjä uusia liiketoimintakonsepteja. Kullekin markkinakohtaiselle liiketoimintakonseptille on valittu ne innovaatioideat, jotka vaikuttavat potentiaalisilta kunkin markkinan ja skenaarion sisällä.

5.3. Liiketoimintamallien teoria

Puhuttaessa liiketoimintamalleista ja -konsepteista on syytä muistaa, että liiketoimintamalli on liiketoimintakonsepti, joka on toteutunut käytännössä. Jotta voitaisiin kuvata olemassa olevia liiketoimintamalleja sekä muodostaa uusia liiketoimintakonsepteja, olisi hyödyllistä tietää mistä tekijöistä liiketoimintamallit muodostuvat. Liiketoimintamalleista ei ole olemassa yhtä yleisesti hyväksyttyä teoriaa, vaan useita toisiaan lähellä olevia teoreettisia malleja. Tämän vuoksi valittaessa lähestymistapaa uusien liiketoimintakonseptien muodostamiselle on tärkeää miettiä käsiteltävän liiketoiminnan alan lähtökohtia sekä kohderyhmää, joille uudet konseptit on suunnattu. Tässä raportissa esitetyt uudet hajautetun energiantuotannon liiketoimintakonseptit ovat markkinakohtaisia ja muodostettu yksittäisen yrityksen sijasta koskemaan koko toimialaa. Tästä johtuen on liiketoimintakonseptien kuvauksessa pyritty hyödyntämään teoriaa, joka sopii parhaiten kyseisten konseptien muodostamiseen. Esimerkiksi liiketoimintamalleihin usein liite-

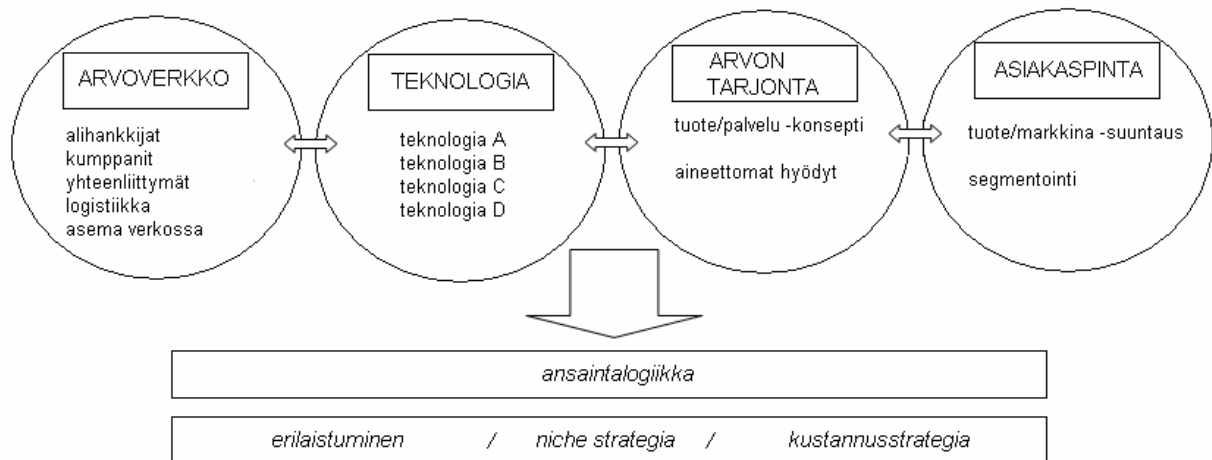
tyt yritysکوhtaiset komponentit, kuten yrityksen kustannusrakenne ja strategiset resurssit (Chesbrough, 2005; Hamel, 2002), on jätetty pois käytettävästä lähestymistavasta.

Taulukossa 3 on vertailtu tunnetuimpia liiketoimintamallien teorioita. Taulukointia on käytetty apuna valittaessa komponentteja malliin, jonka avulla voidaan kuvata sekä nykyisiä HE:n liiketoimintamalleja että uusia liiketoimintakonsepteja.

Taulukko 3. Liiketoimintamallin määritelmiä (Sainio, 2005)

Määritelmä	Tulojen lähteet	Strategia	Toiminnot	Panokset/ Resurssit	Arvo / Hyöty	Arvoverkko
"Kertoo, kuinka yritys tekee rahaa." (Rappa, 2000)	X					
"Tuote-, palvelu- ja informaatiovirtojen organisaatio. Tulojen lähteet ja asiakkaiden hyöty." (Timmers, 2000)	X		X		X	
"Logististen virtojen, arvo- ja tulovirtojen ainutlaatuinen yhdistelmä" (Mahadevan, 2000)	X		X		X	X
"Asiakaspinta, ydinstrategia, strategiset resurssit ja arvoverkko." (Hamel, 2000)	X	X		X	X	X
"Arvon tarjonta, markkinasegmentit, arvoketju, kustannukset ja voitot, arvoverkko ja kilpailustrategia." (Chesbrough & Rosenbloom, 2002)	X	X	X		X	X

Taulukosta 3 nähdään, kuinka asiakkuuksien tunnistaminen sekä asiakkaille tarjottavan arvon ja hyödyn määrittäminen on olennainen osa liiketoimintamallien sisältöä (Chesbrough, 2005). Tämän vuoksi asiakaspinta ja asiakkaille suunnattu arvon tarjonta on valittu komponenteiksi uusien liiketoimintakonseptien muodostamista varten. Menestyvä liiketoimintamalli vaatii usein yrityksen lisäksi myös muita yrityksen ulkopuolisia toimijoita. (Chesbrough, 2005; Hamel, 2002) Tämän vuoksi arvoverkko on valittu mukaan muodostettaessa uusia liiketoimintakonsepteja. Neljäs komponentti, joka on valittu mukaan liiketoimintakonseptien muodostamista varten, on teknologia. Teknologia on usein avaintekijä yrityksen tuote/palvelu -konseptissa ja näin ollen teknologiaan liittyvät ratkaisut ovat olennainen osa uusien liiketoimintakonseptien muodostamisessa. (Chesbrough, 2005) Liiketoimintakonseptien muodostamista varten valittiin siis neljä komponenttia: arvoverkko, teknologia, arvon tarjonta ja asiakaspinta, jotka on esitetty kuvassa 26.

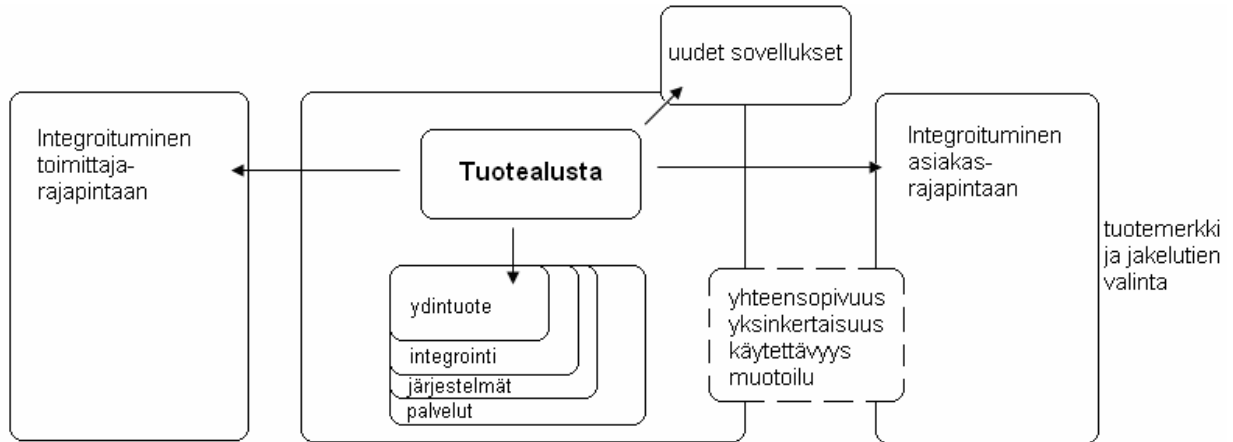


Kuva 26. Liiketoimintamallien kuvaamista varten valitut komponentit.

Liiketoimintakonsepteissa liiketoiminta muodostuu käytännössä komponenttien välisistä vuorovaikutuksista. Nämä vuorovaikutukset voivat olla liiketoimintaan liittyviä materiaali- ja informaatiovirtoja. (Timmers, 1998) Esimerkiksi arvoverkko auttaa yritystä luomaan tuote/palvelu -konseptin ja toimittamaan sen asiakkaille. Näin ollen materiaalivirrat arvoverkosta yritykseen ja asiakaspintaan voivat olla komponenttien toimitusta tai esimerkiksi valmiiden tuotteiden toimitusta ja asennusta asiakkaille. Asiakaspinnasta yritys puolestaan saa informaatiota asiakkaiden tarpeista sekä tietysti tuloja toimitetuista tuotteista ja palveluista.

Yksinkertaisimpien liiketoimintamallien määrittämisen mukaan liiketoimintamalli selittää yrityksen ansaintalogiikan (Rappa, 2005). Koska liiketoimintamalli ei kuitenkaan ole sama asia, kuin ansaintalogiikka, tulisi sen myös kuvata yrityksen kilpailustrategiaa, kuten esimerkiksi erilaistumisstrategiaa, niche -strategiaa tai kustannusstrategiaa (Chesbrough, 2005). Muodostettaessa uusia liiketoimintakonsepteja kuvassa 26 olevan mallin mukaisesti on pyritty löytämään nykyisiltä markkinoilta, skenaarioista sekä teknologiasta niitä tekijöitä, joiden avulla voidaan löytää liiketoimintamahdollisuuksia tulevaisuuden HE:n markkinoilla ja joissa yhdistyisi sekä toimiva ansaintalogiikka että tehokas kilpailustrategia.

Liiketoimintamallien kuvaukseen ja liiketoimintakonseptien muodostamiseen käytetty malli muistuttaa periaatteeltaan tuote/palvelu -konseptia, joka integroituu sekä toimittajarajapintaan, että asiakasrajapintaan. Kuvassa 27 on esitetty tuotealustaan perustuva kuvaus tuote/palvelu -konseptista. Kuvasta nähdään, että tuote voi koostua ydintuotteesta, integroinnista, järjestelmistä ja palveluista. Tuote- ja palvelukonseptin on integroiduttava hyvin tuotteiden käyttäjiin. Uusia ratkaisuja voidaan luoda ja koota asiakastarpeiden kehittymisen myötä sitä helpommin, mitä paremmin asiakastarpeet tunnetaan ja mitä muuttuvampi (varioituvampi) on tuote- ja palvelualusta ja sen komponentit. (MET, 2003)



Kuva 27. Tuote- ja palvelukonsepti (MET, 2003)

Hajautetun energiantuotannon järjestelmissä lopputuotteet voivat usein koostua useista teknologioista, komponenteista ja erityisesti palveluista. Tämän vuoksi liiketoimintakonsepteja suunniteltaessa yritykset joutuvat tekemään strategisia ratkaisuja teknologiavalinnasta sekä ydin- ja täydentävien teknologioiden hallinnasta. Sekundääriteknologioiden (täydentävien teknologioiden) hallitseminen voi olla ratkaiseva tekijä menestyvän liiketoimintamallin muodostamisessa. Tärkeää on ensin tunnistaa sekundääriteknologiat ja sitten valita niiden hallitsemiseen sopiva organisaatio. Tämä organisaatio voi olla yritys itse tai se voi ulkoistaa tietyn teknologian arvoverkossaan tai valmistaa yhdessä kumppanin kanssa. (Parhankangas et al., 2003) Tätä kautta yrityksen arvoverkkoa koskevat valinnat jälleen korostuvat liiketoimintamalleissa. Uusia liiketoimintakonsepteja muodostettaessa hajautetun energiantuotannon järjestelmille on pääasiassa keskitytty siihen, mitkä primääriteknologiat ovat potentiaalisia eri markkina-alueilla tulevaisuuden liiketoiminnassa. Kuitenkin liiketoimintakonsepteissa on mainittu myös joitakin sekundääriteknologioita, mikäli ne on nähty erityisen potentiaalisina.

6. MARKKINOIDEN JA TARKASTELUN FOKUSOINTI SUOMALAISEN ENERGIATEKNIIKAN NÄKÖKULMASTA

Uusien liiketoimintakonseptien muodostamisessa peruslähtökohtana on nykyinen suomalainen osaaminen primääriteknologian järjestelmissä ja komponenteissa sekä sekundääriteknologian hyödyntäminen palveluiden tuottamisessa. Teknologioiden ja markkinoiden valinta uusia liiketoimintakonsepteja varten on tehty asiantuntija-arvioina mahdollisimman objektiivisesti. Valinta-analysissä on tarkasteltu yleisiä valintaan vaikuttavia kriteerejä ja arvioitu niiden merkittävyyttä hajautetun energiantuotannon tulevaisuuden liiketoiminnan kannalta. Valintojen strategisesta luonteesta johtuen niitä on tarkasteltava kriittisesti sekä huomattava, etteivät ne ole muita mahdollisuuksia poissulkevia.

Asiantuntijatyön perusteella liiketoimintakonseptien perustaksi on valittu viisi keskeisintä teknologiaa ja viisi keskeisintä markkinaa (taulukko 4). Potentiaalisimpina markkinoina hajautetun energiantuotannon järjestelmien kannalta nähdään Kiina, EU-10 ja -15 maat, Venäjä ja Intia. Tutkittaviksi teknologioiksi on puolestaan valittu tuuli-, pienvesivoima-, bio-, diesel/kaasu- ja aurinkoenergiaa hyödyntävät primääriteknologiat. Näiden teknologioiden ja markkinoiden osalta etsitään liiketoimintakonsepteja määrittelevät muuttujat. Muuttujien perusteella pyritään muodostamaan yleistettäviä tulevaisuuden liiketoimintakonsepteja suomalaisesta näkökulmasta hajautetun energiantuotannon toimialalle.

Taulukko 4. Strateginen markkina- / teknologiavalinta suomalaisesta näkökulmasta

Teknologian kiinnostavuus TTY:n arvio	Markkinan kiinnostavuus								Erytysosaaminen		
	1 Kiina	2 EU-10	3 Venäjä	4 Intia	5 EU-15	6 Pohj.maat	7 Brasilia	8 Kaakkois-Aasia	Komponentit	Järjestelmät	Kommentti
1. tuulivoima	+	++		+	++	++		+	+++	+	
2. pienvesivoima	++	+	+	++		++	++	++	+++	++	
3. bioenergia	++	+++	++	++	+++	+++	+	++	+++	+++	
4. moottorit (diesel,m.kaasu)	+++	++	++	+++	+	+	+	++	++	++	HE-moottorit
5. mikroturbiini											
6. aurinkosähkökemo			+	+	+	+			+	+	täydentävä
7. aurinkolämpö						+			+	+	täydentävä
8. maalämpö											pientä toimintaa
9. polttokennot HT	+	+	+	+	+	+	+	+	+	++	tutkimusta
10. polttokennohybridi	+	+	+	+	+	+	+	+	+	++	tutkimusta
11. geotermäinen energia						+					
12. stirlingmoottori											
13. Kaasuturbiini											
LIIKETOIMINTATUTKIMUS 2005:											
Kombinaatiot eri muodoissaan teknologiat 1-4 (6)											Liiketoiminta- tutkimus
Integrointi (KSF ¹¹)											Kriittisiä tekijöitä
ICT, palvelut, tehoelektronikka											kaikissa sken.

+++ erittäin tärkeä, ++ merkittävä, + vähäinen merkitys

*Strateginen arvio on tehty asiantuntijoiden subjektiivisen näkemyksen ja tutkimuksen ensimmäisen vaiheen skenaario- ja teknologiatutkimusten perusteella.

** KSF, Key Success Factor (Schoemaker, P. J. H., 1992. How to link strategic vision to core capabilities, Sloan Management Review. Vol. fall, 67-81.)

Uusien liiketoimintakonseptien muodostamista varten on syytä tuntee myös markkinoiden suuruusluokka, markkinoilla vallitsevat asiakastarpeet sekä liiketoimintaa edistävät ja estävät tekijät. Seuraavaksi kyseiset tekijät on esitelty kunkin valitun markkina-alueen osalta. Markkina-katsaukset pyrkivät antamaan tietoa myös markkinoiden tulevaisuuden suuntauksista ja hajautetun energiantuotannon liiketoiminnan tulevaisuuden mahdollisuuksista.

6.1. Venäjän markkinat

Venäjän markkinat sisältävät suuret mahdollisuudet liiketoiminnalle hajautetun energiantuotannon järjestelmien alalla. Kuitenkin markkinoilla piilevän potentiaalın hyödyntäminen edellyttää merkittäviä muutoksia maan sähkö- ja maakaasusektoreilla. Venäjän energiamarkkinoiden tämän hetkinen koko on esitetty taulukossa 5. Sähkön kulutus kasvaa Venäjällä noin 2–3 prosenttia vuodessa. (Frost & Sullivan Growth Consulting 2002)

Taulukko 5. Sähkö ja HE Venäjällä 2004 (WADE, 2005)

Parametri	Arvo
Kokonaissähköntuotanto (TWh)	915,0 (arvio)
Kokonaissähköntuotantokapasiteetti (GWe)	208,0 (arvio)
HE:n tuotanto (TWh)	tuntematon
HE:n kapasiteetti (GWe)	65,0
HE:n osuus kokonaistuotannosta (%)	tuntematon
HE:n osuus kokonaiskapasiteetista (%)	31,3

WADE:n (2005) selvityksen mukaan Venäjällä on suuri tarve kaukolämmityksen sekä sähkön-
tuotannon ja -jakelun infrastruktuurin lisäämiselle ja uusimiselle. Venäjällä on kuitenkin vaike-
uksia rahoittaa tarvittavia uudistuksia. Tästä huolimatta maa on ennemmin tai myöhemmin
pakkoinvestointien edessä johtuen tuotantokapasiteetin korkeasta iästä. Taulukossa 6 on esitet-
ty Venäjän tuotantokapasiteetin ikärakenne. Merkittävää on, että vain kahdeksan prosenttia
maan tuotantokapasiteetista on rakennettu vuoden 1990 jälkeen. Sen sijaan 40 prosenttia kapa-
siteitista on yli 25 vuotta vanhaa.

Taulukko 6. Venäjän tuotantokapasiteetin ikärakenne (Frost & Sullivan Growth Consulting, 2002)

Järjestelmien ikä (a)	Osuus koko tuotan- tokapasiteetista (%)
alle 10	8
10-20	52
yli 25	40

Venäjän sähkösektoria hallitsee monopoliyhtiö, mutta hiljalleen käynnissä oleva sähkömarkki-
noiden uudistus tulee todennäköisesti johtamaan itsenäisiin energiantuotanto ja -
jakeluyhtiöihin. Tämä kehitys olisi välttämätöntä energiasektorin tehokkuuden parantamisen ja
ulkomaisten investointien lisääntymisen kannalta. Mahdollisista uudistuksista huolimatta säh-
köverkon oletetaan säilyvän valtion omistuksessa myös tulevaisuudessa. (Dudarev et al., 2004)
Uudistukset Venäjän sähkömarkkinoilla toisivat maan lähemmäksi Euroopan energiasektoria ja
yhteistyö Venäjän ja EU:n välillä voisi avata uusia mahdollisuuksia alueiden välillä niin ener-
gian tarjonnan kuin myös uusien tuotantoteknologioiden liiketoiminnan osalta. (Frost & Sulli-
van Growth Consulting, 2002)

6.1.1. Potentiaaliset teknologiat ja asiakassegmentit

Energiantuotanto Venäjän Euroopan puoleisissa osissa on erittäin keskitettyä ja hajautettu tuotanto muodostuu lähinnä suurten teollisuuslaitosten energiantuotannosta ja CHP -ratkaisulla tuotetusta kaukolämpöjärjestelmistä. CHP -järjestelmillä odotetaan olevan suurin kysyntä tulevaisuudessa Venäjällä etenkin sellaisten asiakasryhmien keskuudessa, joilla on ennestään hyvät yhteydet paikalliseen polttoaineen tarjontaan tai on omaa polttoaineen tuotantoa. Tällaisia asiakkaita voivat olla esimerkiksi metsä- ja paperiteollisuuden laitokset, jotka voivat hyödyntää tuotantoprosessista saatavaa biomassaa energian tuotannossa. Biomassaan perustuva sähkön ja lämmön yhteistuotanto voisi olla ideaalinen ratkaisu myös maatiloille taaten näin vakaan energian saatavuuden. (Frost & Sullivan Growth Consulting, 2002)

CHP -sovellusten jälkeen seuraavaksi potentiaalisimmaksi teknologiaksi hajautetun energiantuotannon kannalta katsotaan olevan perusvoimantuotantoon perustuvat sovellukset. Perusvoimantuotannossa ovat etenkin diesel-moottorit varteenotettava vaihtoehto Venäjän markkinoilla. Etenkin pieniä, esim. 20 kW yksiköitä, voidaan käyttää pienten yksityisten kohteiden perusvoimantuotantoon. Tällaisia kohteita ovat asuintalot ja kesämökit, jotka eivät ole yhteydessä sähköverkkoon. Näiden sovellusten osalta tärkeän asiakassegmentin muodostavat Venäjän uusrikkaat, joilla on varaa ostaa omat sähköntuotantojärjestelmät asuntoihinsa ja kesämökkeihinsä. Pitkällä aikavälillä voidaan kuitenkin odottaa diesel-moottoreiden houkuttelevuuden vähenevän öljyn ja kaasun hinnan kasvun myötä. Sen sijaan polttoaineista koitua kustannusten nousu ei haittaa tuuli- ja vesivoimantuotantoa, mitkä katsotaan potentiaalisiksi hajautetun energiantuotannon vaihtoehdoiksi Venäjän pohjoisosissa ja Kaukasuksella. Varavoimasovelluksille odotetaan olevan kysyntää etenkin Venäjän Aasian puoleisissa osissa, missä sähkön siirtoverkon luotettavuus on erityisen heikkoa. Alueella on myös kasvavaa kiinnostusta vähentää riippuvuutta keskitettyyn tuotantoon ja sähköverkkoon. (Frost & Sullivan Growth Consulting, 2002)

6.1.2. Liiketoimintaa edistävät ja haittaavat tekijät

Vanhan tuotantokapasiteetin uusimisen tarve ja energiasektorin monopolin purkaminen ovat tärkeimmät hajautetun energiantuotannon liiketoimintaa edistävät tekijät. Koska kapasiteetin uusiminen tulee kalliiksi, ovat pienemmät järjestelmät ja täten investoinnit tulevaisuudessa entistä houkuttelevampia. Lisäksi öljyn ja kaasun hinnan nousun myötä hajautettu energiantuotanto on varteenotettava vaihtoehto paikallisiin energianlähteisiin yhteydessä olevien asiakasryhmien keskuudessa. Suomalaisten järjestelmätoimittajien on puolestaan syytä harkita paikallisten komponenttitoimittajien hyödyntämistä. Venäjällä on vahvat perinteet energiantuotannon komponenttien valmistuksessa ja kyseisiä komponentteja on mahdollista hankkia varsin edulliseen hintaan. (IEA, 2005b; WADE, 2005; Frost & Sullivan Growth Consulting, 2002)

Suurimmat esteet hajautetun energiantuotannon liiketoiminnalle Venäjällä ovat monopoliin perustuva markkinoiden rakenne sekä sähkön hinnoittelumekanismit, jotka eivät ole markkinaperusteisia. Paikalliset energiayhtiöt, jotka omistavat tuotantolaitokset ja sähköverkot, ovat haluttomia liittämään verkkoon itsenäisiä energiantuottajia. Lisäksi investointien määrää vähentää merkittävästi Venäjän maine suuren riskin maana. Jos edellä mainitut esteen saadaan tulevaisuudessa poistettua, voivat hajautetun energian markkinat lähteä huomattavaan kasvuun. (IEA, 2005b; WADE, 2005; Frost & Sullivan Growth Consulting, 2002)

6.2. EU-15 markkinat

EU-15 markkinat sisältävät ne Euroopan Unionin maat, jotka ovat olleet Unionin jäsenvaltioita jo ennen vuoden 2004 laajennusta. Yhteisestä valuutasta, yhtenäisestä markkina-alueesta sekä energia ja ympäristöpolitiikasta huolimatta EU:ta ei ole järkevää käsitellä homogeenisena markkina-alueena. EU:n jäsenvaltioiden välillä on edelleen eroja, jotka on syytä ottaa huomioon liiketoimintaa suunniteltaessa. Esimerkiksi entisissä sosialistisissa maissa energiainfrastruktuurin vanhanaikaisuus on tekijä, joka vaikuttaa merkittävästi kyseisissä maissa hajautetun energiantuotannon järjestelmien liiketoimintaan. Tässä markkinakatsauksessa keskitytään kuitenkin vanhempien EU maiden markkinoiden tarkasteluun. Erityisesti tarkasteluun on valittu Saksa, joka käsittää suuren kansallisen sähkömarkkina-alueen ja on perinteisesti panostanut uusiutuvien energiamuotojen tukemiseen. Maata koskevia johtopäätöksiä voidaan pitää suuntaa antavina koko EU-15 alueelle sillä oletuksella, että markkina-alue muodostuu lainsäädännön myötä entistä homogeenisemmaksi tulevaisuudessa. (EUROPA, 2005)

EU:ssa etenkin kansallinen verotus vaikuttaa maakaasun ja sähkön hinnan erojen muodostumiseen jäsenmaiden välillä. Saadakse hintoja alas EU onkin avaamassa kansallisia sähkö- ja kaasumarkkinoita suuremman kilpailun saavuttamiseksi markkinoilla. EU:ssa on meneillään myös hankkeita tehokkaampien ja halvempien energiansiirtoverkostoiden rakentamiseksi kautta Euroopan. (EUROPA, 2005)

Euroopan Unionin alueella suuri osa sähköstä on tuotettu keskitetysti kivihiiltä hyödyntäen, mutta ajan myötä kivihiilen louhiminen on tullut liian kalliiksi monissa maissa. Samanaikaisesti maakaasun saatavuus on parantunut, minkä seurauksena useita voimalaitoksia on muunnettu kivihiihikäyttöisistä kaasua käyttäviksi. Joka tapauksessa fossiilisten polttoaineiden rajallinen määrä vaikuttaa siihen, että ennen pitkään kyseisten energialähteiden hyödyntäminen tulee liian kalliiksi ja joudutaan turvautumaan vaihtoehtoisiin energialähteisiin. Fossiiliset polttoaineiden käytöstä syntyy lisäksi kasvihuonekaasupäästöjä, jotka aiheuttavat ilmaston lämpenemistä. Näistä syistä johtuen Euroopan Unionissa on alettu panostaa uusien puhtaampien energiantuotantomuotojen kehitykseen. EU:n halukkuutta kehittää energiantuotantjärjestelmiä ja erityisesti uusiutuvien energialähteiden käyttöä lisää myös unionin riippuvuus tuontiöljystä. Vuoden 1973 kaltainen öljykriisin toistuminen voisi johtaa EU:n taloudelliseen kriisiin, minkä vuoksi EU:lle on hyvin tärkeää kehittää energiahuoltonsa omavaraisemmaksi. (EUROPA, 2005) Taulukossa 7 on esitetty esimerkkinä Saksan sähkömarkkinoita ja hajautetun energiantuotantoa kuvaavia tunnuslukuja.

Taulukko 7. Sähkö ja HE Saksassa 2004 (WADE, 2005)

Parametri	Arvo
Kokonaissähköntuotanto (TWh)	560
Kokonaissähköntuotantokapasiteetti (GWe)	115
HE:n tuotanto (TWh)	100,8
HE:n kapasiteetti (GWe)	22,8
HE:n osuus kokonaistuotannosta (%)	18
HE:n osuus kokonaiskapasiteetista (%)	19,8

6.2.1. Potentiaaliset teknologiat ja asiakassegmentit

Saksassa tuetaan tällä hetkellä voimakkaasti sähköverkkoon yhdistettyjä tuulivoimaturbiineja sekä CHP ja aurinkokennojärjestelmiä. Tuulivoimalle suunnatut tuet ja kannustimet ovat merkittäviä verrattuna muissa maissa esiintyviin kannustimiin. Tämän seurauksena on syntynyt tuulivoiman teknologista kehittämistä sekä alan vankka tuotantopohja. (Frost & Sullivan Growth Consulting, 2002) Suomalaisten yritysten kannalta Saksassa on siis potentiaaliset markkinat etenkin tuulivoimaloiden komponentteja tuottaville yrityksille etenkin jos tuulivoiman tukeminen jatkuu voimakkaana myös tulevaisuudessa.

Eri sovellusmuotojen osalta suurin kysyntä Saksassa on diesel-moottoreiden varavoimaratkaisuille, mutta tämän sektorin odotetaan kasvavan varsin hitaasti. Sen sijaan pienen kokoluokan CHP järjestelmien markkinapotentiaalin odotetaan kasvavan merkittävästi valtion kannustinjärjestelmien ansiosta. Tulevaisuudessa odotetaan erityisesti bioenergiaan, kaasumoottoriteknoologiaan ja polttonenoihin perustuvien CHP järjestelmien valtaavan alaa markkinoilla. (Frost & Sullivan Growth Consulting, 2002)

Saksassa teollisuusyritykset ja energiayhtiöt muodostavat HE järjestelmien potentiaalisimman asiakassegmentin. Segmentin odotetaan muodostavan 75% koko HE järjestelmien markkinoisista. Myös kaupallisen, kotitalous- ja julkisen sektorin odotetaan lisäävän HE järjestelmien käyttöä tulevaisuudessa, mikäli järjestelmien saatavuus ja taloudellisuus saadaan tarpeeksi hyväksi. (Frost & Sullivan Growth Consulting, 2002)

Bioenergia- ja kaasumoottoriteknologiat on valittu houkuttelevimmiksi Saksan markkinoilla, koska suomalaisilla yrityksillä on erityisosaamista näiden teknologioiden osalta komponenttien, järjestelmien ja palveluiden tarjoamisessa, ja koska kyseisten teknologioiden odotetaan

lisäävän merkittävyyttään tulevaisuudessa keskitetyn energiantuotannon suhteellisen osuuden pienentyessä. (Frost & Sullivan Growth Consulting, 2002) Myös tuulienergia nähdään houkuttelevana teknologiana Saksassa olevien tukijärjestelmien ja vahvan tuotantopohjan ansiosta. Tuulivoiman osalta Saksa on houkutteleva markkina-alue erityisesti suomalaisille komponenttien toimittajille.

6.2.2. Liiketoimintaa edistävät ja haittaavat tekijät

EU:n päästökauppa pyrkii ohjaamaan yrityksiä ottamaan käyttöön energiantuotannossa teknologisia sovelluksia, joista aiheutuu pienempiä päästöjä. Tämä avaa markkinoita erityisesti uusiutuvia energianlähteitä hyödyntäville hajautetun energiantuotannon teknologioille. Saksassa sähköverkko-operaattoreiden vaaditaan laillisesti suorittavan minimilaskutuksen uusiutuvilla energianlähteillä tuotetusta sähkönsiirrosta, mikä entisestään lisää HE järjestelmien houkuttelevuutta. (EUROPA, 2005; WADE, 2005)

Saksassa keskitettyä energiantuotantoa harjoittavat suuret sähköyhtiöt ovat pyrkineet estämään HE järjestelmien käytön kasvua, mutta lainsäädännön ja uusiutuvien energianlähteiden puolesta tapahtuvan kampanjoinnin myötä energiayhtiöiden haluttomuus hyödyntää HE järjestelmiä on selvästi vähentynyt. Etenkin kiinteä maksu sähkön syöttämiselle verkkoon on vähentänyt sähköyhtiöiden haluttomuutta käyttää HE järjestelmiä. (Frost & Sullivan Growth Consulting, 2002)

6.3. Intian markkinat

Taloudellisen kasvun myötä ja sähköverkon suurten, lähes 20-40% häviöiden vuoksi Intian energiassektori tarvitsee pikaista kehitystä ja investointeja. Intian bruttokansantuote kasvaa tällä hetkellä 8 prosentin vuosivauhdilla, mikä heijastuu myös energian tarpeen kasvuna. Intian hallitus on lisäksi asettanut tavoitteeksi maaseudun sähköistämisen vuoteen 2012 mennessä ja tavoitteen saavuttamisessa hajautetun energiantuotannonjärjestelmillä on tärkeä rooli. Intiassa on maaseudulla lähes 78 miljoonaa kotitaloutta ilman sähköä. Tämän vuoksi maahan on muodostettu erillinen ministeriö MNES (Ministry of non-conventional energy sources), jonka vastuulla on sähköistää 18000 syrjäseuduilla sijaitsevaa kylää uusiutuviin energianlähteisiin perustuvien järjestelmien. (Banerjee, 2004; Thakur et al., 2005; Singh, 2004; WADE, 2004) Taulukossa 8 on esitetty Intian tämän hetken sähköntuotannon ja tuotantokapasiteetin suuruus sekä hajautetun tuotannon osuus.

Taulukko 8. Sähköntuotanto ja HE:n osuus Intiassa (WADE, 2005)

Parametri	Arvo
Kokonaissähköntuotanto (TWh)	535,0
Kokonaissähköntuotantokapasiteetti (GWe)	112,0
HE:n tuotanto (TWh)	16,5
HE:n kapasiteetti (GWe)	5,2
HE:n osuus kokonaistuotannosta (%)	3,1
HE:n osuus kokonaiskapasiteetista (%)	4,6

6.3.1. Potentiaaliset teknologiat ja asiakassegmentit

Parhaiten hajautetun tuotannon tekniikoista näyttäisivät tulevaisuudessa menestyvän biomassaa polttoaineena käyttävät kaasumootorit sekä tuulivoimalat. Jo tällä hetkellä Intian tuulivoimakapasiteetti on yksi maailman suurimmista (1200 MW vuonna 2000). Tuulivoiman käyttöä onkin voimakkaasti tuettu valtion puolesta ja tämän seurauksena asennetun kapasiteetin määrän arvellaan nousevan jopa 4 GW:iin vuoteen 2020 mennessä. Tuulivoiman käyttö on kannattavaa alueilla, joilla kapasiteettitekijä on 30% tai enemmän. Biomassan käyttäminen puolestaan edellyttää polttoaineen saatavuutta läheltä energiantuotantopaikkaa sekä järjestelmien standardoimista, jotta ne saataisiin laajempaan käyttöön. Muista tuotantoteknologioista maakaasua käyttävät kaasumootorit ovat potentiaalisia niiden edullisuuden vuoksi. Ongelmana on vain kaasuverkon puutteellisuus etenkin syrjäisemmillä maaseudun alueilla, missä hajautetun energian tarve on suurta. (Banerjee, 2004; IEA, 2002)

Intiassa sähköntuotanto ja – jakeluyhtiöt on eritelty omiksi yksiköikseen. Kyseisillä yhtiöillä ei ole kovinkaan paljoa toiminnallista ja taloudellista itsenäisyyttä, sillä ne ovat edelleen osavaltioiden omistuksessa. Vastuu maan sähköistämiseksi on osavaltioilla ja täten energiayhtiöillä. Tämän vuoksi kyseiset yhtiöt ovat merkittävä asiakassegmentti hajautetun energiantuotannon järjestelmien kannalta. Koska Intiassa tuetaan erityisesti uusiutuvien energianlähteiden hyödyntämistä, ovat pienet tuuli- ja vesivoimajärjestelmät potentiaalisia tuotteita Intian hajautetun energian markkinoille. Bioenergian kannalta etenkin sokeriteollisuus on erittäin potentiaalinen asiakassegmentti Intiassa, sillä asiakkaat voivat tuottaa tarvitsevansa polttoaineen sokeriruokojätteistä, mikä puolestaan mahdollistaisi teknologialla tuotetun energian taloudellisuuden. (Banerjee, 2004; IEA, 2002)

Jotta Intian tavoitteet maan sähköistämiseksi toteutuisivat, tulisi maassa käynnistää useita pilot-projekteja sopivien tuotantokeinojen löytämiseksi ja kehittämiseksi. (WADE, 2005) ja

(Banerjee, 2004) Tämän vuoksi järjestelmätoimittajien tulisi voimakkaasti markkinoida hajautetun tuotannon eri vaihtoehtoja. Onnistuneiden pilottiprojektien myötä olisi mahdollista saada suuremman volyymin tilauksia. Pilottiprojekteja tulisi markkinoida julkiselle sektorille osavaltioille, jotka pyrkivät löytämään uusia ratkaisuja alueidensa infrastruktuurin kehittämiseksi.

6.3.2. Liiketoimintaa edistävät ja haittaavat tekijät

Tärkein liiketoimintaa edistävä tekijä Intiassa on hallituksen tavoite maaseudun sähköistämiseksi vuoteen 2012 mennessä. Intia pyrkii sähköistämään lähes 18000 kylää, jotka vielä tällä hetkellä ovat sähköverkon ulkopuolella ja tämän on arvioitu merkitsevän tuuli- ja pienvesivoiman rakentamista maahan 500MW edestä. Myös voimakas talouskasvu ja siitä seuraava sähkön hinnan nousu yhdistettynä sähkönjakeluverkon häviöihin ja epäluotettavuuteen lisää hajautetun tuotannon järjestelmien houkuttelevuutta erityisesti yksityisellä sektorilla. (WADE, 2005; (Thakur et al., 2005)

Liiketoimintaa haittaavina tekijöinä voidaan puolestaan mainita heikko maakaasun saatavuus sekä puutteet energiasektoria koskevassa lainsäädännössä. Lisäksi Intialla on vaikeuksia kustantaa maan sähköistämiseen tarvittavat investoinnit, mikä toisaalta asettaa haasteen järjestelmätoimittajille kustannustehokkaiden ratkaisujen löytämiseksi. (WADE, 2005; Banerjee, 2004)

6.4. Kiinan markkinat

Lähes 1,3 miljardin asukkaan Kiina on maailman toiseksi suurin energiamarkkina-alue tuotantokapasiteetin ja sähköntuotannon määrän perusteella. Kiinan tärkeimmät energiantuotantoon vaikuttavat trendit ovat teollistuminen ja talouskasvu, sekä niistä johtuva sähköntarpeen kasvu ja hiilidioksidipäästöjen lisääntyminen. (Mackay, 2003) Kiinan tavoitteet kasvihuonekaasujen vähentämiseksi perustuvat energian tuotannon tehostamiseen, metsien uudelleen istuttamiseen ja ympäristönsuojeluun. Taulukossa 9 on esitetty Kiinan sähköntuotannon suuruus ja hajaute-
tun energiantuotannon osuus.

Taulukko 9. Sähköntuotanto ja HE:n osuus Kiinassa (WADE, 2005)

Parametri	Arvo
Kokonaissähköntuotanto (TWh)	2200,0 (arvio)
Kokonaissähköntuotantokapasiteetti	441,0 (arvio)
HE:n tuotanto (TWh)	332,1
HE:n kapasiteetti (GWe)	83,8
HE:n osuus kokonaistuotannosta (%)	15,10
HE:n osuus kokonaiskapasiteetista (%)	19,10

6.4.1. Potentiaaliset teknologiat ja asiakassegmentit

Lähitulevaisuudessa investoinnit energiasektorilla tulevat merkittävästi kasvamaan johtuen Kiinan melko vanhasta ja tehottomasta tuotantokapasiteetista. Tästä johtuen energiatehokkuus tuleekin olemaan tärkeä kriteeri järjestelmien valinnassa Kiinan markkinoilla. (Frost & Sullivan Growth Consulting, 2002) Taulukossa 10 on esitetty Kiinan tuotantokapasiteetin ikärakenne. Taulukosta voidaan nähdä, että jopa 40% maan tuotantokapasiteetista on vähintään 25 vuotta vanhaa.

Taulukko 10. Kiinan tuotantokapasiteetin ikärakenne (Frost & Sullivan Growth Consulting, 2002)

Järjestelmien ikä (a)	Osuus koko tuotantokapasiteetista (%)
0-5	4
6-10	10
11-15	16
16-25	30
25 tai enemmän	40

WADE:n (2003) arvion mukaan hajautetun tuotannon kapasiteetin määrä tulee lähes kaksinkertaistumaan Kiinassa vuoden 2010 loppuun mennessä, mikä merkitsee sitä, että Kiina tulisi

olemaan nopeimmin kasvava energiamarkkina maailmassa. Tällä hetkellä yleisimmät hajautetun energian tuotantomuodot Kiinassa ovat diesel moottorit ja hiilikäyttöiset höyryturbiinit. (Mackay, 2003) Taulukossa 11 on esitetty WADE:n arvio hajautetun energiantuotannon eri teknologioiden osuuden kasvusta vuoteen 2010 mennessä.

Taulukko 11. HE:n ennustettu kasvu Kiinassa vuoteen 2010 mennessä (Frost & Sullivan Growth Consulting, 2002)

	Asennettu					
	kokonaiskapa- siteetti	CHP	Pienvesi- voima	Hajautettu tuulivoima	Aurinkoenergia	Kokonais HE
Vuosi	2001	1999	1999	1998	2001	1999/01
Kapasiteetti (MW)	307000	28153	19384	205	12	47754
Ennustettu vuosittainen kasvu (%)	5,8	6,4	6,3	5,7	16,7	6,4
Ennustettu kapasiteetti v.2010 (MW)	511000	49427	33694	337	48	83506

6.4.2. Liiketoimintaa edistävät ja haittaavat tekijät

Taloukasvun varmistamiseksi Kiinassa joudutaan tekemään merkittäviä investointeja energiasektorilla tuotantokapasiteetin lisäämiseksi ja energiainfrastruktuurin parantamiseksi. Kiinan tärkeimmät energiareсурssit sijaitsevat maan läntisissä ja pohjoisissa osissa, kun taas suurin osa energian kulutuksesta tapahtuu maan itäisissä osissa. Sähkön ja maakaasun siirron tehostaminen näiden alueiden välillä onkin Kiinan hallituksen päätavoite energiasektorilla vuoteen 2010 mennessä. (Gnansounou & Dong, 2004) Tämän vuoksi Kiinan markkinoilla korostuu tuotantojärjestelmien yhteydessä tarjottavan sähkönsiirtoinfrastruktuurin rakentaminen osana kokonaispalvelua.

7. NYKYISTEN LIIKETOIMINTAMALLIEN KUVAUS

Tässä kappaleessa tarkastellaan kolmea olemassa olevaa liiketoimintamallia, jotka esiintyvät hajautetun energiantuotannon järjestelmien markkinoilla: Caterpillarin, Wärtsilän ja Capstonen liiketoimintamallit. Niitä pyritään kuvaamaan teknologioiden, arvon tarjonnan, asiakaspinnan ja arvonverkon merkittävimpien tekijöiden osalta. Teknologiakomponenttiin on kuvattu yrityksen ydin teknologiat ja arvontarjontakomponenttiin puolestaan ne asiakkaille tarjotut hyödyt, joita voidaan tuottaa teknologioiden avulla. Liiketoimintaa pyritään hahmottamaan linkittämällä graafisesti edellä mainitut liiketoiminnan komponentit yritysten arvoketjuihin. Liiketoimintamallien kuvauksissa jokaisesta liiketoimintamallin komponentista arvoketjuun johtava viiva osoittaa, missä arvoketjun osissa kukin komponentti muodostuu. Lisäksi arvoverkkokomponentista arvoketjuun johtavat viivat kuvaavat, mistä arvoketjun osista yrityksen kokonaisliiketoiminta muodostuu. Tarkemmat ohjeet liiketoimintamallien kuvauksien lukemiselle löytyvät liitteestä 4.

Liiketoimintamallien kuvaamisen avulla voidaan siis vertailla yrityksiä sekä selvittää niiden ansaintalogiikkaa ja kilpailustrategiaa. Nykyisten liiketoimintamallien kuvauksia voidaan käyttää apuna ja tiedonlähteenä suunniteltaessa uusia liiketoimintakonsepteja muistaen kuitenkin, että menestyvät liiketoimintamallit eivät ole jo olemassa olevien mallien kopioita. Alalla vallitsevien liiketoimintamallien tunteminen on tärkeää senkin osalta, että yritykset eivät kilpaile keskenään vain tuotteillansa vaan koko liiketoimintamallilla. (Rinne, 2005)

7.1. Liiketoimintamallien tyypit

Hajautetun energiantuotannon toimialalla liiketoimintamallit voidaan jakaa karkeasti järjestelmätoimittajan ja komponenttitoimittajan liiketoimintamalleihin. Toimialalla esiintyy myös energian myynnin liiketoimintaa sekä palveluliiketoimintaa, joka tosin usein on osana järjestelmätoimittajien liiketoimintamallia. Järjestelmäintegraattorilla tarkoitetaan toimijaa, joka koostuu määrättyyn tarkoitukseen sopivaa energian tuotantoyksikköä olemassa olevista komponenteista. Tämä voi esim. tarkoittaa primäärienergian konversioprosessin laitteita, sähköä tuottavan koneen ja automaatiolaitteiden valintaa ja niiden yhdistämistä toimivaan kokonaisuuteen sekä näihin liittyviä palveluja. Siihen voi myös kuulua koko hankkeen rahoituksen järjestäminen sekä projektin kokonaissuunnittelu ja valvonta. Järjestelmäintegraattori voi suunnitella koko projektin itse tai hän voi käyttää alihankkijoita sopiviin kokonaisuuksiin kuten esim. rakennusten suunnitteluun ja rakennustyön valvontaan, sähkö- ja/tai automaatiosuunnitteluun sekä suunnitelmien toteutukseen, energiaprosessin asennukseen ja käyttöönottoon jne. Järjestelmäintegraattorin rooli voisi olla sopiva suomalaiselle yritykselle, mutta kannattava liiketoiminta edellyttää riittävää toimitusten vuosivolyymien saavuttamista. Sopivat alihankintaverkostot voisivat tukea tarvittavaa erikoistumista. (Lehtinen & Wahlström, 2005)

Komponenttitoimittajan rooli on verraten selkeä. Suomesta löytyy jo tällä hetkellä paljon

yrittäjiä, jotka toimivat tässä roolissa. Ongelmana on kuitenkin löytää sellaisia tuotteita, jotka omalla kapealla sektorillaan edustaisivat maailman huippua sekä hinta- että laatumielessä. Esim. pienkattiloita tuotetaan tällä hetkellä monessa yrityksessä, joten tällä alueella voitaisiin toivoa erikoistumista. Generaattoreita tuotetaan Suomessa muutamissa suuremmissa yrityksissä ja myös pienemmissä yrityksissä kuten Rotatek oy, mutta hintakilpailu on tällä alueella kova. Tehopuolijohteita sisältäviä komponentteja kuten taajuusmuuttajia ja inverttereitä tuotetaan muutamissa yrityksissä ja tällä alueella voisi löytyä lisää erikoistuneita tuotteita. Valvonta- ja kunnossapitojärjestelmien komponenttitoimitukset voisivat myös olla kiinnostavia suomalaisille yrityksille. (Lehtinen & Wahlström, 2005)

7.2. Esimerkkejä nykyisistä liiketoimintamalleista

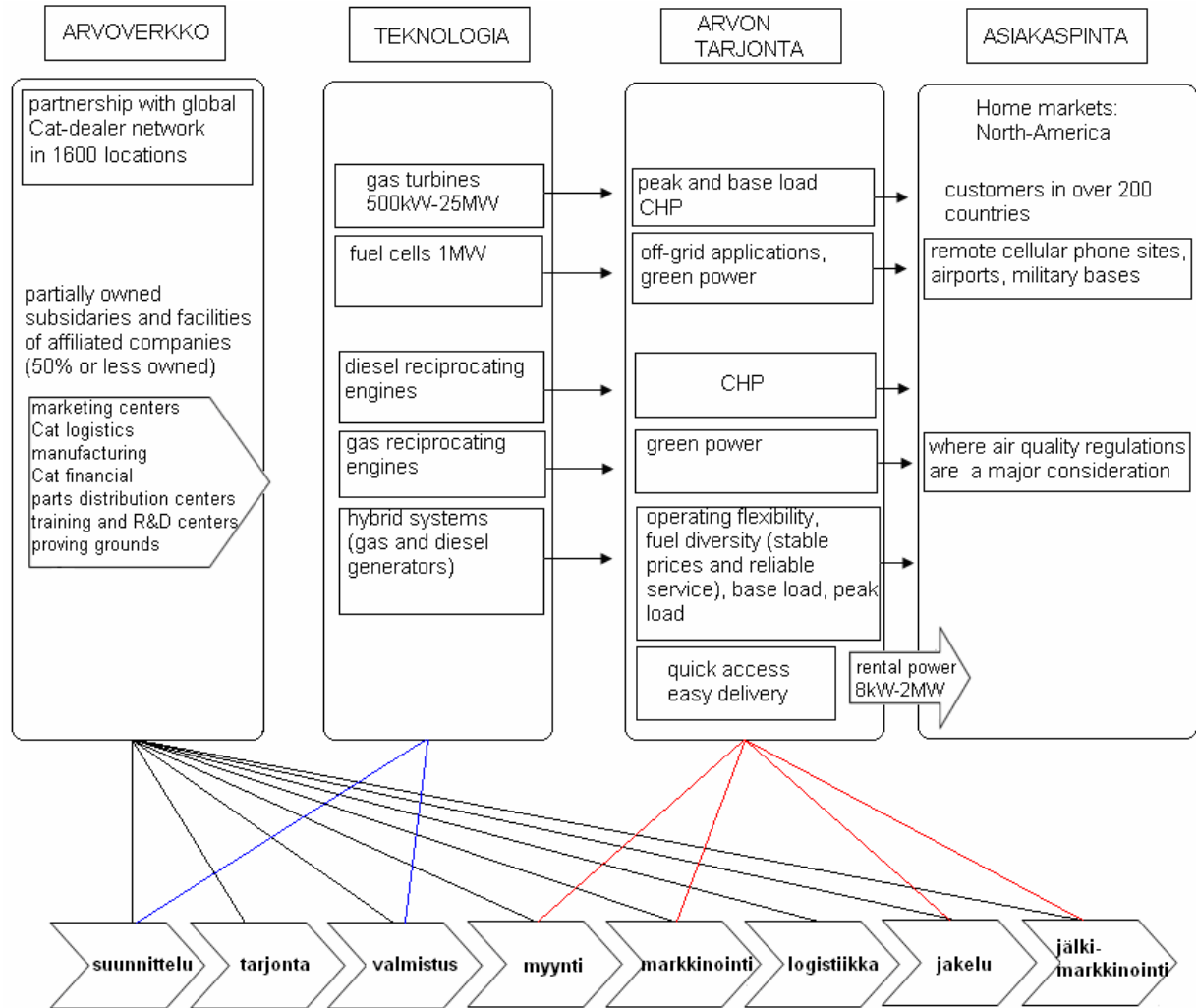
Seuraavaksi tarkastellaan kolmea nykyistä hajautetun energiantuotannon toimialan liiketoimintamallia tutkimuksessa luodun konseptin kautta. Tarkastelluista malleista kaksi on järjestelmätoimittajan liiketoimintamalleja ja yksi on komponenttitoimittajan liiketoimintamalli. Tarkasteltavista yrityksistä Caterpillar ja Wärtsilä ovat järjestelmätoimittajia. Yritykset valittiin, jotta voidaan verrata kahden suuren, kansainvälisen yrityksen liiketoimintaa. Vertailun tekee mielenkiintoiseksi myös se, että toinen yrityksistä on kotimainen ja toinen ulkomainen. Kolmas tarkasteltava yritys on komponenttiteknoologiaan erikoistunut Capstone. Tämä valinta mahdollistaa komponenttiliiketoiminnan ja järjestelmätoimittajan liiketoiminnan erojen tarkemman vertailun.

7.2.1. Caterpillar

Caterpillar on globaali yritys, joka toimii usealla teollisuuden alalla, mm. voimantuotanto, metsä- sekä kaivosalalla. Yhtiöllä on lähes 70 000 työntekijää ja se on teknologiajohtaja ja maailman johtava valmistaja rakennus- ja kaivoskoneiden alalla sekä diesel- ja kaasumoottoreiden ja teollisuuden kaasuturbiinien alalla. Vuonna 2004 Caterpillarin liikevaihto oli 30,25 miljardia dollaria ja liikevoitto 2,03 miljardia dollaria. Noin puolet yrityksen myynnistä suuntautui Yhdysvaltojen ulkopuolelle ja Caterpillar onkin USA:n yksi johtavista viejistä. Caterpillarin tuotteita ja komponentteja valmistetaan 49 laitoksessa Yhdysvalloissa ja 59 laitoksessa 22:ssa eri maassa ympäri maailmaa. (Caterpillar, 2005)

Caterpillarin liiketoimintamallia voimantuotantoalalla on arvioitu tässä raportissa esitetyn konseptin mukaan (ks. Kuva 26: 59). Yhtiön liiketoimintamalli koostuu useista liiketoimintaprosesseista, minkä vuoksi yhtiön liiketoimintamallin voidaan nähdä muodostuvan monista eri tuote- ja palveluratkaisuihin perustuvista ”aliliiketoimintamalleista”. Kuvassa 28 nuolet eri liiketoimintakomponenttien välillä kuvaavat liiketoimintaan liittyviä toimintoja, kuten esimerkiksi tuote- ja palvelukonseptien toimittamista asiakkaille, arvoverkon jäsenten panostuksia tuo-

te/palevelu –konseptin muodostamiselle ja teknologian valintaa eri asiakastarpeiden tyydyttämiseksi.



Kuva 28. Caterpillarin liiketoimintamalli

Caterpillarin liiketoimintamalli hajautetun energiantuotannon järjestelmien alalla perustuu järjestelmien tehokkaaseen toimittamiseen kattavan jakeluverkon kautta. Tehokkaan jakeluverkostonsa ansiosta yritys toimii lähellä asiakkaita, ja pystyy vastaamaan kysyntään nopeasti. Kuvassa 28 Caterpillarin suuri 1600 toimipisteen jakeluverkosto on merkitty avaintekijäksi yrityksen arvoverkkoon. Arvoverkkokomponentista voidaan myös nähdä, että yritys tytäryhtiöineen kattaa toiminnollaan koko arvoketjun suunnittelusta ja jälkimarkkinointiin. Yritys pyrkii hallitsemaan arvoketjuansa mahdollisimman paljon ja näin vaikuttamaan voimakkaasti liiketoimintaan ja ansaintalogiikan toteutumiseen. (Caterpillar, 2005)

Kuvan 28 teknologiakomponentista voidaan huomata, että Caterpillar panostaa useisiin teknologioihin, joiden avulla se pystyy luomaan erilaisia arvon tarjoamia asiakkaille ja näin tavoittamaan suuren asiakaspinnan. Esimerkiksi nuolet teknologiakomponentista arvontarjontaan osoittavat, kaasuturbiinijärjestelmillään yritys pyrkii vastaamaan asiakkaiden huipunleikkaukseen tarvittavaan energiantarpeeseen sekä perusvoiman ja yhdistetyn lämmön- ja sähköntuotannon tarpeeseen. (Caterpillar, 2005)

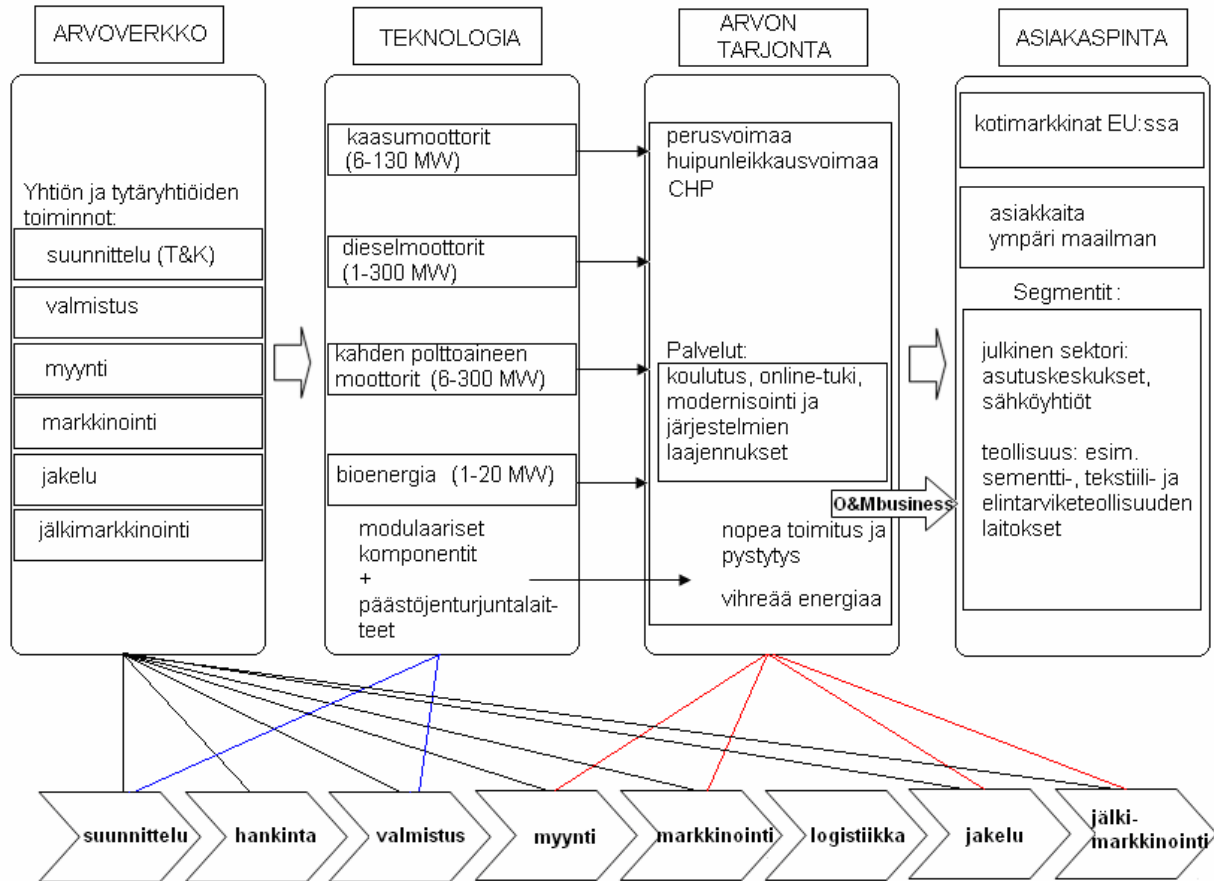
Caterpillarin liiketoimintamallissa erityisen innovatiivisia ratkaisuja ovat hybridijärjestelmät ja vuokrattavat sähköntuotantojärjestelmät. Diesel- ja kaasumootoritekniologiaa hyödyntävät hybridijärjestelmät antavat asiakkaille joustavuutta polttoaineen valinnassa. Lisäksi hybridijärjestelmissä toista moottoria voidaan käyttää varavoimanlähteenä turvaamassa energiansaanti asiakkaiden kriittisiin prosesseihin. Vuokrattavilla 8 KW–2 MW suuruisille sähköntuotantojärjestelmillä pyritään vastaamaan nopeasti asiakkaiden väliaikaisiin energiantarpeisiin. Tuotantoyksiköt toimitetaan asiakkaille kuorma-autojen konteissa, joissa olevat yksiköt ovat valmiina kytkettäväksi asiakkaan käyttöön heti toimituksen jälkeen. Vuokrattavien yksiköiden etu on niiden edullisuus, sillä asiakkaan ei tarvitse investoida omaan energiantuotantojärjestelmään väliaikaisen tehontarpeen vuoksi. (Devine, 2005; Caterpillar, 2005) Arvontarjoamakomponentista lähtevät nuolet asiakaspintaan osoittavat minkälaisille asiakkaille eri tuotteita tarjotaan. Kuvasta 28 voidaan myös nähdä, että arvoketjussa yritys osallistuu teknologiansa kehittämiseen sekä suunnittelussa että valmistuksessa. Asiakkaille suunnatut arvontarjonnat puolestaan muodostuvat tuotteiden ympärille rakennetuista palveluista arvoketjun myynti-, markkinointi-, jakelu- ja jälkimarkkinointiosissa.

7.2.2. Wärtsilä

Wärtsilä on huomattava hajautetun energiantuotannon järjestelmien ja tukipalveluiden toimittaja. Yrityksessä on yli 12000 työntekijää ja vuonna 2004 sen liikevaihto oli 2358 miljoonaa euroa. Voimalaitosliiketoiminnassaan Wärtsilä on keskittynyt hajautetun energiantuotannon markkinoille. Wärtsilän tavoitteena on vahvistaa globaalia asemaansa markkinoilla. Yritys toimittaa voimalaitoksia sekä ylläpito- ja huoltopalveluita sähköyhtiöille, teollisuusyrityksille, julkiselle sektorille sekä muille sähkön- ja lämmöntuottajille. Wärtsilän energiantuotantoratkaisut perustuvat öljy-, kaasua ja biomassaa polttoaineena hyödyntäviin teknologioihin. Lisäksi yrityksen tuotepalettiin kuuluvat myös kahta eri polttoainetta hyödyntävät mäntämoottorijärjestelmät (dual-fuel reciprocating engines). Kaasuvoimalat ovat tällä hetkellä yrityksen kasvava liiketoiminnan ala. Wärtsilä jatkaa myös jo ennestään kattavan palveluliiketoiminnan kehittämistä. Palveluliiketoimintaan kuuluvat varaosien toimitukset, kenttäpalvelut sekä huolto- ja ylläpitosopimukset. Wärtsilän kilpailuetu muodostuu voimalaitosten korkeasta hyötysuhteesta yhdessä ylläpidon joustavuuden kanssa. (Wärtsilä, 2005b)

Wärtsilän liiketoimintamallia on arvioitu raportissa esitetyn konseptin mukaan (ks. Kuva 26: 59). Kuva 29 esittää Wärtsilän liiketoimintamallia hajautetun energiantuotantojärjestelmien alalla. Liiketoimintamalli on esitetty neljän komponentin avulla, kuten Caterpillarin malli ai-

kaisemmin. Lisäksi kuvassa on esitetty, kuinka kyseiset komponentit muodostuvat ja sijaitsevat yrityksen arvoverkossa.



Kuva 29. Wärtsilän liiketoimintamalli.

Wärtsilän liiketoimintamallin pääpiirteitä ovat suhteellisen laaja tuotevalikoima, palveluliiketoiminnan yhdistäminen tuotteisiin, maailmanlaajuinen asiakaspinta sekä arvoketjunhallinta. Wärtsilän toimittamat voimalaitokset vaihtelevat suuruusluokaltaan 1MW:n biovoimaloista 300MW:n dieselmoottorivoimalaitoksiin. Laajan tuotevalikoiman ansiosta yritys kykenee vastaamaan erilaisiin asiakkaiden energiatarpeisiin ja näin saavuttamaan laajan asiakaspinnan. Toisaalta yritys ei toistaiseksi toimi aktiivisesti pienten, alle 1MW:n suuristen tuotantoyksiköiden markkinoilla. Wärtsilän laaja tuotevalikoima perustuu eri tuotantoteknologioiden lisäksi modulaarisiin komponentteihin, joista voidaan yhdistellä sopivankokoisia järjestelmiä asiakkaiden tarpeiden mukaisesti. Lisäksi komponenttien modulaarisuus mahdollistaa voimalaitosten nopeat pystytykset ja sekä helpon laajennusmahdollisuuden tulevaisuudessa. Esimerkiksi, jos asiakas tuntee, että energiantarve tulee kasvamaan tulevaisuudessa, niin aikaisemmin investoitua voimalaitosta voidaan laajentaa uusilla modulaarisilla tuotantoyksiköillä sen sijaan, että investoitaisiin uuteen tuotantolaitokseen. Tämä mahdollistaa myös sen, ettei asiakkaiden tarvitse tehdä välttämättä kerralla liian suuria investointeja. (Wärtsilä, 2005a)

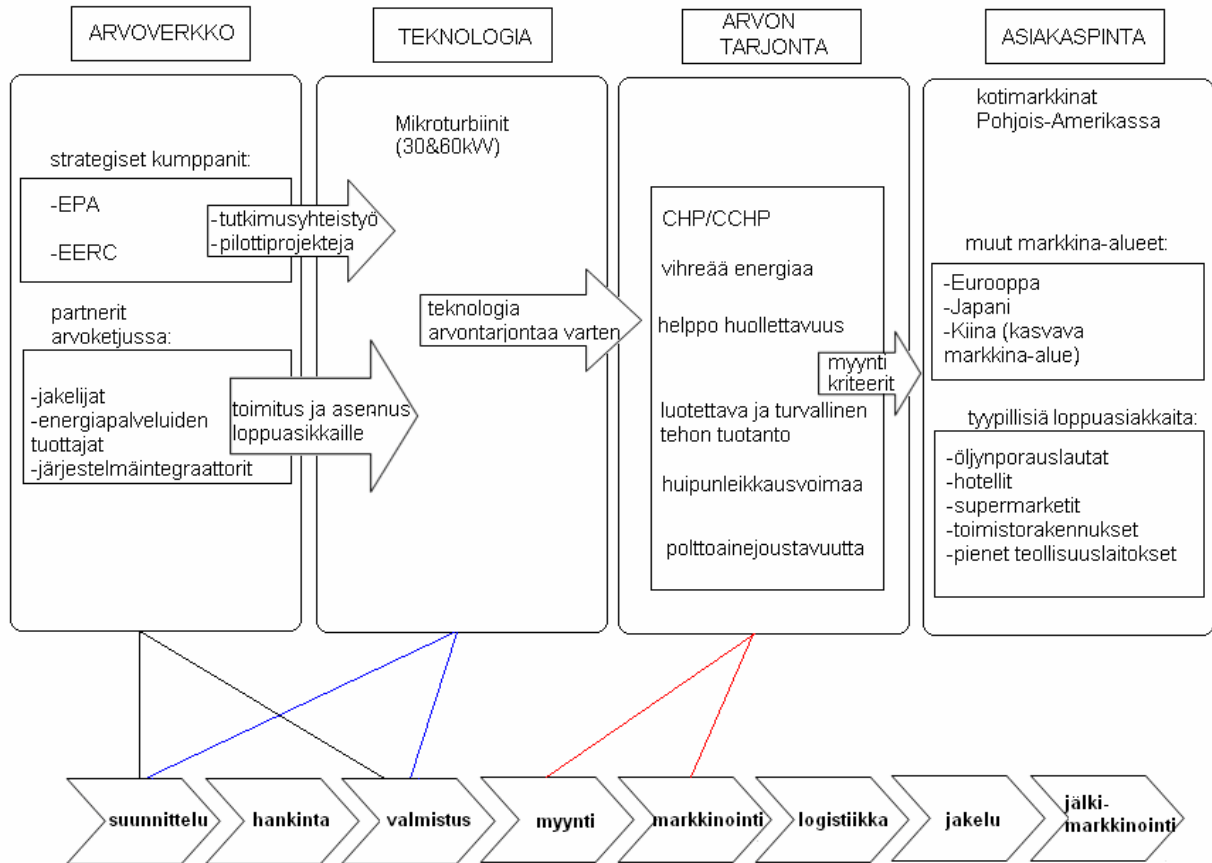
Wärtsilän tuotteet vastaavat asiakkaiden perusvoiman-, yhdistetyn lämmön- ja sähköntuotannon- sekä huipunleikkausvoimantarpeisiin. Yritys pyrkii myös markkinoimaan voimalaitosten- ja tuottamaa energiaa vihreänä energiana. Tätä varten yritys valmistaa hiilidioksidin ja typenoksidien päästöjä vähennyskomponentteja, jotka voidaan asentaa voimalaitoksiin. Näitä ratkaisuja markkinoidaan erityisesti asiakkaille alueilla, joissa päästöjä koskeva lainsäädäntö on tiukkaa (esim. EU:n päästökauppa). (Wärtsilä, 2005a)

Kuten kuvasta 29 nähdään, Wärtsilä hallitsee arvoketjunsä toimintoja aina suunnittelusta jälkimarkkinointiin. Järjestelmätoimittajille onkin tärkeää, että tarvittavat komponentit ovat aina saatavilla, jotta asiakkaiden tilaukset eivät peruuntuisi ja että toimitukset olisivat nopeita. Tämän vuoksi yrityksellä on omaa komponenttien valmistusta sekä laaja tytäryhtiöpainotteinen hankintaketju. Yrityksellä on tytäryhtiöitä yli 60 maassa, joiden avulla toimitukset, huolto- ja ylläpitopalvelut saadaan lähemmäksi asiakaspintaa. Monet Wärtsilän tarjoamat palvelut ovat arvoketjussa olennainen osa jälkimarkkinointia. Wärtsilän tarjoamista tuote/palvelu – konsepteista muodostuu yrityksen ”Operation & Management” liiketoiminta, joka on myös kuvattu nuolella kuvassa 29. Kyseisessä liiketoiminnassa voimalaitosten pystytyksen lisäksi asiakkaalle tarjotaan koulutusta ja online –tukea voimalaitosten ylläpitoa varten. (Wärtsilä, 2005b)

Wärtsilä pyrkii modulaarisella teknologiallaan ja nopeilla toimitus- ja pystytysajoilla tekemään asiakkaalle tuotettavan energian mahdollisimman kustannustehokkaaksi. Energian kustannustehokkuus kumuloituu erityisesti suuremmissa voimalaitosluokissa, minkä vuoksi nämä ovat tyypillisiä toimituksia Wärtsilälle. Tämä heijastuu yrityksen asiakaspintaan ja Wärtsilä toimii lähinnä B to B markkinoilla. Kuten kuvan 29 asiakaspintakomponentista nähdään, Wärtsilän tyypillisiä asiakkaita ovat sementti- tekstiili- ja elintarviketeollisuuden toimijat. (Wärtsilä, 2005a)

7.2.3. Capstone

Capstone Turbine Corporation on yksi maailman johtavista matalapäästöisten mikroturbiinijärjestelmien valmistajista. Vuonna 1998 yritys oli ensimmäinen, joka toi markkinoille kaupallisia, mikroturbiinitekniologiaan perustuvia energiantuotantoyksiköitä. Capstone on keskisuuri yritys, jolla on hieman yli 200 työntekijää ja 13 miljoonan euron liikevaihto. Yritys on toimitanut maailmalle yli 3000 mikroturbiinijärjestelmää. (Capstone, 2005) Capstonen liiketoimintamallia on arvioitu raportissa esitetyn konseptin mukaan (ks. Kuva 26: 59). Kuvassa 30 on esitetty Capstonen liiketoimintamallin kuvaus.



Kuva 30. Capstonen liiketoimintamalli

Kuvan 30 arvoketjukomponentissa Capstonen tärkeinä kumppaneina on mainittu Environmental Research Center of University of Dakota (EERC) sekä U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Kyseiset kumppanit auttavat yritystä tutkimus ja kehitystoiminnassa sekä auttavat toteuttamaan pilottiprojekteja. Erityisesti Capstone pyrkii kehittämään ympäristöystävällistä teknologiaa, joka pystyy vastaamaan tulevaisuuden energiantuotannon tiukkoihin ympäristövaatimuksiin. Capstone on mukana EPA:n vapaaehtoisohjelmassa jolla pyritään markkinoimaan CHP teknologiaa ympäristöystävällisenä energiaratkaisuna. (Schmidt, 2005)

Capstone on erikoistunut pienen kokoluokan turbiineihin, joiden kilpailukyky perustuu tekniisiin ominaisuuksiin. Turbiinit voivat hyödyntää useita polttoaineita, kuten dieselöljyä, maakaasua ja biokaasua. Tämä mahdollistaa asiakkaille joustavuutta käytettävän polttoaineen suhteen. Capstone pyrkii saavuttamaan kilpailuetua myös tuotteiden helpolla huollettavuudella. Ilmaakerien ansiosta turbiinit ovat kestäviä sekä vaativat vähemmän huoltoa ja voitelua. Capstone asiakkailleen tarjoama hyöty ei olekaan ensisijaisesti kustannustehokkuus, vaan jo mainitun helpon huollettavuuden lisäksi ympäristöystävällisyys ja pienimuotoinen yhdistetyn lämmön-, kylmän- ja sähköntuotanto (CCHP). Erityisesti Capstonen mikroturbiinit soveltuvat energiantuotannossa huipunleikkaukseen. (Capstone, 2005)

Capstonen kotimarkkinat ovat Pohjois-Amerikassa, mutta yritys vie tuotteitaan myös Eurooppaan ja odottaa kasvua etenkin Aasian markkinoilta. Kuten kuvan 30 arvoketjusta nähdään, yritys keskittyy lähinnä T&K toimintaan sekä valmistukseen. Capstonen tyypillisiä asiakkaita ovatkin loppuasiakkaiden lisäksi toimittajat eli yritys ei aina välttämättä ole itse kontaktissa asiakaspinnan loppuasiakkaiden kanssa. Tyypillisiä loppuasiakkaita ovat öljynporauslautat, hotellit, supermarketit, toimistorakennukset sekä pienet teollisuuslaitokset. Erikoisena ja kasvavana niche –segmenttinä voidaan mainita mikroturbiinien ajoneuvosovellukset. Yritys odottaa kovaa kysyntää Kiinassa mikroturbiineille, jotka toimivat sähkökäyttöisten linja-autojen latu-reina. Kysynnän kasvun perusteena on Kiinan pyrkimys hyödyntää ympäristöystävällisempiä energiaratkaisuja ja pienentää päästöongelmia suurkaupungeissa. (Capstone, 2005)

7.3. Yhteenvedo nykyisistä liiketoimintamalleista

Liiketoimintamallit voidaan jakaa karkeasti kahteen pääryhmään hajautettujen energiajärjestelmien alalla: järjestelmäintegraattorin ja komponenttitoimittajan liiketoimintamalleihin. Toisaalta järjestelmäintegraattori voi myös harjoittaa komponenttiliiketoimintaa erillään järjestelmätoimituksien yhteydessä. Edellä kuvattuja järjestelmä- ja komponenttitoimittajan ominaisuuksia voidaan tunnistaa Caterpillarin, Wärtsilän ja Capstonen liiketoiminnasta. Taulukossa 12 on vertailtu aikaisemmin esitettyjä Caterpillarin, Wärtsilän ja Capstonen liiketoimintamalleja on vertailtu keskenään kilpailuetuun vaikuttavilla tekijöillä, asiakaspinnan suuruudella sekä liiketoimintamallin tyypillä.

Taulukko 12. Caterpillarin, Wärtsilän ja Capstonen liiketoimintamallien yhteenvedo

	Kilpailuetu			Liiketoimintamalli		Asiakaspinta		
	arvoketjun hallinta	teknologia	palvelut	järjestelmä-integraattori	komponenttitoimittaja	Laaja	keskisuuri	kapea
Caterpillar	X	X	X	X		X		
Wärtsilä	X	X	X	X			X	
Capstone		X			X			X

Kuten taulukosta 12 käy ilmi, Caterpillarin ja Wärtsilän liiketoimintamallit ovat järjestelmäintegraattoreiden liiketoimintamalleja ja Capstonen liiketoimintamalli on puolestaan komponenttitoimittajan liiketoimintamalli. Koska Caterpillarin ja Wärtsilän arvon tarjoama asiakkaille voi sisältää useita erilaisia teknologisia ratkaisuja ja palveluita, joutuvat yritykset hallitsemaan laajaa arvoketjua. Tämän vuoksi arvoketjun orkestrointi on oleellista näille yrityksille, jotta tarvittavien komponenttien saatavuus ja palveluiden joustavuus voitaisiin varmistaa. Monet toiminnot arvoketjussa ovat tytäryhtiöiden hallinnassa, jolloin yritysten ei tarvitse kilpailla tiettyjen avainkomponenttien saatavuudesta muiden alan yritysten kanssa.

Komponenttitoimittajana Capstonen kilpailuetu puolestaan perustuu teknologiaan, jolloin yrityksen investoinnit painottuvat arvoketjun orkestroinnin ja palveluiden sijasta teknologian ke-

hittämiseen. On luonnollista, että komponenttitoimittajalla on kapeampi asiakaspinta kuin järjestelmäintegraattoreilla johtuen kapeammasta tuotevalikoimasta. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, etteikö komponenttitoimittajan liiketoiminta voisi olla kannattavampaa, sillä niche -markkinoille soveltuva teknologia voi kohdata pienempää kilpailua kuin suuremmilla markkinoilla toimivat yritykset. Lisäksi monille järjestelmäintegraattoreille voi olla kannattavampaa hankkia komponentit ulkoisilta Capstonen kaltaisilta toimittajilta, kuin valmistaa itse.

8. HAJAUTETUN SÄHKÖNTUOTANNON TEKNIS-TALOUDELLINEN TEHOKKUUS

Voimalaitoksessa tuotetun energian hinta muodostuu laitoksen investointi-, käyttö- ja kunnossapitokustannuksista. Investointikustannukset koostuvat voimalan hankintahinnasta, tarvittavasta infrastruktuurista, kuljetus- ja rakentamiskustannuksista sekä suunnittelukustannuksista. Käyttö- ja kunnossapitokustannukset voidaan jakaa edelleen polttoaine-, huolto- ja korjauskustannuksiin sekä vakuutus-, hallinta- ja valvontakustannuksiin. Voimalaitoksen sijainnilla, maaperällä, tarvittavan infrastruktuuriin valmiusasteella ja vallitsevalla korkotasolla on suuri merkitys voimalaitoksen tuottaman energian hintaan. (Karhumäki, 2005)

Hajautetun sähköntuotannon tekniikat perustuvat usein uusiutuviin energialähteisiin. Tällöin biomassan polttoa lukuun ottamatta voimalaitokselle ei tarvitse jatkuvasti kuljettaa polttoainetta, sillä tuuli, vesi ja aurinko saadaan ilmaiseksi luonnosta. Tämä pienentää voimalaitosten käyttökustannuksia. Moottorivoimalaitokset puolestaan vaativat polttoaineeseen öljyn jalosteita tai kaasua, jotka täytyy kuljettaa öljykentiltä jalostamoille ja sieltä sähkön tuotantopaikalle. Tällä hetkellä myös biopolttoaineita joudutaan kuljettamaan varsin pitkiä matkoja, koska riittävää määrää biopolttoaineita ei useinkaan ole saatavilla voimalaitosten lähialueilta. Ihanne-tilanteessa biopolttoaineet voidaan kuitenkin kasvattaa voimalaitoksen lähialueilla, jolloin niiden kuljetusmatkat minimoituvat. (Karhumäki, 2005)

Tuotantokustannusten laskennassa käytetyksi korkokannaksi on tutkimuksen tässä osiossa valittu viisi prosenttia. Se lienee realistinen, sillä tällä hetkellä Suomen valtion 10 vuoden kiinteäkorkoisen lainan korko on 3,1 prosenttia (Kauppalehti, 2005). Maksettava kokonaiskorko on siten noin neljä prosenttia riippuen pankin asiakkaaltaan perimästä marginaalista.

Energian tuotantokustannukset voidaan laskea yhtälön 1 mukaisesti. Tällöin vuotuiset lainanhoitokulut ovat aina annuiteetin mukaisesti samat. Alkuvaiheessa koron osuus maksuerästä on suurempi kuin lyhennyksen osuus. Ajan kuluessa lyhennyksen osuus kasvaa ja koron osuus pienenee, jolloin takaisinmaksuajan loppupuolella maksuerä koostuu pääasiassa lyhennyksistä.

$$h = \frac{C_i + C_k}{e} I, \quad (1)$$

missä

h	on tuotantokustannukset [€/kWh],
C_i	on pääoman annuiteettitekijä [1/a],
C_k	on vuotuiset käyttö- ja ylläpitokustannukset suhteessa investointikustannuksiin [1/a],
I	on kokonaisinvestointikustannukset [€] ja
e	on arvioitu vuosituotanto sijoituspaikalla [kWh/a].

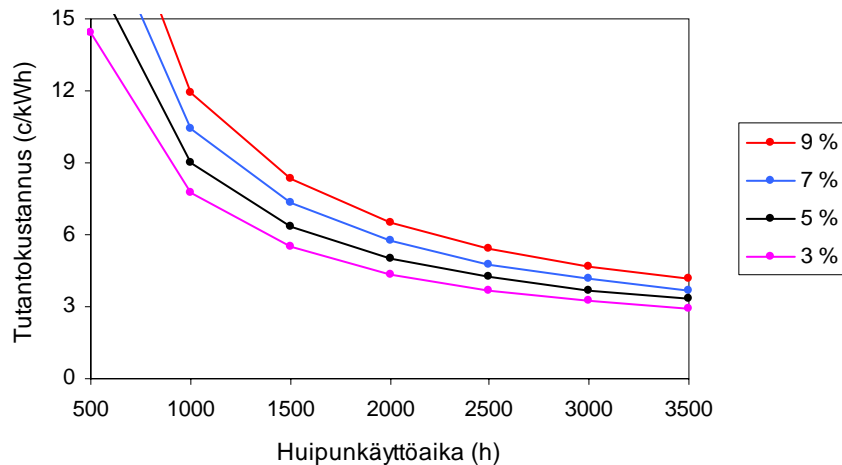
Yhtälössä [1] käytettäväksi pääoman annuiteettitekijäksi saadaan 0,08, jos annuiteettitekijä lasketaan viisi prosenttia reaalikorolla ja 20 vuoden pitoajalla. Vastaavasti 50 vuoden pitoajalla annuiteettitekijä on 0,05.

8.1. Tuulivoima

Maalle rakennettavien tuulivoimaloiden kustannukset ovat huomattavasti alhaisemmat merelle rakentamiseen verrattuna. Maalle rakennettavien voimaloiden tekniikka on kypsempää ja siten tuotekehityskustannusten osuus on selvästi pienempi kuin merelle rakennetuissa tuulivoimaloissa. Tulevaisuudessa merituulipuistoilla tulee kuitenkin olemaan merkittävä rooli tuulisähkön tuotannossa. Tässä tutkimuksessa tuulivoiman osalta keskitytään maalle rakennettaviin tuulivoimaloihin, koska ne edustavat merelle rakennettavia voimaloita paremmin hajautettua sähköntuotantoa. Merelle ei yleensä kannata rakentaa yksittäisiä tuulivoimaloita, koska huolto- ja siirtokustannukset kohoavat tällöin liian suuriksi. Kymmenien ja mahdollisesti jopa satojen megawattien tehon tuottavat merituulipuistot voidaan laskea kuuluviksi keskitettyyn sähköntuotantoon.

Tuulivoimaloiden investointikustannuksista suurin osa aiheutuu luonnollisesti itse voimalaitoksesta, eli käytännössä tuulivoimalan komponenteista sekä niiden kuljetuksesta pystytyspaikalle. Muiden kustannusten, eli perustuksen, sähkötöiden, verkkoon liittämisen, maapohjan, tien rakentamisen, konsultoinnin ja rakentamisen aikaisen rahoituksen, osuus on yhteensä noin 18 – 26 %, tyypillisesti hieman yli 20 %. Arvot perustuvat EWEA:n (European Wind Energy Association) vuosina 2001 – 2002 Saksasta, Espanjasta, Tanskasta ja Iso-Britanniasta keräämiin tietoihin. (Morthorst, 2003)

Tässä luvussa esitettävissä tuulivoiman tuotantokustannuksia kuvaavissa laskelmissa ja niistä piirretyissä kuvissa on käytetty seuraavia oletuksia: investointikustannukset 1 000 €/kW, käyttö- ja kunnossapitokustannukset 1,0 c/kWh, korkokanta 5 %, huipunkäyttöaika 2 200 tuntia ja voimalaitoksen pitoaika 20 vuotta. Kuvassa 32 esitetään tuulivoimalla tuotetun sähkön hinta huipunkäyttöajan funktiona, kun korkoprosentti vaihtelee.

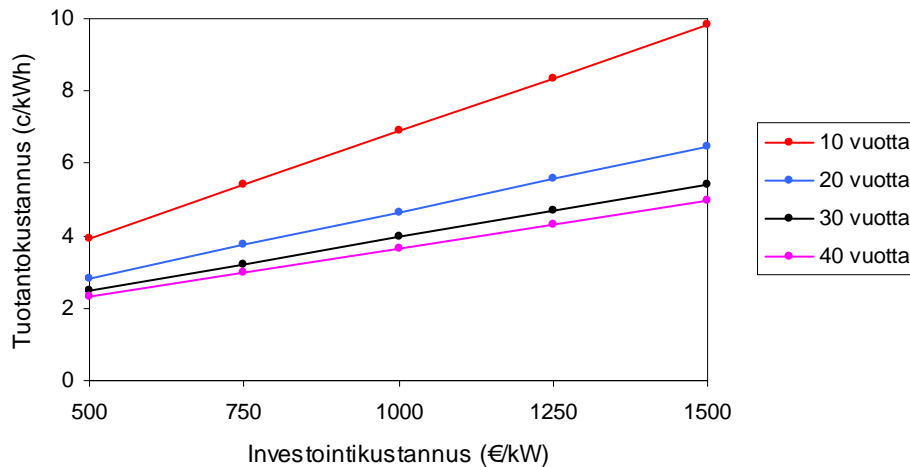


Kuva 31. Tuulivoimalla tuotetun sähkön hinta huipunkäyttöajan funktiona eri korkoprosenteilla.

Huipunkäyttöajan vaikutus tuotetun energian hintaan on suuri. Tuulivoimaloissa huipunkäyttöaika on hyvin usein 2 000 – 3 000 tuntia. Tällä vaihteluvälillä huipunkäyttöajan vaikutus tuotetun energian hintaan on nykykorkotasolla noin 1,5 c/kWh. Kuvasta havaitaan, että alle 1 500 tunnin huipunkäyttöaika on liian pieni, jotta tuulivoimala voisi tuottaa sähköä kustannustehokkaasti. Hyvin otollisia sijoituspaikkoja tuulivoimalaitoksille ovat sellaiset alueet, joilla voidaan saavuttaa 3 000 – 3 500 tunnin huipunkäyttöaika. Tällaisilla alueilla tuotettu energia on hinnaltaan hyvin kilpailukykyistä muiden tuotantotekniikoiden kanssa.

Samalla investoinnilla saadaan huipunkäyttöajan kasvaessa tuotettua enemmän energiaa. Tästä syystä huipunkäyttöajan pidentyminen vähentää korkoprosentin merkitystä. 2 000 tunnin huipunkäyttöajalla kahden prosentin koron nousu vaikuttaa tuotantokustannuksiin noin 0,7 c/kWh. Saman koronnousun vaikutus on enää noin 0,4 c/kWh, jos huipunkäyttöaika on 3 000 tuntia.

Kuvassa 32 on esitetty tuulivoimalla tuotetun sähkön hinta investointikustannusten funktiona, kun voimalaitoksen pitoaika vaihtelee. Pitoajan pidentyminen vaikuttaa oleellisesti tuotetun energian hintaan tiettyyn rajaan saakka. Pitkillä pitoajoilla koron suhteellinen osuus lainanhoitokuluista kasvaa. Lyhyellä pitoajalla voimalaitoksen täytyy maksaa itsensä nopeasti takaisin, mikä nostaa tuotetun sähkön hintaa merkittävästi. Investointikustannusten ollessa 1 000 €/kW ovat tuotantokustannukset 4,65 c/kWh, kun pitoaika on 20 vuotta, ja 6,90 c/kWh, jos pitoaika on 10 vuotta. 10 vuoden pitoajalla tuotantokustannukset ovat lähes 50 % korkeammat kuin 20 vuoden pitoajalla.



Kuva 32. Tuulivoimalla tuotetun sähkön hinta investointikustannusten funktiona voimalaitoksen erilaisilla pitoajoilla.

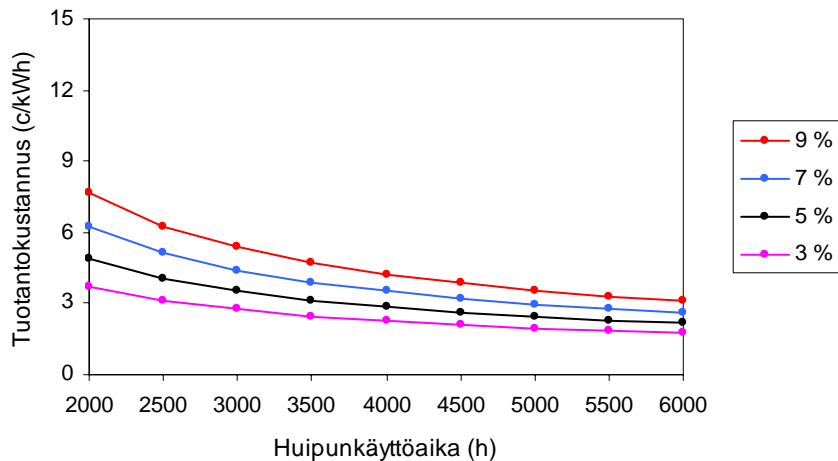
Investoinnissa pyritään mahdollisimman pitkään pitoaikaan, mutta rahoituksellisesti tarkasteltuna 30 vuoden pitoaika on riittävä. Tätä pidemmällä lainan takaisinmaksuajoilla koron osuus on niin suuri, että vuotuinen annuiteetti ei juuri muutu, vaikka takaisinmaksuaikaa kasvatettaisiin. Tästä syystä takaisinmaksuaikaa ei ole järkevää kasvattaa liian pitkäksi.

Investointikustannusten muutos näkyy selvästi tuulivoimalla tuotetun sähkön hinnassa. Yhden prosentin vähennys investointikustannuksiin vaikuttaa tuotantokustannuksiin 0,82 %, jos voimalaitoksen pitoaika on 20 vuotta ja investointikustannukset 1 000 €/kW. Kuvan 32 perusteella tuulivoiman tuotantokustannukset ovat 20 vuoden pitoajalla edullisemmat kuin Pohjoismaiden sähköpörssin keskimääräinen hinta vuonna 2005, jos tuulivoimalan investointikustannukset ovat 500 €/kW.

8.2. Pienvesivoima

Vesivoima on edullista, koska käytössä oleva tekniikka on vakiintunutta, vesivoimaloiden pitoaika on pitkä ja primäärienergia on ilmaista. Vesivoimalaitosten koneiden ja laitteiden pitoaika on noin 50 vuotta. Patorakennelmat kestävät jopa 100 vuotta. Pienvesivoima ei kuitenkaan ole aivan yhtä edullista kuin suurvesivoima, sillä investointi- ja käyttökustannukset eivät pienene samassa suhteessa tehojen kanssa. Tästä huolimatta pienvesivoima on hyvin kilpailukykyinen energiantuotantotapa.

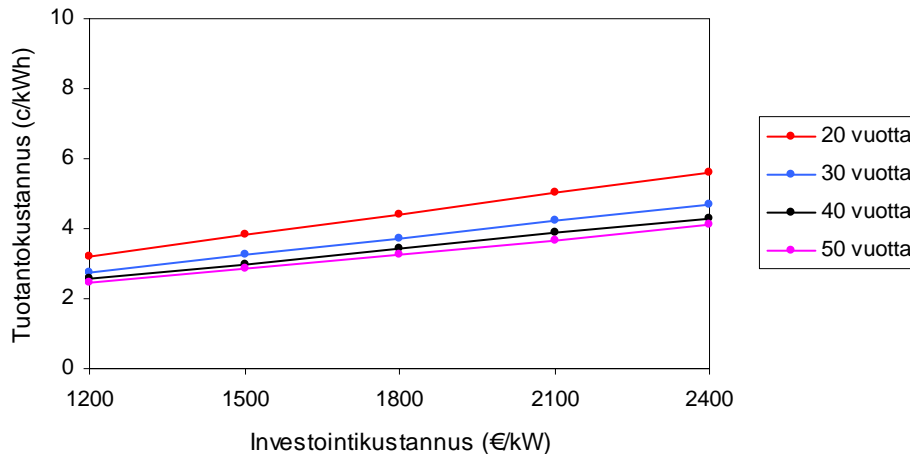
Tässä luvussa esitettävissä pienvesivoiman tuotantokustannuksia kuvaavissa laskelmissa ja piirretyissä kuvissa on käytetty seuraavia oletuksia: investointikustannukset 1 500 €/kW, käyttö- ja kunnossapitokustannukset 0,8 c/kWh, korkokanta 5 %, huipunkäyttöaika 4 000 tuntia ja voimalaitoksen pitoaika 50 vuotta. Kuvassa 33 on esitetty pienvesivoimalla tuotetun sähkön hinta huipunkäyttöajan funktiona kun korkoprosentti vaihtelee.



Kuva 33. Pienvesivoimalla tuotetun sähkön hinta huipunkäyttöajan funktiona erilaisilla korkoprosenteilla.

Huipunkäyttöajalla on merkittävä vaikutus tuotetun sähkön hintaan. Vesivoimaloissa huipunkäyttöaika on yleisimmin 3 000 – 5 000 tuntia. Tällä vaihteluvälillä huipunkäyttöajan vaikutus tuotetun energian hintaan on 5 % korkotasolla noin 1,0 c/kWh. Pienvesivoimalan huipunkäyttöajan tulisi olla nykyisellä 5 % korkotasolla vähintään 3 000 tuntia, jotta se olisi kustannustehokas.

Kuvassa 34 on esitetty pienvesivoimalla tuotetun sähkön hinta investointikustannusten funktiona erilaisilla voimalaitoksen pitoajoilla. Investointikustannusten vaikutus pienvesivoimalla tuotetun energian hintaan on merkittävä. Vesivoimalaitos kannattaa siis maksaa takaisin 30 – 40 vuodessa. Vesivoimalla 30 % vähennys investointikustannuksiin aiheuttaa noin 25 % vähennyksen sähkön tuotantokustannuksiin, jos voimalaitoksen pitoaika on 40 vuotta. Pitoajan muutoksella on puolestaan varsin pieni vaikutus. Vesivoimalaitoksen pitoaika on normaalisti vähintään 30 vuotta. Jos pitoaika on yli 40 vuotta, muodostuu maksettavat erät lähes yksinomaan koron mukaan.



Kuva 34. Pienvesivoimalla tuotetun sähkön hinta investointikustannusten funktiona erilaisilla voimalaitoksen pitoajoilla.

8.3. Biomassan poltto

Biomassan polttoon soveltuvien voimalaitosten investointikustannukset tehoyksikköä kohti vaihtelevat muun muassa voimalaitoksen koon ja käytettävän tekniikan mukaan. Yleensä biomassan polttolaitosten investointikustannukset ovat korkeammat kuin fossiilisia polttoaineita käyttävien laitosten, koska biomassan polton markkinat eivät ole vielä niin kehittyneet kuin fossiilisten polttoaineiden markkinat. Suurissa fossiilisia polttoaineita käyttävissä yksiköissä päästään melko pieniin investointikustannuksiin, mutta hajautettuun energian tuotantoon (<10 MW) soveltuvissa laitoksissa kustannukset ovat suuremmat.

Käyttökustannuksiin vaikuttaa oleellisesti käytettävä polttoaine ja sen hinta. Tärkeimpiä puupolttoaineita ovat kuori, sahanpuru ja metsähake. Näistä polttoaineista halvinta on sahanpuru, jonka hinta on noin 7 €/MWh. Kuori maksaa noin 7,5 €/MWh ja metsähakkeen hinta on noin 10 €/MWh. Ilmoitetut hinnat ovat keskimääräisiä hintoja, kun polttoaine on toimitettu polttolaitokselle (Alakangas, 2002). Pitkät kuljetusmatkat nostavat polttoaineen hintaa ja erityisen kalliita ovat maantiekuljetukset.

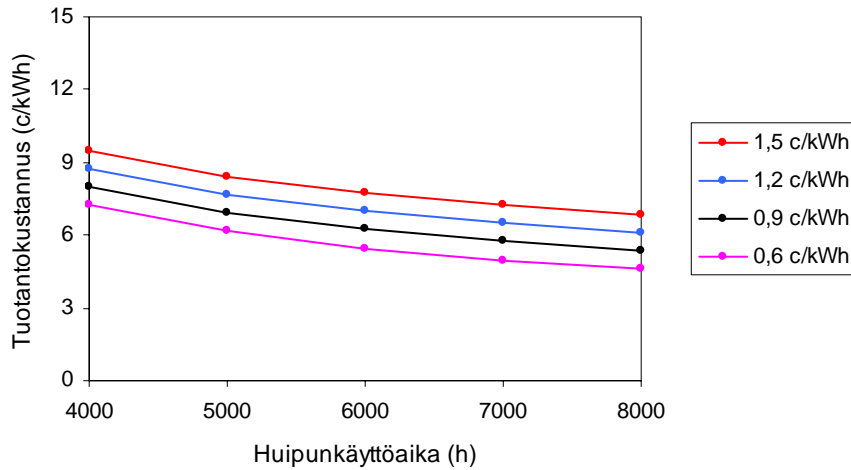
CHP-käytössä sähkön hinta muodostuu sähkön ja lämmön tuotantokustannusten sekä lämmöstä saatavan hinnan mukaan. Lämmön rajahinta muodostuu lämmönsiirron mahdollistavan järjestelmän investointikustannusten ja siirrosta aiheutuvien lisäkustannusten mukaan. Vuonna 2003 kaukolämmön keskihinta oli Suomessa 3,77 c/kWh, josta noin 30 % on veroja (Energiateollisuus, 2005). Verottomaksi keskihinnaksi voidaan siten laskea 2,64 c/kWh. Ainoastaan lämmön tuotantoa varten rakennettujen voimalaitosten tuottama lämpö on kalliimpaa kuin CHP-laitosten tuottama lämpö, joten CHP-laitosten tuottaman lämmön hinta on keskimäärin keskihintaa alhaisempi. Sähköenergian tuotantokustannukset muodostuvat sitä halvemmiksi, mitä kalliimmalla hinnalla lämpö saadaan myytyä. Näistä syistä lämpöenergian hintana tässä työssä käytetään 2,0 c/kWh, jotta sähkön tuotantokustannuksista ei tulisi ainakaan liian optimistista kuvaa.

Biomassan polton laajamittaisessa CHP-käytössä sähkön tuotantokustannuksiksi muodostuu noin 2,4 c/kWh. Voimalaitoksen koko vaikuttaa ratkaisevasti tuotetun sähkön hintaan, mikäli lämmön hinta pidetään vakiona. Alakankaan tutkimuksen mukaan 60 MW sähkötehoa ja 120 MW lämpötehoa tuottava CHP-voimalaitos, joka käyttää polttoaineenaan 50 % puuta ja 50 % turvetta, tuottaa sähköä hintaan 1,7 c/kWh (Alakangas, 2002). Mikäli muut tiedot pidetään samoina, mutta voimalaitoksen sähköteho on 2 MW ja lämpöteho 6 MW (tyypillinen pienvoimala), saadaan sähköenergian tuotantokustannuksiksi 3,5 c/kWh. Tuotetun sähkön hinta on pienemmässä teholuokassa siten noin kaksinkertainen verrattuna suurempitehoiseen voimalaitokseen. Sähkön tuotantokustannuksiksi muodostuu 4,0 c/kWh, jos jälkimmäisen voimalaitoksen polttoaineena käytetään ainoastaan puupohjaisia polttoaineita. (Alakangas, 2002)

Biomassaa polttava lauhdevoimalaitos, jonka sähköteho on 5 MW, soveltuu hyvin hajautettuun energiantuotantoon. Tällaisen voimalaitoksen investointikustannukset ovat 2 600 €/kW. Investointikustannukset ovat melko suuret, mutta ne on ilmoitettu sähköteholle. Kattilateholle ilmoitettuna investointikustannus on 1 040 €/kW, jos hyötysuhde on 40 %. Vuotuiset käyttökustannukset ilman polttoaineen hintaa ovat 1,5 % hankintahinnasta.

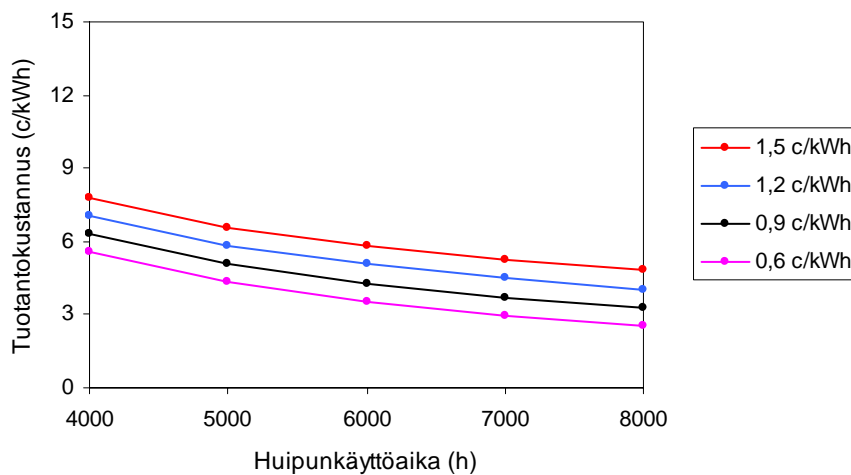
Kuvassa 35 on esitetty biomassaa polttavalla lauhdevoimalaitoksella tuotetun sähkön hinta huipunkäyttöajan funktiona erilaisilla polttoaineen hinnoilla. Tässä luvussa esitettävissä biomassan polton lauhdekäytön tuotantokustannuksia kuvaavissa laskelmissa ja niistä piirretyissä kuvissa on käytetty seuraavia oletuksia: investointikustannukset 2 600 €/kW, käyttö- ja kunnossapitokustannukset 0,5 c/kWh, korkokanta 5 %, pitoaika 20 vuotta, hyötysuhde 40 % ja voimalaitoksen sähköteho 5 MW. Kuvassa 8.5 esitetään biomassaa polttavassa lauhdevoimalaitoksessa tuotetun sähkön hinta huipunkäyttöajan funktiona, kun korkoprosentti vaihtelee.

Polttoaineen hinta vaikuttaa tuotetun energian hintaan voimakkaasti. Tuotetun sähkön hinta muuttuu 0,75 c/kWh, jos polttoaineen hinnan muutos on 0,3 c/kWh. Polttoaineen hinnan ohella ratkaisevassa asemassa on laitoksen hyötysuhde. Hyötysuhteen parantuessa suurempi osa polttoaineesta saadaan hyödynnettyä ja polttoainekustannuksen suhteellinen osuus pienenee. Lauhdelaitoksessa huipunkäyttöajan voidaan olettaa olevan korkea, koska tuotettua lämpöä ei tarvitse myydä ja tästä syystä sääolosuhteilla ei ole vaikutusta voimalaitoksen tuottaman sähkön hintaan.



Kuva 35. Biomassaa polttavalla lauhdelaitoksella tuotetun sähkön hinta huipunkäyttöajan funktiona erilaisilla polttoaineen hinnoilla.

Kuvassa 36 on esitetty biomassaa polttavalla CHP -laitoksella tuotetun sähkön hinta huipunkäyttöajan funktiona erilaisilla polttoaineen hinnoilla. Tässä luvussa esitettävissä biomassan polton CHP -käytön tuotantokustannuksia kuvaavissa laskelmissa ja niistä piirretyissä kuvissa on käytetty seuraavia oletuksia: investointikustannukset 2 990 €/kW, käyttö- ja kunnossapitokustannukset 0,56 c/kWh, korkokanta 5 %, pitoaika 20 vuotta, kokonaishyötysuhde 90 % ja voimalaitoksen sähköteho 5 MW. Kuvassa 37 esitetään biomassaa polttavassa CHP -voimalaitoksessa tuotetun sähkön hinta huipunkäyttöajan funktiona, kun korkoprosentti vaihtelee.



Kuva 36. Biomassaa polttavalla CHP -laitoksella tuotetun sähkön hinta huipunkäyttöajan funktiona erilaisilla polttoaineen hinnoilla.

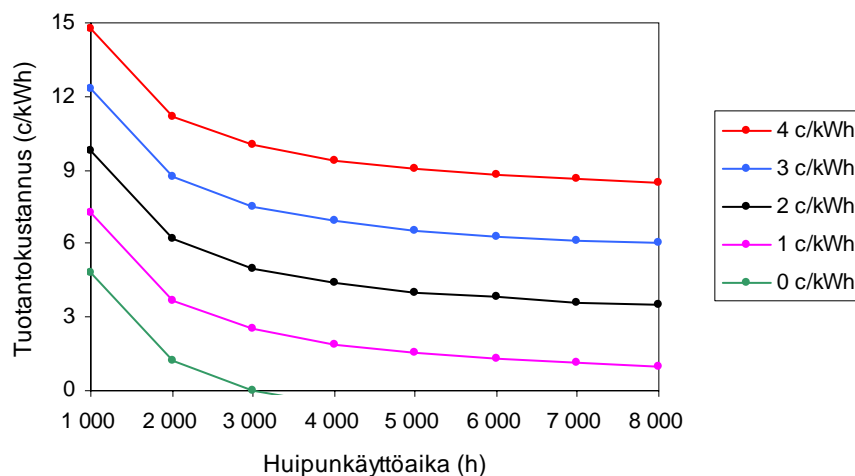
CHP -laitos tuottaa sähköä 1,7 – 2,1 c/kWh edullisemmin kuin lauhdevoimalaitos, kun huipunkäyttöaika on 4 000 – 8 000 tuntia. CHP -laitoksen tuottama sähkö on lauhdevoimalaitokseen verrattuna sitä edullisempaa, mitä suurempi on huipunkäyttöaika. Lauhdekäytössä voimalaitoksen sähkön tuotantokustannukset ovat alle 6,0 c/kWh, jos huipunkäyttöaika on yli 6 300 tuntia ja polttoaineen hinta on 0,9 c/kWh. Samalla polttoaineen hinnalla vastaavat sähkön tuotantokustannukset saavutetaan CHP -käytössä jo 4 200 tunnin huipunkäyttöajalla. CHP -käytössä 6 300 tunnin huipunkäyttöajalla tuotantokustannukset ovat noin 4,1 c/kWh.

8.4. Diesel- ja kaasumoottorivoimalat

Hajautettuun energiantuotantoon soveltuvien moottorivoimalaitosten investointikustannukset ovat pienet. Dieselkäyttöisten voimaloiden investointikustannukset ovat keskimäärin 350 – 500 €/kW ja kaasukäyttöisten voimaloiden 600 – 1 000 €/kW (Sycom, 1999). Esimerkiksi Wärtsilän kaasukäyttöisen CHP-mäntämoottorivoimalan investointikustannus on kokonaisuudessaan noin 900 €/kW, kun voimalaitoksen nimellisteho on 3 MW tai 5 MW. Sähköntuotannon hyötysuhde on 35 – 42 % ja koko laitoksen hyötysuhde CHP-käytössä 75 – 90 %. Investointikustannukset muodostuvat seuraavasti: varusteet ja laitteet 500 €/kW, työvoima 200 €/kW ja muut kulut (esimerkiksi lupamaksut, konsultointi, koordinointi) 200 €/kW. Investointikustannukset tehoyksikköä kohti pienenevät arvoon 750 €/kW, kun laitoksen nimellisteho kasvaa kokoluokkaan 20 MW. (Wärtsilä, 2002)

Edellä esitetyn voimalaitoksen käyttö- ja kunnossapitokustannuksiksi ilman polttoaineen hintaa ilmoitetaan vain 0,095 c/kWh (Wärtsilä, 2002). Voimalaitosta on tosin oletettu käytettävän 8 000 tuntia vuodessa. Lisäkustannuksia aiheutuu siitä, että voimalaitoksen koneet täytyy huoltaa 5-9 vuoden välein (Wärtsilä, 2002). Polttoaineena käytettävä maakaasu maksaa Energiamarkkinaviraston mukaan laitokselle toimitettuna noin 1,7 c/kWh (tyyppikäyttäjä 2: maakaasun vuotuinen käyttö 50 GWh ja huipunkäyttöaika yli 6 000 tuntia) (Emv, 2005). Sähköksi saadaan muutettua hyötysuhteen mukaisesti parhaimmillaan noin 40 % ja lämmöksi 50 % polttoaineen sisältämästä energiasta. Kuvassa 37 esitetään sähkön tuotantokustannukset 5 MW tehon tuottavassa moottorivoimalaitoksessa, kun voimalaitos on CHP-käytössä. Voimalaitoksen investointikustannus on 900 €/kW, käyttö- ja kunnossapitokustannukset 0,095 c/kWh, korkokanta 5 %, voimalaitoksen pitoaika 20 vuotta ja kokonaishyötysuhde 90 %.

Polttoaineen hinnalla on hyvin oleellinen vaikutus tuotetun energian hintaan. Polttoainekustannusten osuus on noin 80 % sähkön tuotantokustannuksista, kun polttoaineen hinta on 2,0 c/kWh ja voimalaitoksen huipunkäyttöaika on 2 000 tuntia. Voimalaitoksen tuottaman lämmön hinta kattaa investoinnista aiheutuvat kustannukset sekä käyttö- ja kunnossapitokustannukset, jos huipunkäyttöaika on 3 000 tuntia. Polttoaineen hinnan merkitys on moottorivoimalaitoksessa suurempi kuin biomassaa polttavassa laitoksessa, koska käytettävä polttoaine on kalliimpaa. Suomessa tähän on syynä muun muassa biopolttoaineiden tuet ja fossiilisten polttoaineiden verot.

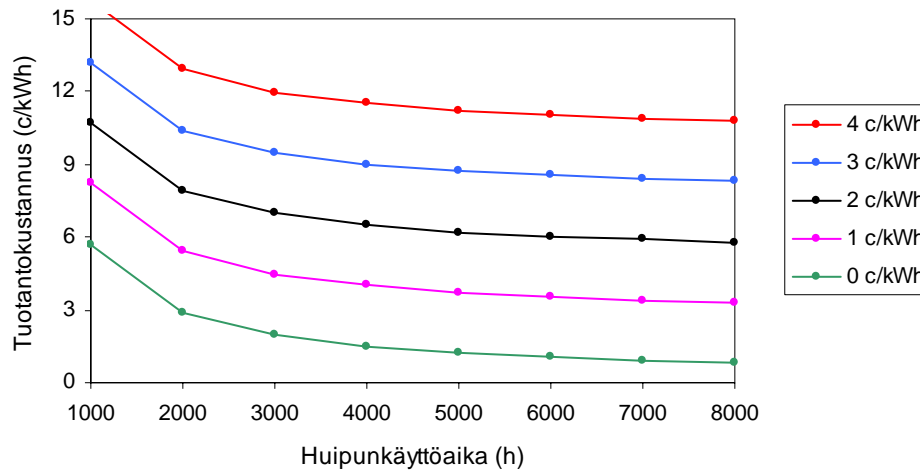


Kuva 37. Moottorivoimalaitoksessa CHP -käytössä tuotetun sähkön hinta huipunkäyttöajan funktiona erilaisilla polttoaineen hinnoilla.

Kuvassa 38 esitetään hajautettuun sähköntuotantoon soveltuvan 5 MW moottorivoimalaitoksen tuottaman sähkön hinta huipunkäyttöajan funktiona erilaisilla polttoaineen hinnoilla, kun voimalaitos on lauhdekäytössä. Voimalaitoksen investointikustannus on arvioitu 22 % pienemmäksi kuin CHP -laitoksen investointikustannus. Investointikustannus on 700 €/kW, käyttö- ja kunnossapitokustannukset 0,095 c/kWh, korkokanta 5 %, voimalaitoksen pitoaika 20 vuotta ja hyötysuhde 40 %.

Polttoainekustannusten osuus on lauhdevoimalaitoksessa noin 63 % tuotantokustannuksista, kun polttoaineen hinta on 2,0 c/kWh ja voimalaitoksen huipunkäyttöaika 2 000 tuntia. Jos huipunkäyttöaika kasvatetaan 7 000 tuntiin, muodostavat polttoainekustannukset noin 85 % tuotantokustannuksista.

Huipunkäyttöajan ja investointikustannusten merkitys on pieni, koska korkeat polttoainekustannukset määräävät tuotetun energian hinnan. Diesel- ja kaasumoottorivoimalaitosten käyttäminen varavoima- ja huipputeholaitoksina on järkevää, koska huipunkäyttöajan merkitys tuotetun sähkön hintaan on vähäinen. Moottorivoimalaitos voidaan myös käynnistää milloin tahansa, sillä se ei vaadi sopivia olosuhteita, kuten tuulta tai auringonpaistetta. Käynnistyskustannukset asettavat kuitenkin rajan sille, kuinka lyhyitä käyttöjaksoja voidaan pitää taloudellisina.



Kuva 38. Moottorivoimalaitoksessa lauhdekäytössä tuotetun sähkön hinta huipunkäyttöajan funktiona erilaisilla polttoaineen hinnoilla.

8.5. Aurinkosähkökennot

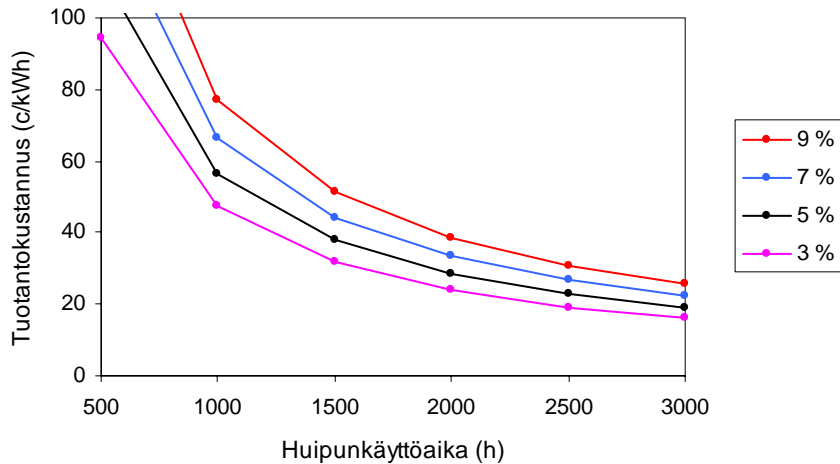
Aurinkosähköjärjestelmän kallein komponentti on aurinkokenno, jonka osuus yhteenlasketuista investointikustannuksista on noin puolet. Solarbuzz Inc on aurinkosähköjärjestelmien tutkimukseen keskittynyt yritys, joka julkaisee aurinkosähköjärjestelmien eri komponenteille laskettua keskiarvohintaa. Solarbuzz Inc:n mukaan kesäkuussa 2005 aurinkokennojen hinta oli 5 710 €/kW. Tämä on keskimääräinen hinta ilman veroja ostettaessa yksittäinen aurinkokenno, jonka teho on 3 – 300 W. Halvimmat yksi- ja monikiteiset kennot maksavat yksittäin ostettuna 3 000 €/kW (kennon teho 150 W) ja halvimmat ohutkalvotekniikkaan perustuvat kennot 2 750 €/kW (kennon teho 41 W). (Solarbuzz, 2005)

Aurinkosähköjärjestelmien investointikustannus on 6 500 – 10 000 €/kW. Investointikustannuksia voidaan laskennallisesti hieman pienentää, mikäli aurinkopaneelit integroidaan rakennuksiin. Rakennukseen integroitavalla aurinkopaneelilla voidaan korvata julkisivumateriaaleja, mistä aiheutuva kustannussäästö asuinrakennuksissa on 150 – 500 €/kW. Toimistorakennuksissa julkisivumateriaalit ovat arvokkaampia, joten niissä kustannussäästö voi olla jopa 700 – 1 200 €/kW. (Solpros, 2001)

Aurinkosähköjärjestelmien käyttö- ja kunnossapitokustannukset ovat vain 0,2 – 0,5 c/kWh (Vartiainen et al., 2002). Kennoissa ei ole liikkuvia osia, mistä syystä ne eivät kulu helposti ja niiden vaatiman huollon tarve on pieni. Aurinkokennot myös kestävät käytössä pitkään, minkä ansiosta tuotetun energian hinta laskee. Useissa laskelmissa aurinkokennojen pitoajaksi on määritetty 20 vuotta. Tämä saattaa olla varovainen arvio, sillä aurinkokennoille luvataan jopa 25 vuoden tekninen takuu ja niiden mahdollinen elinikä on jopa 40 – 50 vuotta (Vartiainen et al., 2002). Jos käyttöikä on arvioitu liian pieneksi, tuottaa aurinkokenno viimeisinä vuosinaan

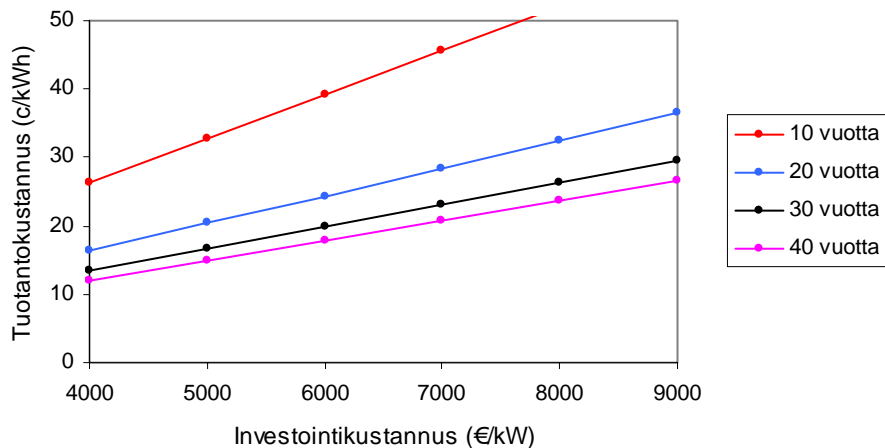
sähköä periaatteessa käyttö- ja kunnossapitokustannustensa hinnalla. Tällöin investoinnista ei ole enää kuluja, koska laina on maksettu pois. Aurinkosähköjärjestelmien tarkkaa pitoaikaa on vaikea arvioida, koska tällaisia järjestelmiä on toistaiseksi ollut käytössä vain vähän aikaa.

Tässä luvussa esitettävissä aurinkosähkökennojen tuotantokustannuksia kuvaavissa laskelmissa ja niistä piirretyissä kuvissa on käytetty seuraavia oletuksia: investointikustannukset 7 000 €/kW, käyttö- ja kunnossapitokustannukset 0,3 c/kWh, korkokanta 5 %, huipunkäyttöaika 2 000 tuntia ja pitoaika 20 vuotta. Kuvassa 39 esitetään aurinkosähkökennoilla tuotetun sähkön hinta huipunkäyttöajan funktiona, kun korkoprosentti vaihtelee. Huipunkäyttöajalla on huomattava vaikutus tuotetun sähkön hintaan. Tuotantokustannukset ovat 5 %:n korkokannalla lähes 40 c/kWh, mikäli huipunkäyttöaika on 1 500 tuntia vuodessa. Esimerkiksi Suomessa 1 000 tunnin huipunkäyttöaikaa voidaan pitää realistisena, joten aurinkokennoilla tuotettu sähkö on kallista. Suomessa tuotetun aurinkosähkön hinta on yli kaksinkertainen verrattuna hyvin aurinkoisiin olosuhteisiin. 2 000 tunnin huipunkäyttöaika on helpohkosti saavutettavissa trooppisilla ja subtrooppisilla seuduilla ja 2 500 tunnin huipunkäyttöaikakaan ei ole mahdottomuus.



Kuva 39. Aurinkosähkökennoilla tuotetun sähkön hinta huipunkäyttöajan funktiona eri korkoprosenteilla.

Kuvassa 40 esitetään aurinkosähkökennoilla tuotetun sähkön hinta investointikustannusten funktiona, kun voimalaitoksen pitoaika vaihtelee. Pitoajan vaikutus energian hintaan vähenee myös aurinkosähkökennoilla, kun lähestytään 30 vuoden pitoaikaa. Tällainen pitoaika on täysin mahdollinen aurinkosähköjärjestelmän kaikkien muiden komponenttien paitsi akkujen osalta.



Kuva 40. Aurinkosähkökennoilla tuotetun sähkön hinta investointikustannusten funktiona voimalaitoksen eri pitoajoilla.

Aurinkosähköjärjestelmän investointikustannukset muodostavat oleellimmän osan tuotetun energian kustannuksista. Tästä syystä korkokannan vaikutus tuotetun energian hintaan on huomattava. Investointikustannusten muutos vaikuttaa lähes lineaarisesti tuotetun energian hintaan. Aurinkosähkökennoilla tuotetun energian hinta laskee käytännössä katsoen samassa suhteessa investointikustannusten kanssa. Korkeat investointikustannukset ja varsin lyhyt huipunkäyttöaika johtavat vääjäämättä siihen, että tuotetun energian hinta on korkea.

Aurinkosähkön hinnan suuruutta tarkasteltaessa on syytä huomioida, että Pohjoismaissa sähkö on halpaa. Esimerkiksi Saksassa sähkön hinta on lähes kaksinkertainen verrattuna spot-hintaan ja monilla alueilla maailmassa sähkö on vielä huomattavasti Saksan hintaa kalliimpaa. Aurinkosähkö on keskimäärin noin 2-5 kertaa kalliimpaa kuin yksittäisen kuluttajan tariffihinnat (Solarbuzz, 2005). Aurinkokennoilla tuotetun energian hinta on pudonnut viimeisten 15 vuoden kuluessa maailmassa keskimäärin 4 % vuodessa (Solarbuzz, 2005). Jos kustannukset alenevat myös tulevaisuudessa 4 % vuodessa, niin aurinkosähkön hinta puolittuu 17 vuoden kuluessa. Vuoden 2020 jälkeen aurinkosähkö voisi siis olla tuotantokustannuksiltaan kilpailukykyinen sähköntuotantotapa. Mahdollista on myös, että konventionaalisten sähköntuotantotapojen hinta alkaa kohota, kun fossiilisten polttoaineiden käyttöä on rajoitettava. Tällainen kehitys auttaisi kaikkien uusiutuvia energialähteitä hyödyntävien tekniikoiden läpimurtoa markkinoilla.

8.6. Yhteenveto tuotantokustannuksista

Pienet volyymit nostavat hajautetun sähköntuotannon kustannuksia. Monessa tapauksessa hajautettu sähköntuotanto voi kuitenkin kilpailla jopa yllättävän tasaväkisesti keskitetyn tuotannon kanssa. Uusiutuvia energialähteitä hyödyntävien tekniikoiden etuna on biomassan poltto lukuun ottamatta ilmainen polttoaine. Uusiutuviin energialähteisiin perustuvien tekniikoiden kilpailukyky paranee myös niille maksettavien tukien ansiosta. Taulukossa 13 esitetään yhteenveto sähkön tuotantokustannuksista eri tekniikoilla.

Biomassan ja moottorivoimalaitosten kohdalla on syytä muistaa, että tarkasteltavat voimalaitokset ovat hajautettuun tuotantoon soveltuvia ja siten niiden sähkötehot ovat alle 10 MW. Suuremmissa yksiköissä tuotettu sähkö on hinnaltaan halvempaa, joten esillä olevat kustannukset ovat suurempia kuin normaalisti näille tekniikoille esitetyt kustannukset. CHP-käytössä voimalat tuottavat sähköä edullisemmin kuin lauhdekäytössä.

Taulukko 13. Sähkön tuotantokustannukset eri tekniikoilla. Biomassan polton ja diesel- ja kaasumoottorivoimalaitosten kustannukset ovat lauhdekäytön mukaiset. Sulkeissa esitettävät arvot ovat tuotantokustannukset ilman polttoaineiden hintaa. Polttoaineiden hinnaksi on oletettu 1,0 c/kWh (hake) ja 1,7 c/kWh (maakaasu). Biomassan polton sekä diesel- ja kaasumoottorivoimaloiden hyötysuhteeksi on oletettu 40 %.

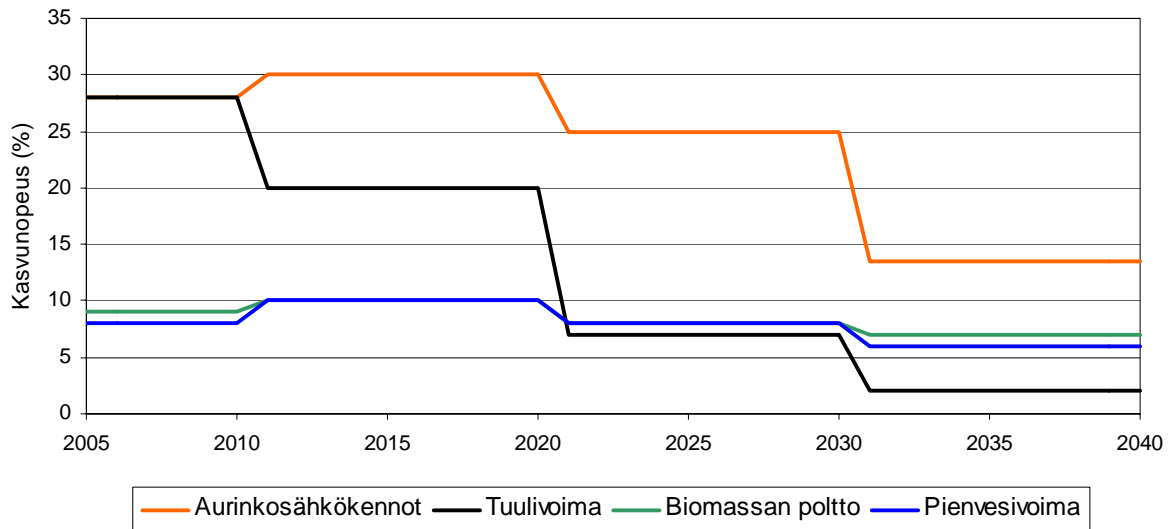
Tekniikka	Investointikustannus (€/kW)	Pitoaika (vuotta)	Käyttökustannus (c/kWh)	Huipunkäyttöaika (h)	Vuotuiset käyttökustannukset / investointikustannukset	Tuotantokustannus (c/kWh)
Tuulivoima	1000	20	1,00	2200	2,20	4,64
Pienvesivoima	1800	50	0,80	4000	1,78	3,28
Biomassan poltto (lauhde)	2600	20	0,49	8000	1,51	5,59 (3,09)
Diesel- ja kaasumoottorivoimalat (lauhde)	700	20	0,20	8000	2,29	6,50 (2,25)
Aurinkosähkökennot	7000	20	0,30	2000	0,09	28,30

8.7. Sähköenergian tuotantokapasiteetin ennustettu kehitys

Fossiilisten polttoainevarojen ehtyminen on varmaa, mutta niiden suuruutta ei kukaan tiedä tarkasti. Sähköntuotannon kannalta merkittävässä asemassa oleva hiili ei lopu useaan sataan vuoteen, joten tällä hetkellä tärkeintä sähköntuotannon polttoainetta on saatavilla runsaasti. Sähköntuotannon kannalta öljyn loppumisella muutaman kymmenen vuoden kuluttua ei ole kovin suurta vaikutusta, sillä öljyä polttamalla tuotetaan sähköä varsin vähän. Pian öljyn loppumisen jälkeen ehtyvät kuitenkin myös maakaasuvarannot ja uraaniakaan ei riitä loputtomiin. Näillä kolmella polttoaineella tuotetaan tällä hetkellä yli 40 % kaikesta maailmassa kulutetusta sähköstä.

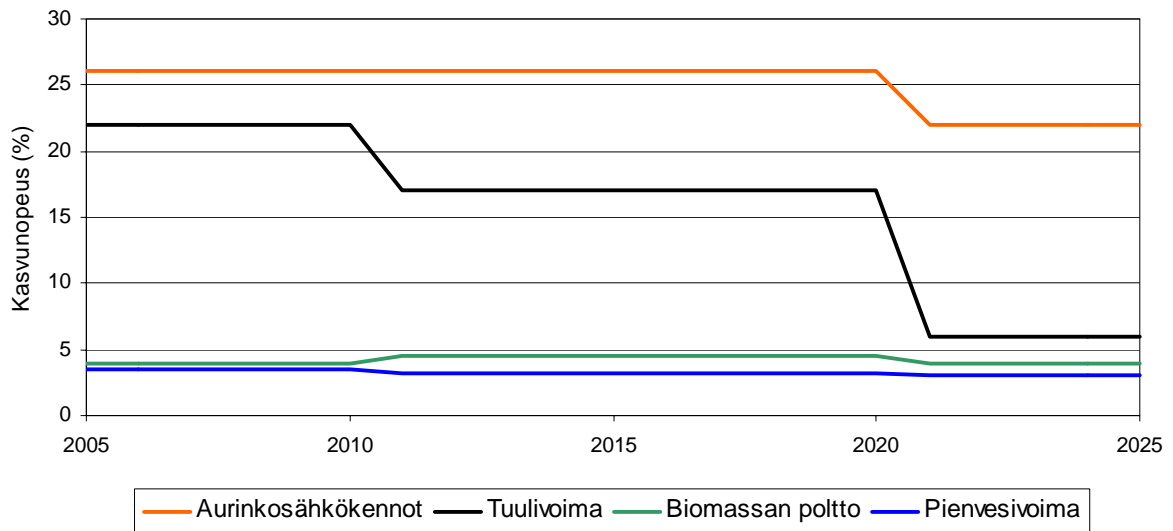
Maailman sähkönkulutus on kasvanut viime vuosikymmeninä varsin tasaisesti ja kasvun uskotaan jatkuvan vastaavana myös tulevaisuudessa. Teollisuusmaissa kasvu ei ole yhtä nopeaa kuin joitain vuosikymmeniä aikaisemmin, mutta kehitysmaat ja etenkin Kiina pitävät yllä huomattavasti kovempaa kasvuvauhtia. Maailmanlaajuisesti tarkasteltuna sähkönkulutuksen ennustetaan kasvavan vuosittain noin 2,3 % seuraavien 20 vuoden aikana (EIA, 2004). Tällöin sähkönkulutus kasvaisi yhteensä 9 000 TWh. Fossiilisten polttoainevarojen ehtyminen pakottaa korvaamaan perinteisiä sähköntuotantotekniikoita muilla tavoin ja lisääntyvä energiankulutus vain kiihdyttää uusien energialähteiden tarvetta. EREC (European Renewable Energy Council)

on laatinut ennusteita usean eri tekniikan kehittymiselle aina vuoteen 2040 saakka. Kuvassa 41 esitetään EREC:n ennuste uusiutuviin energialähteisiin perustuvien sähköntuotannon tekniikoiden kapasiteetin vuosittaiselle kasvunopeudelle vuosina 2005 – 2040.



Kuva 41. EREC:n ennuste eri sähköntuotannon tekniikoiden kapasiteettien vuosittaiselle kasvunopeudelle vuosina 2005 – 2040. (EREC, 2001)

EREC:n ennusteet perustuvat eri maiden asettamiin omiin tavoitteisiin. Eri tekniikoilla tapahtunut historiallinen kehitys on näyttänyt, että monia tällaisia tavoitteita ei saavuteta lainkaan tai ne saavutetaan aikataulustaan myöhässä. IEA:n julkaisemat ennusteet ovat puolestaan selkeästi maltillisempia kuin EREC:n ennusteet ja niitä voi käyttää hyvänä vertailukohtana EREC:n ennusteille eri tekniikoiden kehittymisestä. Kuvassa 41 on esitetty IEA:n ennuste uusiutuviin energialähteisiin perustuvien sähköntuotannon tekniikoiden kapasiteetin vuosittaiselle kasvunopeudelle vuosina 2005 – 2025. IEA:n ennuste pienvesivoiman ja biomassan polton kasvulle on huomattavasti EREC:n ennustetta pienempi, mikä näkyy kuvissa 41 ja 42. Ennusteiden eroavaisuudet ovat huimia, mikä kuvastaa ennustamisen vaikeutta.



Kuva 42. IEA:n ennusteen perusteella laadittu kuva eri sähköntuotannon tekniikoiden kapasiteettien vuosittaisesta kasvunopeudesta vuosina 2005 – 2025. (IEA, 2003b)

Tuulivoimatekniikan yleistymiseen uskotaan laajalti. Monissa ennusteissa arvioidaan installoidun tuulivoimakapasiteetin ylittävän 1 000 GW noin vuonna 2020. Tämä tarkoittaa keskimääräisesti yli 60 GW:n rakentamista joka vuosi. Tämän ennusteen mukaan vuonna 2015 tuulivoimaa on asennettuna noin 750 GW. Ennusteen mukaisiin kapasiteetteihin ei todennäköisesti päästä ainakaan vuoteen 2015 mennessä. Vuoden 2004 lopussa kapasiteetti oli noin 48 GW. Tuulivoimakapasiteetin tulisi siis kasvaa 32 % vuodessa, jotta ennuste toteutuisi. Kapasiteetin kasvunopeus oli 21 % vuonna 2004. IEA:n vuonna 2003 laatimassa ennusteessa onastellaan maailmanlaajuisen tuulivoimakapasiteetin olevan 130 GW vuonna 2010 (IEA, 2003b). Tämän ennustuksen toteutuminen edellyttäisi, että lähimmän viiden vuoden aikana uusia voimaloita rakennettaisiin keskimäärin 16,5 GW vuodessa. Tuulivoiman kasvunopeus olisi IEA:n ennusteen mukaan 22 % vuodessa vuoteen 2010 saakka. Mikäli kasvunopeus säilyy tätä vastaavana 10 vuoden ajan, on tuulivoimaa installoituna vuonna 2015 noin 350 GW. Tämä määrä vastaisi noin 1/20-osaa maailman sähkötehon tarpeesta, mikäli voimalaitosten käyttökerroin olisi 0,3. Tämän ennustuksen toteutuminen näyttää mahdollista.

Tuulivoimalaitokset on toistaiseksi sijoitettu pääasiassa maalle. Tuulivoimakapasiteettia on kasvatettu lisäämällä voimalaitosten määrää ja rakentamalla yhä tehokkaampia voimalaitoksia. Maalle rakennettavien tuulivoimaloiden teho ei kuitenkaan voi kasvaa poikkeustapauksia lukuun ottamatta suuremmaksi kuin 3 MW, koska suurempien voimaloiden maantiekuljetuksien kustannukset kasvavat liian suuriksi (Haapanen, 2005). Suurempien voimaloiden kuljetus edellyttäisi usein mm. siltojen purkua tai rakennusten siirtämistä. Suurimmat tuulivoimalat tullaan sijoittamaan merelle rakennettaviin useita satoja megawatteja tuottaviin tuulipuistoihin. Merelle rakennettavien tuulivoimaloiden tuotanto tulee aikanaan ohittamaan maalle rakennettujen tuulivoimaloiden tuotannon. Merelle rakentaminen ei ole vakiintunutta toimintaa, joten ennusteissa esitettyihin tuotantomääriin ei ehkä tulla pääsemään. Hajautetun tuotannon kannalta tärkeämmät maatuulivoimalat sen sijaan vakiinnuttavat asemaansa. Niitä voidaan rinnastaa jossain määrin pienvesivoimalaitoksiin, sillä soveltuvia rakennuspaikkoja on molemmille tekni-

koille rajoitetusti ja parhaat paikat rakennetaan ensin. Tukipolitiikan vaikutus on tuulivoimalle toistaiseksi huomattava, mutta tulevaisuudessa sen merkitys saattaa vähentyä.

Maailman pienvesivoimakapasiteetin ennustetaan eri arvioiden mukaan olevan 51 – 55 GW ja vuosituotannon noin 220 TWh vuonna 2010 (EREC, 2001; IASH, 2005; WEC, 2005). Kuvassa 41 esitetyn EREC:n ennusteen mukaan pienvesivoimalla tuotetun sähköenergian määrä kasvaa vuosittain vähintään 8 % vuoteen 2030 saakka. Jos tämä ennuste toteutuu, niin vuonna 2030 maailmassa on pienvesivoimakapasiteettia 315 GW ja näistä laitoksista saadaan sähköä 1 200 TWh vuodessa. Pienvesivoiman tuotanto saattaa kasvaa kattamaan jopa kolmanneksen maailman kaikesta vesivoimatuotannosta vuoteen 2040 mennessä. Tällöin pienvesivoimalla tuotettaisiin vuodessa yli 2 000 TWh energiaa. IEA ennustaa ”business as usual” – skenaariossaan maailmanlaajuisesti vuotuiseksi kasvunopeudeksi 3,0 – 3,5 % vuoteen 2025 saakka (IEA, 2003b). Parhaassakaan tapauksessa IEA ei usko 5 % vuotuisen kasvunopeuden ylittyvän.

Pienvesivoiman kasvun ongelmana on sopivien voimalaitospaikkojen rajallinen määrä ja suojelelu. Pienvesivoiman yleistyminen perustuu ennen kaikkea pienvesivoimaloiden tuottamaan halpaan sähkөөn. Suurimpia riskitekijöitä kasvulle ovat poliittiset päätökset, joilla estetään voimalaitosten rakentaminen hyvillä tuotantopaikoille. Merkittävä osuus tuotannon kasvusta saadaan vanhojen voimalaitosten kunnostamisesta ja modernisoinneista.

Minivesivoimaloissa sähkön tuotantokustannukset ovat hieman korkeammat kuin pienvesivoimaloissa. Suomessa näiden laitosten kannattavuutta on lisätty tukipolitiikan avulla. Huonoimmassa asemassa ovat kaikkein pienitehoisimmat laitokset, joiden teholuokka vaihtelee muutamasta kymmenestä kilowatista reiluun sataan kilowattiin. Pienitehoisimpien laitosten kustannustaso on sen verran korkea, että nykyisellä tukipolitiikalla niiden tuottama sähkö on liian kallista suoraan verkkoon myytäväksi.

JPC (Jaakko Pöyry Consulting) on laskenut bioenergiateknologioiden vuotuisten markkinoiden kasvavan 6 miljardista eurosta vuonna 2003 11 – 16 miljardiin euroon vuoteen 2010 mennessä ja 22 – 32 miljardiin euroon vuoteen 2020 mennessä. Suurin kasvu on odotettavissa bioenergian poltto- ja jalostusteknologian markkinoilla. Maantieteellisesti suurin kasvu tapahtuu Euroopassa. Aasian alueella biomassan kaupallinen hyödyntäminen energiantuotannossa on tällä hetkellä vähäistä verrattuna kotitalouksien kuluttamaan biomassan määrään. Kiinassa ja Intiassa odotetaan kuitenkin biopolttoaineiden kaupallisen hyödyntämisen kasvavan huomattavasti vuoden 2010 jälkeen. (Pöyry, 2003)

JPC:n laskelman mukaan bioenergiateknologioiden markkinoiden vuotuinen kasvu olisi 9 – 15 % vuoteen 2010 asti ja 7 % tätä seuraavien kymmenen vuoden ajan. Laskelma perustuu eri maiden asettamien bioenergian tuotantotavoitteiden saavuttamiseen ja siinä on huomioitu, että tavoitteista ollaan jäljessä tällä hetkellä. Maailmanlaajuisesti tarkasteltuna suuri osa biomassasta kulutetaan tällä hetkellä kotitalouksissa lämmitystarkoitukseen. Tulevaisuudessa biomassaa hyödynnettäneen enenevässä määrin kaupalliseen energiantuotantoon (Pöyry, 2003). Tästä syystä JPC:n laskema markkinoiden kasvuprosentti on korkeampi kuin EREC:n ennustama biomassalla tuotetun energiamäärän kasvuprosentti.

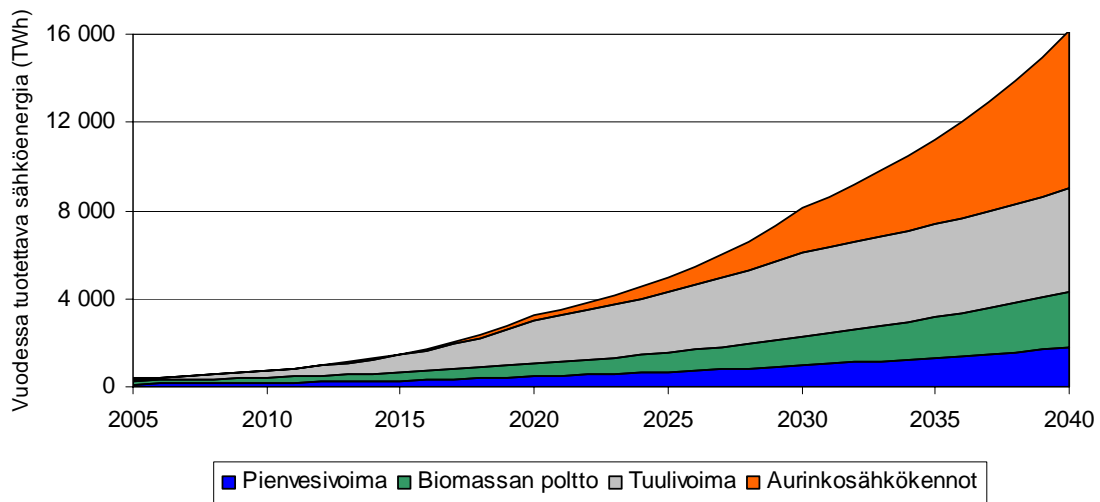
EREC ennustaa biomassalla tuotetun sähköenergian määrän kasvavan 8 – 10 % vuodessa seuraavien 30 vuoden ajan. Biomassalla tuotetun energian kokonaismäärä kasvaa maailmassa kaikkiaan noin 3 % vuodessa (EREC, 2001). Biomassan polttolaitosten yleistymisen edellytyksenä on riittävä biomassan tuotanto ja ennen kaikkea kasvaneen biomassan kustannustehokas kerääminen ja kuljettaminen voimalaitoksille. Biomassan hinta nousee, mikäli sitä käyttävät voimalaitokset joutuvat aloittamaan hintakilpailun siitä, kuka saa polttoainetta ja kuka jää ilman. Tämä vähentää uusien laitosten kannattavuutta ja toimii jarruna tekniikan yleistymiselle. Biomassaa tulisi olla saatavilla voimalaitoksen lähialueilta, koska pitkät kuljetusmatkat aiheuttavat suuria kustannuksia.

EREC ennustaa aurinkosähkökennojen kapasiteetin kasvavan vuosittain yli 25 % vuosina 2001 – 2030 (EREC, 2001). Vuoden 2030 jälkeen kasvunopeus olisi noin 14 % vuodessa. Toteutunut kehitys on jopa hieman tätä ennustetta nopeampaa. Ennusteen mukaan vuonna 2010 maailmaan asennettujen aurinkosähkökennojen yhteenlaskettu teho on 11 GW. Myös IEA ennustaa vuoden 2010 aurinkosähkökennokapasiteetiksi 11 GW (IEA, 2003b). Aurinkosähkökennojen lisääntymisen ennusteet ovat pessimistisissäkin arvioissa noin 20 – 25 % vuodessa.

Moottorivoimalaitosten tuotantokapasiteettien kehittymiselle on laadittu huomattavasti vähemmän ennusteita kuin uusiutuviin energialähteisiin perustuville tekniikoille. Moottorivoimalaitokset ovat erilaisessa tilanteessa verrattuna uusiutuviin energialähteisiin perustuviin tekniikoihin. Ne ovat elinkaarensa kypsässä vaiheessa ja pikkuhiljaa kiinnostavuus niitä kohtaan saattaa hiipua. Myös Öljyn hinnankehitys saattaa johtaa siihen, että diesel- ja kaasumoottorivoimalaitoksia rakennetaan yhä vähenevissä määrin.

Kuvassa 43 esitetään EREC:n ennusteeseen perustuen eri tekniikoilla tuotetun sähköenergian absoluuttinen määrä vuosina 2005 – 2040. Sähkön kokonaiskulutuksen ennakoitaan kasvavan vuosien 2005 – 2040 välisen aikana 17 300 TWh:sta 36 300 TWh:iin. Tutkituilla uusiutuviin energialähteisiin perustuvilla tekniikoilla tuotetaan EREC:n ennusteen mukaan noin 17 % maailmassa tuotetusta sähköenergiasta vuonna 2025 ja noin 40 % tuotetusta sähköenergiasta vuonna 2040. Aurinkosähkökennojen osuus tästä tuotannosta on noin 47 % ja tuulivoiman osuus noin 32 %. Vuonna 2040 lähes 60 % kaikesta tarvittavasta sähköenergiasta täytyisi tuottaa muilla kuin tässä esitetyillä tekniikoilla. Vuoden 2040 arvioituun kulutukseen suhteutettuna tämä tarkoittaisi muilla tekniikoilla tuotettavan sähköenergian määräksi noin 22 000 TWh vuodessa.

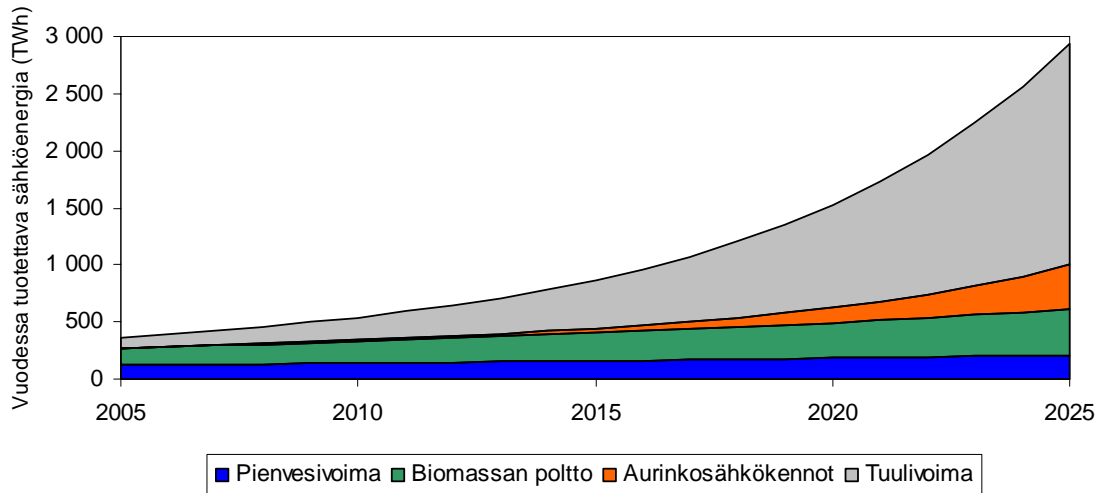
Kuvan 43 mukaan tuulivoimalla tuotetaan vuonna 2025 noin 30 kertaa enemmän sähköä kuin vuonna 2005. Vastaavasti aurinkosähkökennoilla tuotetaan sähköä nykyiseen verrattuna noin 160 kertaa enemmän. Biomassan poltolla ja pienvesivoimalla tuotetaan vuonna 2025 sähköä lähes viisi kertaa enemmän kuin vuonna 2005. Tutkituilla tekniikoilla tuotettaisiin yhteensä noin 15 000 TWh vuonna 2040. Tuotettava energiamäärä on nykyiseen sähkön kulutukseen verrattuna suuri. Kulutuksen kasvusta johtuen vuonna 2040 tarvitaan kuitenkin tutkittujen tekniikoiden lisäksi nykyistä tuotantokapasiteettia vastaava määrä muihin tekniikoihin perustuvia tuotantolaitoksia. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että hiili-, öljy-, maakaasu- ja ydinvoimaloita tarvitaan myös jatkossa.



Kuva 43. EREC:n ennuste eri tekniikoilla tuotettavasta sähköenergiasta maailmassa vuosina 2005 – 2040. (EREC, 2001)

Kuvassa 44 esitetään eri tekniikoilla tuotetun sähköenergian absoluuttinen määrä IEA:n ennusteen perusteella vuosina 2005 – 2025. IEA ennustaa, että tuulivoimalla tuotetaan vuonna 2025 sähköä 2 000 TWh, eli 20 kertaa enemmän kuin vuonna 2005. IEA:n mukaan aurinkosähkökennoilla tuotetaan vuonna 2025 sähköä noin 400 TWh eli nykyiseen verrattuna 85 kertaa enemmän.

Sähkön kulutuksen ennustetaan kasvavan vuosien 2005 – 2025 välisenä aikana 17 300 TWh:sta 25 500 TWh:iin. Maailman nykyisestä sähkön kulutuksesta tuulivoimalla, pienvesivoimalla, biomassan poltolla sekä aurinkokennoilla tuotetaan yhteensä noin 2 %. Näillä uusiutuviin energialähteisiin perustuvilla tekniikoilla ennustetaan tuotettavan vuonna 2025 noin 11 % maailman sähköenergiasta. Vuonna 2025 kaikesta sähköenergiasta täytyisi siis tuottaa lähes 90 % muiden tekniikoiden avulla. Vuoden 2025 arvioituun kulutukseen suhteutettuna tämä tarkoittaa muilla tekniikoilla tuotettavan sähköenergian määräksi noin 23 000 TWh vuodessa.



Kuva 44. IEA:n ennusteen perusteella laadittu kuva eri tekniikoilla tuotettavasta sähköenergiasta maailmassa vuosina 2005 – 2025. (IEA, 2003b)

8.8. Tuotantokustannusten ennustettu pieneneminen

Tuotantokustannusten kehittymistä voidaan approksimoida oppimiskäyrien avulla. Oppimiskäyrä kuvaa tuotantokustannusten pientymistä tuotannon kumulatiivisen määrän kasvaessa. Kustannusten aleneminen perustuu oppimisen seurauksena tapahtuvaan työn tehokkuuden parantumiseen sekä uusien menetelmien keksimiseen ja kehittymiseen. Perusteellisuudessa kumulatiivisen tuotantokapasiteetin kaksinkertaistuminen on historiallisesti tarkasteltuna pienentänyt kustannuksia 20 – 30 %. Oppimiskäyrän yleinen muoto esitetään yhtälössä 2. (Margolis, 2002)

$$C(t_2) = C(t_1) \left(\frac{q(t_2)}{q(t_1)} \right)^{-b} \quad (2)$$

missä

$C(t)$ on tuotteen keskimääräinen hinta ajan hetkellä t [€],
 $q(t)$ on kumulatiivinen tuotanto ajan hetkellä t ja
 b on oppimiskerroin.

Oppimiskäyrä mallinnetaan usein tuotannon kumulatiivisen määrän kaksinkertaistuessa tapahtuvan kustannusten pienenemisen avulla. Oppimiskerroin b voidaan tällöin laskea yhtälöstä 3.

$$PR = 2^{-b} \quad (3)$$

missä

PR (Progress ratio) on kustannusten kehittymistä kuvaava suhdeluku (< 1), kun kumulatiivinen tuotantomäärä kaksinkertaistuu.

Oppimiskerroin on sitä suurempi, mitä pienempi on PR . Suuri oppimiskerroin indikoi nopeaa oppimista ja johtaa kustannusten nopeaan pieneneeseen.

Tuotannon kumulatiivisen määrän kaksinkertaistuessa tuotantokustannukset pienentyvät yhtälön 4 mukaisesti.

$$D = 100 \frac{C(t_1) - C(t_2)}{C(t_1)} = 100 (1 - PR) \quad (4)$$

missä

D on tuotantokustannusten alenema prosentteina.

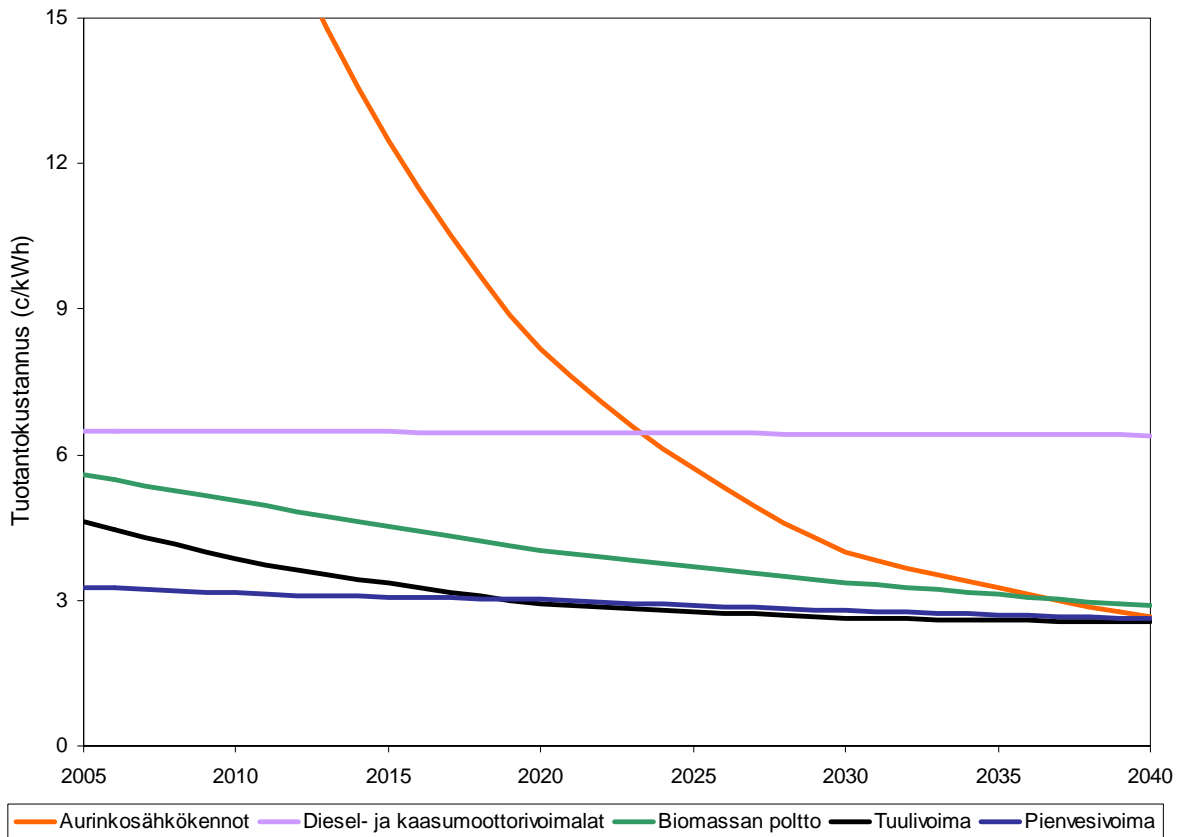
Tuotantokustannusten kehitys vaikuttaa huomattavasti tekniikoiden yleistymiseen. Mitä halvemmaksi tuotantokustannukset kehittyvät ja mitä nopeampaa tämä kehitys on, sitä voimakkaammin kyseisen tekniikan voidaan ennakoida yleistyvän.

Taulukossa 14 esitetään oppimiskäyriin perustuvan tuotantokustannusten analyysin perustana käytetyt lähtötiedot ja tehdyt oletukset. Uusiutuviin energialähteisiin perustuvien tekniikoiden kustannusten kehittymistä kuvaavat suhdeluvut PR on valittu IEA:n julkaisemien arvioiden perusteella. Tuulivoiman kustannusten kehittymistä kuluneen kymmenen vuoden aikana kuvaa EWEA:n mukaan $PR = 0,83$ (EWEA, 2004). Kehitys ei kuitenkaan ole enää aivan näin nopeaa ja tästä syystä IEA:n arviota $PR = 0,90$ voidaan pitää luotettavana. Aurinkosähkökennojen kustannusten kehittymistä kuluneen kymmenen vuoden aikana kuvaa $PR = 0,76$ (Solarbuzz, 2005). Myös aurinkosähkökennojen kustannuskehitys on hieman taantunut. Tämä on huomioitu IEA:n ennusteessa, jossa aurinkosähkökennojen PR -luvuksi on valittu 0,80. Analyysiin valitut tuotantokustannukset perustuvat taulukossa 13 laskettuihin tuotantokustannuksiin. Oppimiskäyriin perustuvat analyysit on tehty sekä EREC:n että IEA:n julkaisemille tekniikoiden kapasiteettien kasvunopeuksille. Moottorivoimalaitoskapasiteetin on arvioitu lisääntyvän prosentin vuodessa. Analyysissa käytettävät uusiutuviin energialähteisiin perustuvien tekniikoiden kasvunopeudet esitettiin kuvissa 43 ja 44.

Taulukko 14. Oppimiskäyriin perustuvan analyysin perustana käytetyt lähtötiedot. Uusiutuviin energialähteisiin perustuvien tekniikoiden PR -arvot perustuvat IEA:n ennusteeseen. Sulkeissa oleva tieto on arvio, joka on tehty IEA:n ennusteisiin perustuen. (EREC, 2001; IEA, 2003b)

Tekniikka	PR	Tuotantokustannukset 2005 (c/kWh)
Tuulivoima	0,90	4,64
Pienvesivoima	(0,93)	3,28
Biomassan poltto (lauhde)	(0,85)	5,59
Diesel- ja kaasu-moottorivoimalat (lauhde)	0,97	6,50
Aurinkosähkökennot	0,80	28,30

Oppimiskäyriin sekä EREC:n ja IEA:n ennustamiin tekniikoiden kapasiteettien kasvuun perustuva tuotantokustannusten pienentyminen esitetään kuvissa 45 ja 46. PR-lukujen ja kapasiteettien kasvunopeuksien mukaisesti aurinkosähkökennojen kustannukset pienenevät nopeimmin. Moottorivoimalaitosten sekä pienvesivoiman tuotantokustannusten pieneminen on hidasta, koska tekniikat ovat olleet käytössä pitkään ja suurta kapasiteetin kasvua ei ole odotettavissa. Tuulivoiman kustannusten pieneminen on nopeampaa kuin biomassan polton, vaikka biomassan polton PR-luku on pienempi kuin tuulivoiman. Syynä on tuulivoiman huomattavasti nopeampi yleistyminen.

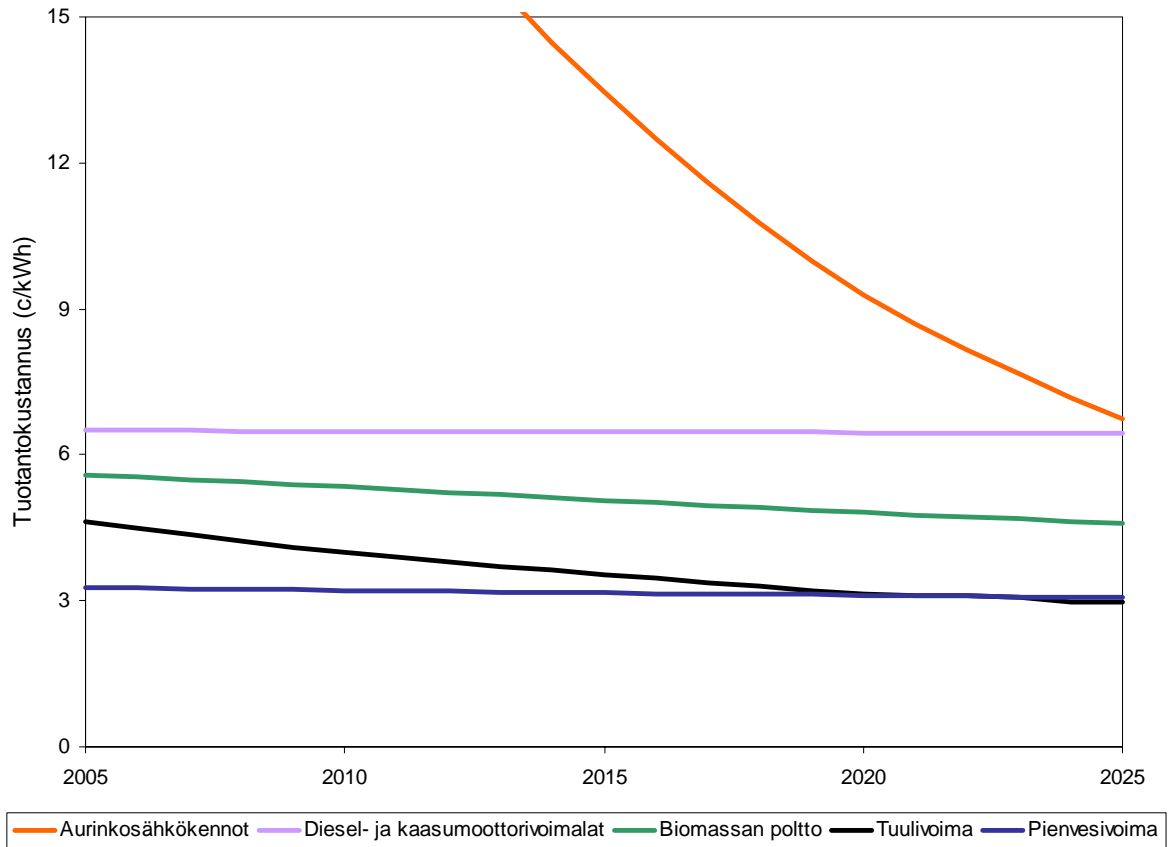


Kuva 45. Oppimiskäyriin ja EREC:n ennustamaan kapasiteetin kasvuun perustuvat eri tekniikoiden sähkön tuotantokustannukset vuosina 2005 – 2040.

EREC:n laatimiin tekniikoiden kapasiteetin kasvuennusteisiin ja oppimiskäyriin perustuva tuotantokustannusten pieneminen esitetään kuvassa 45, jonka mukaan aurinkosähkökennoilla tuotetun sähkön tuotantokustannukset pienenevät nopeimmin. IEA:n ennusteeseen verrattuna EREC ennustaa aurinkosähkökennoilla tuotetun sähkön tuotantokustannuksien alittavan moottorivoimalaitosten tuottaman sähkön hinnan noin kaksi vuotta aikaisemmin.

Tarkastelujen perusteella alhaisimmat tuotantokustannukset saavutetaan vuonna 2025 tuuli- ja pienvesivoimalla. Tuotantokustannukset pienentyvät voimakkaimmin aurinkosähkökennoilla. Polttoaineiden hinnan muutokset vaikuttavat voimakkaasti polttotekniikkaan perustuvien voi-

maloiden tuotantokustannuksiin. Tässä tarkastelussa polttoaineen hintana on moottorivoimalaitoksille käytetty maakaasun hintaa vuonna 2005. Biomassan hinnan on oletettu laskevan oppimiskäyrän mukaisesti, kun biomassan kasvatus- ja korjuutekniikat kehittyvät.



Kuva 46. Oppimiskäyriin ja IEA:n ennustamaan kapasiteetin kasvuun perustuvat eri tekniikoiden sähkön tuotantokustannukset vuosina 2005 – 2025.

IEA:n laatimiin tekniikoiden kapasiteetin kasvuennusteisiin ja oppimiskäyriin perustuva tuotantokustannusten pieneneminen esitetään kuvassa 46. Kuvien 45 ja 46 tuloksista esitetään yhteenveto taulukoissa 15 ja 16.

EREC:n ennusteen perusteella vuonna 2025 biomassan poltolla tuotetun sähkön tuotantokustannukset ovat 20 % pienemmät kuin IEA:n ennusteen perusteella. EREC:n ennusteen mukaan aurinkosähkökennoilla tuotettu sähkö on 15 % edullisempaa kuin IEA:n ennusteen mukaan. Muiden tässä työssä tutkittujen tekniikoiden sähkön tuotantokustannuksissa ennusteet eroavat toisistaan alle 10 %. Tarkastelujen perusteella uusiutuviin energialähteisiin perustuvien tekniikoiden tuotantokustannuksissa ei ole suuria eroja vuonna 2040. Tuotantokustannukset ovat tällöin pienentyneet voimakkaimmin aurinkosähkökennoilla.

Taulukko 15. Oppimiskäyriin ja EREC:n ennustamaan kapasiteetin kasvuun perustuvat ennusteet eri tekniikoiden tuotantokustannuksista vuosina 2005, 2025 ja 2040.

Tekniikka	Tuotanto-kustannukset 2005 (c/kWh)	Tuotanto-kustannukset 2025 (c/kWh)	Tuotanto-kustannukset 2040 (c/kWh)	Tuotantokustannusten alenema 2005 – 2025 (%)
Tuulivoima	4,64	2,77	2,55	40
Pienvesivoima	3,28	2,90	2,62	11
Biomassan poltto (lauhde)	5,59	3,69	2,88	34
Diesel- ja kaasumoottorivoimalat (lauhde)	6,50	6,44	6,40	1
Aurinkosähkökennot	28,30	5,71	2,65	80

Taulukko 16. Oppimiskäyriin ja IEA:n ennustamaan kapasiteetin kasvuun perustuvat ennusteet eri tekniikoiden tuotantokustannuksista vuosina 2005 ja 2025.

Tekniikka	Tuotanto-kustannukset 2005 (c/kWh)	Tuotanto-kustannukset 2025 (c/kWh)	Tuotantokustannusten alenema 2005 – 2025 (%)
Tuulivoima	4,64	2,99	36
Pienvesivoima	3,28	3,06	6
Biomassan poltto (lauhde)	5,59	4,60	18
Diesel- ja kaasumoottorivoimalat (lauhde)	6,50	6,44	1
Aurinkosähkökennot	28,30	6,73	76

Ennusteiden perusteella vuonna 2025 tuulivoiman ja pienvesivoiman tuotantokustannukset ovat noin 3,0 c/kWh, mikä vastaa nykyistä SPOT-hintaa. EREC:n ennusteen mukaan vuonna 2040 kaikkien tarkasteltujen uusiutuvia energialähteitä hyödyntävien tekniikoiden sähkön tuotantokustannukset ovat 2,5 – 2,9 c/kWh, jolloin ne olisivat hyvin kilpailukykyisiä.

9. LIKETOIMINTAKONSEPTEJA HAJAUTETUN ENERGIANTUOTANNON KANSAINVÄLISILLE MARKKINOILLE

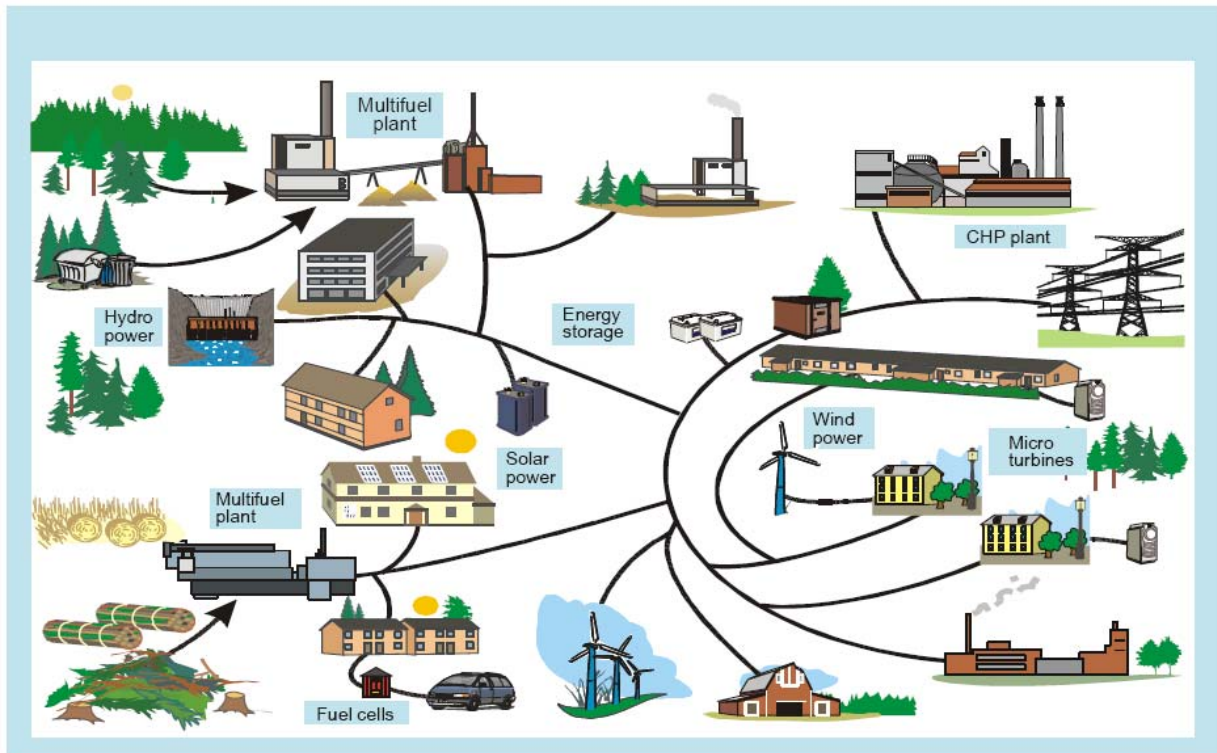
Tässä kappaleessa arvioidaan potentiaalisimpia liiketoimintakonsepteja HE järjestelmien tulevaisuuden markkinoille. Uudet liiketoimintakonseptit perustuvat liiketoimintamallien teoriaan sekä teknis-taloudellisiin analyysihin. Kuten nykyisten liiketoimintamallien kuvaukset, myös uudet konseptit on rakennettu neljän valitun liiketoimintamallikomponentin mukaan, joita olivat arvoverkko, teknologia, arvontarjonta ja asiakaspinta. Erona nykyisten liiketoimintamallien kuvaukseen on muun muassa se, että konseptit on suunniteltu toimialakohtaisiksi eikä yritys-kohtaisiksi. Kullekin markkina-alueelle on kuvattu oma liiketoimintakonsepti. Tämän lisäksi jokaisesta konseptista on eritelty sekä järjestelmäintegraattorin liiketoiminta että komponenttieroistujan liiketoiminta. Nämä liiketoiminnat on kuvattu esimerkkien avulla markkinakohtaisista liiketoimintakonsepteista.

9.1. HE-järjestelmien nykyisiä liiketoimintatrendejä

VTT:n (Lehtinen & Wahlström, 2005) julkaisema HE järjestelmien tiekartta esittää, mitä mahdollisia hankkeita Suomessa tulisi käynnistää liiketoiminnan onnistumisen takaamiseksi. Pitkän tähtäimen suomalainen visio voisi olla esimerkiksi seuraavanlainen:

- Suomesta voidaan toimittaa kaikkia HE järjestelmiä, jotka käyttävät kaikkia kullakin alueella mahdollisia primäärienergiamuotoja.
- Näille HE-järjestelmille on moduloitavissa komponentit: höyryturbiini-generaattori, ohjauksjärjestelmä, lämmönerotin, lämmöstä-kylmäksi-muunnin, jne.
- Suomessa suunnitellaan ja etähuolletaan eripuolilla maailmaa olevia HE järjestelmiä, jotka voidaan itsekonfiguroivasti liittää yhteen lähellä olevien HE järjestelmien ja älykkäiden kuormien ("kuluttimien") kanssa. (Lehtinen & Wahlström, 2005)

Tulevaisuudessa HE:n alalla esiintyvinä trendeinä voidaan mainita muun muassa infrastruktuurin kehittyminen teollistuvissa maissa, teknologian kehittyminen erityisesti ympäristöystävällisten tuotantotekniikoiden osalta sekä energian varastoinnin osalta. Lisäksi tietotekniikan osuus energia-alalla tulee merkittävämmäksi tuotantoyksiköiden etähuollon ja ylläpidon myötä. Myös sähköverkkojen muuttuminen älykkäiksi, kulutusta ennustaviksi sekä sähkön reaaliaikainen kaupankäynti pienten kuluttimien osalta tulee lisäämään entisestään tietoteknisten sovellusten merkitystä osana energiantuotantoa. (Lehtinen & Wahlström, 2005) Elektronisella tiedonsiirrolla voidaan osittain korvata fyysisiä kuljetuksia. Lisäksi tuotteisiin ja tuotantolaitteisiin liittyvällä tiedon paremmalla hallinnalla voidaan pienentää ympäristökuormitusta samalla, kun raaka-aineita ja energiaa säästyy. (Jansson et al., 2001) Kuvassa 47 on havainnoitu erinomaisesti tulevaisuuden energiainfrastruktuurin rakennetta, jossa hajautetulla tuotannolla on keskeinen asema.



Kuva 47. Hajautetut energiajärjestelmät Suomessa 2030 (Kara et. al., 2001)

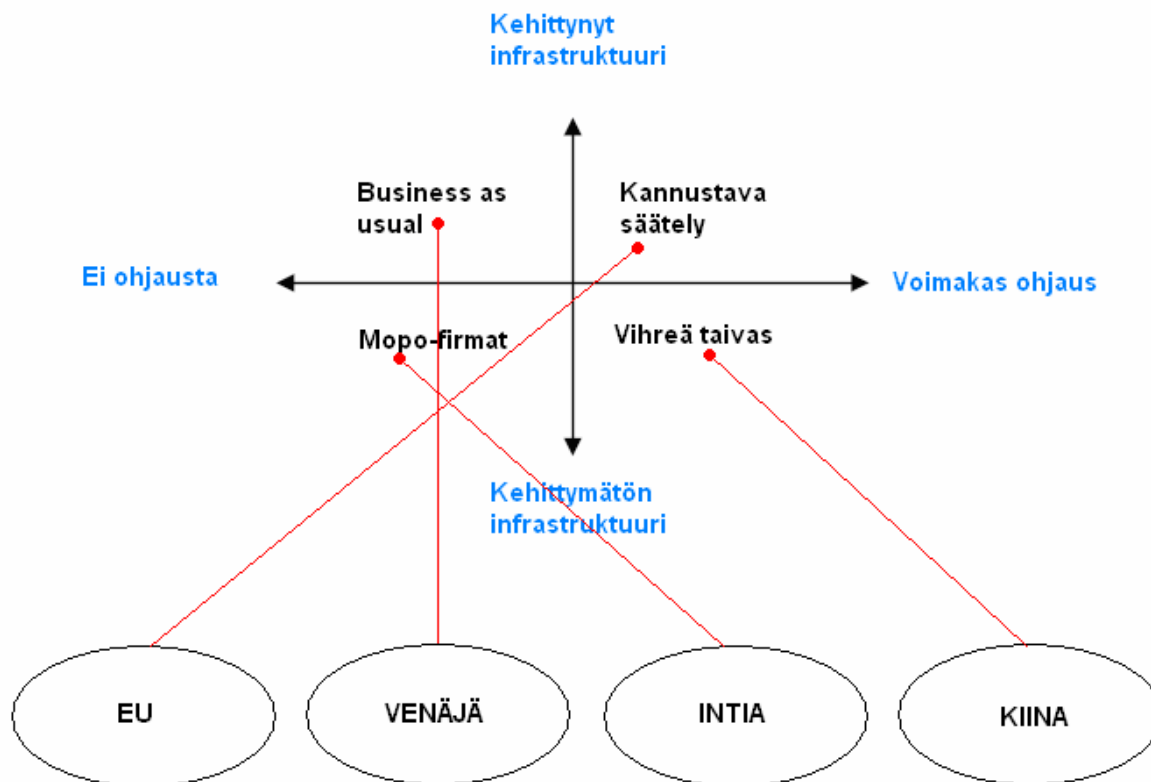
Kuvasta 47 voidaan huomata, että hajautetun energiantuotannon järjestelmät voivat muodostaa verkoston, jossa sähköä voidaan tuottaa paikallisesti ja myös siirtää paikallisesta kulutuksesta laajemman kokonaisuuden käyttöön. Näin saadaan entisestään pienennettyä keskitetyn tuotannon merkitystä yhteiskunnan energiajärjestelmän tukipilarina. Lisäksi hajautetusti tuotetun sähkön myyminen käyttökohteen ulkopuolelle voi tuottaa asiakkaille lisäarvoa ja näin madaltaa kynnystä investoida HE -järjestelmään keskitetyn energian hyödyntämisen sijaan. Joka tapauksessa HE -järjestelmien integroiminen infrastruktuuriin on merkittävä osa tulevaisuuden liiketoimintaa ja näin ollen sen liittäminen osaksi palvelukonseptia voisi olla hyvinkin kannattavaa. Käytännössä kaikkiin uusiin luonnonvarahankkeisiin liittyy infrastruktuurin ja paikallisten yhdyskuntien kehitystarpeita. Liiketoiminnan kannalta on usein myös käytännöllistä maksimoida paikallisen työvoiman, materiaalien ja palvelujen käyttö, niin sanotun kansallisen tai alueellisen toimitussisällön luominen. (Lausala & Jumppanen, 2002)

Kuvan 47 esittämä malli kehittyneestä HE järjestelmien infrastruktuurista tulee todennäköisesti toteutumaan erityisesti tällä hetkellä murroksessa olevissa riittämättömän infrastruktuurin maissa HE järjestelmien yleistyessä. Euroopan kaltaisilla kehittyneen infrastruktuurin alueilla puolestaan HE järjestelmät toimivat prototyypeinä uusille ratkaisuille, jotka saavuttavat todellisen kysyntänsä kehittyvillä alueilla. Tämä piirre tulee esiin asiakastarpeissa, potentiaalisten teknologioiden ja HE järjestelmiä tukevien tekijöiden eroissa kehittyneen ja kehittymättömän infrastruktuurin markkinoiden välillä.

Sähköverkko on taannoin syntynyt - Suomeen ja muualle - saarekkeina käytettävissä olevan vesivoiman ja koskipaikkojen ympärille. Sähkön toimitusvarmuuden ja suurtuotannon edulliseen vuoksi on ollut hyödyllistä liittää sähköverkko vähitellen yhteen. - Aivan samat mekanismit ohjaavat sähköverkkojen kehittymisen myös nykyisille sähköttömille alueille. Mutta käytettävissä on enemmän tuotantomahdollisuuksia ja laitteita sekä menetelmiä ylläpitää hyvää toimitusvarmuutta. Lisäksi laajempaan sähköverkkoon kytkettävät paikalliset HE-järjestelmät ja energiavarastot voivat merkittävästi pienentää siirtokustannuksia.

9.2. Markkinoiden ja skenaarioiden valinta liiketoimintakonseptien muodostamista varten

Liiketoimintakonseptien kuvauksessa on käytetty apuna tietoa markkinoiden nykyisestä tilanteesta, VTT:n tiekarttaa HE järjestelmien kehityksestä (Lehtinen & Wahlström, 2005) sekä liiketoimintaympäristöä kuvaavia skenaarioita. Skenaarioiden ja tiekartan avulla pyritään hahmottamaan polkua nykytilasta tulevaisuuden HE-järjestelmiin ja tulevaisuuden liiketoimintaympäristön muutoksiin, mikä helpottaa liiketoimintakonseptien muodostamista HE -järjestelmien tulevaisuuden markkinoille. Jokaiselle markkinalle on valittu oma skenaarionsa. Valintaperusteena on käytetty sitä, että markkinoilla on jo osittain toteutunut jokin tietylle skenaariolle ominainen piirre (ks. Liite 2, Triggerit). Skenaariot on jaettu markkinoittain seuraavanlaisesti: *kannustava säätely* -skenaario EU-15 markkinoille, *business as usual* -skenaario Venäjän markkinoille, *mopo-firmit* -skenaario Intian markkinoille ja *vihreä taivas* -skenaario Kiinan markkinoille. Skenaarioiden valintaa eri markkinoille on havainnollistettu kuvassa 48.



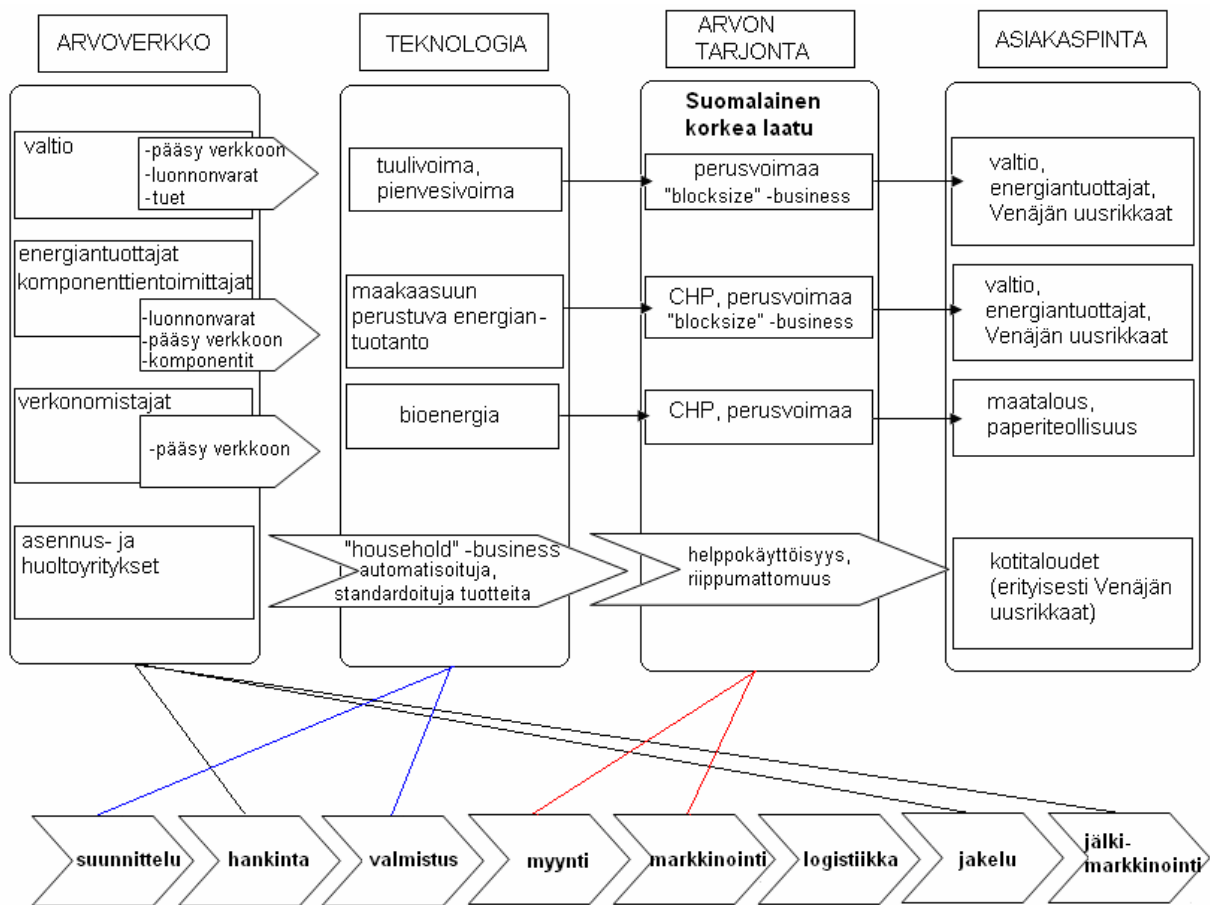
Kuva 48. Markkinakohtainen skenaarioiden valinta

Jokaiselle markkinalle on valittu yksi skenaario yksinkertaistamisen vuoksi. Ei pidä kuitenkaan unohtaa, että tulevaisuudessa voi toteutua useampien skenaarioiden kuvaamia maailmoja ja skenaariot voivat toteutua myös osittain samanaikaisesti eri markkinoilla. Tämän vuoksi skenaarioita tulisi päivittää ajan kuluessa ja tarpeen vaatiessa etenkin, jos niitä käytetään liiketoiminnan pitkän tähtäimen suunnittelussa.

9.3. Liiketoimintakonseptikuvaus Venäjän markkinoille

Venäjän markkinoiden liiketoimintakonseptin kuvauksessa on käytetty apuna *Business as usual*-skenaariota, jotta voitaisiin paremmin hahmottaa tulevaisuudessa liiketoimintaan vaikuttavia tekijöitä. Skenaarion mukaan poliittis-taloudelliset päätökset vaikuttavat edelleen hallitsevasti energiemarkkinoilla ja ympäristöasioilla on vain vähän vaikutusta päätöksentekoon. Vuoteen 2019 mennessä hajautettu tuotanto ei ole kehittynyt optimististen odotusten mukaisesti. Perinteiset energianlähteet, kuten hiili, öljy ja maakaasu vastaavat edelleen kasvavaan energian tarpeeseen. Tämä näkökulma sopii hyvin Venäjän markkinoille, jossa on laajat luonnonresurssit ja kyseiset energianlähteet tulevat säilymään todennäköisesti suhteellisen edullisina vielä varsin pitkään. Skenaariossa yhteiskunta ei tue kovinkaan voimakkaasti hajautettua energiantuotantoa, mutta sähköverkkomonopoliin purkamisen voi silti johtaa hajautettujen energiajärjestelmien liiketoiminnan kasvuun.

Kuvassa 49 on esitetty tulevaisuuden liiketoimintamahdollisuuksia Venäjän markkinoilla käytämällä hyväksi samoja liiketoimintamallien komponentteja kuin nykyistenkin liiketoimintamallien kuvauksissa. Kuviossa nähdään, kuinka Venäjän markkinoilla liiketoiminta voidaan jakaa nuolten osoittamalla tavalla "blocksize" liiketoiminnaksi ja "household" liiketoiminnaksi. Nämä liiketoiminnat viittaavat järjestelmien kokoluokkaan ja asiakassegmentteihin. "Blocksize" liiketoiminnassa asiakkaita voivat olla suuret teollisuusyritykset ja yksityinen sektori, joiden tarvitsemat järjestelmät ovat tavallisesti suuria. "Household" liiketoiminnassa puolestaan tyypillisiä asiakkaita ovat kotitaloudet. Nuolet liiketoimintakomponenttien välillä osoittavat mistä teknologioista arvontarjonnat muodostuvat ja mille asiakassegmenteille nämä on suunnattu. Arvoverkkokomponentti puolestaan osoittaa, ketkä ovat avaintekijöitä liiketoiminnan onnistumisen kannalta tässä kuvauksessa.



Kuva 49. Liiketoimintakonseptikuvaus Venäjän markkinoille

Kuvassa 49 on esitetty myös arvoketju, joka havainnollistaa kuinka liiketoimintakomponentit ja liiketoimintaan vaikuttavat avaintekijät sijoittuvat arvoketjun eri vaiheisiin. Kuvan arvoketjukomponentista nähdään, kuinka valtio ja monopoliyhtiöt ovat keskeisessä asemassa Venäjän

energiasektorilla. Mikäli monopolisäädökset helpottavat Venäjällä, aukeaa HE-järjestelmille paljon liiketoimintamahdollisuuksia. Joka tapauksessa yksi suurimmista esteistä HE:n markkinoiden toteutumiselle on uusien tuotantoyksiköiden kytkeminen paikalliseen sähköverkkoon. Suomalaisten yritysten tulisi toimia yhteistyössä sähköyhtiöiden kanssa, jotta verkkoon kytkeytyminen onnistuisi. Myös Venäjän valtion tukemia hankkeita maan vanhan infrastruktuurin uusimiseksi tulisi tarkoin seurata. Suomen ja Venäjän välille voisi olla mahdollista muodostaa sopimuksia, joiden avulla suomalaiset yritykset saisivat paremmat yhteydet Venäjän luonnonvaroihin, kuten maakaasuun, mikäli yritykset onnistuvat toteuttamaan tehokkaasti maan energiantuotannon uudistushankkeita. Tämä vaihtoehto voisi olla potentiaalinen, kun otetaan huomioon Venäjän pääoman puute energiasektorin investointeja varten. Kuitenkin maalla on suuret luonnonvarat ja maakaasun hankkiminen energiajärjestelmiä vastaan voisi olla erittäin kannattavaa liiketoimintaa, mikäli maakaasun hinta jatkaa Euroopassa skenaariossa oletettua nousua.

Tuotantoteknologioiden osalta Venäjän markkinoilla nähdään houkuttelevimpina tuulivoima, pienvesivoima, bioenergia sekä maakaasua hyväksikäyttävät sovellukset. Näillä voitaisiin ensisijaisesti tarjota luotettavampaa perusvoimaa niin yritysasiakkaille kuin kotitalouksillekin. Kaasumoottoreilla ja bioenergialla lisäksi voitaisiin vastata kaukolämpöjärjestelmän puutteisiin. CHP -tuotanto soveltuisikin juuri parhaiten asutuskeskusten sähkön- ja lämmönsaannin turvaamiseen. Houkuttelevimpia asiakassegmenttejä Venäjän markkinoilla ovat kuvan 49 mukaisesti valtio, sähköyhtiö, maatalous ja paperiteollisuus bioenergian osalta sekä Venäjän uusriikkaat.

9.3.1. Komponenttitoimittajan liiketoimintamahdollisuudet

Venäjällä on perinteisesti paljon kotimaista tuotantoa ja osaamista energiajärjestelmien komponenttien osalta. Tämän vuoksi suomalaisen yrityksen ei ole kannattavaa lähteä viemään komponentteja matalamman kustannuksen maahan, jossa on myös kotimaista tuotantoa. Suomalaisen komponenttiliiketoiminnan vaihtoehdot Venäjän markkinoilla ovat, joko toimittaa kotimaassa järjestelmätoimittajille tarvittavia komponentteja, jotka järjestelmätoimittaja vie Venäjälle lopputuotteen yhteydessä tai investoida Venäjälle paikalliseen tuotantoon ja näin valmistaa tarvittavat komponentit halvemmalla siellä. Parhaiten Suomesta voitaisiin todennäköisesti viedä energiajärjestelmien tietojärjestelmiä, joissa Suomella on paremmat mahdollisuudet kohdata paikallinen kilpailu.

9.3.2. Järjestelmätoimittajan liiketoimintamahdollisuudet

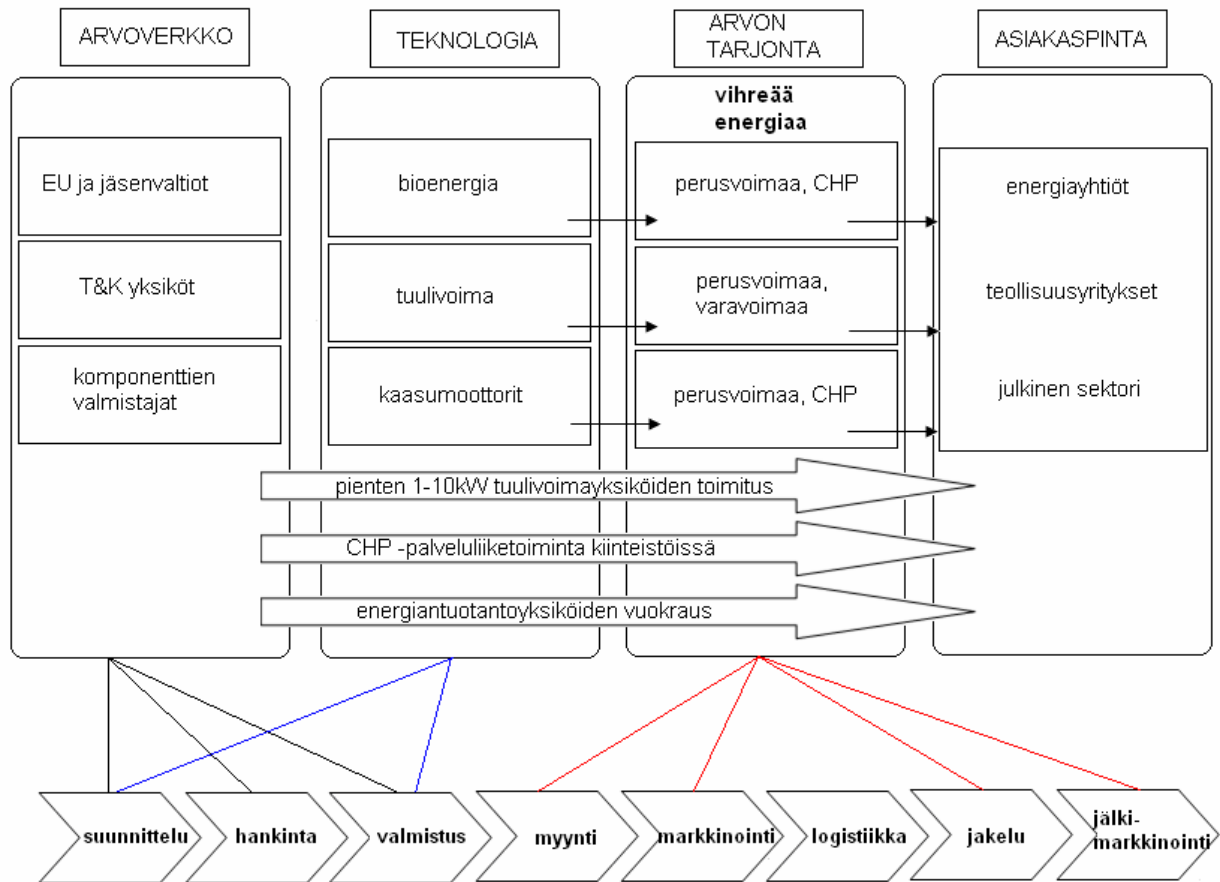
Järjestelmätoimittajille Venäjällä löytyy HE-järjestelmien liiketoimintamahdollisuuksia muun muassa bioenergiajärjestelmissä maa- ja metsätaloudessa, missä voidaan tuottaa polttoainetta paikallisesti sekä ”Household” -liiketoiminnassa suunnattuna erityisesti ostovoimaisille Venäjän uusriikkaille. Kyseisessä liiketoiminnassa sähköverkon ulkopuoliset uudet asutuskeskukset ja kesämökit voidaan sähköistää pienen kokoluokan HE -järjestelmillä. Liiketoiminnassa olisi

kannattavaa hyödyntää palveluinnovaatioidea, jossa CHP -tuotantoyksikön asentaminen kiinteistöön sisältää myös käytön ja huollon. Tällä tavalla yritys pystyisi myös luomaan pitempiaikaisia asiakkuuksia ylläpitäessään toimittamiaan yksiköitä. Tämä liiketoiminta edellyttää paikallisten palveluntuottajien hyödyntämistä joko ulkoistamalla palveluita paikallisille toimijoille tai perustamalla paikallisia yksiköitä. Sijoituskohteita kyseisille pienille CHP -yksiköille voisivat olla uusrikkaiden asunnot tai suuremmat kiinteistöt ja korttelit (blocksize business), jolloin asiakkaina olisivat kiinteistöjen yksityiset omistajat.

Olennot osat liiketoimintaa ovat tuotantoyksikön asentaminen, käyttö ja huollot. Jotta yksiköiden huollot olisivat nopeita ja energiansaanti mahdollisimman tasaista, olisi järjestelmäintegraattorilla oltava toimittamiensa tuotteiden ylläpidosta vastaavia yksiköitä tarpeeksi kattavasti lähellä asiakkaita. Koska Venäjällä suurin osa ostovoimasta on keskittynyt Pietarin ja Moskovan alueelle, olisi järjestelmäintegraattorille mielekästä perustaa ensimmäiset huoltotoimipisteet näille alueille. Sen sijaan, että järjestelmäintegraattori ulkoistaisi käyttö- ja ylläpitopalvelunsa paikallisille yrityksille, voisi olla kannattavampaa hoitaa palveluliiketoiminnot itse, koska ne ovat oleellisin osa asiakkaalle tarjottua arvoa. Tällöin järjestelmäintegraattorien tulisi myös markkinoida tuote/palvelu -konseptiansa suomalaisena huippulaatuna, mikä voisi lisätä korkeaa laatua ja helppokäyttöisyyttä vaativien asiakkaiden kiinnostusta.

9.4. Liiketoimintakonseptikuvaus EU-15 markkinoille

EU:n markkinoita tarkasteltaessa käsiteltiin Saksan markkinoiden tilannetta, mutta liiketoimintakonseptikuvaus on tarkoitettu EU-15 markkinoille. Liiketoimintakonseptin kuvausta varten käytettiin apuna *kannustava säätely* -skenaariota. Skenaarion mukaan kasvihuoneilmiö ja ilmaston lämpeneminen ovat johtaneet tilanteeseen, jossa hallitukset ovat joutuneet tiukentamaan lainsäädäntöä energiantuotannon ja päästöjen osalta. Kaikki suuret teollisuusmaat ovat ratifioineet Kyoton ilmastopöytäkirjan sekä myös monia muita päästöjä vähentämiseen pyrkiviä sopimuksia on laadittu. Energiasektori on siis erittäin säädeltyä EU:ssa. Säätelyn keinoina ovat esimerkiksi verohelpotukset, ympäristöluvut, tuet sekä päästökauppa. Säätely toisaalta tekee energiantuotannon kalliimmaksi, mutta toisaalta se tukee ympäristöystävällisiä erityisratkaisuja, joita voidaan toteuttaa erityisesti hajautettujen energiajärjestelmien avulla. Kuvassa 50 on esitetty EU:n markkinoiden liiketoimintamahdollisuuksia liiketoimintamallin komponenttien avulla.



Kuva 50. Liiketoimintakonseptikuvaus EU:n markkinoille

Kuvassa 50 on esitetty myös arvoketju, joka havainnollistaa kuinka liiketoimintakomponentit ja liiketoimintaan vaikuttavat avaintekijät sijoittuvat arvoketjun eri vaiheisiin. Houkuttelevimpina teknologioina EU:n markkinoilla nähdään bioenergia, tuulivoima sekä kaasumoottorit. Kannustava säätely –skenaarion tunnusomainen piirre on tiukka lainsäädäntö, joka pakottaa alueen yritykset käyttämään ympäristön kannalta kestäviä energiantuotantomenetelmiä. Tämän vuoksi vihreän energian markkinointia on korostettu konseptissa asiakkaalle tarjottavana arvona ja ostopäätökseen oleellisesti vaikuttavana tekijänä. Muita arvoja asiakkaille, joita kuvan 50 teknologiat edustavat, ovat perusvoiman saanti, yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto sekä varavoiman saanti. Teknologioiden houkuttelevuuteen EU:n markkinoilla vaikuttavat olennaisesti eri tuotantomenetelmille myönnetyt tuet. Esimerkiksi Saksassa on tuettu tehokkaasti tuulivoiman käyttöä, minkä seurauksena maan tuulivoimarakapasiteetti on erittäin suuri. Tämän vuoksi EU ja sen jäsenvaltiot on sijoitettu arvoverkkoon merkittävänä tekijänä, sillä uusiutuvien energialähteiden tukeminen voi tehdä HE järjestelmien ratkaisusta taloudellisesti kannattavia.

EU-15 alueen infrastruktuuri on kehittynyt, jolloin HE järjestelmien integroiminen paikalliseen sähköverkkoon on helppoa. EU:n markkinoilla todennäköisesti korostuvat tuotteen laadulliset ominaisuudet, energian hinta sekä energian ympäristöystävällisyys. Palvelut puolestaan

korostuvat erityisissä tuote/palvelu –konsepteissa, joita kuvan 50 liiketoimintakonseptiin sisällytetty kolme: pienten 1-10kW tuulivoimayksiköiden toimitus, CHP –palveluliiketoiminta kiinteistöissä ja energiantuotantoyksiköiden vuokraus.

9.4.1. Komponenttitoimittajan liiketoimintamahdollisuudet

Komponenttiliiketoiminnassa asiakkaita ovat järjestelmäintegraattorit. Komponenttien kysyntä riippuu siis järjestelmien kysynnästä. Tämän vuoksi komponenttivalmistajien tulisi seurata alan kehitystä etenkin EU:n lainsäädännön ja eri teknologioiden tukitoimien kannalta. Skenaarion mukaan energiasektorin tiukka lainsäädäntö johtaa sähkönhinnan jyrkkään nousuun, mikä luo EU:lle paineita tukea hajautetun tuotannon tutkimusta ja kehitystä. Teknologisen kehityksen ja standardisoinnin myötä HE järjestelmien ja siten myös komponenttien massatuotanto voisi olla mahdollista, että hajautetusta tuotannosta tulisi kustannustehokasta ja täten houkuttelevaa vaihtoehto asiakkaille. Tämän vuoksi suomalaisten komponenttitoimittajien tulisi tehdä T&K yhteistyötä järjestelmäintegraattorien kanssa, jolloin voitaisiin varmistaa vaadittu laatu ja sen myötä tilaukset järjestelmäintegraattoreilta. HE järjestelmien arvoketjussa komponenttitoimittajat pystyvät osallistumaan komponenttien kehitystyöhön, valmistukseen sekä toimitukseen

9.4.2. Järjestelmätoimittajan liiketoimintamahdollisuudet

Hajautetun energiantuotannon järjestelmien osalta tulevaisuuden liiketoimintapotentiaali EU:n markkinoilla on uusissa palveluinnovaatioideoissa. Esimerkiksi pienten 1-10kW tuulivoimayksiköiden toimitus olisi keino tuoda tuulivoima kotitalouksien saataville. Pienet yksiköt eivät tietenkään ole niin energiatehokkaita, kuin suuret tuulivoimalaitokset, mutta toisaalta pienemmillä järjestelmillä voitaisiin helpommin saavuttaa massatuotantoa. Pienen tuulivoiman käyttö sopisi esimerkiksi kesämökkien ja talojen lisäenergiantuottoon, jolloin ihmiset voisivat säästää energiakustannuksissa tuulivoiman tuottaessa sähköä. Tämänlainen tuulivoimankäyttö vaatii myös energian varastointitekniikan kehittämistä, sillä järjestelmät eivät ole todennäköisesti yhteydessä sähköverkkoon ja tuulivoiman tuottama säästö ei ole kovinkaan suuri, mikäli kaikkea tuotettua sähköä ei saada talteen. Eräs vaihtoehto voisi olla yhdistämällä pieneen tuulimyllyyn aurinkovoimayksikkö, joka toisi tuotteelle lisäarvoa suuremman energiantuotannon muodossa.

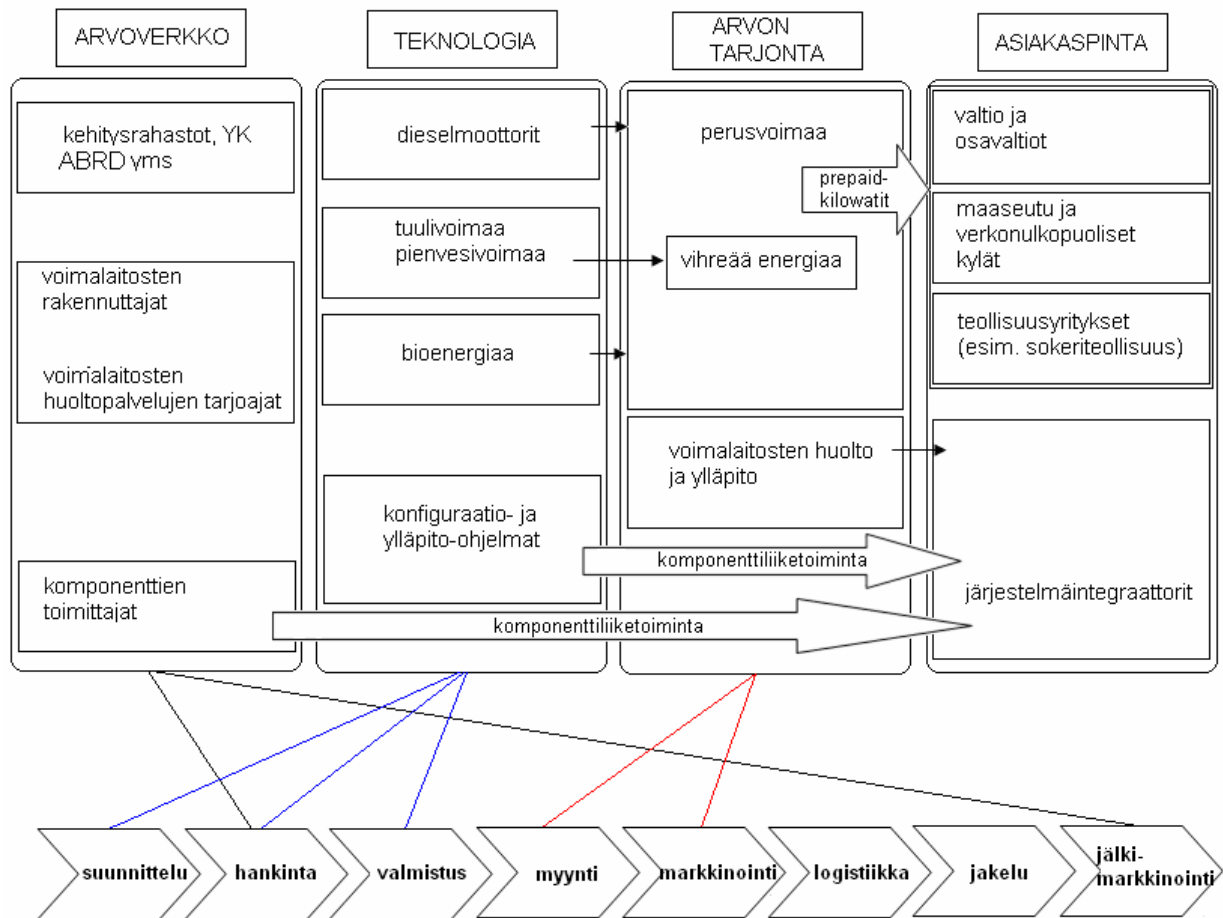
Yksi palveluliiketoimintamahdollisuus voisi olla energiajärjestelmien vuokraus. Tämä ei varsinaisesti ole uusi idea, sillä ainakin Caterpillar on jo implementoinut kyseisen liiketoimintamallin. Vuokrattavat yksiköt sopivat asiakkaiden väliaikaisiin energiantarpeisiin, jolloin liian suuria investointeja ei vaadita energian saamiseksi. Vuokrauspalveluun tulisi kuulua kuljetus suoraan asiakkaalle ja kytkentä asiakkaan kulutukseen, jolloin energian saanti olisi mahdollisimman nopeaa ja helppoa. Yksinkertaisimmillaan järjestelmävuokraajan liiketoimintamalli voisi olla sellainen, jossa toimittaja hankkii itselleen valmiit tuotantoyksiköt, ja sitten vuokraa ja toimittaa niitä asiakkaille hoitaen myös kytkennän paikan päällä. Vuokra-ajan loputtua järjes-

telmävuokraaja kävisi kytkemässä tuotantoyksikön irti ja hakemassa sen seuraavalle asiakkaalle.

9.5. Liiketoimintakonseptikuvaus Intian markkinoille

Liiketoimintakonseptikuvaus Intian markkinoille on luotu käyttäen hyväksi Mopo-firmat skenaariota. Skenaarion mukaan maakaasun korkea hinta ja epävarma saatavuus ovat lisänneet ydinvoiman houkuttelevuutta. Tämä skenaarion lähtökohta sopii hyvin Intian markkinoille, jossa riittämätön kaasuverkosto on hidastanut kaasumooottorien käyttöönottoa ja laittanut viranomaiset harkitsemaan muiden energiantuotantotapojen hyödyntämistä. Joka tapauksessa standardien kehittyminen sekä kehitysrahastojen avustukset kehittymättömän infrastruktuurin alueille ovat lisänneet mahdollisuutta hajautettujen järjestelmien massatuotannolle. Massatuotannolla voitaisiin saavuttaa parhaimmillaan riittävä mittakaavaetu, jotta hajautetut järjestelmät voisivat kilpailla kustannusten valossa keskitetyn energiantuotannon kanssa.

Intian markkinakatsaus paljasti, että Intia pyrkii sähköistämään lähes koko maan vuoden 2012 loppuun mennessä. Lisäksi Intialla on suunnitelmissa uusiutuvien energianlähteiden laajamittainen hyödyntäminen, minkä odotetaan olevan tärkeässä osassa maan sähköistämisessä. Tämä tulee myös lisäämään hajautetun tuotannon markkinapotentiaalia erityisesti tuuli- ja pienvesivoiman kannalta. Kuvassa 51 on esitetty liiketoimintakonseptikuvaus hajautetun energiantuotannon järjestelmille Intian tulevaisuuden markkinoille. Kuvasta voidaan erottaa erityisesti kaksi potentiaalista eri liiketoimintaa: sähkön myynti prepaid –kilowatteina kuluttajille sekä komponenttiliiketoiminta järjestelmäintegraattoreille. Kuvassa nämä liiketoiminnat on esitetty omin nuolin.



Kuva 51. Liiketoimintakonseptikuvaus Intian markkinoille

Kuvassa 51 on esitetty lisäksi arvoketju, joka havainnollistaa kuinka liiketoimintakomponentit ja liiketoimintaan vaikuttavat avaintekijät sijoittuvat HE järjestelmien arvoketjun eri vaiheisiin. Intian markkinoille suunnattu arvon tarjonta on pääasiassa perusvoiman tarjontaa. Teknologia-komponentista nähdään, että dieselmoottorit ovat luonnollisesti varteenotettava kustannustehokas vaihtoehto perusvoiman tuotannolle. Kuitenkin, otettaessa huomioon Intian pyrkimykset hyödyntää maan sähköistämässä uusiutuvia energialähteitä, on tuulivoimalle ja pienvesivoimalle olemassa lähitulevaisuudessa suuri markkinapotentiaali etenkin, kun Intian maantieteelliset olosuhteet ovat varsin otolliset kyseisille tuotantomuodoille. Bioenergian käyttömahdollisuudet ovat puolestaan parhaimmat sokeriteollisuudessa, jossa sokeriruokojätettä voidaan käyttää paikallisesti polttoaineena.

Kuvassa 51 arvoverkko-komponentissa on painotettu kehitysrahastojen merkitystä. Esimerkiksi YK tai ABRD voivat rahoittaa voimakkaastikin hajautetun energiantuotannon hankkeita kehittyvien alueiden syrjäseutujen sähköistämiseksi. Rahastoilta saadun tuen ansiosta Intian paikalliset toimijat voisivat saada tarpeeksi pääomaa energiajärjestelmien investointeja varten. Asiakaspinnassa tärkeimmät toimijat ovat niin ikään valtio sekä osavaltiot, joiden vastuulla Intian syrjäseutujen sähköistäminen on. Intiassa on kaavailtu myös malleja, joissa kyläyhteisöt kerää-

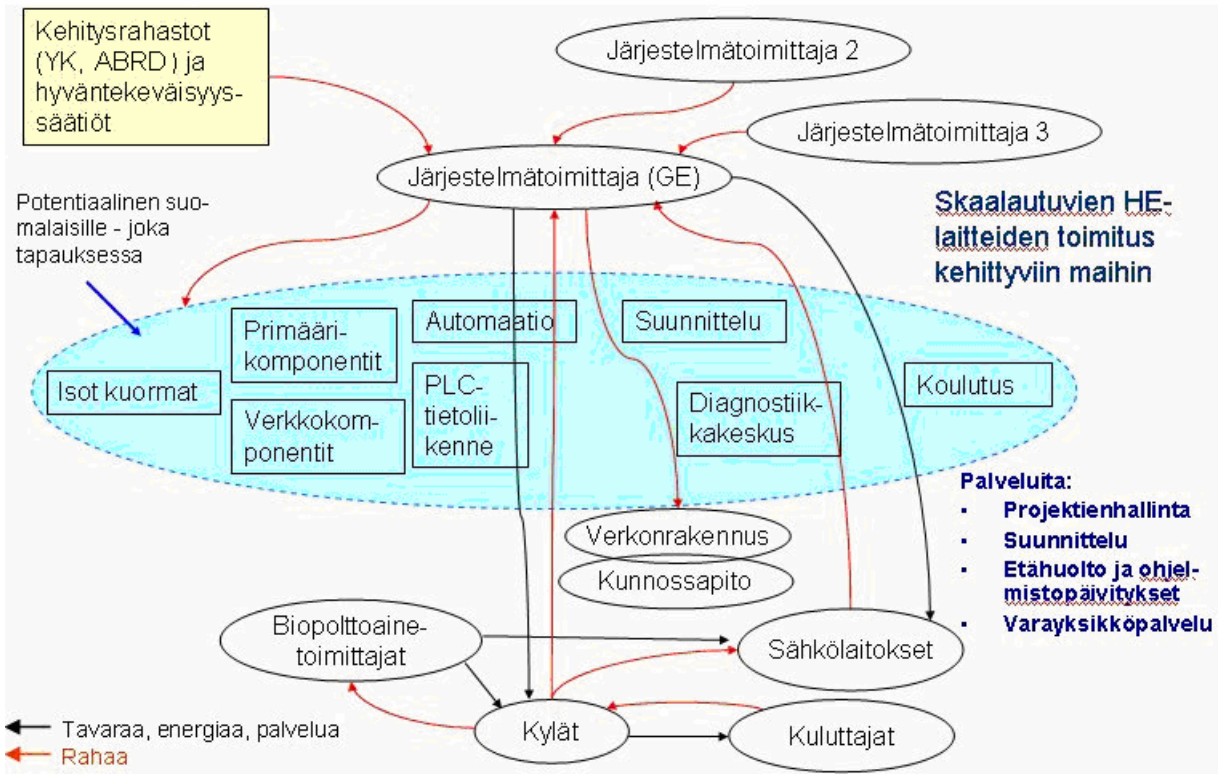
vät yhdessä rahaa paikallisen hajautetun tuotantoyksikön hankkimista varten. Tällöin korostuisi HE-järjestelmien arvoketjussa erityisesti markkinointiviestinnän rooli, jotta eri tuotantovaihtoehdot saataisiin Intiassa tunnetuiksi.

9.5.1. Komponenttitoimittajan liiketoimintamahdollisuudet

Koska järjestelmätoimitusten määrä tulee olemaan suuri Intiaan maan sähköistämisen yhteydessä, tulee myös komponenttiliiketoiminnassa liikkumaan paljon rahaa. Suuret järjestelmätoimittajat tulevat todennäköisesti hyödyntämään mahdollisimman paljon halpoja intialaisia komponenttitoimittajia. Suomalaisille komponenttivalmistajille parhaimmat liiketoimintamahdollisuudet tulevaisuudessa lienevät itsekonfiguroituvien verkko- ja tukiohjelmistojen suunnittelussa. Muita mahdollisia aiheeseen liittyviä liiketoimintamahdollisuuksia on lueteltu alla. Suuri hajautettujen tuotantolaitosten määrä voi kasvattaa voimalaitosten huoltoyritysten kysyntää. Komponenttitoimittajien tulisi ottaa tämä huomioon segmentoissaan asiakkaitaan, sillä suurin kysyntä tukiohjelmistoille voi tulevaisuudessa olla juuri voimalaitosten huoltopalvelujen tarjoajien keskuudessa.

Kun joku suuri järjestelmätoimittaja ryhtyy toimittamaan suuria määriä HE-järjestelmiä Intiaan tms. voimakkaasti kehittyvään maahan, niin suomalaisille voi hyvin sopia tukea prosessia esimerkiksi seuraavilla liiketoimintatavoilla. Toimintaympäristö on hahmoteltu myös alla olevassa kuvassa 52. Palveluliiketoiminnan osuus kasvaa ajan kuluessa.

- Sähköverkkojen ja niiden tukiohjelmistojen suunnittelu.
- Tietoverkon kautta suoritettu etädiagnostiikka ja ohjelmistohallinta sähköverkolle tai sen komponenteille. Paikalliset huoltotoimenpiteet - vakiotoimenpiteet - määriteltäisiin automaattisesti Suomessa.
- Sähköverkkojen asennusprojektien hallinta.
- Kuhunkin sähköverkkoon liittyvä koulutus.
- Isojen älykkäiden kuluttimien suunnittelu ja toimittaminen yhdessä paikallisen valmistuksen kanssa. Esimerkiksi pakastomot ja taloautomaatio.
- Sähköverkon automaation komponentit.
- Sähköverkon tehonsiirtojohtoa hyödyntävän kommunikoinnin (PLC - Power Line Communication) komponentit.
- Biokaasureaktoreiden valmistaminen paikallisessa yhteistyössä.



Kuva 52. Eräs mahdollisuus HE-järjestelmien kustannustehokkaan kehittyviin maihin asentamisen liiketoimintaympäristöksi

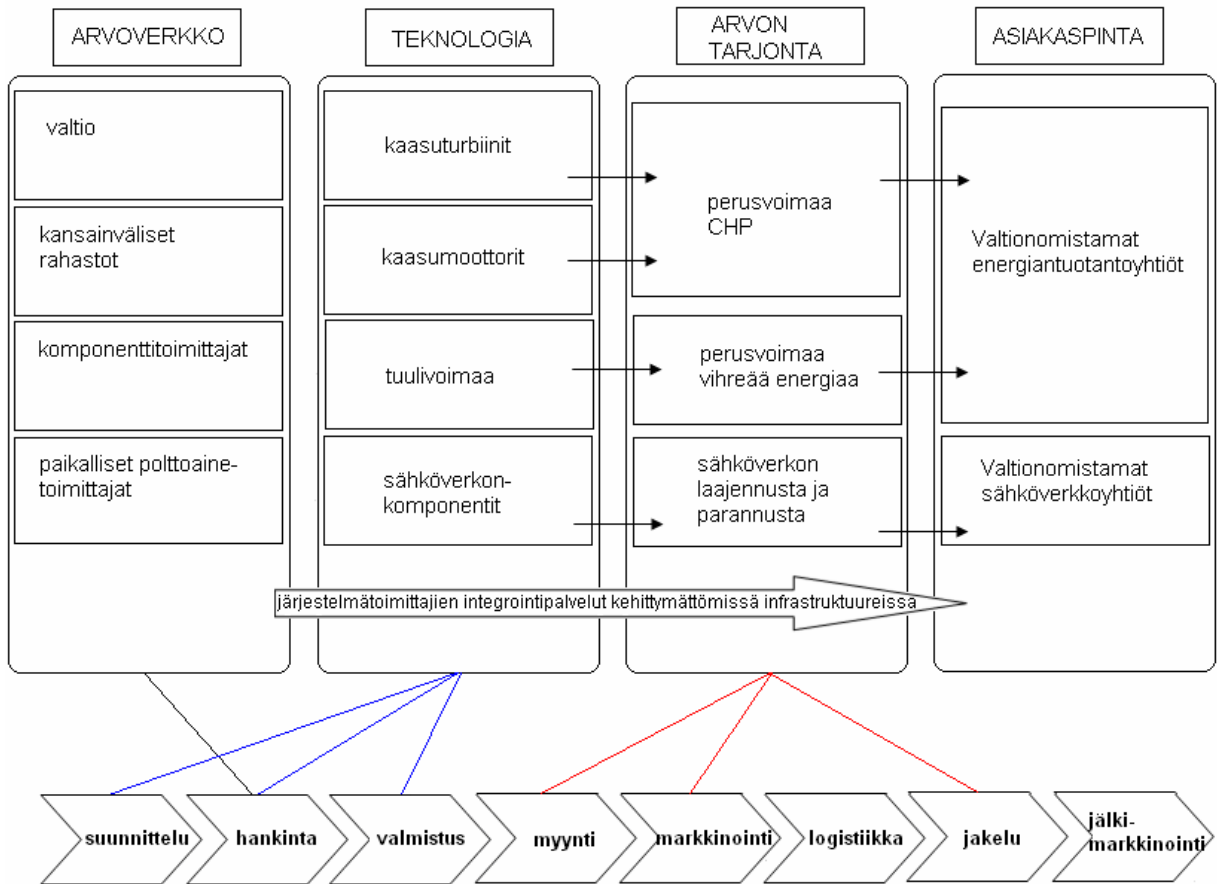
9.5.2. Järjestelmätoimittajan liiketoimintamahdollisuudet

Skenaarion mukaan arvoverkkoa hallitsevat selkeästi järjestelmätoimittajat, jotka keräävät komponenttitoimittajat kasaan. Liiketoiminta on palveluperusteista, sillä sähkölaitokset ja asiakkaat maksavat vain sähköstä, eivätkä laitoksista. Järjestelmätoimittajat omistavat siis itse laitokset, mutta joutuvat maksamaan niiden ylläpidosta ja rakentamisesta ulkopuolisille yrityksille. Tämän vuoksi liiketoiminnassa korostuu arvoketjun hallinta, sillä oikeiden komponenttitoimittajien ja huolto- ja ylläpitoyritysten valinnalla järjestelmäintegraattori voi saavuttaa merkittävää kilpailuetua.

Sähkömyynti on merkittävä liiketoimintamahdollisuus Intian markkinoilla järjestelmäintegraattoreille, jotka omistavat toimittamansa laitokset. Eräs uusi tapa toimittaa sähköä asiakkaille on ns. prepaid-kilowatit. Tällöin ennakkomaksua vastaan asiakas saa ostettua sähkökapasiteettia puskuriin ja laitosten rahoitus on onnistuttu hoitamaan lähes täysin kassavirralla. Intian tapauksessa tämä malli voisi olla hyödyllinen yritysten ostaessa sähköä puskuriin, jolloin voitaisiin rahoittaa tuotantoyksiköitä myös maan köyhemmille alueille. Prepaid-liiketoiminta on myös esitetty kuvassa 51.

9.6. Liiketoimintakonseptikuvaus Kiinan markkinoille

Muodostettaessa liiketoimintakonseptikuvausta Kiinan markkinoille on käytetty hyväksi Vihreä taivas –skenaarion maailmankuvaa. Skenaarion mukaan kansainväliset sopimukset rajoittavat energiantuotantoa, mutta kansalliset markkinat kontrolloivat liiketoimintaa. Fossiiliset polttoaineet ovat käymässä vähiin ja muuttumassa entistä kalliimmiksi, mikä tekee hajautetun tuotannon entistä houkuttelevammaksi. Kuitenkin johtuen alati kasvavasta energiantarpeesta perinteiset energiajärjestelmät ovat edelleen keskeisessä asemassa ja lisää ydinvoimaa on suunniteltu rakennettavaksi. Pyrkimys kohottaa elintasoa kehittyvillä alueilla on lisännyt infrastruktuurin parantamisen merkitystä liiketoiminnan kannalta. Vihreä taivas –skenaariossa taloudellinen kasvu on nopeaa kehittyvissä maissa. Kansainvälisten sopimusten noudattaminen on noussut merkittäväksi asiaksi ja monet rahoitusinstanssit vaativat tätä hallituksilta rahoituksen saamisen ehtona. Tämän vuoksi skenaario sopii hyvin Kiinan tilanteeseen, joka kaiken lisäksi pyrkii olemaan mukana kansainvälisten ilmastositomusten kehittämisessä sekä pienentämään maan ilmansaasteongelmaa erityisesti maan suurkaupungeissa. Kuvassa 53 on esitetty liiketoimintakonseptikuvaus Kiinan markkinoille.



Kuva 53. Liiketoimintakonseptikuvaus Kiinan markkinoille

Kuvassa 53 on esitetty lisäksi arvoketju, joka havainnollistaa kuinka liiketoimintakomponentit ja liiketoimintaan vaikuttavat avaintekijät sijoittuvat HE järjestelmien arvoketjun eri vaiheisiin.

Kiinan HE markkinoiden tärkeimpinä trendeinä voidaan pitää valtion pyrkimyksiä uusia vanhentunutta energiainfrastruktuuria sekä vähentää suurkaupunkien ilmansaasteongelmia. Kiinassa energiainfrastruktuurin parantaminen on lähitulevaisuudessa erittäin merkittävässä osassa liiketoimintamahdollisuuksien kannalta. Kiinassa suuri osa tuotantokapasiteetista ja luonnonresursseista sijaitsee maan läntisissä osissa, kun taas suurin osa energian kulutuksesta on maan itäisissä osissa. Tämä muodostaa maahan sähköverkkoon pullonkaulan, jonka purkamiseen voitaisiin käyttää hajautettuja järjestelmiä yhdessä sähköverkon laajentamisen yhteydessä. Toinen pullonkaula sijaitsee maan pohjoisten ja eteläisten osien välillä. Pohjoisessa on toimiva kaasuverkko, joka tuo kaasua Venäjältä, mutta toistaiseksi verkkoa ei ole riittävästi laajennettu Kiinan eteläisiin osiin.

Houkuttelevimpina teknologioina Kiinan markkinoilla nähdään kuvan 53 mukaisesti kaasuturbiinit, kaasumoottorit sekä tuulivoima. Tuulivoimalla on markkinapotentiaalia etenkin maan itärannikon alueilla. Maakaasun polttoon perustuvat teknologiat ovat puolestaan houkuttelevia, koska Kiina suosii niitä pienempien päästöjen vuoksi ja koska maa pyrkii lähitulevaisuudessa laajentamaan kaasuverkkoaan. Arvoverkossa merkittävin tekijä on Kiinan valtio, joka päättää energiasektorin kehittämisestä ja investoinneista.

9.6.1. Komponenttitoimittajan liiketoimintamahdollisuudet

Komponenttien suoranainen vienti Kiinaan ei ole kannattavaa perinteisten komponenttien osalta, sillä niitä voidaan valmistaa Kiinassa huomattavasti pienemmillä kustannuksilla. Sen sijaan suomalaisten komponenttitoimittajien mahdollisuudet ovat uusissa innovatiivisissa teknologisissa ratkaisuissa, joita ei ole vielä omaksuttu halpatuotannon maissa. Skenaarion mukaan yksi tällainen teknologia voisi olla laitteiden itsediagnostiikkaohjelmistot, jolloin huollon tilaus tapahtuu automatiikan avulla. Tietotekniikan hyödyntämisen ansiosta monet HE järjestelmät voisivat tulevaisuudessa olla huoltovapaita tai automaattisesti toimivia. Joka tapauksessa komponenttitoimittajien asiakkaina Kiinan markkinoilla olisivat diagnostiikkaohjelmien alalla paikalliset kunnossapitoyhtiöt.

9.6.2. Järjestelmätoimittajan liiketoimintamahdollisuudet

Skenaarion mukaan arvoverkkoa hallitsevat järjestelmätoimittajat, jotka toimittajaverkostonsa kautta pystyvät vastaamaan kovaankin kysyntään tehokkaasti, joko toimittajien järjestelmiä suoraan asiakkaalle tai sitten verkkoyhtiöiden ja operaattoreiden kautta. Kiinan tapauksessa merkittävimmät asiakassegmentit ovat valtion omistamat energiantuotantoyhtiöt sekä valtion omistamat sähköverkkoyhtiöt. Toisaalta pitää myös muistaa, että länsimaisten yritysten siirtäessä

tuotantoaan Kiinaan ovat hajautetut järjestelmät potentiaalisia vaihtoehtoja uusien tuotantolaitosten sähköistämässä.

Kiinan markkinat tarjoavat infrastruktuurin kehittämisen ja maan sähkö- ja kaasuverkon pulonkaulojen purkamisen vuoksi otollisen alustan engineering-liiketoiminnalle, joka keskittyy erityisesti energiajärjestelmien integrointiin. Tällöin tärkeä osa ydintuotetta, eli HE järjestelmää, ovat sähköverkkojen ja kaasuverkkojen rakennuspalvelut. Kaasuverkkojen laajennuspalvelut voisivat olla sopiva liiketoiminta erityisesti kaasumoottorijärjestelmiä toimittaville yrityksille.

10. YHTEENVETO JA KESKUSTELU

Tämän raportin tehtävänä oli analysoida hajautetun energiantuotannon ja erityisesti hajautetun sähköntuotannon teknologian kehittymismahdollisuuksia ja kustannustehokkuutta. Raportissa tutkittiin myös tulevaisuuden liiketoiminnan kehittymistä hajautetun energiantuotannon toimialalla määrittelemällä neljä vaihtoehtoista skenaariota sekä potentiaalisia palveluliiketoimintaideoita. Lisäksi raportissa esitettiin uusia liiketoimintakonseptikuvauksia suomalaisille yrityksille hajautettujen energiajärjestelmien tulevaisuuden markkinoille. Teknologiaselvityksen perusteella houkuttelevimmiksi teknologioiksi nähtiin tuulivoima, pienvesivoima, diesel- ja kaasumoottorit sekä bioenergia. Houkuttelevimmiksi markkina-alueiksi katsottiin puolestaan EU-15, Venäjä, Intia ja Kiina. Skenaarioiden avulla pyrittiin luomaan kuvauksia tulevaisuuden liiketoimintaympäristöstä, jotta liiketoiminnan suunnittelussa voitaisiin ottaa paremmin huomioon tulevaisuuden liiketoimintaan ja markkinoihin vaikuttavia tekijöitä. Muodostetuissa toimialakohtaisissa liiketoimintakonsepteissa esiintyi liiketoimintamahdollisuuksia sekä järjestelmätoimittajille että komponenttitoimittajille. Tulevaisuuden markkinoilta löytyi myös mahdollisuuksia uusille palveluinnovaatioideoille, jotka voitaisiin implementoida osaksi hajautettujen energiajärjestelmien liiketoimintamalleja.

10.1. TULEVAISUUDEN LIKETOIMINNAN AVAINTEKIJÄT

Tutkimukseen valittuja markkinoita tarkasteltiin luotujen skenaarioiden valossa, jotta liiketoimintakonsepteja voitaisiin paremmin suunnitella tulevaisuuden markkinoille. Jokaiselle markkina-alueelle valittiin oma skenaario, joka katsottiin sopivaksi kunkin markkina-alueen tämän hetkiseen tilanteeseen. Muodostetuista skenaarioista voitiin havaita tekijöitä, jotka ovat kaikille yhteisiä ja siksi niitä olisikin pidettävä toimialan keskeisinä menestystekijöinä. Samankaltaisia yhteisiä menestystekijöitä voitiin poimia markkinoiden ja liiketoimintakonseptien vertailussa. Koska skenaariot eivät välttämättä toteudu esitetystä muodosta tai ne toteutuvat vain osittain ja ovat riippuvaisia erityisesti toimijoiden panostuksista ja päätöksenteosta, tulisi yritysten kiinnittää eniten huomiota avainmenestystekijöihin, sillä ne säilyvät alalla eri skenaarioista huolimatta. Kuvassa 54 on esitetty kilpailuedun muodostuminen HE -järjestelmien toimialalla tulevaisuudessa Schoemakerin (1992) KSF¹ -määritelmiin ja Meyerin (2001) nuolikuvion avulla. Tunnistamalla toimialan määrittelevät tekijät yritys pystyy keskittämään resurssejaan oikealla tavalla sisäisiin erilaistumistekijöihinsä ja näin saavuttamaan kilpailuetua. Kilpailuedun saavuttamisella yritys ylläpitää kilpailukykyään, mikä muodostuu yrityksen profiloituessa markkinoille avainmenestystekijöiden avulla.

¹ KSF, Key Success Factor, toimialan menestystekijä (Schoemaker 1992).



Kuva 54. HE järjestelmien liiketoiminnan tulevaisuuden menestystekijät

Eri skenaariot antavat tietoa vaihtoehtoisista tulevaisuuden liiketoimintaolosuhteista, joiden perusteella voidaan painottaa toimiala-analyysissä löydettyjen toimialan määrittelevien tekijöiden merkityksiä. HE -järjestelmien liiketoiminnassa tulee ottaa huomioon tietyt toimialan määrittelevät tekijät, jotka ovat avain menestykseen, oli tulevaisuudessa toteutuva skenaario sitten mikä tahansa esitetyistä. Nämä tekijät on tässä tutkimuksessa määritetty Kiinan, Venäjän ja Intian markkinoilta eli kehittyvän infrastruktuurin ja talouden alueilta. Kyseiset markkinat määriteltiin houkuttelevimmiksi markkina-alueiksi suomalaisille yrityksille HE -järjestelmien toimialalla. Euroopan markkinat eroavat edellä mainituista erityisesti siinä mielessä, että kehittyneen infrastruktuurin alueelle syntyvä kysyntä perustuu paljolti vihreän energian kysyntään, teknologioiden subventointiin sekä pilottiprojekteihin. Euroopan markkinoiden rooli saattaakin olla uusien ratkaisujen ja teknologioiden koekenttänä toimiminen tulevaisuudessa. Euroopassa po-

tentiaalisimmiksi todetut ratkaisut löytänevät lopulta todelliset markkinansa ja massatuotannon mahdollistavan kysynnän kehittyvien alueiden markkinoilta.

Kilpailuedun saavuttaminen vaatii toimialan määrittelevien tekijöiden tunnistamisen lisäksi yritysten sisäisten erilaistumistekijöiden tunnistamista sisäisen analyysin avulla. Toisin sanoen, yritysten pitää omaksua vähintään toimialan yhteiset menestystekijät, mutta menestyäkseen kehitettävä kilpailijoista erottavia osaamisiaan. Uusia liiketoimintakonsepteja muodostettaessa havaittiinkin tekijöitä, jotka kaikkien yritysten tulisi ottaa huomioon menestyksen takaamiseksi HE -markkinoilla. Nämä tekijät muodostavat perustan yritysten strategioille, kuten kuvasta 54 käy ilmi, ja ovat siten myös liiketoimintamallien keskeisimpiä elementtejä. Seuraavaksi tarkastelemme tarkemmin tutkimuksessa esiin tulleita toimialan määritteleviä tekijöitä sekä yritysten erilaistumistekijöitä.

10.1.1. Toimialan menestystekijät

Tutkimuksessa paljastuneet hajautetun energiantuotannonjärjestelmien toimialan määrittelevät menestystekijät on esitetty kuvassa 55. Primääriteknologioiden osalta houkuttelevimmiksi vaihtoehtoiksi nähtiin suomalaisten yritysten kannalta tuulivoima, pienvesivoima, diesel- ja kaasumoottorit sekä bioenergia. Yritysten tulisi seurata erityisesti energiasektorin lainsäädännön kehitystä kohdemarkkinoilla sekä kansainvälisten Kioton sopimuksen kaltaisten ratkaisujen kehittymistä. Valtioiden pyrkimykset ympäristöystävällisempien teknologioiden tukemiseksi voivat nopeasti muuttaa tietyn teknologian taloudellisesti tarpeeksi kannattavaksi tuotantomuodoksi. Tällöin yritysten tulisi olla valmiina vastaamaan kysyntään nopeasti, jotta ne eivät jää markkinoiden ulkopuolelle. Toimialalla on teknologian kannalta myös tärkeää ottaa huomioon eri alueiden luonnonolosuhteet, jotka voivat vaikuttaa ratkaisevasti optimaalisen tuotantoteknologian valintaan. Lisäksi markkinoille tarjottavan teknologian valintaan vaikuttavat oleellisesti paikallisen infrastruktuurin tila sekä polttoaineiden tai primäärienergian saatavuus.

Uusien liiketoimintakonseptien muodostamisessa asiakkaiden tarpeiden tunnistaminen ja oikeiden teknologioiden valinta kuhunkin tarpeeseen paljastui olennaiseksi tekijäksi liiketoiminnan onnistumisen kannalta. Myös tietoisuuden lisääminen asiakkaiden keskuudessa nousi esiin etenkin Intian tapauksessa. Liiketoiminnan esteenä voi olla asiakkaiden tietämättömyys mahdollisista kannattavista hajautetun tuotannon ratkaisuista. Heinää tai pensaikkaa ei heti välttämättä mielletä potentiaalisiksi energialähteeksi. Esimerkiksi General Electric hyödyntää myynnissään niin sanottuja ”pistekortteja” (scorecard), joiden avulla asiakkaat voivat vertailla eri tuotantoratkaisujen välisiä eroja ja näin tehdä ostopäätöksen helpommaksi. Menetelmä tuottaa myös tietoa toisin päin GE:n tarpeisiin.

Toimialan määrittelevät tekijät
<p>AVAIN TEKNOLOGIAT</p> <ul style="list-style-type: none"> - tuulivoima, pienvesivoima, diesel- ja kaasumoottorit, bioenergia - julkisen sektorin tukemat teknologiat - oikeat teknologiat oikeille alueille: esim. luonnonolosuhteet, infrastruktuurin tila, polttoaineiden saatavuus
<p>ASIAKKAIDEN TARPEIDEN TUNNISTAMINEN</p> <ul style="list-style-type: none"> - perusvoima, varavoima, huipunleikkausvoima, vihreä energia, yhteistuotanto - oikean teknologian valinta asiakastarpeiden tyydyttämiseksi
<p>TIETOISUUDEN LISÄÄMINEN</p> <ul style="list-style-type: none"> - asiakkaiden ja päätöksentekoon vaikuttavien tahojen tunnettava paikallisesti kannattavimmat energiantuotantoratkaisut
<p>PÄÄOMAN PUUTE</p> <ul style="list-style-type: none"> - kehittyvillä alueilla - ei niin merkittävässä osassa B to B liiketoiminnassa
<p>PAIKALLISEN TUOTANNON JA PALVELUIDEN HYÖDYNTÄMINEN</p>

Kuva 55. HE -toimialan määrittelevät tekijät

Huomattava este HE -markkinoiden toteutumiselle kehittyvissä maissa on pääoman puute. Tämän vuoksi yritysten tulisi kehittää liiketoimintamallejansa entistä kustannustehokkaammiksi sekä luoda energian saanti entistä joustavammaksi köyhemmillä alueilla esimerkiksi omistamalla itse tilatut voimalaitokset, ja myymällä järjestelmien sijaan niiden tuottamaa sähköä. Toimialalle tärkeä piirre on myös paikallisen komponenttituotannon ja palveluntuottajien hyödyntäminen. Matalien kustannusten maista voisi olla kannattavaa löytää mahdollisia kumppaneita, joiden kanssa tuote- ja palvelukonseptien toimittaminen asiakkaille olisi nopeaa ja kustannustehokasta. Lisäksi paikallisesti tuotetut komponentit ovat kustannustehokkaita, valmiiksi hyväksytyjä ja niiden käyttö osataan hyvin. Paikallisten kumppaneiden käyttö on myös usein poliittisesti hyväksyttyä paikallisten viranomaisten tai parlamentin sopiessa kaupan.

10.1.2. Erihaustumistekijät

Uusissa liiketoimintakonsepteissa teknologiaan liitetyt palvelut tarjoavat lisäarvoa asiakkaille ja tekevät HE -järjestelmistä entistä houkuttelevimpia vaihtoehtoja. Äärimmäisessä tapauksessa

voi käydä niin, että HE -järjestelmille ei ole tulevaisuudessa markkinoita ollenkaan, mikäli niihin ei ole liitetty tarpeellisia lisäpalveluita kuten esimerkiksi huolto-, ylläpito ja koulutuspalveluita. Tämän vuoksi jälkimarkkinoinnin merkittävyys korostuu etenkin järjestelmätoimittajien arvoketjussa. Kuvassa 56 on esitetty tutkimuksessa esiin tulleet suomalaisten yritysten kilpailuedun kannalta merkittävät erilaistumistekijät.

Erilaistumistekijät
<p>PALVELUIDEN TARJONTA - esim. integrointi paikalliseen infrastruktuuriin, ylläpito- ja huoltopalvelut, koulutus, tuotantoyksiköiden vuokraus, prepaid -kilowatit</p>
<p>KORKEA LAATU JA UUDEN TEKNOLOGIAN RATKAISUT (erityisesti ICT -järjestelmät) - automaatio, mittaus, valvonta, mallinnus, tiedonsiirto - standardoidut komponentit, modulaariset komponentit</p>
<p>ARVOVERKON HALLINTA - suora- ja epäsuora vienti, lisensiointi, joint venture, suora investointi - paikallisen tuotannon ja palveluntuottajien hyödyntäminen - oma tuotanto vai ulkoistaminen?</p>

Kuva 56. Kilpailuetuun johtavat erilaistumistekijät

Teknologian osalta suomalaisten yritysten tulisi keskittyä erityisesti uuteen teknologiaan ja korkeaan laatuun, sillä monet perinteiset voimalaitoskomponentit tullaan valmistamaan kustannustehokkaammin paikallisesti kehittyvän talouden maissa. Erityisesti uudet ICT -järjestelmät voivat tarjota yrityksille mahdollisuuden erottua kilpailijoistaan teknologian avulla. Hajautettujen energiajärjestelmien kohdalla ICT ja automaatio tarjoavat uusia mahdollisuuksia lähinnä pitkälle automatisoitujen yksikköjen kehittämisessä, joilla voidaan hyödyntää pieniä paikallisia resursseja kokonaisuoptimaalisella tavalla. Voidaan esimerkiksi todeta, että hajautetun energiajärjestelmän komponentin tulisi olla pitkälle standardoitu, miehittämätön ja kauko-ohjattava. Standardointi mahdollistaa suuret tuotantosarjat ja täten alhaisemmat hinnat. Standardointi tukee myös komponenttien kunnossapitoa ja liittämistä verkkoon. (Lehtinen & Wahlström, 2005) Standardoinnin lisäksi yritykset voivat mahdollistaa suurempia tuotantosarjoja modulaaristen komponenttien avulla. Kyseisten komponenttien vaikutus tuotantoon heijastuu erityisesti pidemmällä aikavälillä, kun asiakkaat alkavat täydentää ja päivittää jo käytössä olevia modulaarisia järjestelmiä.

Liiketoimintakonseptit ja -mallit paljastivat arvoverkon hallinnan tärkeyden järjestelmätoimittajien liiketoiminnassa. Mahdollisimman kustannustehokkaan tuote/palvelu -konseptin toimitus edellyttää koko arvoketjun optimointia. Yritysten tulee valita esimerkiksi eri vientitavoista sopivimmat sekä mahdollisuuksien mukaan hyödyntää paikallisten tuotantoresurssien käyttöä. Yritykset joutuvat myös sellaisten strategisten päätösten eteen, kuten mitä ulkoistaa ja mitä kannattaa tuottaa itse. Komponenttitoimittajat voisivat parhaimmassa tapauksessa moninkertaistaa liikevaihtonsa muuntautumalla komponenttitoimittajista järjestelmäintegraattoreiksi. Kyseinen strateginen ratkaisu vaatii kuitenkin onnistumista paikallisten komponenttitoimittajien keräämisessä yhteen, jotta tarpeeksi tehokas arvoverkko voisi muodostua ja mahdollistaa liiketoiminnan.

10.2. Riskit ja menetelmän soveltuvuus

Nykyisten liiketoimintamallien ja uusien liiketoimintakonseptien kuvaamista varten muodostettu malli antoi kehukset HE järjestelmien liiketoiminnalle. Malli kuvaa liiketoiminnan päävaiheet ja ne komponentit, joista liiketoiminta muodostuu. Mikäli malli pystyy selittämään ansaintalogiikkaa ja kilpailustrategiaa, pystyy se antamaan jo kohtuullisen kuvan liiketoiminnan luonteesta. Malli on toimialakohtainen, minkä vuoksi se antaa melko vähän tietoa operatiivisesta toiminnasta. Malli pyrkiikin tuomaan esiin liiketoimintaan kyseisellä toimialalla voimakkaimmin vaikuttavat tekijät. Yhdessä skenaarioiden kanssa se muodostaa strategisen työkalun tulevaisuuden liiketoiminnan suunnittelua varten. Skenaarioihin liittyy aina paljon epävarmuustekijöitä, minkä vuoksi skenaarioita tulisi aktiivisesti seurata ja päivittää riittävän usein. Tämän vuoksi toimialalta olisi tärkeää löytää tekijöitä, jotka ovat oleellisia liiketoiminnan menestyksen kannalta skenaariosta riippumatta, joihin panostamalla voidaan pienentää tulevaisuuden teknologia- ja liiketoimintariskiä.

Liiketoimintaan liittyvinä riskeinä voidaan erityisesti mainita HE järjestelmien liian pienet katteet, epäsuotuisa lainsäädäntö sekä globaalien markkinoiden jääminen oligopoliksi järjestelmätoimittajien osalta. Suurilla kansainvälisillä järjestelmätoimittajilla on tarpeeksi resursseja luoda tehokas arvoverkko, joka mahdollistaa kustannustehokkaat tuote/palvelukonseptit sekä niiden toimitukset. Pienemmät toimijat voivat jäädä pelkästään komponenttitoimittajiksi, jolloin niiden menestys perustuu teknologian laatuun ja hintaan. Tämä voi olla pitkällä tähtäimellä epäsuotuisa tilanne suomalaisten yritysten kannalta kehittyvien maiden toimijoiden viedessä tilaukset. Pienillä komponenttitoimittajilla on useita mahdollisuuksia varautua edellä mainittua tulevaisuutta varten. Eräs vaihtoehto on keskittyä komponenttien osalta uusien teknologioiden kehittämiseen, jotka tuottavat primäärituotantoteknologioihin uudenlaista lisäarvoa. Toinen vaihtoehto on aloittaa järjestelmäintegraattorin liiketoiminta jo hyvissä ajoin ennen kilpailijoita ja täydentää sitä kilpailukykyä lisäävillä palveluinnovaatioilla. Järjestelmäintegraattorin tulisi luoda tehokas arvoverkko ja jakaa liiketoiminnan riskit ja kustannukset partnerien kanssa, jotta se voisi vastata suurten kansainvälisten järjestelmätoimittajien kilpailuun.

Liiketoiminnan aloittaminen kehittyvän infrastruktuurin alueilla vaatii partnereiden valinnan yhteydessä tuotteiden vientitavan valintaa. Oikean vientitavan valinta on erittäin tärkeää, koska se vaikuttaa olennaisesti yrityksen liiketoiminnan muotoon ja yhteistyökumppaneiden valintaan.

11. EHDOTUKSIA YRITYKSILLE

11.1. Markkinapotentiaalin tunnistaminen

Hajautetun energiantuotannon järjestelmien liiketoiminnan toteutuminen edellyttää ensisijaisesti yrityksiltä halua investoida liiketoiminnan kehittämiseen ja aloittamiseen toimialalla. Yritysten olisikin tärkeää ymmärtää markkinoilla piilevän potentiaalin suuruus voidakseen arvioida investointien kannattavuutta. Tämä tarkoittaa strategista valintaa riskinottokyvyn mukaan offensiiviseen tai defensiiviseen suuntaan. Tässä raportissa tuotiin esiin erityisesti Venäjän, Intian ja Kiinan markkinoilla oleva markkinapotentiaali.

Esimerkiksi Venäjällä sähköntuotantokapasiteetista (arvio 208 GW) peräti 40 prosenttia oli 25 vuotta vanhaa tai vielä vanhempaa. Jos tämä kapasiteetti korvataan uudella seuraavan 15 vuoden aikana, tietää se yhteensä (0,4 x 208 GW) 83,2 GW edestä uutta kapasiteettia. Lisäksi Venäjällä sähkönkulutus kasvoi vuosittain noin 2-3 prosenttia.

Kiinassa vanhan kapasiteetin määrä oli vielä suurempi. Noin 40 prosenttia kokonaiskapasiteetista (441 GW) oli 25 vuotta vanhaa tai vielä vanhempaa. Mikäli tämä kapasiteetti uusitaan seuraavan 15 vuoden aikana, tietää se (0,4 x 441GW) 176,4 GW:n edestä uutta tai uusittua kapasiteettia. Jos ajatusleikkinä oletetaan HE -laitosten olevan keskimäärin 5 MW kokoluokkaa, niin silloin Kiinassa pelkästään vanhan sähköntuotantokapasiteetin uusiminen pelkästään HE järjestelmillä vaatisi 15 vuoden aikana 35280 laitoksen pystyttämistä, eli vuodessa 2352 laitoksen pystyttämistä. HE järjestelmien kapasiteetin kasvun oli arvioitu olevan Kiinassa 6,4 prosenttia vuodessa.

Intiassa puolestaan pyritään maaseudun sähköistämiseen vuoteen 2012 mennessä, mikä käytännössä merkitsisi 78 miljoonan kotitalouden sähköistämistä. Osa maan sähköistämisestä on päätetty toteuttaa uusiutuvien energialähteiden avulla ja esimerkiksi tuulivoimaa tullaan asentamaan maahan arvioiden mukaan seuraavan 15 vuoden aikana yli 2 GW. Jos tuulimyllyjen oletetaan olevan 1 MW:n suuruisia, niin tietäisi se pelkästään Intiaan 2000 tuulimyllyn rakentamista seuraavan 15 vuoden aikana, eli keskimäärin yli 130 vuodessa.

11.2. Markkinoille pääsemisen eri vaihtoehdot

Suomalaisten yritysten onnistuminen päästä HE järjestelmien globaaleille markkinoille riippuu hyvin paljon onnistuneesta verkottumisesta ja arvoverkon hallinnasta sekä komponenttitoimittajien että järjestelmätoimittajien osalta. Arvoverkko toimii välineenä, jolla tuote/palvelu -konsepti toimitetaan asiakkaille. Tämän vuoksi arvoverkon muodostaminen ja sen jäsenten vä-

liset suhteet sekä oikean kanavan valinta vaikuttavat olennaisesti markkinoille pääsyn onnistumiseen. Markkinoille pääsyn kanavia ovat suora- ja epäsuoravienti, lisensointi, franchising, joint venture

Markkinoille saapumisen tapaa valittaessa tulisi ottaa huomioon kansainvälisten markkinoiden vientikanavaan vaikuttavat tekijät, kuten markkinoiden koko, asiakkaiden maantieteellinen jakautuminen, asiakkaiden tarpeet ja vaatimukset sekä markkina-alueen taloudellisen kehityksen taso. Markkinoille saapumisen tapaa valittaessa tulisi myös arvioida kansainvälisen markkinoiden vahvuus ja mahdollisuudet yrityskohtaisesti. Tällöin tulisi tarkistaa seuraavat tekijät:

- yrityksen johdon kyvykkyys ja tieto-taito kansainvälisessä markkinoinnissa
- yrityksen kokemuksen taso kansainvälisten markkinoiden toiminnoissa
- yrityksen koko ja tuotepaletin leveys
- taloudellinen voima ja kyky luoda tarvittaessa vientiä tukevaa pääomaa

(Albaum et al., 1998)

Suomalaisille komponenttitoimittajille on tärkeää muodostaa strategisia kumppanuuksia erityisesti, jos ne aikovat muuttaa toimintansa järjestelmätoimittajien liiketoiminnaksi. Tällöin luonteva markkinoille pääsyn kanava voisi olla join venture, jossa liiketoiminnan kustannukset ja riskit jaetaan strategisen kumppanin kanssa, joka voi mahdollisesti olla toinen komponenttitoimittaja. Tästä johtuen suomalaisten komponenttitoimittajien kannattaisikin ehkä etsiä toisiaan täydentäviä komponenttitoimittajia, jotka yhdessä voisivat mahdollistaa pääsyn markkinoille. Mikäli komponenttitoimittajalla ei ole halua tai resursseja muuttaa liiketoimintaansa järjestelmätoimittajan liiketoiminnaksi, on edullinen ja turvallinen vaihtoehto viedä uutta teknologiaa kansainvälisille markkinoille lisensoimalla. Tällöin yritys mahdollistaa rojaltien saannin, ennen kuin yrityksen teknologiaa aletaan kopioida halvemman tuotantokustannuksen maissa, kuten esimerkiksi Intiassa.

Järjestelmätoimittajien tulevaisuuden liiketoimintaan katsottiin oleellisesti kuuluvan erilaisten palvelujen tarjonta. Koska tämä edellyttää usein läheistä kontaktia loppuasiakkaan kanssa, joutuvat järjestelmätoimittajat harkitsemaan palveluyksiköiden muodostamista kohdemarkkinoille, mikä merkitsee suuria investointeja. Toinen vaihtoehto on ulkoistaa osa palveluista paikallisille palveluntuottajille tai ostaa paikallisia yrityksiä palvelujen tuottamista varten. On joka tapauksessa selvää, että kansainvälisille markkinoille pääsy edellyttää suuria investointeja, jotka tuovat mukanaan riskejä. Tämä vuoksi yritysten tulisi hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti HE järjestelmien arverkoissa esiintyneet liiketoimintaa tukevat tahot, kuten esimerkiksi erilaiset kehitysrahastot ja valtioiden tuet tietyille tuotantoteknologioille.

11.3. Jatkotutkimus

Teknologian osalta jatkotutkimusta kannattaisi suunnata erityisesti ICT -järjestelmien kehittämiseksi. VTT:n tutkimusraportin (Lehtinen & Wahlström, 2005) mukaan mm. seuraavia ominaisuuksia voitaisiin kehittää tulevaisuuden HE järjestelmiin:

- Kuluttajia palvellaan energiatuotantojärjestelmien automaattisilla käynnistyksillä ja energiavarastoilla
- Reaaliaikainen sähkön kaupankäynti myös pienissä kuluttimissa: esimerkiksi jäähdytysjärjestelmät kytkeytyisivät 15 minuutiksi pois päältä, kun sähkön hinta nousee automaattisesti säätyvää rajaa suuremmaksi.
- Kaikilla energiajärjestelmien yksiköillä on internet-yhteys, IP-osoitteet ja ne voivat välittää tietoa kaikkialle internetin kautta.

ICT -järjestelmät tulisi voida integroida tulevaisuudessa entistä syvemmin energiajärjestelmiin, jotta edellä mainitut ominaisuudet olisivat mahdollisia. Energiajärjestelmien komponenttien yhdistäminen tietoverkkoihin mahdollistaisi reaaliaikaisen sähkön kaupankäynnin myös pienimmissä energiankulutusyksiköissä. Tehokkaan tiedonsiirron myötä yksiköiden automaattiset käynnistykset ja energian varastointi muuttuu taloudellisemmaksi.

Hajautettujen energiajärjestelmien helppo ja turvallinen sähköverkkoon kytkentä on myös keskeinen tekijä markkinoiden kehittymiselle. Siirtyminen perinteisestä säteittäisestä ja yksisuuntaisesta tehonsiirrosta tilanteeseen, jossa siirtyvän sähkötehon suunta voi vaihdella ja vikatilanteissa vian taakse voi jäädä tuotantoa, on huomattava haaste nykyisellä suojauslogiikalle ja –automaatiolle. Tutkimusta ja tuotekehitystä tarvitaan aina suojausfilosofian tasolta käytännön ratkaisujen kehittämiseen ja testaamiseen.

Hajautetun energiatuotannon kasvavat markkinat tarjoavat jo yleisesti tiedostettujen tekniikoiden, kuten tuulivoima, lisäksi merkittäviä liiketoimintamahdollisuuksia hyvinkin perinteisille energiatekniikan aloille, kuten biomassan polttotekniikat ja pienvesivoima. Polttotekniikkaan liittyvää suomalaista osaamista tulisi tukea ja pyrkiä muuntamaan se liiketoiminnaksi entistä paremmin. Myös pienvesivoima voisi tarjota liiketoimintamahdollisuuksia suomalaisille toimijoille, vaikka liiketoiminta tällä hetkellä onkin vähäistä. Perinteisten tekniikoiden lisäksi tulee harkita panostamista myös tulevaisuuden tekniikoihin, joista aurinkokennot näyttävät lupaavimmilta.

Yritysten liiketoiminnan kehittämisen kannalta HE -järjestelmien liiketoiminnan jatkotutkimus voisi puolestaan keskittyä esimerkiksi selvittämään, kuinka muodostaa tasokkaita arvoverkkoja, jotka mahdollistavat järjestelmien ja niihin liittyvien palveluiden kustannustehokkaat toimi-

tukset globaaleille markkinoille. Lisäksi toimialakohtaisen liiketoiminnan mallintamisen myötä voisi seuraava askel olla uusien yrityskohtaisten liiketoimintamallien muodostaminen. Näiden toteuttaminen vaatii syvää ymmärrystä toimialan muutoksista ja erityisesti toimialojen keskinäisistä linkityksistä, toisin sanoen konvergenssista sekä yritysten sisäisten analyysien tekemistä sekä yritysten strategisten resurssien tunnistamista.

Tulevaisuuden tutkimus hajautetun energiatuotannon alalla vaatii jatkossa voimakkaampaa yrityspanostusta erityisesti liiketoimintatutkimukseen. Sen vuoksi olisikin ensiarvoisen tärkeää, että yritykset tekisivät yhdessä tutkimuslaitosten kanssa uusia, jopa radikaaleja tutkimusavauksia, kuten esimerkiksi pilottiprojektien kehityshankkeita aivan uusille markkinoille uusilla sovelluksilla.

12. LÄHDELUETTELO

- Aabakken, J. (2003): Power Technologies Data Book. U.S. Department of Energy, National Renewable Energy Laboratory. Raportti. 210 s.
- Aarne M, Elovirta P, Mustonen M, Peltola A, Toropainen M. (2003): Metsätalastollinen vuosikirja 2003. Helsinki, Metsäntutkimuslaitos. 385 s.
- Alakangas, E. (2002): Uusiutuvat energialähteet Suomessa 2002. OPET Finland, VTT prosessit. Tekes, Motiva. 37 s.
- Albaum, G., Strandskov, J., & Duerr, E. (1998): *International marketing and export management*, 3 edn, Addison Wesley Longman Publishing Company, Harlow.
- Alakangas, E. (2000): Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo, VTT Energia, VTT tiedotteita 2045. 172 s.
- American SC. (2004): American Stirling Company. Frequently Asked Questions. Viitattu 10/2004. <http://www.stirlingengine.com/>.
- American SC. (2002): American Stirling Company 2002. Stirling Engine Reference Guide and Catalog. 14 s.
- Banerjee, R. (2004): "Comparison of options for distributed generation in India", *Energy Policy*, vol. 34, pp. 101-111.
- Bauen A, Hawkes A. (2004): Decentralized Generation – Technologies and Market Perspectives. Imperial College London Centre for Energy Policy and Technology.
- Bergman, J-P., Lankila, M., Kässi, T. (2005): Teknologiaohjelma DENSY –Hajautetun energiantuotannon tulevaisuusskenaariot ja vaikutukset liiketoimintamalleihin, Lappeenranta, Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- BP. (2004a): British Petroleum. Bp solar. Viitattu 9/2004. <http://www.bpsolar.com/>.
- BP. (2004b): British Petroleum. 2004. BP Statistical Review of World Energy 2004. 40 s.
- BP. (2004c): British Petroleum. Wind Energy. Viitattu 8/2004. <http://www.bp.com/genericarticle.do?categoryId=117&contentId=2001227>.
- BWEA. (2004): The British Wind Energy Association. The economics of wind energy. Viitattu 9/2004. <http://www.bwea.com>.
- Canadian. (2000): The Canadian Renewable Energy Network 2000. Hydroelectric energy. Viitattu 9/2004. http://www.canren.gc.ca/default_en.asp.
- Capstone. (2005): Capstone home page. <http://www.capstoneturbine.com/>
- Caterpillar. (2005): Caterpillar Home page. <http://www.cat.com> . 2005.
- Chesbrough, H. (2005): *Open Innovation, The New Imperative For Creating and Profiting From Technology* Harvard Business School Publishing Corporation, Boston.

- Condens Oy. (2004): Kiinteän polttoaineen kaasutus. Viitattu 9/2004. <http://www.condens.fi>.
- DoD Fuel Cell. (2004): U.S. Army Corps of Engineers. Fuel Cell Application Guide. Viitattu 9/2004. <http://www.dodfuelcell.com>.
- DOE. U.S. Department of Energy. (2004): National Center for Photovoltaics. Viitattu 9/2004. <http://www.nrel.gov/ncpv/>.
- DOE. U.S. Department of Energy. (2001): Energy Efficiency and Renewable Energy. 2001. Small Hydropower Systems. 8 s.
- Dudarev, G., Boltramovich, S., Filippov, P., & Hernesniemi, H. (2004): *Advantage Northwest Russia*, ETLA, Helsinki, 33.
- DWIA. (2004): Danish Wind Industry Association. Guided Tour on wind energy. Viitattu 9/2004. <http://www.windpower.org>.
- EC. (2004a): European commission Directorate-General for energy and Transport 2004. Renewable energy to take off in Europe?-2004-overview and scenario for the future. 7 s.
- EC. (2004b): The European Commission ATLAS Project, Renewables. Viitattu 8/2004. http://europa.eu.int/comm/energy_transport/atlas/html/renewables.html.
- EIA. (2004): Energy Information Administration 2004. International Energy Outlook 2004. Washington, U.S. Department of Energy. 256 s.
- EIA. (2002): Energy Information Administration. International Energy Annual 2002. Viitattu 8/2004. <http://www.eia.doe.gov/iea/elec.html>.
- Euroopan komissio. (1997): Tulevaisuuden energia: Uusiutuvat energialähteet. Yhteisön strategiaa ja toimintasuunnitelmaa koskeva valkoinen kirja. 57 s.
- Electrowatt Ekono, Jaakko Pöyry Group. (2003): Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman arviointi. Espoo, Kauppa- ja teollisuusministeriö. 62 s.
- Eltra. (2004): Wind turbines connected to grids with voltages below 100 kV. 29 s.
- EG&G Services Parsons, Inc. (2000): Science Applications International Corporation. Fuel Cell Handbook (Fifth Edition). 352 s.
- Emv. Energiamarkkinavirasto. (2005): Maakaasun kokonaishinnan keskihintojen kehitys 06/2005 saakka. Viitattu 6/2005. <http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=1020&pgid=188>.
- Energiateollisuus. (2005): Kaukolämmön hinta. Viitattu 10/2005. <http://www.energia.fi/page.asp?Section=1477>.
- EREC. European Renewable Energy Council. (2005): European Small Hydropower Association. State of the Art of Small Hydropower. 2 s.
- EREC. European Renewable Energy Council. (2001): Renewable Energy Scenario to 2040. Bryssel, European Renewable Energy Council. 16 s.
- EUROPA. (2005): EUROPA - The portal site of the European Union. http://europa.eu.int/index_en.htm . 2005.

- EWEA. The European Wind Energy Association. (2004): Wind Power Economics. Bryssel, Renewable Energy House. 12 s.
- EWEA. The European Wind Energy Association. (2003): Wind Energy The Facts. 331 s.
- FAO Forestry Department. (2003): State of World's Forests 2003. Rooma, FAO. http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/005/y7581e/y7581e00.htm.
- Finergy ry. (2004): Energia-alan Keskusliitto. Arvio Suomen sähkön tarpeesta vuoteen 2020. Helsinki. 15 s. <http://www.energia.fi/attachment.asp?Section=467&Item=8055>.
- Finergy ry. (2002): Energia-alan Keskusliitto. Hyvä tietää uraanista. Helsinki. 27 s. <http://www.energia.fi/attachment.asp?Section=507&Item=694>.
- Frost & Sullivan Growth Consulting. (2002): Market Opportunities for Distributed Generation Applications, TEKES.
- Gnansounou, E. & Dong, J. (2004): "Opportunity for inter-regional integration of electricity markets: the case of Shandong and Shanghai in East China", *Energy Policy*, vol. 32, s. 1737-1751.
- Grubb M, Meyer N. (1993): Wind Energy: "Resources, Systems and Regional Strategies". In Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity. Washington D.C., Island Press.
- Haapanen E. (2005): Merituulivoima takkuua. Tuulen silmä. Vol 16, no. 2, s. 4-8.
- Hamel, G. (2002): *Leading The Revolution* Harvard Business School Press, Boston.
- Hansen U. (2003): Biomass a fast growing Energy Resource. Risö International energy Conference, Rostock University.
- Hellgren M, Heikkinen L, Suomalainen L, Kala J. (1999): Energia ja ympäristö -oppikirjan kuvat ja taulukot. Opetushallitus. <http://www.edu.fi/oppimateriaalit/energia/>.
- Helynen S, Flyktman M, Mäkinen T, Sipilä K, Vesterinen P. (2002a): Bioenergian mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Espoo, VTT prosessit. VTT tiedotteita 2145. 110 s.
- Helynen S, Sipilä K, Peltola E, Holttinen H. (2002b): Uusiutuvat energialähteet vuoteen 2030 Suomessa. Helsinki, eduskunnan kanslian julkaisu 6/2002. 51 s.
- HUT. (2004): Helsinki University of Technology, Advanced Energy Systems. New and Renewable Energy Systems. Viitattu 9/2004. <http://www.hut.fi/Units/AES/renew.htm>.
- Holttinen, H. (2004a): Laajamittainen tuulivoima pohjoismaisessa sähköverkossa. Luentokalvot.
- Holttinen, E. (2004b): Tuulivoimahankkeen talous. Luentokalvot.
- HowStuffWorks. (2004): How Stirling Engines Work. Viitattu 10/2004. <http://travel.howstuffworks.com>.
- IASH. (2005): International Association for Small Hydro. World potential. Viitattu 6/2005. <http://www.iasn.info/worldpotential.htm>.

- IEA. (2002): International Energy Agency. Electricity in india, IEA.
- IEA. (2004a): International Energy Agency 2004. Trends in Photovoltaic Applications, Survey report of selected IEA Countries between 1992 and 2003. 28 s.
- IEA. (2004b): International Energy Agency. IEA Advanced Fuel Cells. Viitattu 9/2004. <http://www.ieafuelcell.com/>.
- IEA. (2005a): International Energy Agency. Energy Statistics. Viitattu 5/2005. <http://www.iea.org/Textbase/stats/index.asp>.
- IEA. (2005b): International Energy Agency. *Russian Electricity Reform: Emerging challenges and opportunities*, IEA, Pariisi.
- IEA. (2003a): International Energy Agency. Wind Energy Annual Report 2003. 264 s.
- IEA. (2003b): International Energy Agency 2003. Renewables for Power Generation Status & Prospects. Pariisi, OECD/IEA. 194 s.
- IEA. (2001): International Energy Agency. Electricity in World in 2001. Viitattu 8/2004. <http://www.iea.org/dbtw-wpd/Textbase/stats/index.asp>.
- Ingersoll Rand Energy Systems. (2004): 250 series Microturbine. Product Specifications.
- Jalovaara J, Aho J, Hietamäki E, Hyytiä H. (2003): Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) 5-50 MW:n polttolaitoksissa Suomessa. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. 126 s.
- Jansson, K., Karvonen, I., Mattila, V.-P., Nurmilaakso, J., Ollus, M., & Salkari, I. (2001): *Uuden tietotekniikan vaikutukset liiketoimintaan*, Tekes.
- Jasinski S. (2002): Minerals Yearbook 2002 Peat.
- Karhumäki, T. (2005): Hajautetun sähköntuotannon tekniikoiden kustannukset ja markkinakehitys, Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, 96 s.
- Kauppalehti Online. Korot rauhallisena perjantaina. 1.7.2005. Viitattu 4.7.2005. <http://www.kauppalehti.fi/4/f/uutiset/online>.
- Laaksonen H, Repo S. (2003): Tuulivoimateknologia sähkönjakeluverkossa. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, 88 s.
- Lausala, T. & Jumppanen, P. (2002): Arktinen teknologia suomalaisten yritysten liiketoimintastrategioissa, Tekes.
- Lehner B, Czisch G, Vassolo S. (2001): Europe's hydropower potential today and in the future. Kassel, EuroWasser. Raportti A0104. www.usf.unikassel.de/usf/archiv/dokumente/kwws/kwws.5.en.htm.
- Lehtinen, H. & Wahlström, B. (2005): *Hajautetun energiantuotannon tiekartat*, VTT, Espoo.
- Lehtonen J, Vihriälä H. (2003): Aurinkosähkö ja tuulivoima. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, 186 s.
- Limetti Oy. (2004): Biodiesel. Viitattu 10/2004. <http://www.biodiesel.fi>.

- Little, A.D. (2000): Opportunities for Micropower and Fuel Cell/Gas Turbine Hybrid Systems in Industrial Applications. Massachusetts. 173 s.
- Localpower. (2003): World Alliance for Decentralized Energy. Guide to Decentralized Energy Technologies. 41 s.
- Mackay, S. (2003): WADE National Survey of Decentralized Energy, China 2003, WADE.
- Margolis R. (2002): Experience Curves and Photovoltaic Technology Policy. Human Dimensions of Global Change Seminar, Carnegie Mellon University, 16 October 2002, s. 1-43.
- MET. (2003): Tulevaisuuden voittajat, Liiketoiminnan ja teknologian linjaus 2010, Metalliteollisuuden Keskusliitto.
- Meyer, N. (2001): Cognitive Foundations. Luentokalvot 2001.
- MhyLab. (2004): FAQ-Frequently Asked Questions on Small Hydropower (SHP). 24 s.
- Morthorst P. E. (2003): Wind Energy – The Facts. Volume 2, Cost & Prices. Brysseli, EWEA. 16 s.
- Motiva Oy. Uusiutuvat energialähteet Suomessa. Viitattu 9/2004. <http://www.motiva.fi>.
- Mäki K, Järventausta P, Repo S. (2003): Tuulivoimaan perustuvan hajautetun sähköntuotannon vaikutus keskijänniteverkon suojaukseen. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, 93 s.
- NASA Langley Atmospheric Sciences Data Center. Earth's Radiation Budget Facts. Viitattu 9/2004. http://eosweb.larc.nasa.gov/EDDOCS/radiation_facts.html.
- Nordel. (2004): Nordel Annual Report 2003. 51 s. <http://www.nordel.org/Content/Default.asp?PageID=127>.
- Nuclear. World Nuclear Association. (2004): World Nuclear Power Reactors 2003-04 and Uranium Requirements. <http://www.world-nuclear.org/>.
- Nuclear EA. Nuclear Energy Agency. Viitattu 7/2004. <http://www.nea.fr/>.
- Parhankangas, A., Holmlund, P., & Kuusisto, T. (2003): *Managing Non-Core Technologies*, Tekes.
- Peltola E, Holttinen H. (2001): Tuulivoimamarkkinat suomalaisen teknologiaviennin kannalta. VTT Energia. Raportti 45/2001. 40 s.
- Penche C. (1998): Layman's Guidebook on how to develop a small hydro site. 2. p. European Small Hydropower Association. 268 s.
- Pienvesivoimayhdistys ry. Viitattu 9/2004. <http://www.pienvesivoimayhdistys.fi>
- Pirilä P. (2003): Yleinen energiatalous. Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto. Kursimoniste. 62 s.
- Pohjolan Voima. (2004): Vuosikertomus 2003. 39 s.
- Pohjolan voima. (2001): Kokkolan edustan merituulivoimalaitos teknistaloudellinen raportti. 56 s.

- Poikonen, P., Keikko, T., Koskelainen, L., Laurila, L., Pyrhönen, J., Repo, S., Turunen, P., Valkealahti, S. (2005): Hajautetun sähköntuotannon teknologian ja tekniikoiden nykytila sekä tulevaisuuden kehitysnäkymät, Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto.
- Pöyry, Jaakko Pöyry Consulting. (2003): Ilmastoaiheisen teknologiaohjelman taustaselvitys. Vantaa, Jaakko Pöyry Consulting. 87 s.
- Raiko R. (2004): Voimalaitostekniikka. Tampereen teknillinen yliopisto, Energia- ja prosessitekniikka. 351 s.
- Raiko R, Kirvelä K. (2002): Energiatekniikan perusteet. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Energia- ja prosessitekniikka. 172 s.
- Rappa, M. (2005): Business Models On the Web.
<http://www.digitalenterprise.org/models/models.html> . 2005.
- Renewable Energy World. July-August 2004 Volume 7 Number 4. PV market update. On-Line Magazine. http://www.jxj.com/magsandj/rew/2004_04/index.html.
- Renewable Energy World. November-December 2003 Volume 6 Number 6. Technology Fundamentals; Solar thermal power plants. On-Line Magazine. http://www.jxj.com/magsandj/rew/2003_06/index.html.
- Repo S, Laaksonen H, Mäkinen A, Järventausta P. (2003): Hajautetun tuotannon huomioiminen sähkönjakeluverkon suunnittelussa. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto. Raportti 3-2003, 42s.
- Rinne, P. (2005): *New business concepts for distributed energy systems*. Lappeenranta University of Technology.
- Sainio, L.-M. (2005): *The Effects of Potentially Disruptive Technology on Business Model - A Case Study of New Technologies in ICT Industry*, Lappeenranta University of Technology.
- Savon Voima Oyj, VTT Energia. (2001): Savon voima Oyj:n bioenergiaohjelma. 191 s.
- Schmidt, D. (2005): Microturbine application reduces sour gas flaring, provides partial power . <http://www.capstoneturbine.com/> . 2005.
- Sea Power International AB. Waves of nature. Viitattu 8/2004. <http://www.seapower.se/indexeng.html>.
- Schoemaker, P. (1992): How to link strategic vision to core capabilities. *Sloan management review*. Vol. Fall, s.67-81.
- Siemens. Fuell Cells – The Principle. Viitattu 11/2004. <http://www.siemens.com/>.
- Siltanen L. (1999): Sähköntuotantolaitosten liittäminen jakeluverkkoon. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. 105s.
- Singh, A. (2004): "Power sector reform in India: current issues and prospects", *Energy Policy*.
- Solarbuzz.com. Polar to the world of solar energy. Viitattu 5.7.2005. <http://www.solarbuzz.com/index.asp>.

- Solarbuzz; Solar energy Research and Consultancy. Solar Electricity Prices. Viitattu 10/2004. <http://www.solarbuzz.com>.
- Solis projekti. (2002): Energiaa auringosta maahan. Viitattu 10/2004. <http://solis.lappeenranta.fi/jyfl/perus/2.html>.
- SOLO Stirling GmbH. (2003): SOLO Stirling 161 Combined Power/Heat (CHP) Module. Technical Documentation, version 1.9. 23 s.
- Solpros Ay. (2001): Aurinkoenergia Suomen olosuhteissa ja sen potentiaali ilmastonmuutoksen torjunnassa. Helsinki, Solpros Ay. 22 s.
- STM Power. The Clean Energy Choice. Brochure. 6 s.
- Sycom. Onsite Sycom Energy Corporation. (1999): The Role of Distributed Generation in Competitive Energy Markets. Carlsbad, Gas Research Institute. 16 s.
- Tekes. (2003): DENSY –Hajautettujen energijärjestelmien teknologiaohjelma 2003-2007. <http://www.tekes.fi>.
- Thakur, T., Deshmukh, S. G., Kaushik, S. C., & Kulshretha, M. (2005): "Impact assesment of the Electricity Act 2003 on the Indian power sector", *Energy Policy*, vol. 33, s. 1187-1198.
- Tilastokeskus. (2003): Energiaennakko 2003. 31 s.
- Timmers, P. (1998): "Business Models For Electronic Markets", *Focus Theme*, vol. 8, no. 2, s. 3-8.
- Turveteollisuusliitto. Turvetietoa. Viitattu 8/2004. <http://www.turveliitto.fi/>.
- Tuulivoima. Suomen tuulivoimayhdistys ry. Tietoa tuulivoimasta. Viitattu 9/2004. <http://www.tuulivoimayhdistys.fi>.
- U.S. Congress. The Congress of the United States, Congressional Budget Office. (2003): Prospects for Distributed Electricity Generation. 37 s.
- U.S. Geological Survey. (2004): Mineral Commodity Summaries: Peat. 2 s.
- Vartiainen E, Luoma P, Hiltunen J, Vanhanen J. (2002): Hajautettu energiantuotanto: teknologia, polttoaineet, markkinat ja CO₂-päästöt. Helsinki, Gaia Group Oy. 90 s.
- WADE. (2004): World Survey of Decentralized Energy 2004.
- WADE. (2005): World Survey of Decentralized Energy 2005.
- WBDG. Whole Building Design Guide. Fuel Cell Technology. Viitattu 9/2004. <http://www.wbdg.org/>.
- WEC. World Energy Council. Survey of Energy Resources. Hydropower. Viitattu 6/2005. <http://www.worldenergy.org/wecgeis/publications/reports/ser/hydro/hydro.asp>.
- WEC. World Energy Council. Viitattu 7/2004. <http://www.worldenergy.org/>.
- WEC. World Energy Council. (1994): New Renewable Energy Resources. London. 391 s.
- VTT Prosessit. (2004): Energia Suomessa. 3. painos. Helsinki, Edita Prima Oy. 396 s.

- VTT. (1999a): VTT Energia. 1999. Energia Suomessa. Helsinki. Oy Edita Ab. 368 s.
- VTT. (1999b): VTT Energia. 1999. Jätteet energiaksi–esite: Polttoainetta, lämpöä, sähköä.
- Wärtsilä Oy. Wärtsilä 34SG, Engine Technology 12-18V34SG. 22 s.
- Wärtsilä. (2005a): Wärtsilä Power Plants, Mastering your power needs.
<http://www.wartsila.com/en,powerplants,0,product,601230330523602,24057937720168990,,.htm> . 2005.
- Wärtsilä. (2005b): Wärtsilä, Home page. <http://www.wartsila.com/> . 2005.
- Wärtsilä Oy (2002): Reciprocating Engines in Distributed Energy and CHP Applications. 3rd Annual National CHP Roadmap Workshop. Boston, Oktober 23-25. 14 s.
- West Wales ECO Centre. Hydro Power. Viitattu 9/2004. <http://www.ecocentre.org.uk/>.

LIITE 1. Asiantuntijoiden skenaariot ja niiden kehityksestä kertovat triggerit.

Skenaario I: 'Business as Usual'

Maailma, yleiskuvaus

Elintason yleinen nousu ja YK:n arvioiden mukaisena jatkunut väestönkasvu ovat viime vuodet kasvattaneet energiankysyntää noin 2 % vuosivauhtia. Poliittisesti taloudelliset näkökohdat ovat yhä määrääviä ja ympäristöasioilla on päätöksenteossa pieni painoarvo. Kioton sopimuksen rapautumisen jälkeen ei todellisia globaaleja ympäristöratkaisuja ole käytännössä vakavasti edes haettu. Päästöjen vähentämiseen on ollut vaikutusta ainoastaan Euroopan päästökaupalla, joka sekin on nykyään kovassa vastatuudessa varsinkin teollisuuden kilpailukyvyn yskiessä. Kehittyviä alueita (mm. Kiina ja Intia) lukuun ottamatta talouskasvu ja energiankysynnän kasvu on pysynyt maltillisena.

Energiajärjestelmät

Näin jälkiviisaasti voidaan todeta, että hajautettu energiantuotanto ei ole kehittynyt kymmenen vuotta sitten tehtyjen optimististen ennusteiden mukaisesti. Perinteiset energianlähteet ovat säilyttäneet asemansa ja yhä edelleen öljy, maakaasu ja kivihiihi vastaavat käytännössä kasvavaan energiankysyntään. Ydinvoimapuolella ei ole tapahtunut oleellisia muutoksia, jotka olisivat radikaalisti muuttaneet yleistä suhtautumista ydinvoiman käyttöön. Energiantuotanto tapahtuu yhä pääosin suurissa yksiköissä ja suurimmat tuottajat omistavat tyypillisesti useita voimalaitoksia. Suuret tuottajat ovat kuitenkin ulkoistaneet monia toimintojaan ja tämä on luonut mm. ulkopuolisille kunnossapitoyrityksille kysyntää.

HE- Yleiskuvaus

Yhteiskunta ei erityisen vahvasti pyri edistämään hajautettua tuotantoa, mutta joitakin yksittäisiä tukitoiminnan kohteita löytyy, kuten tuulivoimatuet Suomessa. Tietyissä maissa jo olemassa oleviakin tukitoimia on purettu ja mm. Tanskassa uusiutuvien energiamuotojen tuet ovat vähentyneet viime vuosina. Uusia liiketoimintamahdollisuuksia hajautetulle tuotannolle on vähän ja markkinaosuudet ovat polkeneet lähes paikallaan jo useampia vuosia (mm. WADE ilmoittaa hajautetun energiantuotannon globaaliksi markkinaosuudeksi 10 prosenttia). Hajautettua tuotantoa tosin käytetään tehokkaasti siellä missä kytkeminen verkkoon on kallista (saaret, tunturialueet, metsät, etc.)

Ristiriitaiset ohjausvaikutukset ovat joissakin tapauksissa kääntäneet tilanteen sellaiseksi, että niissäkin maissa, joissa joitakin hajautettuja energiantuotantomuotoja on tuettu, markkinaa ei kuitenkaan ole syntynyt. Kaiken kaikkiaan regulaatio ei tue hajautetun tuotannon liittämistä verkkoon teknisessä mielessä ja siirtohinnoittelu osaltaan jopa estää toimivan markkinan muodostumista. Verkkomonopolia ei ole vielä kukaan purettu, mutta ilmassa on ajatuksia verkkomonopolin purkamisesta ja tämä herättää jonkinasteista toiveikkuutta siitä, että hajautettu tuotanto voisi lähteä kasvuun. Paikallisten järjestelmien tai osuuskuntien synnyn kannalta osaavalla henkilöstöllä on keskeinen rooli kasvun käynnistymisessä. Verkkoliiketoiminnan konsolidoi-

tumiskehityksen seurauksena työttömiksi jääneet henkilöt, jotka ovat halunneet jäädä kotiseuduilleen, ovat avainasemassa paikallisen toiminnan käynnistämässä.

HE - Teknologia

Ennusteiden mukaisesti teknologia on kehittynyt pienin askelin ilman suuria läpimurtoja osittain yhteiskunnan käynnistävän tuen puutteessa toisin kuin 80-luvun lopun mobiiliteknologian kehityksessä tehtiin. Hajautettuihin energiajärjestelmiin kohdistuva t&k-toiminta on yhä vähäistä suhteessa muihin tuotantomuotoihin. Teknologisesti on siirrytty reaaliaikaiseen mittarointiin. Energiaa voidaan myös ostaa monella eri tariffilla riippuen energian käyttökohteiden vaatimuksista. Lisäksi on havaittu, että energia esiintyy joskus "sisäänheittotuotteena", kun tuottajat yrittävät myydä laajempia järjestelmiä asiakkaille.

HE - Markkinat ja liiketoiminta

Toiminta hajautetun tuotannossa on pääosin pienimuotoista. Yksittäisille laitteille ja järjestelmille on jonkin verran kysyntää, mutta suurta yhtenäistä markkinapotentiaalia ei ole. Joustavat ja innovatiiviset toimijat voivat menestyä tunnistamalla ajoissa yksittäisiä trendejä, jotka tekevät jostain tuotantomuodosta ainakin hetkellisesti kannattavan. Verkottuminen ja kehittyneet palvelutoiminnat ovat kannattavan toiminnan edellytyksiä jos niiden etsintään uskalletaan panostaa taloudellisia resursseja.

Eniten potentiaalia suomalaisen hajautetun energiantuotannon kannalta tuntuu löytyvän Venäjältä. Venäjän uusrikkaille on halua ja rahaa ostaa hajautettuja energiajärjestelmiä yksittäisiin kohteisiin ja tämä onkin tarjonnut suomalaisille korkean laadun järjestelmätoimittajille liiketoimintamahdollisuuksia. Kokonaisuudessaan hajautetun energiantuotannon osaaminen ei kuitenkaan ole pystynyt kehittymään energiateollisuutemme uudeksi syömähampaaksi. Hajautetun energiantuotannon ympärille ei ole syntynyt riittävästi liiketoimintaa, jotta sen lisääminen olisi taloudellisesti järkevää ilman tukiaisia. Nykyisessä tilanteessa tukien puuttuessa ei hajautetulla energiantuotannolla ole todellista mahdollisuutta nousta suuremman luokan toiminnaksi, vaan se pysyy ikuisena lupauksena. Tilannetta ei myöskään helpota se, että markkinainstituutiot ovat saaneet enemmän valtaa ja koska pääoma etsii alueet missä saadaan suurin tuotto, ei hajautettu energiantuotanto ole taloudellisesti kovinkaan kiinnostava toimiala.

Liiketoimintaympäristö

Pienuudestaan huolimatta hajautetun energiantuotannon liiketoiminta on käytännössä jakautunut kahteen osaan. 'Blocksize'-liiketoiminnassa toimitettavat järjestelmät ovat suurempia erikoissovelluksia erikoistarkoituksiin. Merkittävin kysyntä toimialan sisällä on ollut korkealatauisille tuulivoima-, CHP- ja erityisesti minivesivoimajärjestelmille, koska CHP:sta on tullut ns. erikoisratkaisu vaativiin olosuhteisiin.

Asiakas ostaa ulkopuoliselta energiantuottajalta yleensä vain energiaa, eivätkä itse laitteita. Tästä energiansiirrosta käyttäjät joutuvat maksamaan verkkoyhtiöille siirtohinnan. Energiantuottajat taas hankkivat tuotantojärjestelmänsä laitetoimittajilta, jotka hankkivat alihankinta-verkostostaan tarvittavat komponentit.

Toisaalta asiakas voi ostaa laitteet itse. Laitteistojen myyjät myyvät laitteiston suoraan asiakkaalle, jonka lisäksi asiakas vielä tarvitsee asennus- ja ylläpitopalvelut muilta toimijoilta. Tämä ns. Household-liiketoiminta on suhteellisen pienimuotoista ja markkinoilla myydään pääosin yksittäisiä automatisoituja standardituotteita lähinnä erikoisolosuhteisiin, joita ovat mm. vuoristot, saaret, kehitysmaat ja kriisialueet. Aurinkokennot ja aggregaatit ovat suhteellisen kysytyjä näillä alueilla, joissa ei ole varmatoimisia sähköverkkoja.

Skenaario II: 'Kannustava Sääntely'

Maailma, yleiskuvaus

Ilmastomuutos on tullut yhä todellisemmaksi. Lämpötila on teollisuusmaissa kohonnut vuoden 2004 tasosta ja yhteiskunta on luonut säännöt yhteisten tavoitteiden saavuttamiseksi. Kansainvälinen sopimus ilmastomuutoksen rajoittamisesta koskee kaikkia isoja pelureita niin EU:ta, USA:ta, kuin Venäjääkin sekä myös uusia teollisia suurvaltoja (kuten Kiina, Intia, Brasilia). Tavoitteet koskevat lähinnä ilmastoasioita.

Energiajärjestelmät

Yhteiskunnat ovat ottaneet energian tuotannon ja kulutuksen rautaiseen otteeseen käyttäen sääntelyä, erilaisia lupamenettelyjä, verotusta ja hinnoittelua perimmäisenä tavoitteena energian kulutuksen kasvun pysäyttäminen. Kivihiilen käytöstä energiantuotannossa pyritään luopumaan, josta on seurauksena tarve käyttää paikallisia energialähteitä sekä ilmastomuutoksen että huoltovarmuuden takia. Kansainvälisten sopimusten toteuttamiseksi useimpiin maihin on luotu kattava ja merkittävä energiaverotus- ja seurantajärjestelmä. Hyvänä esimerkkinä tästä on EU, jossa uusiutuvien polttoaineiden käytöllä teollisuus voi saada selviä verohelpotuksia. Kokonaisuudessaan teollinen maailma jakautuu energian tuotannon kannalta kahteen leiriin, joista toinen nojaa vahvaan keskitettyyn sähköntuotantoon (ydinvoima, maakaasu) ja toinen painottaa ainakin tuotekehityksessään hajautettua energiantuotantoa (mm. Pohjoismaat).

Energian hinta on pysynyt korkeana jo 15 vuotta yhteiskunnallisen ohjauksen vuoksi mm. verotus, jonka seurauksena energiankulutus kasvu onkin osaltaan hidastunut. Lisäksi tuotekehityksen ansiosta laitteiden sähköenergian kulutus on myös vähentynyt. Tästä yksittäisenä esimerkkinä on led-valaistuksen leviäminen.

Energian kulutuksen kasvu saattaa kuitenkin edelleen nousta, koska hajautettuun energian tuotantoon ja uusiutuviin energialähteisiin on panostettu voimakkaasti. Kasvu tapahtuu erityisesti nopeasti kehittyvien talouksien maissa, joihin vanhat teollisuusmaat tuottavat uusia energiatekniikan järjestelmiä ja laitteita kasvavassa määrin hajautettuun energiantuotantoon.

HE- Yleiskuvaus

Energiankysynnän kasvun lisäksi myös maailmanpolitiikan epävarmuus korostaa riippumattomuutta tuontienergiasta ja tarvetta hajautettuun energiantuotantoon. Tästä hyvänä esimerkkinä on EU, jonka riippuvuus tuontienergiasta on noussut jo yli 50 prosenttiin ja vahvoja toimenpiteitä on käynnistetty tämän osuuden laskemiseksi. Yksi näistä keinoista on hajautetun energiantuotannon kapasiteetin voimakas kasvattaminen.

Hajautettu energiantuotanto näyttelee tärkeää roolia ilmastonmuutoksen torjunnassa, sekä myös energian kysynnän kasvun tyydyttämisessä. Hallitukset ovat määritelleet kiintiöitä hajautetulla tuotannolla tuotettavalle energialle, lisäksi yhä tiukemmat ympäristölait pakottavat yritykset hankkimaan energiansa puhtaammin kuin aikaisemmin. Biopolttoaineen keräilyyn ja hyödyntämisyjärjestelmiin liittyvien teknologioiden kehittäminen on lisännyt bioenergian käyttöä kansainvälisestikin. Eräillä alueilla myös biopolttoaineiden tuotantoon panostetaan aktiivisesti. Suomessa etupäässä tehostetaan metsäbiomassan hyödyntämistä. Bioenergian käyttöä on lisännyt ennakoitu fossiilisten polttoaineiden loppuminen ja korkeat hinnat.

HE – Teknologia

Hallitusten asettamien määräysten ja kovien tavoitteiden jälkeen markkinat lähtivät viimeinkin selvään kasvuun ja samalla myös t&k-panostukset. Mm. vetyteknologia on kehittynyt huimasti viime vuosina ja useita valmiita ratkaisuja on jo olemassa (esim. ensimmäiset sarjavalmistetut vetypolttokennoautot)

HE - Markkinat ja liiketoiminta

Keskeisissä infrastruktuurin rakenteissa teollisuusmaissa ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia huolimatta voimakkaasta lainsäädännöstä ja hajautetun energiantuotannon osuus kokonaisenergian tuotannosta on korkeintaan joitakin kymmeniä prosentteja.

Paikalliset tuotantoyhtiöt ovat pakkoraossa ja ne joutuvat investoivat tuotantomuotoihin, joita yhteiskunta ”sallii”. Yhteiskunnan tuki suuntautuu monissa maissa hajautetun tuotannon järjestelmien ja laitteiden kehittämiseen. Tukien tarkoitus on mahdollistaa laitteiden sarjatuotanto ja suurien kustannushyötyjen saavuttaminen tuotannossa. Tämä on ainoa tapa tehdä hajautetusta energiantuotannosta kannattavaa ja täten myös helpommin hyväksyttävää.

Parhaiten pärjäävät toimijat hajautetun energiantuotannon markkinoilla ovat olleet systeemi-integraattorit, jotka rakentavat olemassa olevista komponenteista ja uusista kehitelmistä hajautettuun energian tuotantoon ja kulutukseen soveltuvia laitteita ja järjestelmiä. Erityisesti Suomen tapaisissa maissa, joissa on korkea komponenttiteknologiaosaaminen tämä kehitys antaa suuria mahdollisuuksia. Avautuvilla kansainvälisillä markkinoilla pyritään saamaan kustannussäästöjä hyödyntämällä pitkiä tuotantosarjoja.

Liiketoimintaympäristö

Kuvion tärkein peluri on kotimainen energiantuottaja, joka myy energiaa niin yksityisille kuin teollisuusasiakkaillekin. Tämän ympärille on syntynyt useita muita toimijoita, joita verkosto tarvitsee toimiakseen. Näitä ovat mm. polttoaineentoimittajat sekä verkko-operaattorit. Lisäksi tuottajalla on yhteys sähköpörssiin meklarin kautta. Integraattorin/järjestelmätoimittajan rooli on tarjota ratkaisuja ja palveluita alihankkijoidensa avulla, kuten kunnossapitoa, tuottajan järjestelmille. Suomalaisten integraattoreiden omistajina toimivat mm. erilaiset kansainväliset rahastot ja heidän liiketoiminnasta paljon tulee viennistä etenkin muille EU:n sisäisille asiakkaille. Kuviossa näkyy myös päästökauppameklari, joka on seurausta Euroopan sisäisestä päästökaupan alkamisesta sekä erilaiset julkishallinnon tahot, jotka omalla roolillaan muokkaavat yritysten toimintaympäristöä.

Skenaario III: 'Vihreä Taivas'

Maailma, yleiskuvaus

Fossiilisten polttoainevarantojen, erityisesti öljyn, väheneminen on tiedostettu globaalisti, mikä seurauksen energian hintataso on noussut monessa maassa merkittävästi vuosikymmenen alussa. Tämä sai maat huolestumaan energiajärjestelmiensä toimivuudesta sekä energian saataavuudesta ja riittävydestä. Samaan aikaan tapahtuneet ilmaston selvät muutokset (mm. El Niño-ilmiö pahentuu koko ajan) saivat yleisen ajatusmaailman ja käyttäytymisen muuttumaan nykyiseen ns. ”globaalin vastuun” ymmärtämiseen. Kioton sopimusta vastaavia sopimuksia on tehty lisää ja ne ovat voimassa globaalisti. Tämän takia myös rahoitusta löytyy kansallisten tavoitteiden saavuttamiseksi. Talouskasvu vihreän taivaan eli kehittyvien talouksien maissa on voimakasta.

Energiajärjestelmät

Energiajärjestelmien infrastruktuuri on yhä laajalti kehittymätöntä ja yhteiskunnallinen ohjaus on merkittävää. Samaan aikaan viimeisimmät tiedot öljyvarantojen määrästä ovat osoittautuneet ennakoitua pienemmiksi ja kokonaisuudessaan epävarmuus fossiilisten energiamuotojen määrästä on lisääntynyt. Fossiilisten polttoaineiden saatavuuden niukkuus ja epävarmuus on ohjannut vahvasti uusiutuviin hajautetun energian tuotantomuotoihin. Eräissä kehittyneissä maissa on myös käynnistetty ydinvoiman lisärakentaminen korvaamaan käytöstä poistuvaa fossiilisiin energialähteisiin perustuvaa sähköntuotantoa. Kehityksen painopiste on kuitenkin uusiutuviin energialähteisiin perustuvissa hajautetun energian tuotantomuodoissa.

Energiankulutuksen voimakkaan kasvun takia perinteistä energianhuoltojärjestelmää ei ole kuitenkaan järkevää poistaa käytöstä. Lisääntynyt energiantarve pystytään tyydyttämään ohjauksen ansiosta suhteellisen nopeasti hyödyntäen hajautetun energiantuotannon menetelmiä enemmän kuin koskaan. Samalla paikallisten uusiutuvien energialähteiden hyödyntäminen on voimakasta.

HE- Yleiskuvaus

Kehittyvien maiden kova talouskasvu ja energiantarve on vaatinut uudenlaisia lähestymistapoja alueiden energiajärjestelmien kehittämiseen. Mammuttimaiset hankkeet (mm. Kiinan Kolmen Solan Pato) eivät ole pystyneet yksistään ratkaisemaan energiaongelmia. HE onkin saanut erinomaisen jalansijan kehittyvien alueiden energiamarkkinoista ja on niillä alueilla keskeinen energiatuotannon ratkaisu.

Hajautetun tuotannon rakentaminen on em. maissa laajalti käynnissä, sillä rahoituksen järjestämisessä ei ole ongelmia. Hallitukset rahoittavat aktiivisesti HE-hankkeita eivätkä rahoituslaitokset koe HE:n suhteellisen pieniä laitoksia liian mittavina investointiriskeinä ja näkevät pienten laitosten leviämisessä verkostoeffektin tuomat mahdollisuudet.

HE - Teknologia

Tutkimus ja tuotekehitys hajautettuun energiantuotantoon on lisääntynyt erityisesti Euroopassa. Tietotekniikan hyödyntämisen ansiosta monet ratkaisut ovat huoltovapaita tai automaattisesti toimivia. Oleellista on laitteiden itsediagnostiikka, jolloin huollon tilaus tapahtuu automatiikan avulla. Vuonna 2005 nähtävissä olleissa teknologioissa on päästy jo kaupallisiin ratkaisuihin ja pilottiratkaisuissa täysin valmiisiin sarjatuotantojärjestelmiin. Tekniikoissa on olemassa runsaasti standardiratkaisuja ja hajautetulle energiantuotannolle tärkeässä verkkoon liitynnässä on vakioidut tavat ja menetelmät.

HE - Markkinat ja liiketoiminta

Kansainväliset ja kansalliset päämäärät ja sopimukset ovat edesauttaneet hajautetun energian tuotannon toteutumista. ”Keppi ja porkkana” – ohjausmenetelmät (esim. vihreän sähkön ostomääräykset), ovat luoneet maahan hajautetun tuotannon markkinat. Etenkin kehitysmaissa ja muilla kehittyvillä alueilla infrastruktuurin kehittämiseen on panostettu elintason nousun takia. Elintason nousu suhteellisen nopeasti on vaikuttanut myös sähkönkulutuksen kasvuun. Kansainvälisten sopimusten noudattaminen on noussut merkittäväksi asiaksi ja mm. monet rahoitusinstanssit vaativat tätä hallituksilta rahoituksen saamisen ehtona. Tuontienergian saatavuuden epävarmuus on johtanut siihen, että hajautetun tuotannon tuotantoteknologioille on saatu kysyntää.

Liiketoimintaympäristö

Taivaassa kv. sopimukset määräävät ja asettavat rajoja, mutta kansallisesti markkinat säätelevät toimintaa. Kuviossa näkyy vahvasti kansainvälisten sopimusten merkitys ja niiden vaikutus koko liiketoimintaympäristöön. Esim. erilaisin määräyksin vaikutetaan tuottajiin ja ohjataan myös asiakkaita ostamaan hajautetusti tuotettua sähköä. Arvoverkkoa hallitsevat järjestelmätoimittajat, jotka toimittajaverkostonsa kautta pystyvät vastaamaan kovaankin kysyntään tehokkaasti, joko toimittaan järjestelmiä suoraan asiakkaalle tai sitten verkkoyhtiöiden ja operaattoreiden kautta. Näiden järjestelmäprojektien ympärille on kehittynyt vahva konsultointiliiketoiminta, joka on mm. suomalaisille asiantuntijayrityksille ollut kannattavaa. Myös paikalli-

sille kunnossapitoyhtiöille syntyy liiketoimintamahdollisuuksia joko suoraan tai kokonaistoi-
mittajan kautta. Kuviosta näkyy myös eri rahoituslaitosten rooli hajautetun energiantuotannon
toimijoiden rahoittajina.

Skenaario IV: 'Mopo-Firmit'

Useat kehitysrahastot (ERBD, Bill Gates/Microsoft:n hyväntekeväisyysrahasto jne.) rahoittivat
voimakkaasti hajautetun energiantuotannon hankkeita viime vuosikymmenen lopulla ja yllättä-
vä kehitys sai alkunsa. Pienvoimalaitoksien rakennuttaminen kehitysmaiden haja-asutusalueille
on ollut suuri menestys ja lopulta muutama vuosi sitten (2017) Bill Gates sai jopa rauhan No-
belin. Täysin ilman taka-ajatusta hanke ei kuitenkaan ole ja se onkin saanut kritiikkiä osatavoit-
teestaan lisätä sähkön avulla markkinoita PC:lle ja Microsoftin käyttöjärjestelmille.

Maailma, yleiskuvaus

Maaillan talouskehitys on ollut viime vuodet vahvaa, mutta suurena huolenaiheena ovat olleet
kehitysmaat, jotka tuntuvat jäävän koko ajan vain lisää kehittyneistä alueista. Kehitysmailla ja
myös monella taloudellisesti hyvin menevällä maalla on suurena ongelmana ollut hyvien ener-
giajärjestelmien puute. Energiankysynnän kovaan kasvuun ei ole varsinkaan kehitysalueilla
pystytty vastaamaan keskitetyin ratkaisuin.

Energiajärjestelmät

Kova energian tarve ja yleisen mielipiteen kääntyminen ydinvoimamyönteiseksi ovat saaneet
monet ripeästi kasvavat maat (esim. Kiina ja Intia) rakentamaan tuntuvasti lisää ydinvoimaa.
Öljyn pysyvästi korkea hinta ja maakaasun riittävyys ovat huolestuttaneet taas tuontiriippuvai-
sia alueita, mutta selkeitä ohjaustoimia ei ole silti pantu toimeen.

HE- Yleiskuvaus

Yhteiskunnallista ohjausta voi kuvaila vähäiseksi tai vapaaksi ja tiukkoja määräyksiä tai lakeja
ei ole laajalti käytössä. Ja vaikka kehitysmaihin on rahalla vietykin mittava määrä laitoksia, on
hajautettu energiantuotanto markkinaehtoisesti yleistynyt vain vakailta ja taloudellisesti riittä-
vän "hyvillä" alueilla. Ympäristönäkökulmasta katsottuna paikallisesti eniten apua on ollut
kaatopaikkajätteen polttamisesta. Lisäksi energiantuotannossa syntyvät jätteet käsitellään ny-
kyisin integroidusti.

Koska julkishallinnot eivät ole suuremmin käyttäneet ohjauskeinoja hajautetun energiantuotan-
non hyväksi, kehitys on ollut pääosin markkinaehtoista. Markkinaehtoisuuden vuoksi toimitta-
jat ovat kuitenkin joutuneet asiakkaiden ja rahoittajien vaatimuksista – ja erityisesti oman toi-
minnan kehittämiseksi ja massatuotantoetujen saavuttamiseksi - kehittämään standardeja ja tä-
mä on ollut selkeästi eduksi markkinoiden syntymiselle.

HE - Teknologia

Tärkein tekijä tässä kehityksessä on teknologisesti ollut järjestelmän kehittyminen toimivaksi kokonaisuudeksi (tuotannon ja kulutuksen keskinäisen optimoinnin kehittäminen on ollut ratkaisevaa). Tuotantojärjestelmien lisäksi on kehitetty energiankuluttajia, jotka tilastoivat ja ennustavat omaa kulutustaan ja voivat neuvotella tuotantojärjestelmien kanssa hinnoista optimin kulutushetken valitsemiseksi – esimerkkinä pakastamot ja talojen lämpötilansäätöjärjestelmät. Laitevalmistajien kannattavuutta on taas parantunut koko ajan suurtuotannon aloitus. Eräänä uutena tapana toimittaa asiakkaille sähköä, ovat ns. prepaid-kilowatit. Tällöin ennakkomaksua vastaan asiakas saa ostettua sähkökapasiteettia puskuriiin ja laitosten rahoitus on onnistuttu hoitamaan lähestulkoon kokonaan kassavirralla.

Verkko- ja tukiohjelmistot suunnitellaan eri puolilla maailmaa ja ne ovat pääosin itsekonfiguroituvia. Kuormat ovat myös uusia, älykkäitä ja yhteensopivia. Kuparikaapelien tiedonsiirtolinkki on esimerkki integroidusta älystä järjestelmissä. Näihin järjestelmiin voi liittää myös isompia uusia voimalaitoksia (pikkukaupunkikoko) tarpeiden kasvaessa ja paikallisten kyläkoon tuotantoresurssien yhdistyessä laajemmaksi sähkölaitokseksi, jolla on varakapasiteettia toisistaan. GE myy tätä varten järjestelmien konfigurointitietoja muille ja on yksi suurista pelureista omien ”avustusrahastojensa” ansiosta.

HE - Markkinat ja liiketoiminta

Markkinoita hallitsevat selvästi isot toimijat. Vaikkakaan liiketoiminta ei yksittäisissä maissa tai alueilla ole kasvanut suureksi, tarjoaa se kuitenkin järjestelmätoimittajille maailmanlaajuisena mahdollisuudet kannattavaan liiketoimintaan.

Markkinoilla paras asema on järjestelmätoimittaja General Electricin kaltaisilla suuryrityksillä, jonka resurssit riittävät helposti suuriinkin hankkeisiin, mutta myös monet ylläpitävät pikkufirmat kehitysmaissa ovat menestyneet. Suomen kannalta alihankinta on osoittautunut vahvuudeksemme: automaatiojärjestelmät (ABB) alihankkijoineen, Wärtsilän dieselit ja CHP-voimalat ovat olleet parhaita vientituotteitamme energiatekniikan alalla. Eniten rahaa liikkuu komponenttiliiketoiminnassa sekä konfigurointiohjelmistojen ylläpidossa ja suunnittelussa. Lisäksi paikallinen ylläpito on kannattavaa. Ohjelmistot paikalliset toimijat joutuvat kuitenkin hankkimaan muualta.

Kehitysmaiden kyliin ja tehtaisiin on rakennettu viime vuosikymmenen aikana paljon aurinkokennoja, mikro turbiineja ja diesel-voimaloita. Biokaasuvoimaloista on syytä mainita tietyissä maissa erittäin hyvin menestynyt sokeriruo’olla toimivat biokaasuvoimalat, joissa hyödynnetään ruokojätettä polttoaineena. Lisäksi pieniä vesivoimalaitoksia on rakennettu vuoristoisiin olosuhteisiin ja erityisesti Afrikkaan. Lähekkäin olevat laitokset ovat monessa paikkaa verkotuneet yhteen sähkölaitoksiksi. General Electric on myös investoinut rajusti hajautettuun energiantuotantoon ja hankkinut omistuksiinsa hyvin paljon näitä pienlaitoksia. Myös monet eettisesti sijoittavat rahastot (mm. tietyt eläkesäätiöt) ovat sijoittaneet näihin laitoshankkeisiin, tosin

useasti vielä lähinnä markkinointimielessä. Sähköä näissä hankkeissa myydään kuitenkin hyvällä katteella.

Liiketoimintaympäristö

Tässä skenaariossa erilaiset kehitysrahastot alkavat rahoittaa hajautetun energiantuotannon toimituksia, joka aikaansaa suuremman markkinoiden syntymisen kasvavan kysynnän seurauksena. Arvoverkkoa hallitsevat selkeästi järjestelmätoimittajat, jotka keräävät komponenttitoimittajat kasaan. Liiketoiminta on muuttunut palveluperusteiseksi, sillä sähkölaitokset ja asiakkaat maksavat vain sähköstä, eivätkä laitoksista. Järjestelmätoimittajat omistavat siis itse laitokset, mutta joutuvat maksamaan niiden ylläpidosta ja rakentamisesta ulkopuolisille yrityksille. Alalaidan paikallisilla toimijoilla ei ole suuria vaikutusmahdollisuuksia isojen järjestelmätoimittajien puristuksissa. Suomalaisen osaamisen vahvuuksia pystytään hyödyntämään parhaiten sinisellä alueella. Näillä aloilla vaaditaan yleensä korkeaa osaamista ja laatua. Kuvassa punaiset nuolet kuvaavat rahavirtoja ja mustat tavarantoimituksia.

Skenaarioiden triggerit

Triggerit / Reimarit² ovat skenaarioissa tunnistettuja todellisia tekijöitä, joiden toteutuminen tulevaisuudessa on hyvin epävarma, mutta toteutuessaan vaikutus on suuri. Ne ovat tekijöitä, jotka ovat selkeästi seurattavia asioita ja joista voidaan käydä keskustelua ja tunnistaa mahdollisten skenaarioiden kulku ja toteutuminen.

Ensimmäinen skenaarioistunto (asiantuntijat)

	TRIGGERS (REIMARIT)	+ 3v.	+ 5v.	+ 10 v.
Skenaario 1: Business as usual	Laajoja ympäristösopimuksia otetaan käyttöön			
	HE:n markkinaosuus kasvaa voimakkaasti (vrt. WADEn ennuste)			
	Ydinvoimaa lisätään (6. ydinvoimala Suomeen)			
	Verkkoyhtiöiden monopoli puretaan			
Skenaario 2: Kannustava sääntely	Fossiilisten polttoaineiden hinnannousu jyrkkää			
	Kioton sopimus tms. hyväksytään kattavasti			
	Energian kulutusta ohjataan EU-laajuisilla hinnoilla/verotuksella			
	Hajautetun energiantuotannon t&k:een panostetaan selvästi			
	Kerry voittaa USAn presidenttivaalit, Saksan vihreäpuolue jatkaa vallassa			
Skenaario 3: Vihreä taivas	Vihreä liike saa äänivyöryn EU-vaaleissa			
	Energiantarve lisääntyy ennusteita enemmän kehittyvien yhteiskuntien vuoksi			
	Kansainväliset päästöjen vähentämiseen tähtäävien sopimusten toimet toteutuvat			
	Öljyn ja fossiilisten polttoaineiden hinnat nousevat ja saatavuus käy epävarmaksi			
Skenaario 4: Mopofirmat	Lukutaito > 50 % periferioissa			
	Hyväntekeväisyys (Bill Gates ja Microsoft): HE saa tuntuvaa institutionaalista lisärahoitusta.			
	Komponenttibusines kukoistaa			
	Osuuskunnat kytkeytyvät verkoiksi			

² Reimari on Tarja Meristön käyttämä nimitys ja viittaa samoihin asioihin kuin trigger. Peter Schwartz käyttää samasta asiasta termejä leading indicator ja singpost.

Liite 2. Johtoryhmän (aktoreiden) skenaariot.

DENSY-ohjelman johtoryhmän kanssa luodut hajautetun energiantuotannon tulevaisuuskenaariot.

SKENAARIO I: 'Energia-Eldorado'

Hyvä infrastruktuuri ja avoin talous

Kaupan esteet ovat poistuneet ja energiasta on tullut hyödyke muiden joukossa. Neuvottelut kansainvälisen ilmastopimuksen jatkosta ovat kariutuneet. Energian hinta on kuitenkin noussut etenkin tuotannossa polttoaineiden hinnan noustessa maailmantalouden kasvun aiheuttaman voimakkaan kysynnän seurauksena. Sähkön siirrolle voidaan ottaa nykyistä parempi tuotto regulaation vähennyttä voimakkaasti. Tämän seurauksena loppukuluttajan energian hinta on noussut selvästi. Vapaan kilpailun ja energian korkean hinnan seurauksena hajautetulle energiantuotannolle on avautunut uusia mahdollisuuksia. Koska jakeluinfrastruktuurille saadaan hyvä pääoman tuotto, on infrastruktuuri hyvässä kunnossa mahdollistaen tuotantoyksiköiden liittämisen siihen helposti, kuten myös sähkön myynnin ja oston verkkoon. Hyvää infrastruktuuria käytetään joustavasti energian varastona.

Nopeasti kehittyvät maat ovat myös rakentaneet toimivan energiainfrastruktuurin. Talous Kaukoidässä on voimakkaasti noussut ja jopa uhkaa USA:n sekä Euroopan etulyöntiasemaa. Perinteisten teollisuusmaiden teollisuuden ylläpito perustuu merkittäviin tukiaisiin. Kannattava tulonmuodostus vanhoissa teollisuusmaissa perustuu onnistuneen rakennemuutoksen ansiosta palvelutoimintoihin. Kuluttajien merkitys energian käyttäjinä on kasvanut verrattuna teollisuuden tarpeisiin. On syntynyt aktiivisten palveluntarjoajien joukko, joka markkinoi aktiivisesti kuluttajille ja kotitalouksille kokonaispalveluja, joihin sisältyy puhdas ja luotettava energiantarjonta kilpailukykyisellä hinnalla.

Energiamarkkinat ovat reaaliaikaiset ja kaikkia transaktioita ohjaa käytännössä markkinahinta. Markkinoilla toimii palveluntarjoajia, jotka tarjoavat räätälöityjä palvelukokonaisuuksia asiakkaille. Kokonaisuuksissa energia on vain yksi osa muiden palvelujen mukana. Palveluoperaattoreiden myyntikanavassa energiakustannus sisältyy kokonaispalvelun hinnoitteluun ja kate syntyy reaaliaikaisella ostohinnoittelulla ja ICT-pohjaisella optimointijärjestelmällä. Verkot ovat kansainvälisesti tiiviissä yhteydessä toisiinsa, esimerkiksi Pohjoismaiden verkko on integroitunut Manner-Eurooppaan ja Venäjään, jonka ansiosta sähkökauppa on kansainvälistä ja vapaata.

Teknologinen kehitys on tuottanut joustavasti erilaisista energialähteistä tuotettavaa sähköä ja toisaalta laitteistojen energiahyötysuhde on merkittävästi noussut. Polttokennot lyöneet itsensä läpi CHP-tuotannossa ja yksikkökustannus mahdollistaa teknologian laajan käytön. Perinteisten teknologioiden lisäksi voimakkaasti kohonneet primäärienergian hinnat ovat saaneet teollisuusmaat panostamaan vahvasti vetytekniikkaan. Vetyinfrastruktuurin luomisen laajamittainen käynnistäminen on vahvasti poliittisessa keskustelussa mukana.

Maailmantalouden kasvu on ollut suotuisaa ja asiakkailta on varaa vaatia luotettavaa ja puhdasta energiaa ja siitä on varaa maksaa. Vanhoissa teollisuusmaissa keskiluokalla on mahdollisuus asua osan vuotta maaseudulla, joka lisää hajautettujen energiaratkaisujen kysyntää. Yksityistalouksille on tarjolla kokonaispaketteja sisältäen hajautetun energiantuotannon sähkön käyttöön ja verkkoon myyntiin, kotiautomaation, jätteiden hyötykäytön, valvonnan ja vartioinnin.

Liiketoimintaympäristö

Energiamarkkinat ovat reaaliaikaiset ja kaikkia transaktioita ohjaa käytännössä markkinahinta. Markkinoilla toimii palveluntarjoajia, jotka tarjoavat räätälöityjä palvelukokonaisuuksia asiakkaille. Kokonaisuuksissa energia on vain yksi osa muiden palvelujen mukana. Verkot ovat kansainvälisesti tiiviissä yhteydessä toisiinsa ja esimerkiksi Pohjoismaiden verkko on integroitunut Manner-Eurooppaan ja Venäjään, jonka ansiosta sähkökauppa on kansainvälistä ja vapaata. Tämä kauppa tapahtuu pääosin kansainvälisessä sähköpörssissä, joka välittää eteenpäin keskitetysti tuotettua energiaa. Keskitetyn järjestelmän lisäksi hajautettua energiaa myydään asiakkaille, sillä monilla on halua ja varaa maksaa puhtaammasta energiasta. Monet asiakkaat myös vaativat sitä tuottajilta.

SKENAARIO II: 'Isot yksiköt'

Hyvä infrastruktuuri ja tiukka ohjaus

Energiantarpeen kasvun seurauksena energian strateginen merkitys on korostunut. Ympäristötavoitteisiin ei ole kuitenkaan päästy vapaaehtoisuuteen perustuvien sopimusten, vaikka samanaikaisesti ilmastomuutoksen uhkien on todettu toteutuvan. Tästä on seurannut tiukka kansainvälinen energiapoliittinen ohjaus ja valvonta, ja etenkin länsimaissa on energiantuotantoa ohjattu vahvasti kestävämmän kehityksen suuntaan. Eri puolilla maailmaa myös energian saatavuudessa on rajuja ongelmia. Öljyn ja kaasun määrät ovat osoittautuneet arvioitua pienemmiksi ja niiden hintatasot ovat nousseet taivaisiin. Tämä on ollut kova isku etenkin talouskasvulle ja köyhille maille. Lisäongelmia etenkin Suomen energiatilanteeseen on tuonut Venäjän sähkönviennin vaikeudet, joiden takia sähköntuonti on jopa katkeillut.

2000-luvun alussa ennakoitu Kiina-ilmiö on toteutunut: Nopea kasvu yhdistettynä tuotantoteollisuuden kansainvälisessä työjaossa tapahtuneisiin muutoksiin ja tehokkuuskilpailuun on johtanut energiaintensiiviseen suurteollisuuteen. Tämä kehitys on tukenut keskitettyjen isojen laitosten rakentamista ja esim. ydinvoima on fossiilisten polttoaineiden hinnannousun ja suurten hiilidioksidivaikutusten seurauksena kokenut "uuden renessanssin" monissa maissa. Kotimaista teknologiaa suosiva tukipolitiikka on varsin tavallista ja kaiken kaikkiaan voidaan sanoa, että energiapolitiikkaa toteutetaan vahvasti teollisuuspolitiikan ehdoilla

Energiasta on tullut huomattavasti tärkeämpi strateginen voimavara ja valtioiden asettamat energia- ja ympäristöpoliittiset tavoitteet ovat kovat. Valtio säätelee energia-alaa vahvan energiaviranomaisen muodossa. Tämä toiminta sisältää mm. hintamäärityksen. Valtion yhtiö vastaa myös optimoidusta tasehallinasta sisältäen: siirron ja jakelun, varavoiman ja varastot sekä energiansäästövalvonnan. Kansainväliset sopimukset ohjaavat valtioita ympäristötavoitteiden

saavuttamiseen ja energian huoltovarmuuden varmistamiseen. Kansainvälisiä ympäristösopimuksia valvotaan tiukasti, mikä on pakottanut myös kansallisvaltiot toimimaan. Samalla kotimaisen energian rooli on korostunut. Yksittäisenä toimenpiteenä mm. biosähkölle on luotu hankintavelvoitteita yhdistettynä EU:n määräämän biosähkődirektiivin synnyttämään biosähköpörssiin. Teollisuudelle asetetut energiansäästötoimenpiteet ovat pakolliset ja niitä valvotaan (mittarointi). Energian hinta on vahvan ohjauksen alaisuudessa säännelty.

”Hyvä ohjaus” mahdollistaa kilpailun hyödyntämisen tehokkuusmielessä. Kotimaista teknologiaa tuetaan työllisyyspoliittisin tarkoituksiin mm. omavaraisuuden varmistamiseksi ja tavoitehakuisen julkisen hankinnan avulla.

Markkinoilla on rajoitettu määrä isoja operaattoreita, joilla on riittävästi voimavaroja, osaamista ja resursseja. Ne vastaavat pääosin perusvoima- ja säätövoimatuotannosta, siirrosta ja jakelusta. Näillä ei juuri ole hajautettua tuotantoa. Näiden lisäksi on tilaa myös muille tuotantoyhtiöille, jotka käyttävät valikoituja teknologioita, mm. hajautettuja energiajärjestelmiä. Näille on määrätty kiinteä hintakorvaus per tuotettu kWh.

Hajautettu energiantuotanto on pärjännyt suhteellisen hyvin eri tuotantomuotojen välisessä kilpailussa, vaikkakin keskitetyt ratkaisut ovat yhä ylivoimaisesti tärkein tuotantomuoto. Tämä on ymmärrettävää, sillä hyvä energiainfrastruktuuri on järkevää hyödyntää mahdollisimman pitkälle. Yrityksillä on julkishallinnon asettamat selkeät hankintavelvoitteet ja energiasäästövelvoitteet, jotka ohjaavat niiden energiaratkaisuja. Kuluttajien rooli on pysynyt jo vuosikymmenet ennallaan ja heille myydään yhä käytännössä vain sähköä ja lämpöä. Yhteiskunta on yhä enemmän urbanisoitunut, jolloin uusia paikallisverkkoja voi syntyä.

Liiketoimintaympäristö

Skenaariossa viranomaiset ohjaavat tiukasti eri toimijoiden energiapäätöksiä. Kansainväliset sopimukset ohjaavat ja määräävät pitkälti näitä päätöksiä. Viranomaiset ohjaavat mm. lupa- ja verotusasioita, joiden avulla yrityksiä on määrätty käyttämään puhtaammin tuotettua energiaa. Suomessa tämä kehitys näkyy mm. puuhakkeen käytön lisääntymisenä polttoaineena. Näkyvimpänä uudistuksena energiajärjestelmissä on biosähköpörssi, jonka kautta välitetään puhtaasti tuotettu energia eteenpäin energiaoperaattoreille.

SKENAARIO III: 'Pakotettu hajautus'

Huono infrastruktuuri ja tiukka ohjaus

Yhteiskunnan tiukan ohjauksen ja päätöksen teon tuloksena energian tuotanto on jaettu monissa maissa selkeästi kahteen energiantuotannon sektoriin isoihin: tiheästi asuttuihin keskuksiin ja periferioihin. Tällä on onnistuttu hyödyntämään olemassa olevia järjestelmiä niillä alueilla, joissa se on ollut mahdollista, sekä kehittää samalla uutta HE:hen perustuvaa energiantuotantoa. Käytännössä keskitetyt järjestelmät ovat siis useiden keskusten pääenergianlähde ja HE:n rooli on näillä alueilla jäänyt pääosin varmistavaksi tekniikaksi suurien teollisuuslaitosten läheisyydessä.

Valtio ohjaa energiasektorin toimintaa sääntelemällä investointeja. Ympäristöseikat ovat myös korostuneet taloustekijöiden ohella. Tämä tarkoittaa, että yhtiöiden halutessa tehdä investointeja, heidän on tehtävä tarkat ja kattavat selvitykset seuraamuksista, joiden perusteella valtion hallinto tekee valinnat investoijista.

Sähkön jakeluverkon vanha infrastruktuuri on heikkoa ja rapautunutta, jonka vuoksi sähkö-, lämpö-, ym. katkoja on monilla alueilla paljon (erityisesti monet nopeasti kasvavat talousalueet). Tämä on nostanut kovan arvostelun näiden alueiden teollisuudessa ja myös yksityissektorilla. Yhtenä ratkaisuna ongelmaan julkishallinnossa on nähty HE, koska energiainfrastruktuurin uusinta on hyvin kallista. Ohjauksen tarkoitus on varmistaa energian saanti hajautettuun tuotantoon perustuen erityisesti periferioissa sekä kriittisissä kohteissa (mm. teollisuuslaitokset, sairaalat). Perinteinen keskitetty järjestelmä kuitenkin säilytetään järkeviltä osin perustuotantomuotona ja hajautettua rakennetaan rinnalle, koska infrastruktuuriin ei panosteta. Lopulta kauempana kulutuskohteista olevat laitokset tulevat todennäköisesti poistumaan käytöstä.

Lisäksi on maita ja alueita, joissa keskitettyä sähkönjakeluverkostoa ei edes ole, vaan elintason nousun aiheuttamaan kovaan sähköntarpeeseen vastataan suoraan HE:n avulla. Paras esimerkki on Kiinan vuosien 2007–08 kovat talvet, jolloin energiainfrastruktuurin riittämättömyys aiheutti suuria ongelmia etenkin periferioissa. Tämän seurauksena valtio joutui tarttumaan välittömiin toimiin energiainfrastruktuurin parantamiseksi. Kannattavimmaksi ja tehokkaimmaksi keinoksi useilla alueilla on nähty hajautettujen paikallisten järjestelmien kehittäminen ja rakentaminen.

Julkishallinnot ostavat keskitetysti suuria määriä HE-järjestelmiä niiltä, keiltä löytyy resursseja laajamittaisiin toimituksiin eli käytännössä isoilta toimittajilta. Hyvänä esimerkkinä kehityksestä on Kiinan jättimäinen HE-tilaus ”periferiakaupungeille” (tosin samaan aikaan Kiina on myös rakentanut runsaasti lisää ydinvoimaa useille suuremmille keskuksille). Tämä taas on mahdollistanut suuret tuotantosarjat ja tätä kautta valmistavat yritykset ovat pystyneet saavuttamaan selkeitä suurtuotannon etuja, mikä on laskenut merkittävästi HE-järjestelmien valmistuskustannuksia. Lisäksi järjestelmien modulointi ja standardointi ovat edenneet merkittävästi. Suurten T&K-panostusten ansiosta HE:sta on tullut modulaarinen ja varmatoiminen teknologia, joka lisääntyvän käytön takia tulee koko ajan myös kannattavammaksi.

Näillä markkinoilla on sijaa niin isoille kuin pienillekin. Käytännössä isot toimivat integraattoreina, jotka hyödyntävät pienten yritysten erikoisosaamista alihankintaketjunsä kautta. Suomalaiset yritykset ovat pääosin fokuoituneet toimittamaan korkean teknologian osatoimituksia suurempiin projekteihin toimittaen komponentteja. Lisäksi suunnittelupalveluissa suomalaisilla on merkittävä rooli.

Liiketoimintaympäristö

Skenaariossa julkishallinto ohjaa voimakkaasti energiaratkaisuja vaatimuksin ja ohjaukskeinoin. Alihankkijat toimittavat tarvittavia komponentteja ja palveluita integraattoreille. Nämä myyvät (tai leasing) järjestelmiään suoraan isoille asiakkaille. Toisena vaihtoehtona on myydä järjestelmiä operaattoreille, jotka taas myyvät hajautetuilla järjestelmillä tuottamaansa energiaa eteenpäin asiakkaille. Tukkuvälittäjät taas ostavat järjestelmiä ja koneita integraattoreilta ja

myyvät niitä eteenpäin pienille asiakkaille tai niille sähköä tuottaville paikallisille operaattoreille. Paikallinen operaattori voi myös syntyä pienasiakkaiden keskuudessa, jos samalla järjestelmällä tuotetaan useammille lähialueen asiakkaille energiaa. Isommat operaattorit pystyvät myös myymään energiaa pienasiakkaille alueilla, joilla on siirron mahdollistava vanha toimiva infrastruktuuri.

SKENAARIO IV: 'Viidakon lait'

Huono infrastruktuuri ja avoin talous

Yleinen päästöjen rajoittaminen ei ole toteutunut (esim. Kioto). Kasvihuoneilmion eteneminen on johtanut yhteiskuntien sopeutumista edistävien teknologioiden ja toimenpiteiden kehittämiseen. Perinteiset kehittyneet maat ovat edelleen hyvän infrastruktuurin omaavia. Erityisesti nopeasti kasvavissa uusissa teollisuusmaissa kuten Intia, Kiina jne. on syntynyt hajautuneita energiajärjestelmiä, joissa käytetään monia erilaisia tekniikoita ja polttoaineita rinnakkain ilman koordinaatiota. Vanhoissa kehitysmaissa muutamat isot toimijat haluavat varmistaa oman energian saatavuutensa omilla energiajärjestelmillä.

Maailmantaloudessa kasvu on ollut suhteellisen nopeaa, jolloin primäärienergian ja raaka-aineiden kysynnän kasvu on ollut nopeaa ja nostanut hintatasoa vuodesta 2000. Tämä on käynnistänyt teknologian kehitystä eri maissa liittyen hajautettuihin järjestelmiin. Tarkastelujaksolla eräillä alueilla käydyt lyhyehköt sodat ovat tuhonneet useissa maissa infrastruktuurin. Niiden jälleenrakentamisessa on lähtökohtana hajautettu järjestelmä. Globaalilla tilanteella on ollut myös vaikutusta teollistuneiden maiden energiajärjestelmiin siten, että niiden jakeluverkkoihin on entistä enemmän liitetty hajautettuja energiantuotanto ja – kulutuslaitteita.

Teknologian kehittämistä on tehty laajasti erikokoisissa yrityksissä sekä vanhoissa että uusissa teollisuusmaissa. Suuria teknologisia läpimurtoja ei tarkastelujaksolla saada aikaan vaan kehitystä vievät eteenpäin suurten yritysten vahva markkinointi ja pienten yritysten innovointi. Kuitenkin on syntynyt merkittävästi uusia yrityksiä aloittavien yritysten toimesta, jotka nousevat esiin markkinoita ajavina voimina.

Nousevien talousalueiden erityisesti Kiinan energiankulutus on kasvanut nopeasti, mikä määrää suurelta osin primäärienergian nousevan kehityksen. Hintakehityksen heilahteluun on vaikuttanut sodat ja kansainvälinen jännitys. Venäjä on hyötynyt hintakehityksestä yhteiskunnallisen kehityksensä salliessa, mutta pitänyt asiat omissa käsissään.

Järjestelmätoimituksille syntyy tilaa nopeasti kehittyvissä maissa. Tätä varten syntyy erityisiä toimittajia, jotka hankkivat komponentit kaikkialta maailmasta ja sovittavat ne yhdessä toimiviksi järjestelmiksi. Asiakkaita on sekä kehitysmaissa että teollisuusmaissa. Järjestelmien toimittajat laajentavat toimintaansa myös palveluihin, jotka varmistavat järjestelmien käytön.

Asiakassovellusten kirjo on laajentunut lähtien luksustuotteista halpoihin ja kevyisiin järjestelmiin, joissa energiantuotanto ja – kulutus yhtyvät. Osa vaihtelevasta teknologiasta ei muodostu

pitkäaikaiseksi vaan häviää markkinoilta. Parhaat innovaatiot sen sijaan saavat laajan levikin ja niitä käytetään myös kehittyvissä maissa osina hajautettuja järjestelmiä.

Liiketoimintaympäristö

Skenaariossa alueet voidaan selkeästi jakaa vanhoihin ja uusiin teollisuusmaihin. Standardointi ei ole onnistunut ja alueilla käytetään erilaisia energiajärjestelmiä sekaisin ilman koordinoitua. Kansainvälisten sopimusten kaaduttua julkishallinto ei ohjaa mihinkään erityiseen energian tuotantomuotoon, vaan järjestelmät kehittyvät markkinaperusteisesti. Komponenttivalmistajat innovoivat ja toimittavat haluttuja osajärjestelmiä integraattoreille (= järjestelmätoimittajille). Useat toimittajat hankkivat komponentit kaikkialta maailmasta ja sovittavat ne yhdessä toimiviksi järjestelmiksi. Asiakkaita on sekä kehitysmaissa että teollisuusmaissa. Järjestelmien toimittajat laajentavat toimintaansa myös palveluihin, jotka varmistavat järjestelmien käytön. Mm. erilaisia huoltopalveluita voidaan ostaa integraattoreiden lisäksi myös ulkopuolisilta palveluntarjoajilta.

Toinen skenaarioistunto (johtoryhmä):

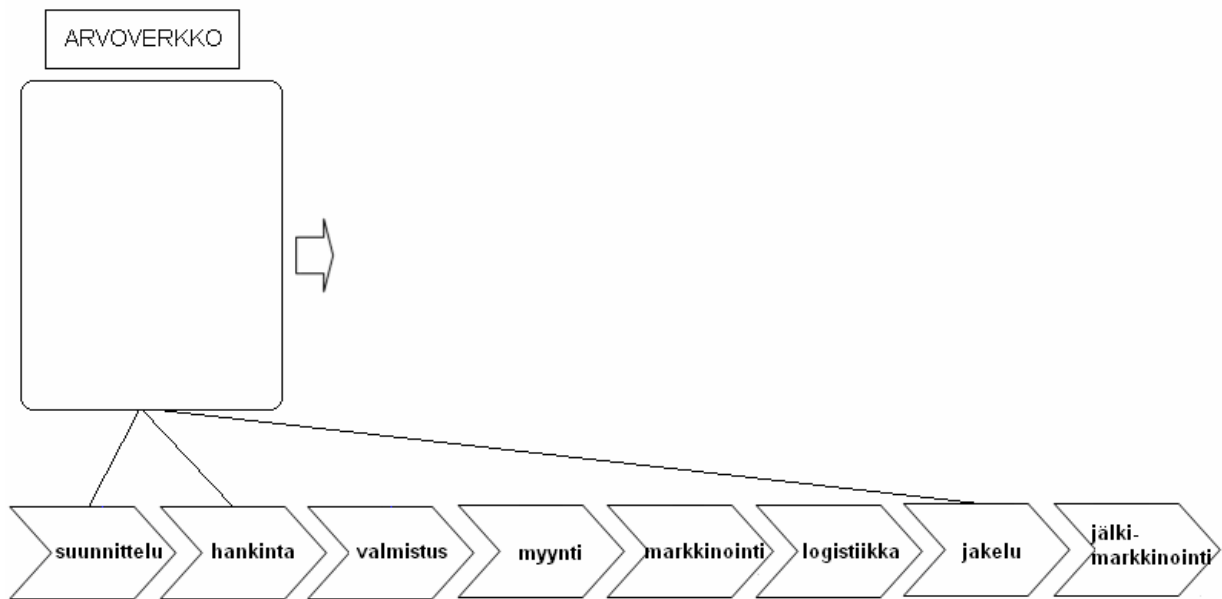
		TRIGGERS (REIMARIT)		
		+ 3v.	+ 5v.	+ 10 v.
Skenaario 1: Energia Eldorado	Kaukoidän teollisuus ohittaa USA:n ja Euroopan merkitsevyydessä	[Progress bar]		
	Euroopan laajuinen sähköpörssi	[Progress bar]		
	Vetyyn perustuvalla CHP-tuotannolla kovin kasvu eri CHP-muodoista	[Progress bar]		
	Länsimaissa ihmiset viettävät yhä enemmän aikaa maaseudulla	[Progress bar]		
	Öljynhinta >80\$/bbl	[Progress bar]		
	Ilmastoneuvottelut kariutuneet	[Progress bar]		
	Palveluintegraattoreiden tunkeutuminen energiamarkkinoille	[Progress bar]		
	Sähkön siirron regulaation purkautuminen ja vapaan kilpailun avautuminen	[Progress bar]		
Skenaario 2: Isot yksiköt	Öljynhinta >80\$/bbl	[Progress bar]		
	Saksa rakentaa lisää ydinvoimaa	[Progress bar]		
	Biosähköpörssi perustetaan	[Progress bar]		
	Teollisuus pakotetaan alentaamaan kulutustaan "energiansäästökupongein"	[Progress bar]		
	Länsimaiden yhteinen ilmastopimus solmitaan tukemaan kestävää kehitystä	[Progress bar]		
	Kaukoidän teollisuus ohittaa USA:n ja Euroopan merkitsevyydessä	[Progress bar]		
Skenaario 3: Pakotettu hajautus	Länsi-Euroopassa massiivisia sähkökatkoja huonon verkon vuoksi	[Progress bar]		
	Kiinassa energiakriisi heikon energiainfrastruktuurin takia	[Progress bar]		
		[Progress bar]		
Skenaario 4: Viidakon lait	Korkea energiahinta, öljyn hinta >80 \$/bbl	[Progress bar]		
	Ei läpimurtoja keskeisissä tuotantoteknologioissa	[Progress bar]		
	Primäärienergian hinta vaihtelee voimakkaasti	[Progress bar]		
	Globaali talouden kasvu vahvaa, keskimäärin >4 %	[Progress bar]		
	HE:n järjestelmiä kehitetään vanhoissa ja uusissa teollisuusmaissa	[Progress bar]		

	seen uusiutuvien energianlähteiden hyödyntämisessä. Verkkoon liittäminen ja suojausteknologiat ovat tärkeitä sekä (älykkäät) etähallintajärjestelmät. Kierrätysteknologia.	ja energiaa säästävän teknologian kehittämisen. IC-teknologian integroiminen HE-laitteisiin. Tuotantoteknologian siirtäminen kohteisiin.
	<i>Mopo-firmit</i>	
Liiketoiminta	Uusien innovatiivisten palvelujen kehittäminen ja voimakas paikallinen partneroituminen. Logistiikka- ja kehitysyhteistyöpalvelujen aloittaminen. Ei odoteta viranomaisen toimia. Lisensioitavat järjestelmät. Keskeistä hyvinvoinnin lisääminen. Minipalveluliiketoiminta.	Otetaan osaa EU- ja YK-projekteihin. Toimitetaan korkeanteknologian osaamista vaativia komponentteja ja yhdistetään koulutusta ja diagnostiikkapalveluita mukaan. Tehdään yhteistyötä tunnettujen toimijoiden kanssa.
Teknologia	Toimintavarmojen IC- ja automaatiokomponentit ja verkkoon liittämoduulit sekä verkottamis- ja logistiikkateknologiat. Pienen mittakaavan teknologia ja massaräätälöinti. Helpot peruskomponentit. Valmistuskohteet mihin.	Mobiili- ja ohjelmistoteknologian kehittäminen ja tuotantoprosessien kehittäminen. Keskitytään olemassa olevien teknologioiden yhdistämiseen ja inkrementaaliseen kehittämiseen. ”Vanhat” laitteet uusiin kohteisiin.

LIITE 4. Ohje liiketoimintamallien ja -konseptien kuvausten lukemiseen.

Nykyisiä liiketoimintamalleja ja uusia liiketoimintakonsepteja kuvataan saman mallin avulla. Malli koostuu neljästä eri liiketoimintakomponentista, joita ovat arverkko, teknologia, arvon tarjoama sekä asiakaspinta. Komponenttien vaikutusta ja suhdetta liiketoiminnan muodostumiseen on havainnollistettu linkittämällä komponentit arverkkoon.

Kuvassa 1 on esitetty arverkkokomponentti sekä sen linkitys arvoketjuun. Arverkkokomponentin tehtävä on kuvailla arverkon rakennetta ja sen tärkeimpiä jäseniä ovat avainasemassa liiketoiminnan kannalta. Arverkkokomponentteihin on pyritty lisäämään etenkin ne osapuolet, joilla on strategisesti suuri merkitys kilpailuedun muodostumisessa. Arverkkokomponentista lähtevät mahdolliset nuolet havainnollistavat puolestaan arverkon jäsenten panostuksia ja rooleja yrityksen liiketoiminnassa.

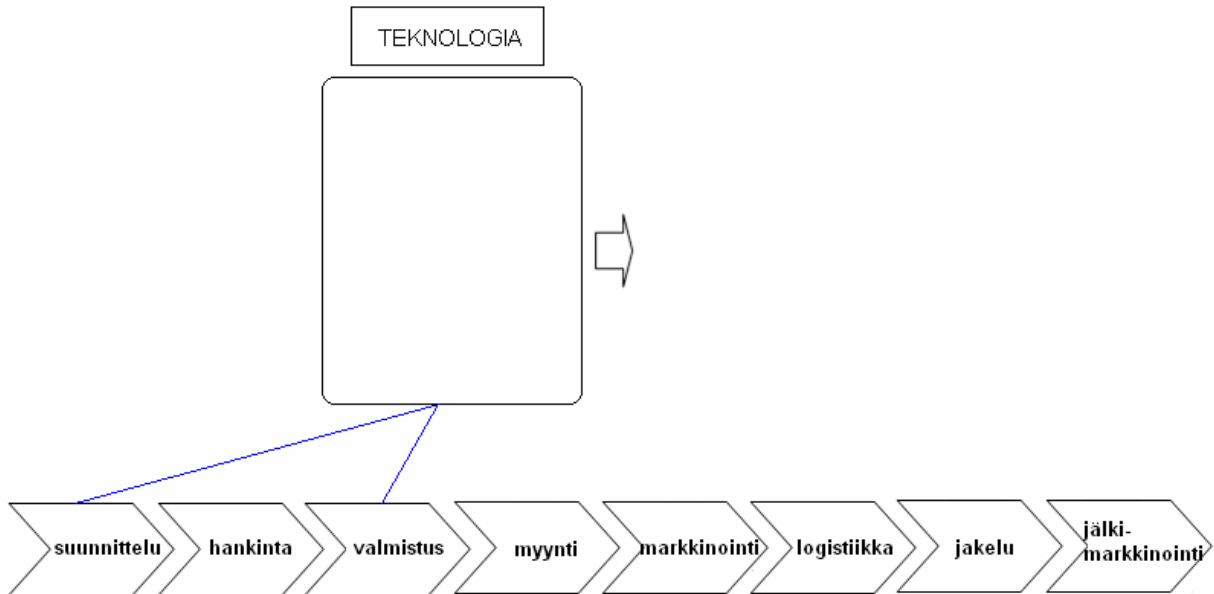


Kuva 1. Arverkkokomponentti ja linkitys arvoketjuun

Arververkosta lähtevät mustat linkitykset arvoketjuun havainnollistavat, mihin yrityksen arvoketjun eri osiin arververkossa mainitut jäsenet vaikuttavat. Esimerkiksi kuvassa 1 arverkon jäsenet vaikuttavat suunnittelun, hankinnan ja jakelun toteuttamiseen.

Teknologiakomponentti kuvaa nykyisissä liiketoimintamallikuvauksissa yritysten avainteknologioita. Uusien liiketoimintakonseptien kuvauksissa komponentti kuvaa markkinoilla suuren potentiaalin omaavia teknologioita, jotka voivat olla primääri- ja sekundääriteknologioita. Teknologiakomponentista lähtevät mahdolliset nuolet johtavat arvontarjontaan. Kyseiset nuolet

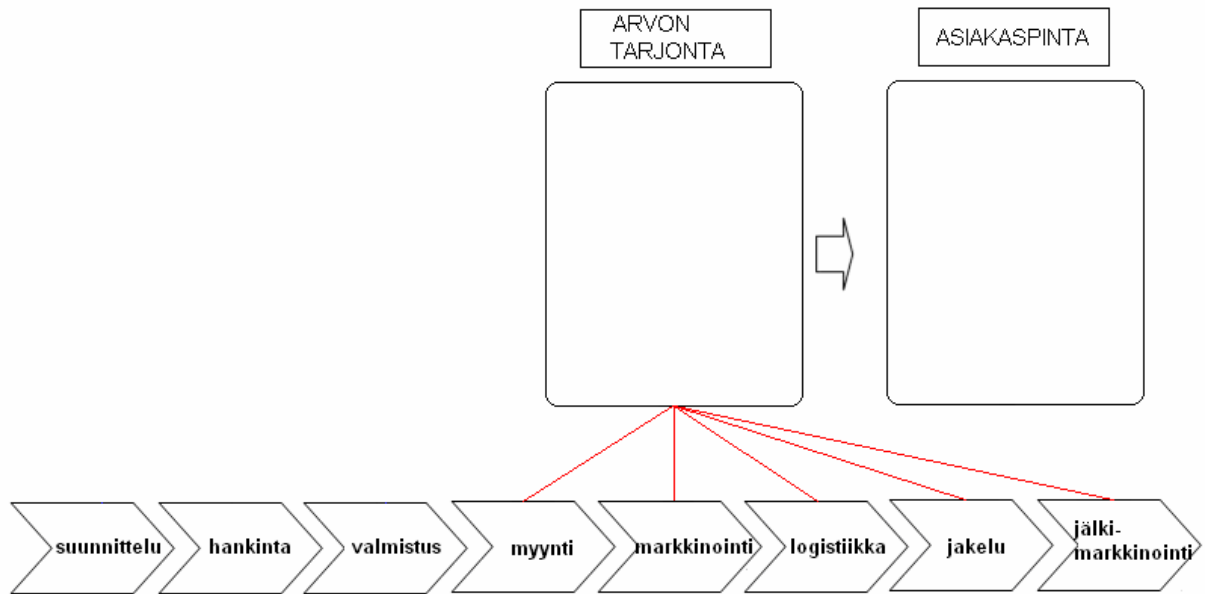
havainnollistavat, mitä arvoja asiakkaille pyritään tarjoamaan eri teknologioiden avulla. Kuvassa 2 on esitetty esimerkki teknologiakomponentista ja sen linkittymisestä arvoketjuun.



Kuva 2. Teknologiakomponentti ja linkitys arvoketjuun

Teknologiakomponentista arvoketjuun lähtevät siniset viivat kuvaavat teknologioiden muodostumista yrityksen arvoketjun eri vaiheissa. Kuvan 2 esimerkissä yritys suunnittelee ja valmistaa teknologiaa osana liiketoimintaansa.

Arvontarjoamakomponentilla kuvataan niitä tuote/palvelukonseptin tuottamia arvoja, joita yritys tarjoaa asiakkailleen. Arvot voivat olla taloudellisesti helposti mitattavia tai ne voivat olla myös niin sanottuja aineettomia hyötyjä. Asiakkaille tarjottavat arvot määritellään liiketoiminnassa asiakkaiden tarpeiden perusteella. Tämän vuoksi arvontarjoamakomponentista voi lähteä nuolia havainnollistamaan, minkä asiakassegmenttien tarpeisiin mikäkin arvo pyrkii vastaamaan. Asiakaspintakomponentti pyrkii puolestaan kuvaamaan liiketoimintamalleissa yrityksen asiakaspintaa ja uusien liiketoimintakonseptien kuvauksissa potentiaalista asiakaspintaa. Asiakaspintakomponenttiin voidaan yrittää mahdollisuuksien mukaan eritellä asiakassegmenttejä. Kuvassa 3 on esitetty asiakaspintakomponentti ja arvontarjoamakomponentti sekä sen linkittyminen arvoketjuun.



Kuva 3. Arvontarjonta- ja asiakaspintakomponentit sekä linkitys arvoketjuun

Arvontarjontakomponentista lähtevät punaiset nuolet arvoketjuun havainnollistavat, missä arvoketjun eri vaiheissa yrityksen tarjoamat arvot muodostuvat. Kuvan 3 esimerkissä asiakkaille tarjottava arvo muodostuu myynnin, markkinoinnin, logistiikan, jakelun ja jälkimarkkinoinnin yhteydessä.

LIITE 5. Densy -teknologiaohjelma tutkijatapaaminen 14.2.2006, Innopoli, Espoo.

Tutkijatapaaminen järjestettiin hajautetun energiantuotannon tutkimuksen tulevaisuuden suuntien ja suuntaamiseen pohtimiseksi. Päivä jakaantui kolmeen eri osaan: tulevaisuuden HE -liiketoiminnan ja -teknologian kehityksen pohtimiseen, HE -liiketoiminnan modulaarisuuden etujen arvioimiseen ja DENSY -ohjelman viimeisen vaiheen aiehaun avaukseen. Aamupäivän keskustelu alustettiin TBRC:n, TTY:n ja VTT:n yhteisen tutkimuksen tulosten esittelyllä ja niihin liittyvillä kysymyksillä. Iltapäivällä pohdittiin PBI:n tutkimustulosten perusteella HE -liiketoiminnan modulaarisuutta ja sen avulla syntyviä uusia liiketoimintamahdollisuuksia.

Aamupäivällä tutkijoille esitettiin HE -teknologiaan ja -liiketoimintaan liittyviä kysymyksiä, joihin vastattiin äänestyslaitetta käyttäen kyllä/ei tai valittiin esitetyistä vaihtoehdoista sopivin. Vastaukset olivat seuraavanlaisia:

Kysymyssarja 1

1. Suomalaisilla toimijoilla on hyvät edellytykset toimia pienvesivoiman kansainvälisenä järjestelmätoimittajana:

1. Kyllä	78,9%
2. Ei	21,1%
	19 vastaajaa

2. Suomalaisilla toimijoilla on hyvät edellytykset toimia pienBio-energian kansainvälisenä järjestelmätoimittajana:

1. Kyllä	94,4%
2. Ei	5,6%
	18 vastaajaa

3. Hajautetun energiatuotannon osuus energian kokonaistuotannosta on Suomessa vuonna 2019:

1. 5%	10,5%
2. 10%	68,4%
3. 20%	21,1%
4. 40%	0%
	19 vastaajaa

4. Suomalaisten hajautetun energiatuotannon teknologiayritysten näkökulmasta tulisi keskittyä pitkällä aikavälillä:

1. Komponenttituotantoon	5,3%
2. Järjestelmätoimituksiin	68,4%
3. palvelujen vientiin	26,3%
4. perustekniikan kehittämiseen	0%
	19 vastaajaa

5. Primäärienergian säästö energiatehokkuutta parantamalla on Suomessa keskeisessä roolissa 5 vuoden kuluttua:

1. Kyllä	68,4%
2. Ei	31,6%
	19 vastaajaa

6. Hajautetun sähköenergian osalta tulisi erityisesti kehittää:

1. Verkkoon kytkennän suojausta, automaatiota jne.	31,6%
2. tiedonhallintajärjestelmiä, esim. SAP -tyyppisiä ohjelmistoja	10,5%
3. Hajautetun tuotannon laitosten yhteiskäyttöä (etäkäyttöä)	42,1%
4. bioenergian alkupään keräilyjärjestelmiä	15,8%
	19 vastaajaa

7. Suomen teknologiateollisuuden kannalta merkittävin HE:n tuotantotekniikka lähitulevaisuudessa (5 – 10 vuotta) on:

1. kaasu- ja diesel-moottorivoimalat	36,8%
2. tuulivoimalat	26,3%
3. bioenergiaan perustuvat voimalat	36,8%
4. pienvesivoimalat	0%
	19 vastaajaa

8. Mitä HE:n tuotantotekniikkaa tulisi mielestänne Suomessa tutkia 20 vuoden tähtäimellä:

1. bioenergian kaasutusta	50%
2. tuulivoimaa	11,1%
3. aurinkokennoja	11,1%
4. polttoainekkennoja	27,8%
	18 vastaajaa

Kysymyssarja 2

1. Minkä liiketoimintaympäristön kehityssuunta on suomalaisen toimijan kannalta suotuisin:

1. Regulaation avulla HE-tuotantoa kannustava nykytila	84,2%
2. Vapaan kilpailun ohjaama kehitys	15,8%
3. Ilman regulaatioita kv-instituutioiden sijoitukset tutkimukseen ja kehitykseen	0%
4. Ilman regulaatioita kv-instituutioiden sijoitukset käyttöönottoon	0%
	19 vastaajaa

2. Suomalaisten yritysten kannattaa panostaa HE-liiketoiminnassa:

1. Omaan tutkimukseen ja kehitykseen	31,6%
2. Tehokkaaseen teknologian siirtoon ja sen kaupalliseen hyödyntämiseen	42,1%
3. Palvelujen myyntiin kehittyvillä HE-markkinoilla	26,3%
4. Ei panostusta erityisesti HE:hen. Suomalaisille riittää pienimuotoinen ”mökki-teknologiaa” hyödyntävä paikallinen toiminta	0%
	19 vastaajaa

3. Voiko suomalainen HE-yritys toimia integraattorina kv-markkinoilla?

1. Kaikissa muodoissaan yritykset liian pieniä	0%
2. Niche-markkinoilla	36,8%
3. Projektin osien esim. bio- ja pienvesivoimaloiden osalta	21,1%
4. Aktiivisina verkostojen kokoajina	42,1%
	19 vastaajaa

4. Suomalaista komponentti toimintaa HE-markkinoilla voi edistää:

1. Suoralla viennillä	5,3%
2. Liiketoimintakumppanuudet ulkomaisen toimijan kanssa	84,2%
3. Yhteiset valmistusyksiköt ulkomailla	10,5%
	19 vastaajaa

5. Hajautetun energiantuotannon kehittyminen Suomessa vaatii:

1. Valtion subventioita	55,6%
2. Vihreän sähkön minimituotantovaatimusten asettamista	44,4%
	18 vastaajaa

ISBN 952-214-157-7
ISSN 1795-6102

Lappeenranta 2006

